

BOJAN KRAUT

# STROJARSKI PRIRUČNIK

DEVETO HRVATSKO ILI SRPSKO IZDANJE  
POTPUNO PRERAĐENO I DOPUNJENO



TEHNIČKA KNJIGA, ZAGREB

## IZ PREDGOVORA PRVOM IZDANJU

*Strojarski se stručnjak — bilo inženjer, tehničar ili majstor — u svome radu dnevno susreće s mnogobrojnim, ponajčešće brojčanim podacima.*

*U nas smo dosad upotrebljavali strune priručnike, na njihova je uporaba ograničena zbog visoke cijene i nedovoljnog znanja stranih jezika. Posebno valja spomenuti da ti priručnici ne pružaju materije na takav način kakav bi bio potreban za našu praksu i — što je najznačajnije — u njima nema domaćih standarda i drugih domaćih propisa.*

*Da bih barem djelomice popunio tu prazninu, odlučio sam se sastaviti ovaj priručnik.*

*Priručnik treba da je uvijek pristupačan svagdje i svakome, pa je stoga odabran džepni format. To je dakako ograničilo opseg. Zbog toga sam se pri izboru gradiva odlučio za ono što dnevno treba strojarskim inženjerima, tehničarima ili majstorima, pa i studentima strojarstva i docima srednjih tehničkih učilišta. Izbor gradiva za tako različite stupnjeve znanja nije bio lak. Želio sam se što više približiti nekoj svima korisnoj sredini. Zato će jednome biti nečega previše, a drugome premalo, jednome će neka poglavlja biti preteška, a drugome prejednostavna.*

*Jezgra je ovoga priručnika brojčani materijal, jednako potreban za sve stupnjeve obrazovanja, za školu i praksu. Ostalo je gradivo sažeto na najmušniji. Posebnu sam pažnju posvetio razvoju nauke o mjerama i novostima na tom polju, koje sadire u strojarstvo.*

*Jednadžbe su veličinske. Time je u nekim područjima omogućena i upotreba još ukorijenjenih sustava mjera — tehničkog i toplinskog (kalorijskog), a u svim područjima svijeta tehničkih grana upotreba novoga, apsolutnog sustava po Giorgiju. Teškoće, koje su kočile upotrebu Giorgijeva sustava mjera u toplinskoj tehnici, nastojao sam prebroditi sastavom odgovarajućih toplinskih tablica. U ovom su priručniku prvi put u stručnoj literaturi uopće objavljene više-munje potpune strojarske toplinske tablice, koje sadrže sve vrijednosti preračunane i u jedinice Giorgijeva sustava mjera. Time je i u toplinskoj tehnici bitno olakšano računanje s elegantnijim, veličinskim jednadžbama.*

*Ljubljana, u travnju 1954.*

*P. K.*

### Dosadnja izdanja

slovenska izdanja	hrvatska ili srpska izdanja
1954	1956
1964	1963
1967	1965
1973	1970
1976	1975
1981	1976 (1980)**
1981 (A5)*	1982 (1984)**
1987	1986 (1987)**
1987 (A5)*	1988

\* Izdanje u A5 formatu. (Sva su druga izdanja bila u A6 formatu.)

\*\* Datisak

## PREDGOVOR DEVIETOM HRVATSKOM ILI SRPSKOM IZDANJU

Prvo – slovensko (1954), i zatim drugo – hrvatsko ili srpsko (1956) – izdanje ovoga priručnika bilo je raspruđano u roku od po godinu dana, što je pokazalo kolika je bila potražnja za djelima te vrste naše strojarne literature. Ocjene djela, objavljene u stručnim časopisima ili saopćene usobno, također su potvrdile da su ova izdanja postigla svoj cilj.

Tom prilikom posebno moramo zahvaliti radnim kolektivima – Titovih zavuda «Litostroj» u Ljubljani i Industrije lokomotiva, strojeva i mostova «Đuro Đaković» u Slavonskom Brodu, koji su kao nakladnici omogućili prvo i drugo izdanje priručnika.

Iskustvom stečenim u prvim izdanjima slijedila su nova, stalno dopunjavana izdanja. Djelo je s dosadašnjih devet slovenskih te devet hrvatskosrpskih izdanja doseglo ukupnu nakladu od 290000 primjeraka. Na taj je način diljem Jugoslavije rašireni priručnik sve više dolazio u upotrebu ne samo na radnim mjestima, već i kao pomagalo pri učenju.

Kako se već razabire iz predgovora prvom izdanju, priručnik je od svoga početka trebao da posluži u dvije glavne svrhe:

- da pomaže strojarima stručnjacima pri studiju i u praksi – đacima, studentima, tehničarima i inženjerima – mnogim brojčanim podacima iz struke, potrebnim pri svakodnevnom radu, i
- da jedinstveno prikaže sve zakonitosti za sve grane strojarstva veličinskim jednadžbama, tj. u prirodnom međusobnom odnosima veličina (što je bio u vrijeme prvog izdanja priručnika prezani i veoma smion zahvat). Stoga je bilo potrebno prijeći na upotrebu koherentnih jedinica.

U vezi s tim priručnik je već u prvom izdanju, g. 1954, upoznao čitatelje sa suvremenim mjerim jedinicama (tada još Giorgijeva sustava jedinica) te objavio i u tim jedinicama preračunane brojčane podatke. Tim jedinicama (sada međunarodnog sustava jedinica SI) posveto je priručnik posebnu pažnju i u ovom izdanju, koje je potpuno usklađeno s jugoslavenskim zakonom u mjerim jedinicama i mjerilima.

Osim toga priručnik je u skladu s najnovijim stanjem standardizacije (JUS, ISO, DIN), a dopunjen je i proširen novim poglavljima.

U novom gradivu valja posebno spomenuti: prošireno i dopunjeno poglavlje o matematici; potpuno novu napisana poglavlja o osnovnim pojmovima s područja regulacije i elektronske obrade podataka; nadopunjeni podaci o plasućnim tvarinama, pregled područja preoblikovanja te korozije i površinske zaštite

Da se s novim gradivom priručnik ne bi povećao preko priručnog opsega, u tom izdanju su izostale tablice o potencijama i korijenima brojeva (što više nije potrebno zbog široke upotrebe računskih računala) kao i posebni dodatak o informatici i računarstvu (jer je u priručnik uključena nova poglavlje s tog područja).

Naročita zahvalnost dugujem nakladi «Springer Verlag» Berlin-Heidelberg-New York, i univ. prof. dr E. Schmidt, što su dopustili upotrebu podataka za tablice vodene pare iz djela «Properties of Water and Steam in SI-Units» (1969)

Zahvaljujem Jugoslavenskom zavodu za standardizaciju u Beogradu i ustanovi «Deutscher Normenausschuß» u Berlinu za pristanak i pomoć pri upotrebi brojčanih podataka iz standarda

Za pomoć pri sastavljanju rukopisa dužan sam zahvaliti u prvom redu dr. Jozetu Puharu za mnoge korisne prijedloge, napose pri lančanom i zupčanom prijenosu te tehnološkim postupcima i dr. Pavlu Muzori-Oblak za neposredno sudjelovanje pri dopunjavanju poglavlja o matematici; univ. prof. Miroslavu Pečorniku za konkretne prijedloge s područja hidromehanike i vlažnog zraka; mr. Dragu Kešinu za pomoć pri proširenju poglavlja o elektrutehnici, dr. Zoranu Karžu za sudjelovanje pri ublikovanju poglavlja o regulaciji, dr. Jozetu Duhovniku za predloge o elektronskoj obradi podataka kao i svima drugima koji su mi pomogli korisnim savjetima i upozorenjima.

Toplo zahvaljujem također Anji Baras, za sudjelovanje pri dugotrajnom sastavljanju rukopisa i pažljivom popravljaju otisaka, i Joži Puhar za uzorno izrađene slike.

Zamisao takvog prikaza gradiva da je zbog boljeg pregleda i veće upotrebljivosti – na jednoj ili dvije susjedne strane sabrano sve što je međusobno tijesno povezano, zahtijevala je mnogo dodatnog rada već pri samom oblikovanju rukopisa, a potom još stalnu i tijesnu suradnju autora sa slagarima.

Tiskara «Ljudske pravice» i njeni radnici strpljivo su ispunjavali mnoge sitne želje autora. Hvala svima!

U Ljubljani, kolovoza 1987

Bojan Kraut

## NAPOMENA PREVODIOCA

Po želji nakladnika i u ovom je izdanju upotrebljena stručna terminologija, uvriježena na Fakultetu za strojarstvo i brodogradnju Sveučilišta u Zagrebu, što je sabrano u Tehničkom rječniku Vlatka Dapca (izd. 1970).

Zbog veoma proširenog gradiva bila mi je potrebna pomoć u terminologiji. Tu su mi pružili: prof. dr. ing. B. Ostopč, mr. Ljovorka Tomasić i dipl. ing. A. Sok na čemu im se najtoplije zahvaljujem.

Jezično je dotjerivanje preuzeo izdavač.

Rijeka, kolovoza 1987

Miroslav Pečornik

SADRŽAJ

PRVI DIO

	Stranica
<b>MATEMATIKA</b>	1
Matematički znakovi	1
Važne vrijednosti ( $\pi$ , $e$ )	2
<b>RAČUNANJE S POTENCIJAMA I KORIJENIMA</b>	3
<b>LOGARITMI</b> – Računanje s logaritmina	4
Dekadski (Briggsovi) logaritmi – Prirodni logaritmi	5
<b>TRIGONOMETRIJSKE FUNKCIJE</b> – Osnovni odnosi	10
Trigonometrijske funkcije dvaju kutova	11
Sinus, kosinus – Tangens, kotangens	12
Izračunavanje stranica i kutova trokuta	16
<b>LIKOVI I TIJELA</b>	18
Površina i opseg likova	18
Površine i volumeni tijela	20
<b>KOMBINATORIKA</b>	22
<b>NIZOVI I REDOVI</b>	22
Aritmetički niz – Geometrijski niz	22
Važniji redovi	23
<b>DETERMINANTE – MATRICE</b>	24
<b>APSOLUTNA I SREDNJA VRIJEDNOST</b>	26
<b>BINOMI</b>	26
<b>ALGEBARSKE JEDNADŽBE</b>	27
Jednadžba $n$ -tog stupnja – Sistem linearnih jednadžbi	27
<b>TRANSCEDENTNE JEDNADŽBE</b>	29
<b>NEJEDNADŽBE</b>	29
<b>ANALITIČKA GEOMETRIJA</b>	30
Pravac – Potencijalne krivulje	30
Čunjosjemenice	31
Cikličke krivulje	32
<b>FUNKCIJE</b> – Elementarne funkcije	33
Eksponencijalna i logaritamska funkcija – Kutne funkcije	34
Ciklometričke i hiperbolne funkcije	35
<b>DERIVACIJA FUNKCIJE</b>	36
Diferencijal funkcije – Derivacije višeg reda	36
Geometrijsko značenje derivacije funkcije – Parsijalna derivacija	37
<b>INTEGRAL</b>	38
Neodređeni integral – Određeni integral	38
Numerička integracija	40
Višestruki integral	41
<b>DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE</b>	42
<b>VEKTORI</b>	43
Zbrajanje i oduzimanje vektora – Množenje vektora	44
Krivulje u prostoru – Skalarna i vektorska polja	46
Derivacija i integracija vektorskih funkcija	47
<b>LAPLACEOVA TRANSFORMACIJA</b>	48
<b>STATISTIKA</b>	49
Statistička vjerojatnost – Statistički prosjek	49
Različita učestalost	50
Regresija i korelacija – Greške mjerenja	52

<b>SUSTAVI MJERNIH JEDINICA</b>	53
Veličinske jednadžbe i koherentne jedinice – Brojčane jednadžbe	53
<b>MEĐUNARODNI SUSTAV JEDINICA SI</b>	54
Osnovne jedinice	55
Izvedene jedinice	56
Decimtalne i nerne jedinice	58
<b>JEDINICE I MJERE VELIČINA</b>	59
Geometrijske veličine – Vremenske veličine	59
Masene veličine – Procentne veličine	60
Veličine za silu – Energetske veličine	64
Toplinske veličine – Molne veličine	66
Veličine zračenja	68
Električne veličine – Svjetlosne veličine	69
<b>STARE JEDINICE I MJERE</b>	71
<b>POSEBNE MJERE</b>	74
Standardni kuhni mjerar	74
Bauméova areometrijska skala – Beaufortova skala	74
<b>TVARI</b>	75
<b>SASTAV TVARI</b>	75
Kemijski elementi – Periodični sistem elemenata	76
Svojstva elemenata	80
<b>KEMIJSKI SPOJEVI</b>	81
Kemijske veze – Kemijske reakcije	82
Hidridi – Oksidi	83
Karbidi – Nitridi – Sulfidi – Fosfidi	85
Kiseline i baze – Vrijednosti pH	87
Soli	89
Organski spojevi – Polimeri	92
<b>PREGLED TVARI</b>	97
<b>MEHANIKA</b>	98
Masa i težina – Gustoća tehničkih materijala	98
Kutovi prirodnog pokosa	100
<b>STATIKA</b>	101
Sila – Statički momenti sile	101
Ravnoteža sila – Nosaci	104
Statika uzeta	106
<b>TEŽIŠTA</b>	106
Težišta linija, likova i tijela	106
<b>TRENJE</b>	109
<b>ČVRSTOĆA</b>	112
Naprezanje – Geometrijske karakteristike presjeka	112
Vlak i tlak – Savijanje – Smak – Torzija	114
Izvijanje	120
Složena opterećenja	122
<b>DINAMIKA</b>	124
Kinematika – Kinetika	124
Moment inercije mase	128
Centrifugalna sila – Sudar	130
Titranje	131

<b>HIDROMEKANIKA</b>	133	<b>STRUJANJE PLINOVA I PARA</b>	201
Viskoznost	133	Istjecanje iz sipnica – Prigušivanje	201
<b>HIDROSTATIKA</b>	133	<b>IZGARANJE</b>	202
Hidrostatski tlak	133	Potreba kisika i zraka – Kolučna dimnih plinova	202
Atmosfersko stanje	135	Ogrijevne moći	203
<b>HIDRODINAMIKA</b>	136	Sustav dimnih plinova – Entalpija dimnih plinova	204
Bernoullijeva jednadžba	136	Temperaturna i entalpijska kontrola izgaranja	205
Pritisak mlaza	137	Grijava	206
Brzina istjecanja – Količna istjecanja	138	<b>PRIJENOS TOPLINE</b>	210
Protok	139	Toplinska vodljivost – Prijelaz topline	210
Zakoni sličnosti strujanja	140	Toplinska svojstva tvari	212
Otpori strujanja u cijevima i armaturama	141	Toplinsko zračenje – Prolaz topline	218
Otpori gibanja u fluidu	142	Tehnološki izmjenjivači topline	221
 		<b>TOPLINSKI UREĐAJI I STROJEVI</b>	222
<b>HIDRAULIČKI STROJEVI</b>	148	Simboli	222
<b>SISALJKE (PUMPE)</b>	148	<b>PARNI KOTLOVI</b>	223
Dobavna visina – Dopuštena usisna visina – Snaga	148	Ložišta – Izmjenjivač topline	223
Stapne sisaljke – Turbopumpe – Ventilatori	150	Kapacitet (snaga) parnog kotla – Korisnost	225
<b>VODNE TURBINE</b>	154	Napojne pumpe	226
Vodna snaga – Korisni pad	154	<b>RADNA SPOSOBNOST PARE</b>	227
Snaga turbina – Brzotodnost turbina	155	Efikasnost pare – Raspoloživi pad entalpije	227
<b>TOPLINA</b>	157	<b>PARNI STROJEVI</b>	228
Specifična toplinski kapacitet	157	Snaga parnih strojeva	228
Entalpija	157	Stapni parni strojevi – Parne turbine	229
Temperaturna rasteljivost (dilatacija)	157	<b>KONDENZACIJA</b>	232
<b>OSNOVNI ZAKONI TERMODINAMIKE</b>	160	<b>PARNA POSTROJENJA</b>	233
Prvi glavni zakon termodinamike	160	Kondenzacijska parna postrojenja	233
Drugi glavni zakon termodinamike	160	Regenerativno grijanje napojne vode	236
Promjena stanja tvari – Kružni procesi	161	Međupregrijavanje	237
<b>IDEALNI PLINOVI</b>	162	Toplane	237
Toplinska svojstva plinova	163	<b>MOTORI S UNUTRAŠNIM IZGARANJEM</b>	239
Povratne promjene stanja plinova	165	Sistemi Otto i Diesel	239
Prigušivanje	166	4-taktni i 2-taktni motor – Indikatorski dijagram	239
Smjese idealnih plinova – Miješanje plinova	167	Ekonomičnost motora s unutarnjim izgaranjem	241
<b>PARA</b>	168	<b>KOMPRESORI</b>	243
Zasićena para – Pregrijana para	168	Promjene stanja plina	243
Zrak (toplinska svojstva)	169	Višestepena kompresija	244
Mollierov $h, s$ – dijagrami za vodenu paru	171	Stapni kompresori – Turbokompresori	245
Zasićena vodena para (tablice)	172	<b>PLINSKE TURBINE</b>	247
Voda i pregrijana vodena para (tablice)	175	Mlazni motori	249
Zasićena para rashladnih tvari	188	<b>TOPLINSKE PUMPE</b>	250
Promjene stanja pare	192	Kompresijske toplinske pumpe	250
<b>SMJESE PLINOVA I PARA</b>	193	Apsorpcijske toplinske pumpe	251
Smjesa zraka i vodene pare (vlažni zrak)	193	Rashladne smjese	252
Suhi i zasićeni vlažni zrak (tablica)	194	<b>KLIMATIZACIJA I SUŠENJE</b>	253
Vlažni zrak (tablica)	195	Klimatizacija	253
Mollierov $h, x$ – dijagrami za vlažni zrak	198	Sušenje	254
Promjene stanja vlažnog zraka	199		

<b>ELEKTROTEHNIKA</b>	255
Simboli	255
<b>ISTOSMJERNA STRUJA</b>	256
Ohmov zakon – Kirchhoffovi zakoni	256
<b>MAGNETSKO I ELEKTRIČNO POLJE</b>	262
Magnetski polje – Gustoća magnetskog polja	262
Induktivitet – Električno polje	263
Kapacitet	265
Vodiv električne struje u magnetskom polju	265
<b>IZMJEŃIČNA STRUJA</b>	266
Otpor za izmjeničnu struju	266
Jednofazni sistem – Trofazni sistem	267
Transformacija izmjenične struje	267
<b>ELEKTRIČNO GRIJANJE</b>	268
<b>ELEKTRIČNA RASVJETA</b>	270
<b>ELEKTROMOTORI</b>	271
Motori istosmjernje struje – Motori izmjenične struje	271
Snaga elektromotora – Izbor elektromotora	273
<b>ELEKTRIČNI VODOVI NISKOG NAPONA</b>	274
Pad napona	274
Zaštita vodova	275
Zaštitne mjere u niskomaponskim postrojenjima	275
<b>ELEKTRIČNA OPREMA MOTORNIH VOZILA</b>	277
<b>ELEKTRONIKA</b>	280
Električni ventili	280
Dioda – Ispravljači	281
Tranzistori – Osnovni tranzistorski spojevi	284
<b>MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA</b>	286
<b>AKUSTIKA I OPTIKA</b>	288
Svjetlost	288
Zvuk	289
<b>UPRAVLJANJE – REGULACIJA – AUTOMATIZACIJA</b>	291
<b>REGULACIJSKI ČLANOVI</b>	291
Vremenski odziv	292
Zamjećivanje veličina	295
Regulacijska petlja	296
Regulacijski uređaj	297
Regulatori	298
<b>ELEKTRONIČKA OBRADA PODATAKA</b>	301
Princip analogne tehnike	302
Princip digitalne tehnike	303
Kodiranje digitalnih podataka	304
Spremanje podataka	306
Arhivarna oprema	307
Programska oprema	308
Programski jezici	311
Procesni računari – Pomak računara	312

<b>ISPITIVANJE MATERIJALA</b>	313
Dijagram	317
<b>MEHANIČKO ISPITIVANJE METALA</b>	314
Vlačno ispitivanje	314
Pokus savijanja – Tlačno ispitivanje	317
Ispitivanje žica torzijom – Ispitivanje žica vremenom pregibanjem	318
Ispitivanje sposobnosti za izvlačenje	318
Ispitivanje udarom po Charpyju	319
<b>ISPITIVANJE TRAJNE ČVRSTOĆE</b>	320
Ispitivanje trajne statičke i dinamičke čvrstoće	320
<b>ISPITIVANJE TVRDOĆE</b>	322
Ispitivanje tvrdoće po Brinellu	322
Ispitivanje tvrdoće po Vickersu	326
Ispitivanje tvrdoće po Rockwellu	330
Ispitivanje tvrdoće plastičnih tvari	334
<b>ISPITIVANJE BEZ OŠTEĆIVANJA MATERIJALA</b>	336
Magnetsko ispitivanje – Ispitivanje ultrazvukom	336
Ispitivanje rendgenskim zrakama – Ispitivanje γ-zrakama	337
<b>ISPITIVANJE SASTAVA MATERIJALA</b>	338
Kemijska analiza – Ispitivanje isključenjem	338
Metalografski pregledi	340
<b>KOVINSKI MATERIJALI</b>	341
Kristalna struktura kovina	341
Slitine	342
<b>ŽELJEZO I NJEGOVE SLITINE</b>	343
Čisto željezo – Tehničko željezo	343
Sistem željezo-ugljik	344
Utjecaj brzine uhladjivanja austenita na strukturu čelika	345
Utjecaj elemenata na strukturu čelika	346
<b>TOPLINSKA OBRADA ČELIKA</b>	348
Zarenje čelika – Kaljenje čelika	348
<b>LIJEVANO ŽELJEZO</b>	354
Sivi lijev – Tvrdi lijev – Temperovani lijev	354
<b>VRSTE ČELIKA</b>	357
Razdijela čelika – Označivanje vrsta čelika po JUS	357
<b>KONSTRUKCIJSKI ČELICI</b>	360
Opći konstrukcijski čelici	362
Sitnozrnati konstrukcijski čelici	364
Čelici za cementiranje, poboljšanje, nitritiranje	364
Magnetski lim – Čelici za automobile – Čelici za opruge	369
Hladno valjani čelični lim – Valjana čelična žica	372
Čelik za valjane cijevi – Čelik za kotlovan lim	374
Čelici otporni na kemijske utjecaje	376
Čelici za ventile – Vaprosatni čelici	377
Čelici postojani pri višim temperaturama – Čelici otporni prema habanju	378
<b>ALATNI ČELICI</b>	379
Ugljični alatni čelici	379
Legirani alatni čelici za vruću i hladnu obradu	380
Brzovremni čelici	383

<b>ČELIČNI LIJEV</b>	384
Ugrišeni čelični lijev	384
Legirani čelični lijev za poboljšanje	384
Kemijski odporan čelični lijev	385
Čelični lijev otporan prema habanju	385
<b>OZNAKE ČELIKA</b>	386
Oznake čelika prema standardima JUS I DIN	386
Oznake domaćih i stranih alatnih čelika	389
<b>TVRDI METALI</b>	390
Ljevani tvrdi metali – Sintetizirani tvrdi metali	390
<b>LAKE KOVINE</b>	392
Aluminij – Aluminijske slitine – Magnezijske slitine	392
<b>BAKAR I BAKRENE SLITINE</b>	400
Bakar – Bakrene slitine za gnječenje i ljevanje	400
<b>NIKAL I NIKELNE SLITINE</b>	408
Čisti nikal – Niklene slitine za ljevanje i gnječenje	408
<b>CINK I CINCANE SLITINE</b>	411
Čisti cink – Cincane slitine za ljevanje	411
<b>OLOVO I OLOVNE TE KOSITRENE SLITINE</b>	412
Čisto olovo – Slitine olova s kositom i antimonom	412
Kositrene i olovne slitine za ležaje	413
<b>LEMOVI</b>	414
Tvrdi lemovi – Meki lemovi – Srebrni lemovi	414
Aluminijski lemovi	415
<b>POSEBNE SLITINE ZA ELEKTROTEHNIKU</b>	416
<b>TITANI I TITANOVE SLITINE</b>	417
<b>OBlici KOVINSKIH POLUPROIZVODA</b>	418
<b>ODLJEVCI OD SIVOG LIJEVA</b>	418
Cijevi s kolčakom – Cijevi s prirubnicom – Fazuški cijevni komadi	418
<b>ČELIČNI POLUPROIZVODI</b>	422
Čelik u šipkama – Plosnati čelik	422
Čelični kutni profili – Čelični profili – Željezničke tračnice	426
Čelični limovi – Čelične bešavne cijevi	433
Čelična žica – Čelična užad – Čelični lanci	442
<b>ALUMINIJSKI POLUPROIZVODI</b>	451
Aluminijske šipke i žice	451
Aluminijski profili	456
Toplo valjana lim i ceevi	458
<b>POLUPROIZVODI OD BAKRA I BAKRENIH SLITINA</b>	462
Bakrene šipke, lim, žica i užad	462
Cijevi od bakra i bakrenih slitina	464
<b>POLUPROIZVODI OD NIKELI, CINKA I OLOVA</b>	468
<b>NEKOVINSKI MATERIJALI</b>	496
<b>ANORGANSKI NEKOVINSKI MATERIJALI</b>	469
Staklo – Beton – Keramički materijali	469
<b>DRVO</b>	472
<b>PLASTI</b>	473
Mehanička starija plastika	475
Termoplasti – Elastu – Duroplasti	476
Posebni proizvodi od plastika	482

<b>ELEMENTI STROJEVA</b>	483
Standardni brzojevi – Standardne dužinske mjere	483
<b>DOŠJEDANJE STROJNIH DIJELOVA</b>	486
Tolerancije mjera – Tolerancije mjerni	486
Dojedi (nabieganja)	494
<b>POVRŠINSKA HRPAVOST</b>	500
<b>NAVOJI</b>	504
Metarski navoji s trokutnim profilom ISO	504
Tolerancije metarskih navoja (ISO) – Navojni dojedi	510
Cijevni navoji	514
Trapezni navoji – Pilasti navoji	520
Obli navoji – Navoji za hričke – Edissonova navoji	528
Navoji za oklopne cijevi – Navoji sarkozni i vijaka	531
<b>DOPUŠTENA NAPREZANJA</b>	532
Dopuštena naprežanja najvažnijih kovinskih materijala	533
Dopuštena naprežanja za čelične konstrukcije	536
Utjecaj oblika predmeta	537
Utjecaj trajanja opterećenja	537
Utjecaj prirubnjakljivog opterećenja	539
<b>NERASTAVLJIVI SPOJEVI</b>	543
Zakovni spojevi – Zavar	543
Lemljeni spojevi – Lijepljeni spojevi	546
Sterni spojevi	547
<b>RASTAVLJIVI SPOJEVI</b>	548
Spojevi klinovima – Utorni spojevi	548
Spojevi svornjacima i zaticima – Vijčani spojevi	549
<b>STROJNI DIJELOVI ZA PRIENOS KRUŽNIH GIBANJA</b>	553
Osovine	553
Remenska prijenos – Lancani prijenos	553
Zupčani prijenos	560
Proračun čvrstoće čelnika	568
Parovi stožnika	571
Parovi hiperboloidnih zupčanika	573
Čilindrički pužni prijenos	574
<b>LEŽAJI</b>	576
Klizni ležaji	576
Valjni ležaji	577
Kuglični ležaji – Valjkasti ležaji	577
Bačvasti ležaji – Stožasti ležaji	586
Aksijalni kuglični ležaji – Aksijalni bačvasti ležaji	591
Nusvest valjnih ležaja	597
<b>MAZIVA</b>	601
Ležajna, vretenasta, ustvinska i cirkulacijska ulja	603
Ulja za visoki tlak, zupčanike i zupčane prijenos	604
Hidrauličko, kompresorsko, turbinsko cilindarsko ulje	605
Motorsko ulje	606
Vazelinsko, senlacijsko ulje i ulje za obradu	607
Masti za mazanje	608
Izbor maziva	609

TEHNOLOGIJA	611
LJEVANJE	613
Modeli	613
Kalupi	614
PLASTIČNA OBRADA	616
Kovanje – Valjanje	618
Utiskivanje – Vučenje – Savijanje – Otkretivanje	619
Oblikovanje plastike	620
ZAVARIVANJE	621
Zavarivanje pritiskom	621
Zavarivanje taljenjem	622
Aluminotermijsko zavarivanje – Otporno zavarivanje	623
Zavarivanje plamenom	624
Rezanje kovina plamenom	625
Elektrolučno zavarivanje	626
Zavarivanje plastike	631
LEMLJENJE	631
LEMLJENJE KOVINA	631
OBRADA KOVINA ODVAJANJEM ČESTICA	632
Osnovni Geometrijski oblik oštice	632
Tokarenje	634
Blanjanje i dubljenje	637
Pišenje kovina – Glodanje	640
Brušenje	644
Posebne obrade	647
Postojanost alata	648
Optimalna brzina rezanja	649
Sredstva gnijezda	650
Četverobridni alat	651
Konični dršci za alat	652
MJERENJE KUTOVA I KONUSA	654
KOROZIJA I POVRŠINSKA ZAŠTITA	656
Korozija	656
Površinska zaštita	657
<b>RAZNO</b>	658
TEHNIČKO PISMO	658
Uspravni i nagnut tisak	658
Normalni formati papira – Mjerila	659
Grčka slova – Rimski brojevi	659
TOVARNE MJERE ŽELJEZNIČKIH VOZILA	660
JUGOSLAVENSKI STANDARDI – JUS	661
IZGOVARANJE STRANIH IMENA	664
IZVORI BROJČANIH PODATAKA	665
<b>KAZALO</b>	667

## UPUTE za upotrebu priručnika

### 1. Pisanje razlomaka s kosom razlomkom crtom

Zbog skućenog prostora i radi pojednostavnjenja tiskarskog sloga, razlomci su pisani kosom razlomkovom crtom. Pri tome se smatra da se značenje razlomkove crte proteže do prvog znaka plus, minus ili puta:

$$ab/cd = ab/(cd) = (ab)/(cd) :: \frac{ab}{cd} \quad ab/c \cdot d = (ab/c) \cdot d = \frac{ab}{c} \cdot d$$

$$(a + b)/(c - d) = \frac{a + b}{c - d} \quad a + b/c \cdot d = a + \frac{b}{c} \cdot d$$

### 2. Označivanje vektora

Vektori su u ovom priručniku označeni

u tekstu — debljim tiskom simbola (**a**)

u slikama — oznakom površ simbola ( $\vec{a}$ )

jer bi u tekstu označivanje površ simbola povećalo grafičke teškoće, dok bi u slikama bilo teško izvedivo razlikovanje između običnog i deblje tiskanog simbola.

### 3. Označivanje lučne mjere

Da u proračunavanju prema jednadžbama ne bi došlo do zamjene između mjere za kut (°) i lučne mjere (rad), simboli su označeni

za kut (geometrijski)  $\alpha$

za lučnu mjeru (analički kut)  $\tilde{\alpha}$

Osim toga je u svim jednadžbama, gdje se pojavljuje lučna mjera, dodano još upozorenje:  $\tilde{\alpha}$  (rad).

### 4. Računanje s veličinskim jednadžbama

U ovom su priručniku u načelu upotrijebljene samo veličinske jednadžbe (vidi str. 53). Pri računanju s veličinskim jednadžbama moraju biti količine svih veličina izražene u koherentnim jedinicama.

Sve SI jedinice su međusobno koherentne. Stoga je pri računanju s veličinskim jednadžbama rezultat uvijek pravilan ako se sve mjeri u jedinicama SI.

Za pregledne, jednostavne veličinske jednadžbe mogu se upotrijebiti i druge koherentne jedinice, ako su prikladnije.

Pri kompliciranim veličinskim jednadžbama izbjegavaju se moguće pogreške isključivom upotrebom jedinica SI. Količinske vrijednosti veličina, zadanih u bilo kojim drugim mjerama, valja stoga ponajprije pretvoriti u jedinice SI.

Pri proračunavanju veličine brojčanim jednadžbama (vidi str. 53) moraju biti zadani za svaku veličinu i podaci o njenoj mjeri.



## Matematički znakovi

=	jednako	a	apsolutna vrijednost
≡	istovjetno, identično	$a^m$	$a$ na (potenciju) $m$
≠	nije jednako	$\sqrt{\quad}$	kvadratni korijen
≈	približno jednako	$\sqrt[n]{\quad}$	$n$ -ti korijen
∥	slučno	log <sub>a</sub>	logaritam za bazu $b$
≡	sukladno, kongruentno	lg	dekadski logaritam
⊥	okomito	ln	prirodni logaritam
∥	usporedno, paralelno	arc	arkus
*	paralelno i jednako	sin	sinus
<	manje od	cos	kosinus
>	veće od	tan	tangens
≤	manje ili jednako	cot	kotangens
≥	veće ili jednako	:	faktorijela
∞	beskonačno	$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$	$a$ povrh $b$
const	konstantno	i	imaginarna jedinica ( $i^2 = -1$ )
∠	kut	lim	limes
∩	luk	→	teži k
+	plus zbrajanje	f(x)	funkcija
-	minus - oduzimanje	Δ	razlika
·	puta - množenje	d	diferencijal
∴	dijeljenje	$y' = \frac{dy}{dx}$	prva derivacija
/	razlomkova crta	$y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$	druga derivacija
/	kosa razlomkova crta	$\frac{\partial}{\partial a}$	parcijalna derivacija
( )	okrugla	$\sum$	suma, zbroj
[ ]	uglata - zagrada	∫	integral
{ }	viticaasta	$\vec{a}, \vec{b}$	oznake vektora*
...	od - do		
... (	od - do isključivo		
%	postotak, procent		
‰	promil		
ppm	dijelovi na milijun (partes pro milione)		

\* U ovom su priručniku vektori označeni  $\vec{a}$  u dikamu,  $\vec{e}$  - u tekstu (iz tiskarskih razloga)

Primeri<sup>1</sup>a) Brzina  $v = s/t$ 

$$\text{Za: } s = 24 \text{ km} = 24000 \text{ m} \\ t = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h} = 1200 \text{ s}$$

$$\text{je } v = \frac{24000}{1200} = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{ili } v = \frac{24 \text{ km}}{0,333 \text{ h}} = 72 \text{ km/h} \quad (= 20 \text{ m/s})$$

b) Čvrstoća  $R_m = F_m/S_0$ 

$$\text{Za: } F_m = 7,5 \text{ kN} = 7500 \text{ N} \\ S_0 = 20 \text{ mm}^2 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{je } R_m = \frac{7500}{20 \cdot 10^{-6}} = 375 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \quad (= 375 \text{ MPa})$$

$$\text{ili } R_m = \frac{7500 \text{ N}}{20 \text{ mm}^2} = 375 \text{ N/mm}^2 \quad (= 375 \text{ MPa})$$

c) Brzina istjecanja  $v_0 = \sqrt{2(gh + \Delta p/\rho)}$ 

$$\text{Za: } g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ m/s}^2 \\ h = 510 \text{ cm} = 5,1 \text{ m} \\ \Delta p = 2,5 \text{ bar} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ \rho = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{je } v_0 = \sqrt{2(9,81 \cdot 5,1 + 2,5 \cdot 10^5/1000)} = 24,5 \text{ m/s}$$

d) Toplinski tok  $\Phi = k(T_1 - T_2)A$ 

$$\text{Za: } k = 100 \text{ W/m}^2 \text{ K} = 100 \text{ W/m}^2 \text{ K} \\ t_1 = 70^\circ \text{C} \quad T_1 - T_2 = 50 \text{ K} \\ t_2 = 20^\circ \text{C} \\ A = 200 \text{ dm}^2 = 2 \text{ m}^2$$

$$\text{je } \Phi = 100 \cdot 50 \cdot 2 = 10000 \text{ W} \quad (= 10 \text{ kW})$$

e) Prandtllov broj  $Pr = \rho c v/\lambda$ 

$$\text{Za: } \rho = 0,871 \text{ kg/dm}^3 = 871 \text{ kg/m}^3 \\ c = 1,850 \text{ kJ/kg K} = 1850 \text{ J/kg K} \\ v = 15,0 \text{ mm}^2/\text{s} = 15,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \lambda = 0,144 \text{ W/m K} = 0,144 \text{ W/m K}$$

$$\text{je } Pr = \frac{871 \cdot 1850 \cdot 15,0 \cdot 10^{-6}}{0,144} = 167,8 \quad (-)$$

<sup>1</sup> Podjaci iznesno od vertikalne crte su dani u jedinicama SI. - Pri proračunavanju veličinskih jednakosti jedinicama SI nije potrebna dimenzijska kontrola

$\in$ je element skupa	$(a \in A: a \text{ je element skupa } A)$
$\notin$ nije element skupa	$(b \notin A: b \text{ nije element skupa } A)$
$\subset$ sadržan u skupu	$(A \subset B: \text{skup } A \text{ sadržan je u skupu } B)$
$\cup$ unija skupova	$(A \cup B: \text{unija skupova } A \text{ i } B \text{ sadrži sve elemente, koji su u skupovima } A \text{ ili } B)$
$\cap$ presjek skupova	$(A \cap B: \text{presjek skupova } A \text{ i } B \text{ sadrži sve one elemente, koji su ujedno u skupovima } A \text{ i } B)$

\*

$\nabla$ nabra (Hamiltonov operator deriviranja)	$\Delta$ Laplaceov operator
--	-----------------------------

\*

<b>N</b> prirodni brojevi	<b>N</b> = {1, 2, 3, ...}
<b>Z</b> cijeli brojevi	<b>Z</b> = {0, 1, -1, 2, -2, ...}
<b>R</b> realni brojevi (racionalna i iracionalni brojevi)	
<b>Q</b> racionalni brojevi (razlomci)	<b>Q</b> = $\frac{m}{n}$ ; $m, n \in \mathbf{Z}; n \neq 0$

Iracionalni su svi realni brojevi koji nisu racionalni (mogu se prikazati kao neproizvodni beskonačni decimalni razlomci), npr.  $\sqrt{2}$ ,  $\pi$ ,  $e$

<b>C</b> kompleksni brojevi	<b>C</b> = $a + bi$
$i$ - imaginarna jedinica ( $i^2 = -1$ )	$a$ - realna komponenta $b$ - imaginarna komponenta } $a, b \in \mathbf{R}$

**Važne vrijednosti**

Iudolfov broj: $\pi = 3,141592 (6535 \dots)$ ( $\pi \approx 22/7, \pi \approx 355/113$ )			
$2\pi = 6,283185 \dots$	$\pi^2 = 9,869604 \dots$	$2/\pi = 0,636620 \dots$	
$3\pi = 9,424778 \dots$	$\sqrt{\pi} = 1,772454 \dots$	$3/\pi = 0,954930 \dots$	
$4\pi = 12,566371 \dots$	$\sqrt{2}\pi = 2,506628 \dots$	$4/\pi = 1,273240 \dots$	
$\pi/2 = 1,570796 \dots$	$1/\pi = 0,318310 \dots$	$6/\pi = 1,909859 \dots$	
$\pi/3 = 1,047197 \dots$	$1/3\pi = 0,106103 \dots$	$1/\pi^2 = 0,101321 \dots$	
$\pi/4 = 0,785398 \dots$	$1/4\pi = 0,079577 \dots$	$\sqrt{1/\pi} = 0,562190 \dots$	
$\pi/6 = 0,523599 \dots$	$1/6\pi = 0,026179 \dots$	$\sqrt{1/2\pi} = 0,398942 \dots$	
$\ln \pi = 1,144730 \dots$	$\lg \pi = 0,497149 \dots$		

\*

Eulerov broj: $e = 2,718282 \dots$ (Osnova prirodnih logaritama)		
$e^2 = 7,389056 \dots$	$\sqrt{e} = 1,648721 \dots$	$1/e^2 = 0,135335 \dots$
$\sqrt{e} = 1,648721 \dots$	$1/e = 0,367879 \dots$	$\sqrt{1/e} = 0,606531 \dots$
	$\lg e = 0,434294 \dots$	

**Potencije**

$a^n = a \cdot a \cdot a \dots$  ( $n$ -puta)  
 $a$  - osnova, baza  
 $n$  - eksponent

$a^0 = 1 \quad a \neq 0$

$a = a^1$

$\lim_{n \rightarrow \infty} a^n = 0$  za  $0 < a < 1$   
 $\lim_{n \rightarrow \infty} a^n = \infty$  za  $a > 1$

Taki eksponenti ( $a > 0$ )

$(\pm a)^n = \pm a^n$

Lihi eksponenti ( $a > 0$ )

$(+a)^{2n+1} = +a^{2n+1}$

$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$

$a^{mn} = (a^m)^n = (a^n)^m$

$a^m a^n = a^{m+n}$

$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$

$a^n b^n = (ab)^n$

$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$

**Korijeni**

$\sqrt[n]{a} = a^{1/n}$

$a$  - radikand

$n$  - korijenski eksponent

$\sqrt[n]{a} = a$

$\sqrt[n]{\pm a} = \pm \sqrt[n]{a}$

$\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n} = \sqrt[n]{a^m}$

$\sqrt[n]{\pm a} = \pm \sqrt[n]{a}$

\*

$a^{-1/n} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}}$

$a^{m/n} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$

$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = (a^{1/n})^{1/m} = a^{1/(nm)} = \sqrt[nm]{a}$

$\sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$

$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$

\*

$0^0 = 0$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$

$\sqrt[n]{0} = 0$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^d} = 0$

Neodređeni izrazi:  $1^0, 0^0, \infty^0, 0/\infty, \infty/\infty, 0 \cdot \infty, \infty - \infty$

## LOGARITMI

Logaritmiranje je računska operacija, pri kojoj tražimo eksponent  $b$  iz poznate potencije  $c$  i baze  $a$

$$a^b = c$$

Broj  $b$  je logaritam broja  $c$  za bazu  $a$

$$b = \log_a c$$

(gdje su  $a$  i  $c$  pozitivni brojevi).

Za bilo koju bazu  $a > 0$ ,  $a \neq 1$  vrijedi:

$$\log_a a = 1$$

$$\log_a 1 = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \log_a x = -\infty \quad \text{za} \quad a > 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \log_a x = +\infty \quad \text{za} \quad 0 < a < 1$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \log_a x = +\infty \quad \text{za} \quad a > 1$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \log_a x = -\infty \quad \text{za} \quad 0 < a < 1$$

### Računanje s logaritmima

$$\log_a (uv) = \log_a u + \log_a v$$

$$\log_a \frac{u}{v} = \log_a u - \log_a v$$

$$\log_a u^v = v \log_a u$$

$$\log_a \sqrt[v]{u} = \frac{1}{v} \log_a u$$

Primjer

$$\log \frac{2a^3 \sqrt{b}}{3c^2 d} = \log(2a^3 \sqrt{b}) - \log(3c^2 d)$$

$$= \log 2 + 3 \log a + \frac{1}{2} \log b - \log 3 - 2 \log c - \log d$$

\*

Pretvaranje logaritama

$$\log_a u = M \log_b u \quad (M \text{ je modul pretvarbe)}$$

U upotrebi su dekadski (Briggsovi) logaritmi s bazom  $a = 10$  i prirodni logaritmi s bazom  $a = e$  ( $e = 2,718282\dots$ )

## Dekadski (Briggsovi) logaritmi

imaju bazu  $a = 10$

Označujemo ih

$$\log_{10} u = \lg u$$

npr.

$$\lg 10 = 1 \quad \lg 10^n = n$$

Svaki se dekadski logaritam sastoji od:

a) **karakteristike** (cijelog broja u logaritmu), tj. potencije broja 10, koja odgovara mjesnoj vrijednosti prve brojke u danom broju  $u$ ;

b) **mantise** (decimale u logaritmu), koju za redoslijed brojaka u danom broju  $u$  potražimo u tablicama na str. 6 i 7

Primjer

$u$	Karakteristika	Mantisa	$\lg u$
642	$\lg 10^2 = 2$	.8075	2,8075
64,2	$\lg 10^1 = 1$	(iz tablica)	1,8075
6,42	$\lg 10^0 = 0$	za redoslijed	0,8075
0,642	$\lg 10^{-1} = -1$	brojaka 642†	0,8075 - 1
0,0642	$\lg 10^{-2} = -2$		0,8075 - 2

### Prirodni logaritmi

imaju bazu  $a = e = 2,718282\dots$

Označujemo ih

$$\log_e u = \ln u$$

npr.

$$\ln e = 1 \quad \ln e^x = x$$

\*

Odnos dekadskih i prirodnih logaritama

$$\lg u = 0,4343 \ln u \quad \ln u = 2,3026 \lg u$$

Izračunavanje prirodnih logaritama iz dekadskih

$$\ln 6,42 = 2,3026 \lg 6,42 = 2,3026 \cdot 0,8075 = 1,8593$$

\*

Prirodni logaritmi brojeva od 100 do 999 sabrani su u tablicama na str. 8 i 9. Za sve se druge brojeve izračunavaju pomoću

$$\ln 10 = 2,3026 \text{ i } \ln 10^k = 2,3026 k$$

npr.

$$\ln 642 = 6,4646 \text{ (iz tablica)}$$

$$\ln 6,42 = \ln(642/100) = \ln 642 - \ln 10^2 = 6,4646 - 2 \cdot 2,3026 = 1,8594$$

## Mantise dekadskih logaritama 100 ... 549

$\mu$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2551	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2855	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3693	3712	3731	3750	3769	3788
24	3807	3825	3844	3863	3882	3900	3919	3937	3956	3974
25	3993	4011	4029	4047	4065	4083	4101	4119	4137	4155
26	4173	4191	4209	4227	4245	4263	4281	4298	4316	4334
27	4352	4370	4388	4406	4424	4441	4459	4477	4495	4513
28	4531	4549	4567	4585	4603	4621	4639	4657	4675	4693
29	4711	4729	4747	4765	4783	4801	4819	4837	4855	4873
30	4891	4909	4927	4945	4963	4981	4999	5017	5035	5053
31	5071	5089	5107	5125	5143	5161	5179	5197	5215	5233
32	5251	5269	5287	5305	5323	5341	5359	5377	5395	5413
33	5431	5449	5467	5485	5503	5521	5539	5557	5575	5593
34	5611	5629	5647	5665	5683	5701	5719	5737	5755	5773
35	5791	5809	5827	5845	5863	5881	5899	5917	5935	5953
36	5971	5989	6007	6025	6043	6061	6079	6097	6115	6133
37	6151	6169	6187	6205	6223	6241	6259	6277	6295	6313
38	6331	6349	6367	6385	6403	6421	6439	6457	6475	6493
39	6511	6529	6547	6565	6583	6601	6619	6637	6655	6673
40	6691	6709	6727	6745	6763	6781	6799	6817	6835	6853
41	6871	6889	6907	6925	6943	6961	6979	6997	7015	7033
42	7051	7069	7087	7105	7123	7141	7159	7177	7195	7213
43	7231	7249	7267	7285	7303	7321	7339	7357	7375	7393
44	7411	7429	7447	7465	7483	7501	7519	7537	7555	7573
45	7591	7609	7627	7645	7663	7681	7699	7717	7735	7753
46	7771	7789	7807	7825	7843	7861	7879	7897	7915	7933
47	7951	7969	7987	8005	8023	8041	8059	8077	8095	8113
48	8131	8149	8167	8185	8203	8221	8239	8257	8275	8293
49	8311	8329	8347	8365	8383	8401	8419	8437	8455	8473
50	8491	8509	8527	8545	8563	8581	8599	8617	8635	8653
51	8671	8689	8707	8725	8743	8761	8779	8797	8815	8833
52	8851	8869	8887	8905	8923	8941	8959	8977	8995	9013
53	9031	9049	9067	9085	9103	9121	9139	9157	9175	9193
54	9211	9229	9247	9265	9283	9301	9319	9337	9355	9373

## Mantise dekadskih logaritama 550 ... 999

$\mu$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7417	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7724	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7804	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8634	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9139	9144	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9514	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996

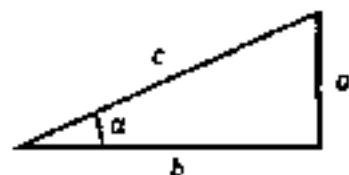
Prirodni logaritmi brojeva od 100 do 549

<i>n</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4,6057	4,6151	4,6250	4,6347	4,6444	4,6540	4,6634	4,6729	4,6821	4,6913
11	4,7005	4,7095	4,7185	4,7274	4,7362	4,7449	4,7536	4,7622	4,7707	4,7791
12	4,7875	4,7958	4,8040	4,8122	4,8203	4,8283	4,8361	4,8442	4,8520	4,8598
13	4,8675	4,8752	4,8829	4,8903	4,8978	4,9051	4,9127	4,9200	4,9273	4,9345
14	4,9416	4,9488	4,9558	4,9628	4,9698	4,9767	4,9836	4,9904	4,9972	5,0039
15	5,0106	5,0173	5,0239	5,0304	5,0370	5,0434	5,0499	5,0562	5,0626	5,0689
16	5,0752	5,0814	5,0876	5,0938	5,0999	5,1059	5,1120	5,1180	5,1240	5,1299
17	5,1358	5,1417	5,1475	5,1533	5,1591	5,1648	5,1705	5,1761	5,1818	5,1874
18	5,1930	5,1985	5,2040	5,2095	5,2149	5,2204	5,2257	5,2311	5,2364	5,2417
19	5,2470	5,2523	5,2575	5,2627	5,2679	5,2730	5,2781	5,2832	5,2881	5,2933
20	5,2983	5,3034	5,3083	5,3132	5,3181	5,3230	5,3279	5,3327	5,3375	5,3423
21	5,3471	5,3519	5,3566	5,3613	5,3660	5,3706	5,3753	5,3799	5,3845	5,3891
22	5,3936	5,3982	5,4027	5,4072	5,4116	5,4161	5,4205	5,4250	5,4293	5,4337
23	5,4381	5,4424	5,4467	5,4510	5,4553	5,4596	5,4638	5,4681	5,4723	5,4765
24	5,4806	5,4848	5,4889	5,4931	5,4972	5,5013	5,5053	5,5094	5,5134	5,5175
25	5,5215	5,5255	5,5294	5,5334	5,5373	5,5413	5,5452	5,5491	5,5530	5,5568
26	5,5607	5,5645	5,5683	5,5722	5,5759	5,5797	5,5835	5,5872	5,5910	5,5947
27	5,5984	5,6021	5,6058	5,6095	5,6131	5,6168	5,6204	5,6240	5,6276	5,6312
28	5,6348	5,6384	5,6419	5,6454	5,6490	5,6525	5,6560	5,6595	5,6630	5,6664
29	5,6699	5,6733	5,6768	5,6802	5,6836	5,6870	5,6904	5,6937	5,6971	5,7004
30	5,7038	5,7071	5,7104	5,7137	5,7170	5,7203	5,7236	5,7268	5,7301	5,7333
31	5,7366	5,7398	5,7430	5,7462	5,7494	5,7526	5,7557	5,7589	5,7621	5,7652
32	5,7683	5,7714	5,7746	5,7777	5,7807	5,7838	5,7869	5,7900	5,7930	5,7961
33	5,7991	5,8021	5,8052	5,8081	5,8111	5,8141	5,8171	5,8201	5,8230	5,8260
34	5,8289	5,8319	5,8348	5,8377	5,8406	5,8435	5,8464	5,8493	5,8522	5,8551
35	5,8579	5,8608	5,8636	5,8665	5,8693	5,8721	5,8749	5,8777	5,8805	5,8833
36	5,8861	5,8889	5,8916	5,8944	5,8972	5,8999	5,9026	5,9054	5,9081	5,9108
37	5,9135	5,9162	5,9189	5,9216	5,9243	5,9269	5,9296	5,9322	5,9349	5,9375
38	5,9402	5,9428	5,9454	5,9480	5,9506	5,9532	5,9558	5,9584	5,9610	5,9636
39	5,9661	5,9687	5,9713	5,9738	5,9764	5,9789	5,9814	5,9839	5,9865	5,9890
40	5,9915	5,9940	5,9965	5,9989	6,0014	6,0039	6,0064	6,0088	6,0113	6,0137
41	6,0162	6,0186	6,0210	6,0234	6,0259	6,0283	6,0307	6,0331	6,0355	6,0379
42	6,0403	6,0426	6,0450	6,0474	6,0497	6,0521	6,0544	6,0568	6,0591	6,0615
43	6,0638	6,0661	6,0684	6,0707	6,0730	6,0753	6,0776	6,0799	6,0822	6,0845
44	6,0868	6,0890	6,0913	6,0936	6,0958	6,0981	6,1003	6,1026	6,1048	6,1070
45	6,1092	6,1115	6,1137	6,1159	6,1181	6,1203	6,1225	6,1247	6,1269	6,1291
46	6,1313	6,1334	6,1356	6,1377	6,1399	6,1420	6,1442	6,1463	6,1485	6,1506
47	6,1527	6,1549	6,1570	6,1591	6,1612	6,1633	6,1654	6,1675	6,1696	6,1717
48	6,1738	6,1759	6,1779	6,1800	6,1821	6,1841	6,1862	6,1883	6,1903	6,1924
49	6,1944	6,1964	6,1985	6,2005	6,2025	6,2046	6,2066	6,2086	6,2106	6,2126
50	6,2146	6,2166	6,2186	6,2206	6,2226	6,2246	6,2265	6,2285	6,2305	6,2324
51	6,2344	6,2364	6,2383	6,2403	6,2422	6,2442	6,2461	6,2480	6,2500	6,2519
52	6,2538	6,2558	6,2577	6,2596	6,2615	6,2634	6,2653	6,2672	6,2691	6,2710
53	6,2729	6,2748	6,2766	6,2785	6,2804	6,2823	6,2841	6,2860	6,2879	6,2897
54	6,2916	6,2934	6,2953	6,2971	6,2989	6,3008	6,3026	6,3044	6,3063	6,3081

Prirodni logaritmi brojeva od 550 do 999

<i>n</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	6,3099	6,3117	6,3135	6,3154	6,3172	6,3190	6,3208	6,3226	6,3244	6,3261
56	6,3279	6,3297	6,3315	6,3333	6,3351	6,3368	6,3386	6,3404	6,3421	6,3439
57	6,3456	6,3474	6,3491	6,3509	6,3526	6,3544	6,3561	6,3578	6,3596	6,3613
58	6,3630	6,3648	6,3665	6,3682	6,3699	6,3716	6,3733	6,3750	6,3767	6,3784
59	6,3801	6,3818	6,3835	6,3852	6,3869	6,3886	6,3902	6,3919	6,3936	6,3953
60	6,3969	6,3986	6,4003	6,4019	6,4036	6,4052	6,4069	6,4085	6,4102	6,4118
61	6,4135	6,4151	6,4167	6,4184	6,4200	6,4216	6,4232	6,4249	6,4265	6,4281
62	6,4297	6,4313	6,4329	6,4345	6,4362	6,4378	6,4394	6,4409	6,4425	6,4441
63	6,4457	6,4473	6,4489	6,4505	6,4520	6,4536	6,4552	6,4568	6,4583	6,4599
64	6,4615	6,4630	6,4646	6,4661	6,4677	6,4693	6,4708	6,4723	6,4739	6,4754
65	6,4770	6,4785	6,4800	6,4816	6,4831	6,4846	6,4862	6,4877	6,4892	6,4907
66	6,4922	6,4938	6,4953	6,4968	6,4983	6,4998	6,5013	6,5028	6,5043	6,5058
67	6,5073	6,5088	6,5103	6,5117	6,5132	6,5147	6,5162	6,5177	6,5191	6,5206
68	6,5221	6,5236	6,5250	6,5265	6,5280	6,5294	6,5309	6,5323	6,5338	6,5352
69	6,5367	6,5381	6,5396	6,5410	6,5425	6,5439	6,5453	6,5468	6,5482	6,5497
70	6,5511	6,5525	6,5539	6,5554	6,5568	6,5582	6,5596	6,5610	6,5624	6,5639
71	6,5653	6,5667	6,5681	6,5695	6,5709	6,5723	6,5737	6,5751	6,5765	6,5779
72	6,5793	6,5806	6,5820	6,5834	6,5848	6,5862	6,5876	6,5889	6,5903	6,5917
73	6,5930	6,5944	6,5958	6,5971	6,5985	6,5998	6,6012	6,6026	6,6039	6,6053
74	6,6067	6,6080	6,6093	6,6107	6,6120	6,6134	6,6147	6,6161	6,6174	6,6187
75	6,6201	6,6214	6,6227	6,6241	6,6254	6,6267	6,6280	6,6294	6,6307	6,6320
76	6,6333	6,6346	6,6359	6,6373	6,6386	6,6399	6,6412	6,6425	6,6438	6,6451
77	6,6464	6,6477	6,6490	6,6503	6,6516	6,6529	6,6542	6,6554	6,6567	6,6580
78	6,6593	6,6606	6,6619	6,6631	6,6644	6,6657	6,6670	6,6682	6,6695	6,6708
79	6,6720	6,6733	6,6746	6,6758	6,6771	6,6783	6,6796	6,6809	6,6821	6,6834
80	6,6846	6,6859	6,6871	6,6884	6,6896	6,6908	6,6921	6,6933	6,6946	6,6958
81	6,6970	6,6982	6,6995	6,7007	6,7020	6,7032	6,7044	6,7056	6,7069	6,7081
82	6,7093	6,7105	6,7117	6,7130	6,7142	6,7154	6,7166	6,7178	6,7190	6,7202
83	6,7214	6,7226	6,7238	6,7250	6,7262	6,7274	6,7286	6,7298	6,7310	6,7322
84	6,7334	6,7346	6,7358	6,7370	6,7382	6,7393	6,7405	6,7417	6,7429	6,7441
85	6,7452	6,7464	6,7476	6,7488	6,7499	6,7511	6,7523	6,7534	6,7546	6,7558
86	6,7569	6,7581	6,7593	6,7604	6,7616	6,7627	6,7639	6,7650	6,7662	6,7673
87	6,7685	6,7696	6,7708	6,7719	6,7731	6,7742	6,7754	6,7765	6,7776	6,7788
88	6,7799	6,7811	6,7822	6,7833	6,7845	6,7856	6,7867	6,7878	6,7890	6,7901
89	6,7912	6,7923	6,7935	6,7946	6,7957	6,7968	6,7979	6,7991	6,8002	6,8013
90	6,8024	6,8035	6,8046	6,8057	6,8068	6,8079	6,8090	6,8101	6,8112	6,8123
91	6,8134	6,8145	6,8156	6,8167	6,8178	6,8189	6,8200	6,8211	6,8222	6,8233
92	6,8244	6,8255	6,8266	6,8276	6,8287	6,8298	6,8309	6,8320	6,8330	6,8341
93	6,8352	6,8363	6,8373	6,8384	6,8395	6,8405	6,8416	6,8427	6,8437	6,8448
94	6,8459	6,8469	6,8480	6,8490	6,8501	6,8512	6,8522	6,8533	6,8544	6,8554
95	6,8565	6,8575	6,8586	6,8596	6,8607	6,8617	6,8628	6,8638	6,8648	6,8659
96	6,8669	6,8680	6,8690	6,8701	6,8711	6,8721	6,8732	6,8742	6,8752	6,8763
97	6,8773	6,8783	6,8794	6,8804	6,8814	6,8824	6,8835	6,8845	6,8855	6,8865
98	6,8876	6,8886	6,8896	6,8906	6,8916	6,8926	6,8937	6,8947	6,8957	6,8967
99	6,8977	6,8987	6,8997	6,9007	6,9017	6,9027	6,9037	6,9047	6,9057	6,9068

## TRIGONOMETRIJSKE FUNKCIJE



U pravokutnom su trokutu:  
katete – stranice  $a$  i  $b$  uz pravi kut,  
hipotenuza – stranica  $c$  nasuprot pravom  
kutu.

Trigonometrijske funkcije kuta  $\alpha$  su omjeri  
stranica pravokutnog trokuta:

$$\begin{array}{ll} \text{sinus} & \sin \alpha = a/c \\ \text{kosinus} & \cos \alpha = b/c \\ \text{tangens} & \tan \alpha = a/b \\ \text{kotangens} & \cot \alpha = b/a \end{array}$$

Vrijednosti trigonometrijskih funkcija kutova od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  sabrane su  
u tablicama: za  $\sin$  i  $\cos$  na str. 12 i 13, a za  $\tan$  i  $\cot$  na str. 14 i 15.

Vrijednosti trigonometrijskih funkcija češće potrebnih kutova

$\alpha =$ rad	$0^\circ$ 0	$30^\circ$ $\pi/6$	$45^\circ$ $\pi/4$	$60^\circ$ $\pi/3$	$90^\circ$ $\pi/2$	$180^\circ$ $\pi$	$270^\circ$ $3\pi/2$	$360^\circ$ $2\pi$
$\sin \alpha =$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1	0	-1	0
$\cos \alpha =$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	1
$\tan \alpha =$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$	0
$\cot \alpha =$	$\pm \infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$

Trigonometrijske funkcije u različitim područjima kutova

$\varphi =$ rad	$+\alpha$ $+\alpha$	$90^\circ + \alpha$ $(\pi/2) + \alpha$	$180^\circ + \alpha$ $\pi + \alpha$	$270^\circ + \alpha$ $(3\pi/2) + \alpha$	$360^\circ + \alpha$ $2\pi + \alpha$
$\sin \varphi =$	$+\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$+\sin \alpha$
$\cos \varphi =$	$+\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$+\cos \alpha$
$\tan \varphi =$	$+\tan \alpha$	$+\cot \alpha$	$+\tan \alpha$	$-\cot \alpha$	$+\tan \alpha$
$\cot \varphi =$	$+\cot \alpha$	$+\tan \alpha$	$+\cot \alpha$	$-\tan \alpha$	$+\cot \alpha$

Osnovni odnosi trigonometrijskih funkcija

$$\begin{array}{ll} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 & \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \\ \tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha & \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \\ \cot \alpha = \cos \alpha / \sin \alpha & 1 + \tan^2 \alpha = 1 / \cos^2 \alpha \\ \tan \alpha \cot \alpha = 1 & 1 + \cot^2 \alpha = 1 / \sin^2 \alpha \end{array}$$

## Trigonometrijske funkcije dvaju kutova

$$\begin{array}{l} \sin (\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \\ \cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta \\ \tan (\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta} \\ \cot (\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha} \end{array}$$

Za  $\alpha = \beta$  vrijedi:

$$\begin{array}{l} \sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha \\ \cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \\ \tan 2\alpha = 2 \tan \alpha (1 - \tan^2 \alpha) \\ \cot 2\alpha = (\cot^2 \alpha - 1) / 2 \cot \alpha \end{array}$$

Nadalje vrijedi:

$$\begin{array}{l} \sin 3\alpha = 3 \sin \alpha - 4 \sin^3 \alpha \\ \cos 3\alpha = 4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha \\ 2 \sin^2 \alpha = 1 - \cos 2\alpha \\ 2 \cos^2 \alpha = 1 + \cos 2\alpha \\ \sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \tan \alpha + \tan \beta = \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\cos \alpha \cos \beta} \\ \cot \alpha + \cot \beta = \frac{\sin (\beta + \alpha)}{\sin \alpha \sin \beta} \\ 2 \sin \alpha \sin \beta = \cos (\alpha - \beta) - \cos (\alpha + \beta) \\ 2 \sin \alpha \cos \beta = \sin (\alpha + \beta) + \sin (\alpha - \beta) \\ 2 \cos \alpha \cos \beta = \cos (\alpha + \beta) + \cos (\alpha - \beta) \end{array}$$

Trigonometrijske funkcije: sinus od 0° do 45°, kosinus od 45° do 90°

α	sin α							α
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0°	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89°
1°	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88°
2°	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04944	0,05234	87°
3°	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86°
4°	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85°
5°	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84°
6°	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83°
7°	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82°
8°	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81°
9°	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80°
10°	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79°
11°	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78°
12°	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77°
13°	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76°
14°	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75°
15°	0,25882	0,26164	0,26444	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74°
16°	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73°
17°	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72°
18°	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71°
19°	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70°
20°	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69°
21°	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68°
22°	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67°
23°	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	0,40674	66°
24°	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65°
25°	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64°
26°	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63°
27°	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62°
28°	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61°
29°	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60°
30°	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59°
31°	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58°
32°	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57°
33°	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56°
34°	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55°
35°	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54°
36°	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53°
37°	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52°
38°	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51°
39°	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50°
40°	0,64279	0,64501	0,64723	0,64944	0,65166	0,65386	0,65606	49°
41°	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48°
42°	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47°
43°	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46°
44°	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45°
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	α
	cos α							

Trigonometrijske funkcije: sinus od 45° do 90°, kosinus od 0° do 45°

α	sin α							α
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
45°	0,70711	0,70916	0,71121	0,71325	0,71529	0,71732	0,71934	44°
46°	0,71934	0,72136	0,72337	0,72537	0,72737	0,72937	0,73135	43°
47°	0,73135	0,73333	0,73531	0,73728	0,73924	0,74120	0,74314	42°
48°	0,74314	0,74509	0,74703	0,74896	0,75088	0,75280	0,75471	41°
49°	0,75471	0,75661	0,75851	0,76041	0,76229	0,76417	0,76604	40°
50°	0,76604	0,76791	0,76977	0,77162	0,77347	0,77531	0,77715	39°
51°	0,77715	0,77897	0,78079	0,78261	0,78442	0,78622	0,78801	38°
52°	0,78801	0,78980	0,79158	0,79335	0,79517	0,79698	0,79878	37°
53°	0,79878	0,80053	0,80228	0,80406	0,80588	0,80770	0,80950	36°
54°	0,80950	0,81122	0,81294	0,81462	0,81630	0,81798	0,81965	35°
55°	0,81965	0,82132	0,82298	0,82463	0,82627	0,82791	0,82954	34°
56°	0,82954	0,83116	0,83278	0,83439	0,83599	0,83758	0,83916	33°
57°	0,83916	0,84075	0,84232	0,84389	0,84545	0,84699	0,84853	32°
58°	0,84853	0,84999	0,85142	0,85284	0,85426	0,85567	0,85707	31°
59°	0,85707	0,85846	0,86015	0,86163	0,86310	0,86457	0,86603	30°
60°	0,86603	0,86748	0,86892	0,87036	0,87178	0,87321	0,87462	29°
61°	0,87462	0,87603	0,87743	0,87882	0,88020	0,88158	0,88295	28°
62°	0,88295	0,88431	0,88566	0,88701	0,88835	0,88968	0,89101	27°
63°	0,89101	0,89232	0,89363	0,89493	0,89623	0,89752	0,89879	26°
64°	0,89879	0,90007	0,90133	0,90259	0,90383	0,90507	0,90631	25°
65°	0,90631	0,90753	0,90875	0,90996	0,91116	0,91236	0,91355	24°
66°	0,91355	0,91472	0,91590	0,91706	0,91822	0,91936	0,92050	23°
67°	0,92050	0,92164	0,92278	0,92388	0,92499	0,92609	0,92718	22°
68°	0,92718	0,92827	0,92935	0,93042	0,93148	0,93253	0,93358	21°
69°	0,93358	0,93462	0,93565	0,93667	0,93769	0,93869	0,93969	20°
70°	0,93969	0,94068	0,94167	0,94264	0,94361	0,94457	0,94552	19°
71°	0,94552	0,94646	0,94740	0,94832	0,94924	0,95015	0,95106	18°
72°	0,95106	0,95195	0,95284	0,95372	0,95459	0,95545	0,95630	17°
73°	0,95630	0,95715	0,95799	0,95882	0,95964	0,96046	0,96126	16°
74°	0,96126	0,96206	0,96285	0,96363	0,96440	0,96517	0,96593	15°
75°	0,96593	0,96667	0,96742	0,96815	0,96887	0,96959	0,97030	14°
76°	0,97030	0,97100	0,97169	0,97237	0,97304	0,97371	0,97437	13°
77°	0,97437	0,97502	0,97566	0,97630	0,97692	0,97754	0,97815	12°
78°	0,97815	0,97875	0,97934	0,97992	0,98050	0,98107	0,98163	11°
79°	0,98163	0,98218	0,98272	0,98325	0,98378	0,98430	0,98481	10°
80°	0,98481	0,98531	0,98580	0,98629	0,98676	0,98723	0,98769	9°
81°	0,98769	0,98814	0,98858	0,98902	0,98944	0,98986	0,99027	8°
82°	0,99027	0,99067	0,99106	0,99144	0,99182	0,99219	0,99255	7°
83°	0,99255	0,99291	0,99327	0,99362	0,99396	0,99429	0,99462	6°
84°	0,99462	0,99492	0,99521	0,99549	0,99577	0,99604	0,99631	5°
85°	0,99631	0,99654	0,99676	0,99697	0,99714	0,99731	0,99748	4°
86°	0,99748	0,99766	0,99783	0,99800	0,99816	0,99831	0,99846	3°
87°	0,99846	0,99861	0,99876	0,99890	0,99905	0,99919	0,99933	2°
88°	0,99933	0,99946	0,99958	0,99969	0,99980	0,99990	0,99999	1°
89°	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0°
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	α
	cos α							

Trigonometrijske funkcije: tangens od 0° do 45°, kotangens od 45° do 90°

		tan α								
α	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	α		
0°	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89°		
1°	0,01746	0,02036	0,02326	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88°		
2°	0,03492	0,03783	0,04073	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87°		
3°	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06701	0,06993	86°		
4°	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85°		
5°	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84°		
6°	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83°		
7°	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054	82°		
8°	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81°		
9°	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80°		
10°	0,17633	0,17933	0,18231	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79°		
11°	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78°		
12°	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77°		
13°	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76°		
14°	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75°		
15°	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74°		
16°	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73°		
17°	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72°		
18°	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71°		
19°	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70°		
20°	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69°		
21°	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68°		
22°	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67°		
23°	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66°		
24°	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65°		
25°	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64°		
26°	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63°		
27°	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62°		
28°	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61°		
29°	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60°		
30°	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59°		
31°	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58°		
32°	0,62487	0,62890	0,63299	0,63710	0,64117	0,64528	0,64941	57°		
33°	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56°		
34°	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55°		
35°	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54°		
36°	0,72654	0,73101	0,73547	0,73996	0,74447	0,74901	0,75355	53°		
37°	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52°		
38°	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51°		
39°	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50°		
40°	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49°		
41°	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48°		
42°	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47°		
43°	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46°		
44°	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45°		
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	α		
	cot α									

Trigonometrijske funkcije: tangens od 45° do 90°, kotangens od 0° do 45°

		tan α								
α	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	α		
45°	1,00000	1,00583	1,01170	1,01761	1,02355	1,02952	1,03553	44°		
46°	1,03553	1,04158	1,04766	1,05378	1,05994	1,06613	1,07237	43°		
47°	1,07237	1,07864	1,08496	1,09133	1,09770	1,10410	1,11061	42°		
48°	1,11061	1,11713	1,12369	1,13029	1,13694	1,14363	1,15037	41°		
49°	1,15037	1,15715	1,16398	1,17085	1,17777	1,18474	1,19175	40°		
50°	1,19175	1,19882	1,20593	1,21310	1,22031	1,22758	1,23490	39°		
51°	1,23490	1,24227	1,24969	1,25717	1,26471	1,27230	1,27994	38°		
52°	1,27994	1,28764	1,29541	1,30323	1,31110	1,31904	1,32706	37°		
53°	1,32704	1,33511	1,34323	1,35142	1,35968	1,36800	1,37638	36°		
54°	1,37638	1,38484	1,39336	1,40195	1,41061	1,41934	1,42815	35°		
55°	1,42815	1,43703	1,44598	1,45501	1,46411	1,47330	1,48256	34°		
56°	1,48256	1,49190	1,50133	1,51084	1,52043	1,53010	1,53987	33°		
57°	1,53987	1,54972	1,55966	1,56969	1,57981	1,59002	1,60033	32°		
58°	1,60033	1,61074	1,62125	1,63185	1,64256	1,65337	1,66428	31°		
59°	1,66428	1,67530	1,68643	1,69766	1,70901	1,72047	1,73205	30°		
60°	1,73205	1,74375	1,75556	1,76749	1,77955	1,79174	1,80405	29°		
61°	1,80405	1,81649	1,82906	1,84177	1,85462	1,86760	1,88073	28°		
62°	1,88073	1,89400	1,90741	1,92098	1,93470	1,94858	1,96261	27°		
63°	1,96261	1,97680	1,99116	2,00569	2,02039	2,03526	2,05030	26°		
64°	2,05030	2,06553	2,08094	2,09654	2,11233	2,12832	2,14451	25°		
65°	2,14451	2,16090	2,17749	2,19430	2,21132	2,22857	2,24604	24°		
66°	2,24604	2,26374	2,28167	2,29984	2,31826	2,33693	2,35585	23°		
67°	2,35585	2,37504	2,39449	2,41421	2,43422	2,45451	2,47509	22°		
68°	2,47509	2,49597	2,51715	2,53865	2,56046	2,58261	2,60509	21°		
69°	2,60509	2,62791	2,65109	2,67462	2,69850	2,72281	2,74748	20°		
70°	2,74748	2,77254	2,79802	2,82391	2,85023	2,87700	2,90421	19°		
71°	2,90421	2,93189	2,96004	2,98869	3,01783	3,04749	3,07768	18°		
72°	3,07768	3,10842	3,13972	3,17159	3,20406	3,23714	3,27085	17°		
73°	3,27085	3,30521	3,34023	3,37594	3,41236	3,44951	3,48741	16°		
74°	3,48741	3,52609	3,56557	3,60588	3,64705	3,68909	3,73205	15°		
75°	3,73205	3,77595	3,82083	3,86671	3,91364	3,96165	4,01078	14°		
76°	4,01078	4,06107	4,11256	4,16530	4,21933	4,27471	4,33148	13°		
77°	4,33148	4,38969	4,44942	4,51071	4,57363	4,63825	4,70463	12°		
78°	4,70463	4,77286	4,84300	4,91516	4,98940	5,06584	5,14455	11°		
79°	5,14455	5,22566	5,30928	5,39552	5,48451	5,57638	5,67128	10°		
80°	5,67128	5,76937	5,87080	5,97576	6,08444	6,19703	6,31375	9°		
81°	6,31375	6,43484	6,56055	6,69116	6,82694	6,96823	7,11537	8°		
82°	7,11537	7,26873	7,42871	7,59575	7,77035	7,95302	8,14435	7°		
83°	8,14435	8,34496	8,55555	8,77689	9,00987	9,25530	9,51436	6°		
84°	9,51436	9,78817	10,07889	10,3854	10,7119	11,0594	11,4301	5°		
85°	11,4301	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267	14,3007	4°		
86°	14,3007	14,9244	15,6048	16,3494	17,1643	18,0550	19,0381	3°		
87°	19,0381	20,2056	21,4704	22,9078	24,5418	26,4316	28,6363	2°		
88°	28,6363	31,2416	34,1678	38,1885	42,9641	49,1039	57,2900	1°		
89°	57,2900	68,7501	85,9398	114,589	171,885	343,774	∞	0°		
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	α		
	cot α									



### Izračunavanje stranica i kutova trokuta

a) *Pravokutni trokut* ( $\gamma = 90^\circ$ )

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$a/c = \sin \alpha = \cos \beta = h/b$$

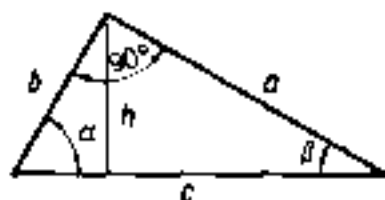
$$b/c = \cos \alpha = \sin \beta = h/a$$

$$a/b = \tan \alpha = \cot \beta$$

$$b/a = \cot \alpha = \tan \beta$$

Visina nad hipotenuzom  $h = ab/c$

Pitagorin poučak  $a^2 + b^2 = c^2$



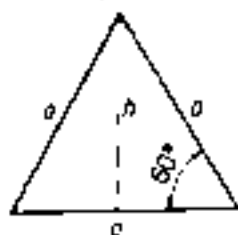
Poznato	Tražimo
$a, b$	$c = \sqrt{a^2 + b^2}$ $\tan \alpha = a/b$ $\tan \beta = b/a$ $h = ab/\sqrt{a^2 + b^2}$
$a, c$	$b = \sqrt{c^2 - a^2}$ $\sin \alpha = a/c$ $\cos \beta = a/c$ $h = (a/c)\sqrt{c^2 - a^2}$
$b, c$	$a = \sqrt{c^2 - b^2}$ $\cos \alpha = b/c$ $\sin \beta = b/c$ $h = (b/c)\sqrt{c^2 - b^2}$
$a, \alpha$	$b = a \tan \alpha = a \cot \alpha$ $c = a/\sin \alpha$ $h = a \cos \alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$b, \alpha$	$a = b \tan \alpha = b \cot \alpha$ $c = b/\cos \alpha$ $h = b \sin \alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$
$c, \alpha$	$a = c \sin \alpha$ $b = c \cos \alpha$ $h = (c/2) \sin 2\alpha$ $\beta = 90^\circ - \alpha$

b) *Jednakostranični trokut*

$$a = (b) = (c)$$

$$\alpha = (\beta) = (\gamma) = 60^\circ$$

$$h = \frac{a}{2} \sqrt{3} = 0,866a$$



c) *Kosokutni trokut*

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

$$\sin \alpha = \sin (\beta + \gamma)$$

$$\cos \alpha = -\cos (\beta + \gamma)$$



Sinusov poučak  $a/\sin \alpha = b/\sin \beta = c/\sin \gamma$

Kosinusov poučak  $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

Projekcijski poučak  $a = b \cos \gamma + c \cos \beta$

$$b = a \cos \gamma + c \cos \alpha$$

$$c = b \cos \alpha + a \cos \beta$$

Visina (nad stranicom c)  $h = a \sin \beta = b \sin \alpha$

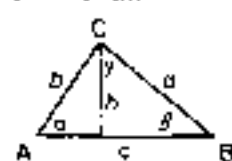
Poznato	Tražimo
$a, b, c,$	$\cos \alpha = (b^2 + c^2 - a^2)/2bc$ $\cos \beta = (a^2 + c^2 - b^2)/2ac$ $\cos \gamma = (a^2 + b^2 - c^2)/2ab$ $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$
$a, b, \gamma$	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma}$ $\tan \alpha = a \sin \gamma / (b - a \cos \gamma)$ $\tan \beta = b \sin \gamma / (a - b \cos \gamma)$ $\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma)$
$a, b, \alpha$	$c = b \cos \alpha + \sqrt{a^2 - b^2 \sin^2 \alpha}$ 1 realno rješenje za: $a = b \sin \alpha$ 2 realna rješenja za: $a > b \sin \alpha$ $\sin \beta = (b/a) \sin \alpha$ $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$
$a, \beta, \gamma$	$b = a \sin \beta / \sin (\beta + \gamma)$ $c = a \sin \gamma / \sin (\beta + \gamma)$ $\alpha = 180^\circ - (\beta + \gamma)$

## LIKOVNI TIPIKLA

### Površina i opseg likova

A površina, O opseg

#### 1. Trokuti



Stranice  $a, b, c$   
 Kutovi  $\alpha, \beta, \gamma$   
 Zbroj kutova  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$   
 Visina na  $c$   $h = a \sin \beta = (b \cdot c)$   
 Koordinate vršaka  $A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C)$

$$A = hc/2$$

$$A = \frac{1}{2} a(b \sin \gamma) = \frac{1}{2} b(a \sin \gamma) = \frac{1}{2} c(a \sin \beta)$$

$$A = \frac{1}{2} ab \sin \gamma = \frac{1}{2} ac \sin \beta = \frac{1}{2} bc \sin \alpha$$

$$A = \frac{1}{2} [x_A(y_B - y_C) + x_B(y_C - y_A) + x_C(y_A - y_B)]$$

$$O = a + b + c = 2s$$

#### 2. Četverokuti

Stranice  $a, b, c, d$

Kutovi  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$

Dijagonala  $D$

Visina  $h$

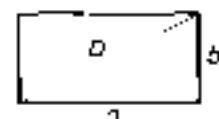


Kvadrat  $a (= b) = h, \alpha = 90^\circ$

$$A = a^2$$

$$O = 4a$$

$$D = a\sqrt{2}$$



Pravokutnik  $a + b = h, \alpha = 90^\circ$

$$A = ab$$

$$O = 2(a + b) \quad D = \sqrt{a^2 + b^2}$$

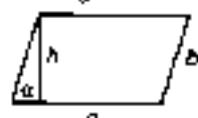


Romb  $a (= b) = h, \alpha \neq 90^\circ$

$$A = ah = a^2 \sin \alpha$$

$$O = 4a$$

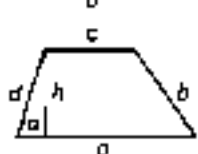
$$h = a \sin \alpha$$



Paralelogram  $a \neq b \neq h, \alpha \neq 90^\circ$

$$A = ab = ab \sin \alpha$$

$$O = 2(a + b) \quad h = b \sin \alpha$$



Trapez  $a \neq b \neq c + d (a \parallel c)$

$$A = \frac{a + c}{2} h = \frac{a + c}{2} d \sin \alpha$$

$$O = a + b + c + d \quad h = d \sin \alpha$$

#### 3. Višekuti (poligoni)

Broj stranica  $n$

Zbroj unutarnjih kutova  $180^\circ (n - 2)$

Površinu određujemo rastavljanjem višekuta na trokute. Opseg je zbroj svih stranica

#### 4. Pravilni višekuti sa $n$ stranica

Središnji kut  $2\varphi = \frac{2\pi}{n} \quad \varphi (\text{rad})$

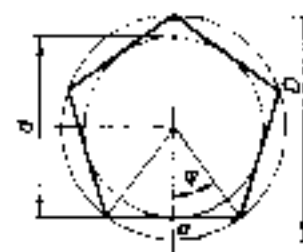
$$2\varphi = 360^\circ/n$$

Površina  $A = n(a^2/4) \cot \varphi$

Opseg  $O = na$

Promjer upisane kružnice  $D = a \sin \varphi$

Promjer upisane kružnice  $d = a \tan \varphi$



Pravilni likovi	$n$	$\varphi$	$\psi$	$A$	$O$	$D$	$d$
trokut	3	$\pi/3$	$60^\circ$	$0,433a^2$	$3a$	$1,1547a$	$0,5774a$
kvadrat	4	$\pi/4$	$45^\circ$	$a^2$	$4a$	$1,4142a$	$a$
petokut	5	$\pi/5$	$36^\circ$	$1,7205a^2$	$5a$	$1,7013a$	$1,3764a$
šesterokut	6	$\pi/6$	$30^\circ$	$2,5981a^2$	$6a$	$2a$	$1,7321a$
osmerokut	8	$\pi/8$	$22,5^\circ$	$4,8284a^2$	$8a$	$2,6132a$	$2,4142a$

#### 5. Kruž

Polupromjer  $r$ , promjer  $d$

$$A = r^2 n = d^2 \pi/4$$

$$O = 2\pi r = d\pi \quad (= \text{duljina kružnice})$$

Kružni isječak i odsječak

Polupromjer  $r$ , središnji kut  $\varphi \quad \varphi (\text{rad})$

$$\text{Luk } l = r\varphi \quad \text{Tetiva } t = 2r \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$\text{Visina odsjeka } h = r \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\text{Površina odsjeka } A_s = \frac{r^2}{2} (\varphi - \sin \varphi)$$

$$\text{Površina isjeka } A_i = \frac{r^2}{2} \varphi - \frac{tr}{2}$$

Kružni vijenac

Vanjski i unutarnji polupromjer  $R, r$

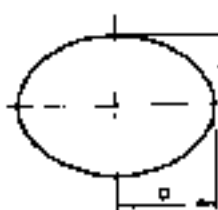
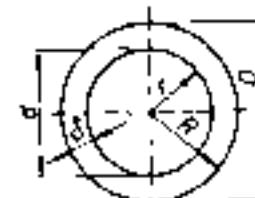
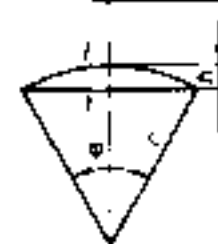
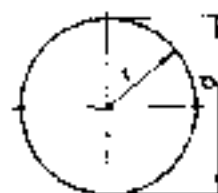
Vanjski i unutarnji promjer  $D, d$

$$A = (R^2 - r^2)\pi = (D^2 - d^2)\pi/4$$

Uski vijenac širine  $\delta = R - r$

$$\text{Srednji polupromjer } \rho = (R + r)/2$$

$$A = 2\rho\pi\delta$$



#### 6. Elipsa

Poluosi  $a, b$

$$A = ab\pi$$

$$O = \pi [1,5(a + b) - \sqrt{4ab}]$$

## Površine i volumeni tijela

$V$  - volumen, obujam,  $A_o$  - površina osnovke (baze),  $A_p$  - površina plašta,  $A$  - oplošje (ukupna površina),  $h$  - visina



### 1. Prizma

$$V = A_o h$$

Pravokutni paralelepiped sa stranicama  $a$ ,  $b$ ,  $c$

$$V = abc$$

$$A = 2(ab + ac + bc)$$

Dijagonala

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

Kocka s bridom  $a$

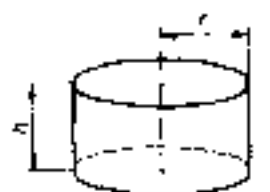
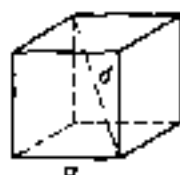
$$V = a^3$$

$$A_o = a^2 \quad h = a$$

$$A = 6a^2$$

Dijagonala

$$d = a\sqrt{3}$$



### 2. Valjak

$$V = A_o h$$

Uspravan valjak s polumjerom  $r$

$$V = r^2 \pi h$$

$$A_o = r^2 \pi$$

$$A = 2\pi r(r + h)$$

Šuplji valjak s polumjerima  $R$  i  $r$

$$V = (R^2 - r^2)\pi h \quad A_o = (R^2 - r^2)\pi$$

Šuplji valjak s tankom stjenkom

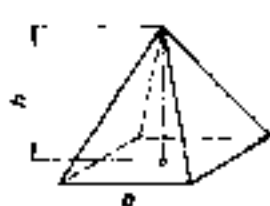
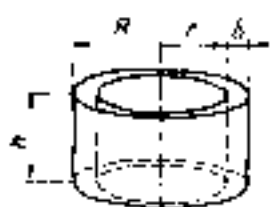
Debljina stjenke  $\delta = R - r$

Srednji polumjer

$$\rho = \frac{R + r}{2}$$

$$V = 2\pi\rho\delta h$$

$$A_p = 2\pi\rho\delta$$



### 3. Piramida

$$V = \frac{1}{3} A_o h$$

Kvadratna piramida sa stranicom osnovke  $a$  i visinom  $h$

$$V = a^2 h / 3$$

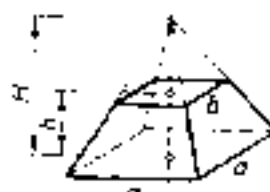
Kut  $\alpha$  između osnovke i pobočke

$$\tan \alpha = 2h/a$$

Prikraćena kvadratna piramida sa stranicama osnovke  $a$  i  $b$  i visinom  $h$

$$\text{Visina piramide } h = \frac{h_0}{a - b}$$

$$V = \frac{h}{3} (a^2 + ab + b^2)$$



### 4. Klin

Stranice osnovke  $a$ ,  $b$

Greben  $c$

$$V = (2a + c)bh/6$$

$$A_p = (a + c)\sqrt{h^2 + b^2/4} + b\sqrt{h^2 + (a - c)^2/4}$$

$$A = A_p + ab$$

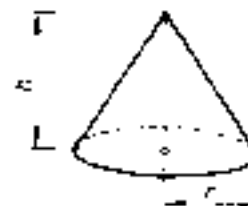


### 5. Stožac

$$V = \frac{1}{3} r^2 \pi h \quad r - \text{polumjer osnovke}$$

$$A_p = r \pi s \quad s = \sqrt{r^2 + h^2}$$

$$A = r \pi (s + r)$$



### Prikraćeni stožac

$R$ ,  $r$  - polumjeri osnovki

$h$  - visina

$$\text{Visina stošca} \quad H = hR/(R - r)$$

$$\text{Kut stošca} \quad \tan(\alpha/2) = (R - r)/h$$

$$V = (R^2 + rR + r^2)\pi h/3$$



### 6. Kugla Polumjer $R$ , promjer $D$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,1888 R^3 = \frac{1}{6} \pi D^3 = 0,5236 D^3$$

$$A = 4\pi R^2 = \pi D^2$$

### Kuglin isječak i odsječak

Visina odsječka (kalote)  $h$

polumjer kugline paralele

$$a = \sqrt{h(2r - h)}$$

volumen odsječka

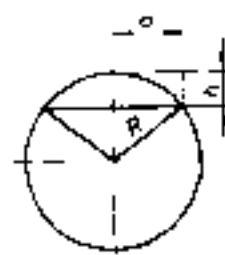
$$V_o = \pi h^2 (R - h/3)$$

volumen isječka

$$V_i = \frac{2}{3} \pi R^2 h = 2,0944 R^2 h$$

površina plašta odsječka

$$A_p = 2\pi R h$$



## KOMBINATORIKA

Broj permutacija (poredaka) za  $n$  različitih elemenata

$$P(n) = n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$$

Broj permutacija za  $n$  elemenata, među kojima je  $m$  jednakih

$$P(n) = \frac{n!}{m!}$$

Broj kombinacija  $n$  elemenata  $r$ -tog razreda:

- bez ponavljanja  $K(n) = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$
- s ponavljanjem  $K(n) = \binom{n+r-1}{r} = \frac{(n+r-1)!}{r!(n-1)!}$

Broj varijacija  $n$  elemenata  $r$ -tog razreda:

- bez ponavljanja  $V(n) = \binom{n}{r} r! = \frac{n!}{(n-r)!}$
- s ponavljanjem  $V(n) = n^r$

## NIZOVI I REDOVI

Niz:  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$

Red:  $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} a_n$

**Aritmetički niz**

$$a, a + d, a + 2d, a + 3d, \dots, a + (n-1)d, \dots$$

$$d = a_n - a_{n-1} = (a_n - a_1)/(n-1) = \text{konst}$$

Suma  $n$  članova aritmetičkog niza

$$s_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n) = \frac{n}{2}[2a_1 + (n-1)d]$$

Neke sume:  $s_1 = 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n}{2}(1 + n)$

$$s_2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$$

$$s_3 = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \frac{1}{4}n^2(n+1)^2$$

**Geometrijski niz**

$$a, aq, aq^2, aq^3, \dots, aq^{n-1}, \dots$$

$$q = a_n/a_{n-1} = \frac{a_n}{a_{n-1}} = \text{konst}$$

Suma  $n$  članova geometrijskog niza

$$s_n = a \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1}$$

**Važniji redovi**

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} + \dots \quad \text{nema konačne sume}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots + \frac{1}{n^2} + \dots \quad \pi^2/6$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} + \dots = \pi^2/12$$

**Važniji Taylorovi redovi**

$$e^x = 1 \pm x/1! + x^2/2! + x^3/3! + \dots$$

$$a^x - 1 = \frac{\ln a}{1!} x + \frac{(\ln a)^2}{2!} x^2 + \frac{(\ln a)^3}{3!} x^3 + \dots \quad a > 0$$

$$\ln(1 \pm x) = \pm x - x^2/2 \pm x^3/3 - x^4/4 \pm \dots \quad -1 < x < +1$$

$$\ln x = 2 \left[ \frac{x}{x+1} - \frac{1}{3} \left( \frac{x-1}{x+1} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{x-1}{x+1} \right)^5 + \dots \right] \quad x > 0$$

$$\sin x = x/1! - x^3/3! + x^5/5! - x^7/7! + \dots$$

$$\cos x = 1 - x^2/2! + x^4/4! - x^6/6! + \dots$$

$$\frac{1}{1 \pm x} = 1 \mp x + x^2 \pm x^3 + \dots \quad -1 < x < 1$$

$$(1+x)^n = 1 + \binom{n}{1}x + \binom{n}{2}x^2 + \binom{n}{3}x^3 + \dots \quad \begin{matrix} -1 < x < 1 \\ n = \text{realni broj} \end{matrix}$$

Determinanta 1. reda

$$|a_{11}| = a_{11}$$

Determinanta 2. reda

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}$$

Determinanta 3. reda

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} \\ = a_{11}(a_{22}a_{33} - a_{32}a_{23}) - a_{12}(a_{21}a_{33} - a_{31}a_{23}) + \\ + a_{13}(a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22})$$

Vrijednost determinante  $n$ -tog reda izračunamo tako, da skalarno pomnožimo kojigod redak ili stupac sa subdeterminantama tog retka ili stupca, npr.:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} - a_{12} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} + \\ + a_{13} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} \end{vmatrix} - a_{14} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} \end{vmatrix}$$

Vrijednost determinante se ne mijenja, ako zaokrenemo determinantu oko glavne dijagonale (za TRIF):

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{22} & a_{22} & a_{21} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Ako su u determinanti dva retka ili dva stupca jednaka ili proporcionalna, vrijednost determinante jednaka je nuli:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{22} & a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & ka_{12} \\ a_{21} & a_{22} & ka_{22} \\ a_{31} & a_{32} & ka_{32} \end{vmatrix} = 0$$

Matrica  $A$  dimenzije  $m, n$  ima  $m$  redaka i  $n$  stupaca

Ako je  $n = 1$ , nazivamo matricu - (stupnim) vektorom

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = \{a_{ik}\}_{m, n} \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{bmatrix}$$

Dvije su matrice jednake, ako imaju jednake dimenzije i odgovarajuće elemente jednake. Matrica  $0$  ima kojigod dimenziju, a svi su njeni elementi  $0$ .

Zbrajati možemo matrice samo jednakih dimenzija:

$$A = \{a_{ik}\}_{m, n} \quad B = \{b_{ik}\}_{m, n} \\ A + B = \{a_{ik} + b_{ik}\}_{m, n}$$

Matricu  $A = \{a_{ik}\}_{m, n}$  množimo sa skalarom  $k$  (realnim brojem) tako, da svaki element u matrici pomnožimo s  $k$ .

$$kA = \{k a_{ik}\}_{m, n}$$

Umnožak matrice  $A = \{a_{ik}\}_{m, n}$  i  $B = \{b_{ik}\}_{n, p}$  je matrica

$$C = AB = \{c_{ik}\}_{m, p}$$

gdje je  $c_{ik} = a_{i1}b_{1k} + a_{i2}b_{2k} + \dots + a_{in}b_{nk}$ .

Iz elemenata matrice  $A = \{a_{ik}\}_{m, n}$  možemo križanjem redaka ili stupaca tvoriti determinante svih redova.

K matrici  $A = \{a_{ik}\}_{m, n}$  dobivamo transponiranu matricu  $A' = \{b_{ik}\}_{n, m}$  ako redovi zapišemo retke u stupce i stupce u retke ( $b_{ik} = a_{ki}$ ).

Ako je  $m = n$ , matrica je kvadratna. Svakoju kvadratnoj matrici pridružena determinanta jednakog sastava. Matrica  $A$  je regularna, ako je determinanta različita od  $0$ .

Kvadratna matrica je simetrična, ako je  $A' = A$ , a nesimetrična, ako je  $A' = -A$ .

Matrica  $A = \{a_{ik}\}_{m, n}$  je  $r$ -tog ranga, ako je bar jedna determinanta  $r$ -tog reda matrice  $A$  različita od  $0$ , a sve višeredne determinante pa su jednake  $0$ .

Rang matrice se ne mijenja, ako

- međusobno zamijenimo dva stupca (dva retka)
- elemente nekog stupca (retka) pomnožimo brojem  $k$  ( $k \neq 0$ )
- stupac (redak) pomnožimo proizvoljnim brojem te ga pribrojimo k drugom (stupcu) retku.

**Apsolutna vrijednost**

Definicija apsolutne vrijednosti  $|a|$  realnog broja  $a$  glasi

$$|a| = \begin{cases} a & \text{za } a \geq 0 \\ -a & \text{za } a < 0 \end{cases}$$

Apsolutna vrijednost kompleksnog broja  $a$  definirana je jednačbom

$$|a| = \sqrt{aa} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \begin{aligned} \alpha &= a + bi \\ \bar{\alpha} &= a - bi \end{aligned}$$

$$|\alpha| = 1 - \alpha$$

Za proizvoljne kompleksne brojeve  $\alpha$  i  $\beta$  vrijedi

$$|\alpha\beta| = |\alpha||\beta| \quad ||\alpha| - |\beta|| \leq |\alpha + \beta| \leq |\alpha| + |\beta|$$

**Poprečne vrijednosti**

Za  $n$  realnih brojeva  $a_1, a_2, \dots, a_n$  bit će:

- aritmetički prosjek  $A$

$$A = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n)$$

geometrijski prosjek  $G$

$$G = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} \quad a_1, \dots, a_n > 0$$

- harmonički prosjek  $H$

$$H = \frac{1}{n} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n} \right) \quad a_1, \dots, a_n \neq 0$$

**BINOMI**

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a \pm b)^n = a^n \pm \binom{n}{1} a^{n-1}b + \dots + (-1)^k \binom{n}{k} a^{n-k}b^k + \dots + (-1)^n$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)(n-2) \dots (n-k+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

\*

$$a^2 + b^2 = (a + ib)(a - ib)$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$a^2 \pm b^2 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$$

**Jednačba  $n$ -tog stupnja**

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 = 0 \quad a_n \neq 0$$

ima u opsegu kompleksnih brojeva  $n$  korijena. Korijene takve jednačbe određujemo, u općem slučaju, poželjnom točnošću metodama numeričke matematike.

**Jednačba prvog stupnja** (linearna jednačba)

$$ax + b = 0 \quad a \neq 0$$

ima jedno rješenje

$$x = -b/a$$

**Jednačba drugog stupnja** (kvadratna jednačba)

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad a \neq 0$$

ima dva rješenja

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Diskriminansa jednačbe

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

Za  $\Delta > 0$  ima jednačba dva različita realna korijena,

za  $\Delta = 0$  ima jednačba dva jednaka realna korijena,

za  $\Delta < 0$  su korijeni jednačbe konjugirano kompleksni brojevi.

Ako su  $x_1$  i  $x_2$  korijeni jednačbe  $x^2 + px + q = 0$ , vrijedi

$$q = x_1 x_2 \quad \text{ili} \quad p = -(x_1 + x_2)$$

**Jednačba višeg stupnja** (trećeg, četvrtog . . .) rješavamo jednostavno samo ako je možemo brzo rastaviti.

**Sistem dviju linearnih jednačbi s dvije nepoznane** ( $x, y$ )

$$a_1x + b_1y = c_1 \quad a_2x + b_2y = c_2$$

Metode rješavanja:

a) Metoda supstitucije

Iz druge jednačbe  $y = (c_2 - a_2x)/b_2$  uvrštavamo u prvu jednačbu.

b) Metoda komparacije

Iz obje jednačbi dohivamo nepoznanicu  $y = (c_1 - a_1x)/b_1 = (c_2 - a_2x)/b_2$

c) Metoda suprotnih koeficijenata

Jednačbe množimo takvim brojevima, da dohijemo pri članovima s istom nepoznanicom suprotne koeficijente, a potom ih zbrojimo.

$$a_1b_2x + b_1b_2y = b_2c_1 \quad -a_2b_1x + b_1b_2y = b_1c_2$$

Rješenje glasi

$$x = \frac{b_2c_1 - b_1c_2}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

Na isti način izračunavamo nepoznanicu  $y$ .

## Sistem linearnih jednačini

Sistem  $n$  jednačini s nepoznanicama  $x_1, x_2, \dots, x_n$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

...

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

Sistem je homogen, ako je  $b_1 = b_2 = \dots = b_n = 0$ . Ako je ma i jedan  $b_k \neq 0$ , sistem nije homogen

Ne homogen sistem jednoliko je rješiv, ako je determinanta sistema

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0$$

Rješenje sistema glasi tada

$$x_1 = \frac{A_1}{\Delta}, \quad x_2 = \frac{A_2}{\Delta}, \quad \dots, \quad x_n = \frac{A_n}{\Delta}$$

gdje su:

$$A_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ b_2 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_n & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad A_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & b_2 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & b_n & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad A_n = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & b_n \end{vmatrix}$$

Za nehomogen sistem dviju linearnih jednačini s dvije nepoznate

$$a_1x + b_1y = c_1$$

$$a_2x + b_2y = c_2$$

za koje vrijedi  $\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1b_2 - a_2b_1 \neq 0$ ,

glasi rješenje

$$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{b_2c_1 - b_1c_2}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

## TRANSCENDENTNE JEDNAČINE

### Eksponecijalne jednačine

Jednostavna se eksponecijalna jednačina

$$a^x = b \quad a > 0, a \neq 1$$

riješava logaritmiranjem (naravnim ili dekadnim logaritama).

Rješenje glasi  $x = \ln b / \ln a$

### Logaritamske jednačine

Jednostavna logaritamska jednačina

$$\log_a x = b \quad a > 0, a \neq 1$$

ima rješenje

$$x = a^b$$

### Trigonometrijske jednačine

Za rješavanje jednostavnih trigonometrijskih jednačini, npr

$$\sin(mx + n) = a \quad |a| \leq 1,$$

potrebne su tablice vrijednosti trigonometrijskih funkcija ili odgovarajuće računalo. Za jednačinu  $\sin(mx + n) = a$  tražimo u tablici kut  $u$

$$m u + n = u$$

te dobivamo rješenje

$$x = (u - n) / m$$

\*

### Numerično rješavanje jednačini

U općem slučaju možemo korišćene transcendentnih jednačini odrediti metodama numeričke matematike.

Realne korišćene jednačine  $f(x) = 0$  pokušavamo izračunati numeričkim metodama tako, da funkciju  $y = f(x)$ , koja mora biti neprekidna, prikazemo tablicom ili grafički. Korišćene dobivamo pri vrijednosti  $y = 0$ .

## NEJEDNAČINE

Linearna nejednačina s jednom nepoznanicom

$$ax + b \geq 0$$

ima dva rješenja,

$$x \geq \frac{-b}{a} \quad \text{za } a > 0 \quad \text{ili} \quad x \leq \frac{-b}{a} \quad \text{za } a < 0$$

Kvadratnu nejednačinu s jednom nepoznanicom

$$ax^2 + bx + c \geq 0$$

možemo riješiti grafom funkcije

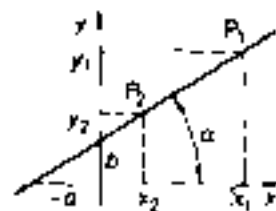
$$y = ax^2 + bx + c$$

tako, da iz slike ustanovimo intervale, gdje je  $y \geq 0$ .

# ANALITIČKA GEOMETRIJA

u ravnini

## Pravac



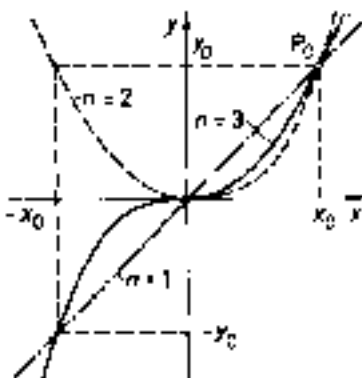
Jednadžba pravca kroz zadanu točku  $P_1(x_1, y_1)$  uz prikloni kut  $\alpha$  (priklonski koeficijent  $m$ )

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Jednadžba pravca kroz dvije zadane točke  $P_1(x_1, y_1)$  i  $P_2(x_2, y_2)$

$$(y - y_1)(x_1 - x_2) = (x - x_1)(y_1 - y_2)$$

## Potencijalne krivulje



Parabole kroz točku  $P_0(x_0, y_0)$

$$y = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^n$$

$n = 1$

$$y = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right) \quad (\text{pravac})$$

$n = 2$

$$y = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^2 \quad (\text{kvadratna parabola})$$

$n = 3$

$$y = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^3 \quad (\text{kubna parabola})$$

Hiperbole kroz točku  $P_0(x_0, y_0)$

$$yx^m = y_0x_0^m = \text{konst}$$

Konstrukcija krivulje

$$1 + \tan \beta = (1 + \tan \alpha)^m$$

Npr. za  $\tan \alpha = 0,25$  je

$m$	1,1	1,2	1,3	1,4
$\tan \beta$	0,278	0,307	0,336	0,367



## Čunjoječnice

Kružnica

Opća jednadžba - za središte u točki  $(x_0, y_0)$

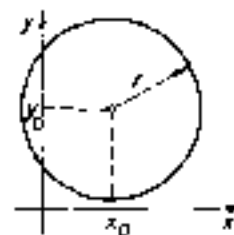
$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

Središnja jednadžba - za središte u ishodištu

$$(x_0 = 0, y_0 = 0) \quad x^2 + y^2 = r^2$$

Tjemenska jednadžba - s ordinatnom osi kao tangentom ( $x_0 = r, y_0 = 0$ )

$$y^2 = 2rx - x^2$$



Elipsa  $a, b$  - poluosi (u smjerovima  $x, y$ )

Središnja jednadžba

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$$

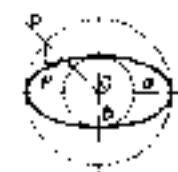
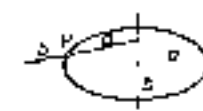
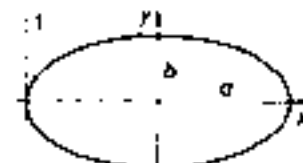
Tjemenska jednadžba

$$y^2 = (b^2/a^2) x (2a - x)$$

Konstrukcija elipse:

a) Ako dužinu, čiju duljinu  $a + b$  točka  $P$  dijeli na krakove  $a$  i  $b$ , pomakemo tako, da njene krajnje točke klizu po međusobno okomitim pravcima, opisuje točka  $P$  elipsu.

b) Presjecišta kružnica s polumjenima  $a$  i  $b$  iz zajedničkog središta  $O$  s proizvoljnim pravcem  $p$  određuje točku  $P$  elipse.



Parabola

Tjemenska jednadžba - s ordinatnom osi kao tangentom in s koordinatama žarišta  $F(p/2, 0)$

$$y^2 = 2px \quad 2p - \text{parametar}$$

Za parabolu s osi u smjeru ordinate  $y$  su u jednadžbi koordinate  $x$  i  $y$  zamijenjene.

Jednadžba parabole za tjeme s koordinatama  $(x_0, y_0)$

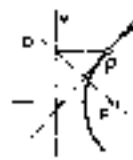
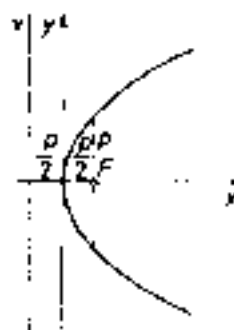
$$(y - y_0)^2 = 2p(x - x_0)$$

Opći oblik jednadžbe (za os u smjeru ordinate  $y$ )

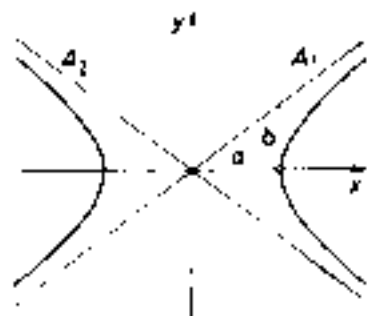
$$y = ax^2 + bx + c$$

Konstrukcija parabole:

Simetrala udaljenosti što je presjeka proizvoljni pravac  $p$  kroz žarište  $F$  s vodilicom  $v$  i paralela s osi parabole kroz presjecišta određuju točku  $P$  parabole.







Hiperbola (A – asimptote)

Središnja jednačnja

$$x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$$

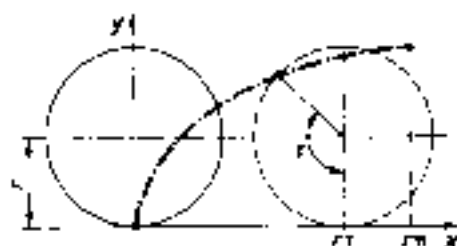
Tjemenska jednačnja

$$y^2 = (b^2/a^2) x(x - 2a)$$

Kod istostrane hiperbole ( $a = b$ ) su asimptote međusobno okomite i zatvaraju s koordinatnim osima kut  $45^\circ$

$$x^2 - y^2 = a^2$$

**Cikličke krivulje (trohoide)**



Cikloida nastaje pri kotrljanju kružnice po pravcu

$$x = r(\xi - \sin \xi)$$

$$y = r(1 - \cos \xi)$$

$\xi$  – kat kotrljanja

$\xi$ (rad)

Epicikloida nastaje pri kotrljanju kružnice po vanjskoj strani druge kružnice

$$x = r(m \sin \psi - \sin m\psi)$$

$$y = r(m \cos \psi - \cos m\psi)$$

$$m = (R - r)/r = n + 1$$

$$n = R/r \quad \psi = \pi/n$$

Hipocikloida nastaje pri kotrljanju kružnice po unutrašnjoj strani druge kružnice

$$x = r(m \sin \psi - \sin m\psi)$$

$$y = r(m \cos \psi + \cos m\psi)$$

$$m = (R - r)/r = n - 1$$

$$n = R/r \quad \psi = \pi/n$$

Evoventa (involuta) nastaje pri odmatanju obođa s kružnice

$$x = R(\sin \tau - \xi \cos \tau)$$

$$y = R(\cos \tau + \xi \sin \tau)$$

$$\tau = R/\cos \alpha$$

$$\xi = \tan \alpha$$

$$\varphi = \tan \alpha - \alpha = \text{inv } \alpha$$

$$\tau, \alpha(\text{rad})$$



Evoventna funkcija  $\text{inv } \alpha = \tan \alpha - \alpha$

$\alpha^\circ$	0'	10'	20'	30'	40'	50'
15	0,006 150	0,006 361	0,006 577	0,006 798	0,007 025	0,007 256
16	0,007 493	0,007 735	0,007 982	0,008 234	0,008 492	0,008 756
17	0,009 025	0,009 299	0,009 580	0,009 866	0,010 158	0,010 456
18	0,010 760	0,011 071	0,011 387	0,011 709	0,012 038	0,012 373
19	0,012 715	0,013 063	0,013 418	0,013 779	0,014 148	0,014 523
20	0,014 909	0,015 293	0,015 689	0,016 092	0,016 502	0,016 920
21	0,017 345	0,017 777	0,018 217	0,018 665	0,019 120	0,019 583
22	0,020 054	0,020 533	0,021 029	0,021 514	0,022 018	0,022 529
23	0,023 049	0,023 577	0,024 134	0,024 660	0,025 214	0,025 777
24	0,026 350	0,026 931	0,027 521	0,028 131	0,028 729	0,029 348
25	0,029 975	0,030 613	0,031 260	0,031 917	0,032 583	0,033 260
26	0,033 947	0,034 644	0,035 352	0,036 069	0,036 798	0,037 537
27	0,038 287	0,039 047	0,039 819	0,040 602	0,041 395	0,042 201
28	0,043 017	0,043 845	0,044 685	0,045 537	0,046 400	0,047 276
29	0,048 164	0,049 084	0,049 976	0,050 901	0,051 838	0,052 788
30	0,053 751	0,054 728	0,055 717	0,056 720	0,057 736	0,058 765

FUNKCIJE

Ako je svakoj vrijednosti  $x$  za  $a \leq x \leq b$  pridružen točno određen realni broj  $y$ , kaže se, da je u intervalu  $[a, b]$  dana funkcija  $f$ , što se piše

$$y = f(x)$$

$x$  – argument ili neodvisna varijabla

$f(x)$  – funkcijska vrijednost

$[a, b]$  – definijsko područje funkcije

Graf funkcije  $f$  (krivulja  $f(x)$ ) je skup svih točaka  $(x, f(x))$  u ravni  $x, y$ .

**Elementarne funkcije**

Polinom ili cijela racionalna funkcija  $n$ -tog stupnja je

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, \quad a_n \neq 0$$

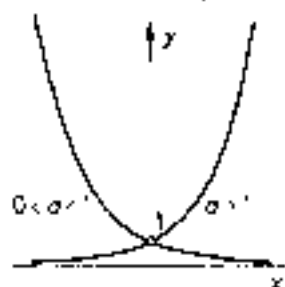
Razlomljena racionalna funkcija je kvocijent dvaju polinoma

$$f(x) = \frac{b_m x^m + b_{m-1} x^{m-1} + \dots + b_1 x + b_0}{a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0}$$

## Eksponecijalna i logaritamska funkcija

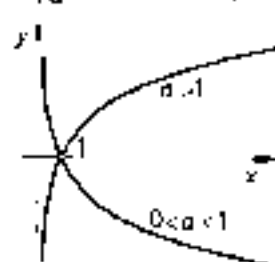
### Eksponecijalna funkcija

$$y = a^x \quad a > 0, a \neq 1$$



### Logaritamska funkcija

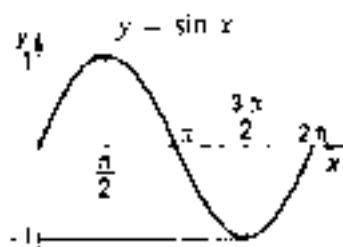
$$y = \log_a x \quad a > 0, a \neq 1$$



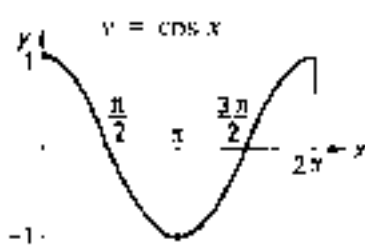
Logaritamske su funkcije inverzne eksponencijalnim funkcijama.

### Katne funkcije

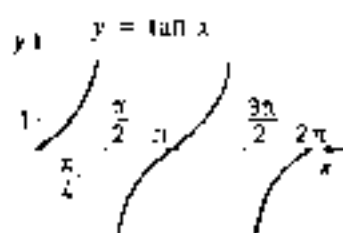
#### Sinus



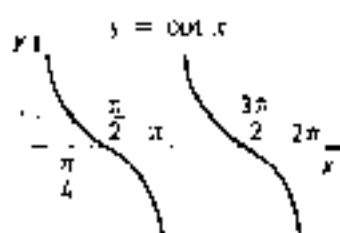
#### Kosinus



#### Tangens



#### Kotangens



### Pomaknuta sinusoida



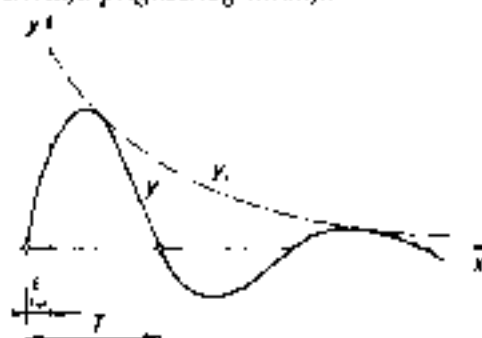
$$y = r \sin \varphi$$

$r$  = amplituda

Za fazi kut  $\epsilon$  pomaknuta sinusoida

$$y_1 = r \sin(\varphi + \epsilon)$$

### Krivulja prigušenog titranja



$$y = ce^{-\alpha t} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$y_1 = ce^{-\alpha t}$$

$$T = 2\pi/\omega$$

Logaritamski dekrementi

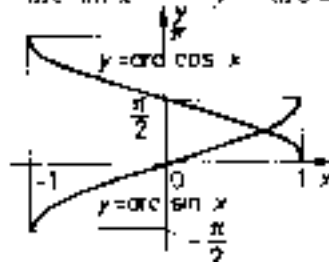
$$\Lambda = \ln \frac{y_1}{y_{1+1}} = \alpha \cdot \frac{T}{\omega}$$

$y_1$  i  $y_{1+1}$  su ordinate dvaju susjednih ekstrema.

### Ciklometrične funkcije

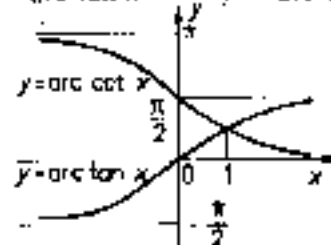
Arkus sinus      Arkus kosinus

$$y = \arcsin x \quad y = \arccos x$$



Arkus tangens      Arkus kotangens

$$y = \arctan x \quad y = \text{arccot } x$$



Ciklometrične su funkcije inverzija kutnih funkcija. Među njima postoje slijedeće veze.

$$\begin{aligned} \arcsin(-x) &= -\arcsin x \\ \arccos(-x) &= \pi - \arccos x \\ \arcsin x + \arccos x &= \pi/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \arctan(-x) &= -\arctan x \\ \text{arccot}(-x) &= \pi - \text{arccot } x \\ \arctan x + \text{arccot } x &= \pi/2 \end{aligned}$$

### Hiperbolne funkcije

#### Sinus hiperbolni

$$y = \text{sh } x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

#### Kosinus hiperbolni

$$y = \text{ch } x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

#### Tangens hiperbolni

$$y = \text{th } x = \frac{\text{sh } x}{\text{ch } x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

#### Kotangens hiperbolni

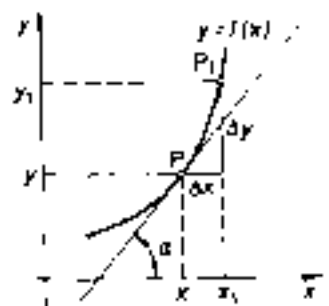
$$y = \text{cth } x = \frac{\text{ch } x}{\text{sh } x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

Osnovne veze među hiperbolnim funkcijama:

$$\begin{aligned} \text{ch}^2 x - \text{sh}^2 x &= 1 \\ 1 - \text{th}^2 x &= 1/(\text{ch}^2 x) \\ \text{cth}^2 x - 1 &= 1/(\text{sh}^2 x) \\ \text{sh } 2x &= 2 \text{sh } x \text{ch } x \\ \text{ch } 2x &= \text{ch}^2 x + \text{sh}^2 x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sh}(x \pm y) &= \text{sh } x \text{ch } y \pm \text{ch } x \text{sh } y \\ \text{ch}(x \pm y) &= \text{ch } x \text{ch } y \pm \text{sh } x \text{sh } y \\ \text{sh}^2 x &= (\text{ch } 2x - 1)/2 \\ \text{ch}^2 x &= (\text{ch } 2x + 1)/2 \end{aligned}$$

## DERIVACIJA FUNKCIJE



Derivacija funkcije  $y = f(x)$  u točki  $x$

$$y' = f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

Osnovna pravila deriviranja

$$\begin{aligned} [u(x) \pm v(x)]' &= u'(x) \pm v'(x) \\ [c \cdot u(x)]' &= c \cdot u'(x) \quad c = \text{konst.} \\ [u(x) \cdot v(x)]' &= u'(x)v(x) + u(x)v'(x) \\ [u(x)/v(x)]' &= [u'(x)v(x) - u(x)v'(x)]/v(x)^2 \\ [u(v(x))] &= u'(v) \cdot v'(x) \end{aligned}$$

Derivacija elementarnih funkcija

$y = c$	$y' = 0$
$y = x^n$	$y' = n x^{n-1}$ $n = \text{realni broj}$
$y = \sqrt{x}$	$y' = 1/(2\sqrt{x})$
$y = a^x$	$y' = a^x \ln a$
$y = e^x$	$y' = e^x$
$y = \log_a x$	$y' = 1/(x \ln a)$
$y = \lg x$	$y' = 1/(2.3026 x)$
$y = \ln x$	$y' = 1/x$
$y = \sin x$	$y' = \cos x$
$y = \cos x$	$y' = -\sin x$
$y = \tan x$	$y' = 1/\cos^2 x = 1 + \tan^2 x$
$y = \cot x$	$y' = -1/\sin^2 x = -(1 + \cot^2 x)$
$y = \arcsin x$	$y' = 1/\sqrt{1-x^2}$
$y = \arccos x$	$y' = -1/\sqrt{1-x^2}$
$y = \arctan x$	$y' = 1/(1+x^2)$
$y = \text{arccot } x$	$y' = -1/(1+x^2)$

Diferencijal funkcije  $y = f(x)$  u točki  $x$  je  $dy = f'(x)dx = df$

Osnovna pravila pri računanju diferencijala

$$\begin{aligned} d(u(x) \pm v(x)) &= du \pm dv & d(u(x) \cdot v(x)) &= u'(x)dv + v(x)du \\ d(c \cdot u(x)) &= c \cdot du & d(u(x)/v(x)) &= [v(x)du - u(x)dv]/v(x)^2 \end{aligned}$$

Derivacije višega reda

Ako je  $f'(x)$  derivacija funkcije  $y = f(x)$ , tada je derivacija drugoga reda (druga derivacija)

$$f''(x) = [f'(x)]' = y'' = d^2y/dx^2$$

Derivacija  $n$  tog reda funkcije  $f(x)$

$$f^{(n)}(x) = [f^{(n-1)}(x)]' = y^{(n)} = d^n y/dx^n$$

## Derivacija parametarski zadane funkcije

Za funkciju  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ , gdje je  $t$  parametar, bit će  $y'(x) = y'(t)/x'(t)$  i  $y''(x) = \{x'(t)y''(t) - y'(t)x''(t)\}/[x'(t)]^3$ , pri čemu je točkom označena derivacija funkcije s obzirom na parametar  $t$ .

## Geometrijsko značenje derivacije funkcije

Derivacija funkcije  $f(x)$  jednaka je koeficijentu naglona tangente na krivulju  $f(x)$  u točki  $x$

$$f'(x) = \tan \alpha$$

Tangenta na krivulju  $f(x)$  u točki  $P_1(x_1, y_1)$

$$y - y_1 = f'(x_1)(x - x_1)$$

Normala na krivulju  $f(x)$  u točki  $P_1(x_1, y_1)$

$$y - y_1 = \{-1/f'(x_1)\}(x - x_1)$$

Ekstremne vrijednosti funkcije  $f(x)$  bit će u točki, gdje je  $f'(x) = 0$ :

maksimum (A):  $f'(x_A) = 0$ ,  $f''(x_A) < 0$

minimum (B):  $f'(x_B) = 0$ ,  $f''(x_B) > 0$

Infleksija funkcije  $f(x)$  će biti u točki (C), gdje

je  $f'(x_C) = 0$  in  $f''(x_C) = 0$

Za krivulju  $y = f(x)$  su

- polumjer kružnice zakrivljenosti

$$r = \sqrt{1 + y'^2} / |y''|$$

- koordinate središta kružnice zakrivljenosti

$$p = x - |y''|(1 + y'^2)/y'' \quad q = y + (1 + y'^2)/y''$$

## Parcijalna derivacija

Parcijalnu derivaciju funkcije  $z = f(x, y)$  u pr. po varijabli  $x$  računamo tako, da nezavisnu varijablu  $x$  deriviramo, dok nezavisnu varijablu  $y$  pritom smatramo konstantom.

Parcijalna derivacija po  $x$  funkcije  $z = f(x, y)$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x}$$

Totálni diferencijal funkcije  $z$

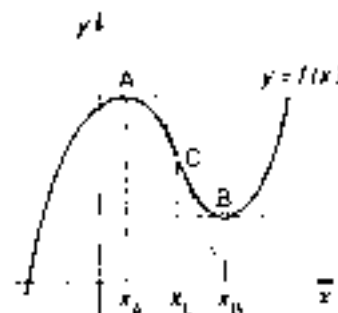
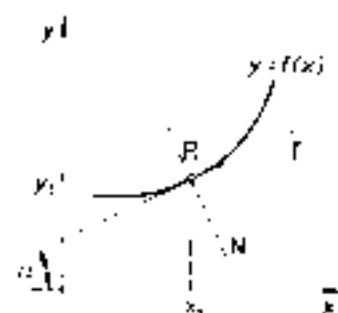
$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy$$

Parcijalna derivacija po  $y$  funkcije  $z = f(x, y)$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y}$$

Derivacije implicitne funkcije  $y(x)$ , zadane jednačom  $g(x, y) = 0$

$$y'(x) = -\frac{\partial g / \partial x}{\partial g / \partial y}$$



## Neodređeni integral

$\int f(x) dx = I(x) + C$ , gdje je  $I'(x) = f(x)$ ,  $C = \text{konst}$

Osnovna pravila za izračunavanje neodređenog integrala

$$\int [u(x) \pm v(x)] dx = \int u(x) dx \pm \int v(x) dx$$

$$\int [C \cdot u(x)] dx = C \int u(x) dx$$

Parcijalna integracija (*integratio per partes*)

$$\int u(x) dv = u(x)v(x) - \int v(x) du$$

Neki osnovni integrali

$$\int ax dx = ax^2 + C$$

$$\int x^n dx = (x^{n+1})/(n+1) + C \quad n \neq -1$$

$$\int (1/x) dx = \ln|x| + C$$

$$\int a^x dx = a^x / \ln a + C$$

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int \ln x dx = x(\ln x - 1) + C \quad \int (1/\sin^2 x) dx = -\cot x + C$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C \quad \int (1/\cos^2 x) dx = \tan x + C$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C \quad \int (1/\sqrt{1-x^2}) dx = \arcsin x + C$$

$$\int \tan x dx = -\ln|\cos x| + C \quad \int [1/(1+x^2)] dx = \arctan x + C$$

$$\int \cot x dx = \ln|\sin x| + C \quad \int (1/\sqrt{x^2-a^2}) dx = \ln|x + \sqrt{x^2-a^2}| + C$$

Uvođenje nove integracijske varijable

$$x = x(t) \quad dx = x'(t) dt$$

$$\int f(x) dx = \int f[x(t)] x'(t) dt$$

Primjeri:

1.  $\int (a+bx)^n dx = \int x^n (1/b) dt = (1/b) (a+bx)^{n+1} / (n+1) + C$   
 $a+bx = x \quad dx = (1/b) dt$

2.  $\int e^{ax} dx = (1/a) e^{ax} + C \quad \int \sin ax dx = -(1/a) \cos ax + C$   
 $ax = x \quad dx = (1/a) dt$

3.  $\int 1/(x^2+4) dx = (1/4) \int 1/[(x/2)^2+1] dx = (1/2) \arctan(x/2) + C$   
 $x/2 = t$

## Određeni integral

$$\int_a^b f(x) dx = [I(x)]_a^b = I(b) - I(a), \text{ gdje je } I(x) = \int f(x) dx$$

Upotreba određenog integrala

Proračunajte duljinu luka krivulje i površine lika

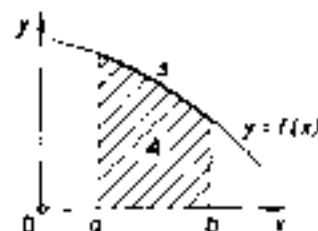
1. Krivulja je zadana jednačbom  $y = f(x)$ ,  
 $a \leq x \leq b$ .

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_a^b \sqrt{1 + y'^2} dx \quad ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

Površina  $A$  lika između luka krivulje i osi  $x$

$$A = \int_a^b f(x) dx$$



2. Krivulja je zadana parametarski

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{x'^2 + y'^2} dt$$

Površina  $A$  lika

$$A = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (x'y' - y'x') dt$$



3. Krivulja je zadana polarnim koordinatama

$$r = r(\varphi), \quad \alpha \leq \varphi \leq \beta$$

Duljina luka  $s$  krivulje

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{r^2 + r'^2} d\varphi$$

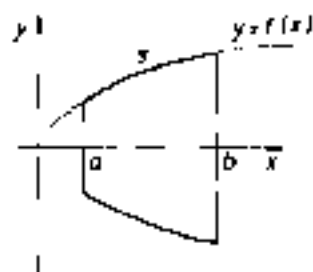
Površina  $A$  isječka

$$A = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} r^2(\varphi) d\varphi$$



### Izračunavanje površine i volumena rotacijskih tijela

Rotacijsko tijelo nastaje rotacijom krivulje  $y = f(x)$  oko osi  $x$ ,  $a \leq x \leq b$ .



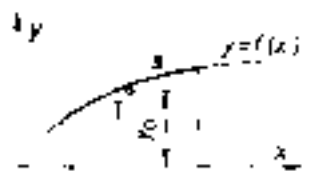
Površina  $A$  rotacijskog tijela

$$A = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + y'^2} dx$$

Volumen  $V$  rotacijskog tijela

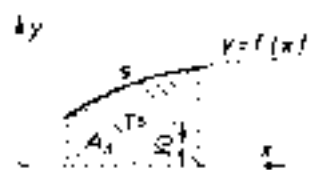
$$V = \pi \int_a^b y^2 dx$$

Guľdinova pravila.



Površina  $A$  rotacijskog tijela jednaka je umnošku duljine luka  $s$  krivulje i opsega kružnice što ga opisuje njeno težište  $T$ .

$$A = 2\pi r_0 s$$



Volumen  $V$  rotacijskog tijela jednak je umnošku površine plohe  $A$ , ispod krivulje i opsega kružnice što je opisuje težište  $T$ .

$$V = 2\pi r_0 A,$$

Težišta linija, likova i tijela – vidi str. 106 do 108.

### Numerička integracija

Često treba izračunati vrijednost određenog integrala gdje je funkcija  $f(x)$  zadana u obliku tablice ili ne poznajemo njen neodređeni integral.

#### Trapezna jednadžba

Intervat  $[a, b]$  podijelimo na  $n$  jednakih delova širine  $h = (b - a)/n$ . Konačne točke  $k$ -tog podintegrala su

$$x_{k-1} = x_0 + (k-1)h \quad x_k = x_0 + kh$$

pa čemu vrijedi:  $x_0 = a$ ,  $x_n = b$ ,  $f(x_k) = y_k$ , pa je

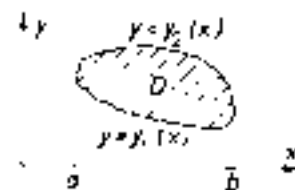
$$\int_a^b f(x) dx \approx h \left( \frac{1}{2} y_0 + y_1 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right)$$

### Višestruki integrali

#### Dvostruki integral

Dvostruki integral funkcije  $f(x, y)$  na području  $D$  izračunavamo jednadžbom

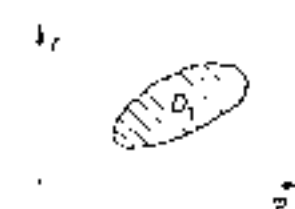
$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_{c_1(x)}^{c_2(x)} f(x, y) dy$$



Transformacija dvostrukog integrala u polarne koordinate

$$x = r \cos \varphi \quad y = r \sin \varphi$$

$$\iint_D f(x, y) dx dy = \iint_{D'} f(r \cos \varphi, r \sin \varphi) r dr d\varphi$$



Površina područja  $D_1$

$$A = \iint_D dx dy$$

Volumen tijela što ga nad područjem  $D$  omeđuju plohe, dane jednadžbama:

$$z = z_1(x, y) \quad \text{in} \quad z = z_2(x, y)$$

gdje su:

$$z_2(x, y) \geq z_1(x, y) \quad (x, y) \in D$$

$$V = \iint_D [z_2(x, y) - z_1(x, y)] dx dy$$

#### Trostruki integral

Trostruki integral funkcije  $f(x, y, z)$  na području  $V$  izračunavamo jednadžbom

$$\iiint_V f(x, y, z) dx dy dz = \int_a^b dx \int_{c_1(x)}^{c_2(x)} dy \int_{z_1(x, y)}^{z_2(x, y)} f(x, y, z) dz$$

Transformacija trostrukog integrala u polarne (kugline) koordinate:

$$x = r \cos \varphi \cos \theta \quad y = r \cos \varphi \sin \theta \quad z = r \sin \varphi$$

$$\iiint_V f(x, y, z) dx dy dz = \iiint_{V'} f(r \cos \varphi \cos \theta, r \cos \varphi \sin \theta, r \sin \varphi) r^2 \cos \varphi dr d\varphi d\theta$$

Diferencijalna jednačina s razdvajivim varijablama

$$f(x)dx = g(y)dy$$

Opće rješenje

$$\int f(x)dx = \int g(y)dy + C \quad C = \text{konst}$$

Homogena diferencijalna jednačina

$$y' = f\left(\frac{y}{x}\right)$$

Rješavamo je supstitucijom

$$y = ux, \quad y' = u'x + u$$

Opće rješenje

$$\int \frac{1}{x} dx = \int \frac{1}{f(u) - u} du + C$$

Linearna diferencijalna jednačina 1. reda

$$y' + g(x)y = h(x)$$

Opće rješenje

$$y = -e^{-\int g(x)dx} \int h(x)e^{\int g(x)dx} dx + Ce^{-\int g(x)dx}$$

gdje je

$$i(x) = \int g(x)dx$$

Homogena diferencijalna jednačina 2. reda s konstantnim koeficijentima

$$y'' + a_1y' + a_2y = 0$$

Rješenje pomoću

$$y = e^{kx}, \quad y' = ke^{kx}, \quad y'' = k^2e^{kx}$$

otkuda proizlazi karakteristična jednačina

$$k^2 + a_1k + a_2 = 0$$

Opće rješenje diferencijalne jednačine ovisno je o korijenima  $k_1$  i  $k_2$  karakteristične jednačine.

$$k_1, k_2 \text{ - različiti realni brojevi} \quad y = C_1e^{k_1x} + C_2e^{k_2x}$$

$$k_1, k_2 \text{ - jednaki realni brojevi: } k_1 = k_2 = k \quad y = (C_1 + C_2x)e^{kx}$$

$$k_1, k_2 \text{ - konjugirano kompleksni brojevi: } k_{1,2} = a \pm ib$$

$$y = e^{ax}(C_1 \cos bx + C_2 \sin bx)$$

Nehomogene linearne diferencijalne jednačine 2. reda rješavaju se metodom varijacije konstanti.

Skalari su veličine potpuno određene samo jednim podatkom (npr. vrijeme, masa, radnja, energija, temperatura itd.).

Skalare označujemo simbolima, npr.  $a$ .

Vektori su veličine, određene intenzitetom (apsolutnom vrijednošću) i smjerom (npr. sila, moment, brzina, ubrzanje itd.).

Vektore označujemo znakom iznad simbola, npr.  $\vec{a}$  ili debljim simbolom, npr.  $\mathbf{a}$ ; geometrijski ih prikazujemo orijentiranim dužinama\*.

Vektori mogu biti slobodni ili vezani. Slobodni se vektori mogu pomicati u svojem smjeru ili paralelno kamo god u prostoru, a njihovo hvatište može biti svaka točka u prostoru (npr. moment para sila). Vezani se vektori mogu pomicati samo u svojem smjeru, a njihovo hvatište može biti samo neka točka na pravcu u kojem djeluju (npr. sila, kutna brzina). - Više sila koje djeluju u istoj točki su slobodni vektori, ali ako djeluju u različitim točkama, to su vezani vektori.

Apsolutna vrijednost vektora  $|\mathbf{a}| = a$  je dužina kojom prikazujemo vektor. Ako je vektor zadan svojim komponentama (koordinatama)

$$\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$$

vrijedi

$$|\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Vektori  $\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$  i  $\mathbf{b} = (b_x, b_y, b_z)$  su jednaki, ako su im jednake sve komponente

$$a_x = b_x, \quad a_y = b_y, \quad a_z = b_z$$

Radni vektor je vektor, koji vodi od koordinatnoga ishodišta  $O$  do točke  $P$  u prostoru, a označujemo ga sa  $\mathbf{r}$

$$\mathbf{r} = \vec{OP}$$

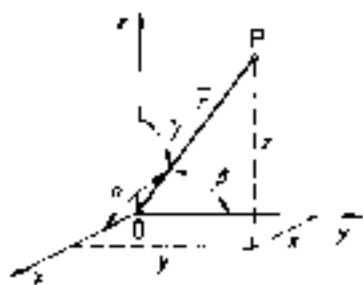
Njegove koordinate su i koordinate točke  $P(x, y, z)$

$$\mathbf{r} = (x, y, z)$$

$$|\mathbf{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Ako vektor  $\mathbf{r}$  zatvara s osima koordinatu kutove  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , bit će smjerni kosinusi vektora  $\mathbf{r}$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$



\* U ovom su priručniku vektori označeni sa  $\vec{a}$  - u slikama, a sa  $\mathbf{a}$  - u tekstu (iz crtačkih i tiskarskih razloga).

## Zbrajanje i oduzimanje vektora

Vektore zbrajamo i oduzimamo po zakonu paralelograma.

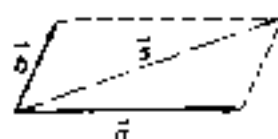
Zbroj vektora  $s = a + b$

Koordinate zbroja  $s = (s_x, s_y, s_z)$  su

$$s_x = a_x + b_x$$

$$s_y = a_y + b_y$$

$$s_z = a_z + b_z$$



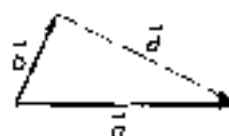
Razlika vektora  $d = a - b$

Koordinate razlike  $d = (d_x, d_y, d_z)$  su

$$d_x = a_x - b_x$$

$$d_y = a_y - b_y$$

$$d_z = a_z - b_z$$



$$a \cdot b = b \cdot a \quad (a + b) \cdot c = a \cdot c + (b \cdot c) \quad a \cdot a = 0$$

$$a \cdot 0 = 0, 0 \cdot 0 = 0$$

## Množenje vektora

a) *Množenje vektora skalarom*  $m$ , koji je proizvoljan realan broj

$$ma = (ma_x, ma_y, ma_z)$$

Vektor  $ma$  leži na istom pravcu kao i vektor  $a$ , a njegova je apsolutna vrijednost

$$|ma| = |m| |a|$$

Za  $m > 0$  vektori  $a$  i  $ma$  su istog smisla

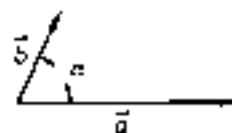
za  $m < 0$  vektori  $a$  i  $ma$  su suprotnog smisla

b) *Skalarni produkt dvaju vektora*  $a$  i  $b$  je skalar

$$ab = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = |a| |b| \cos \alpha$$

$\alpha$  je kut među vektorima  $a$  i  $b$ ; dobivamo ga iz

$$\cos \alpha = ab / (|a| |b|)$$



$$ab = ba \quad (a + b) \cdot c = ac + bc$$

$$\alpha = 0 \quad ab = |a| |b|$$

$$\alpha = \pi/2 \quad ab = 0$$

c) *Vektorski produkt* dvaju vektora  $a$  i  $b$  je vektor



$$c = a \times b$$

koji stoji okomito na ravnini vektora  $a$  i  $b$ . Njegova apsolutna vrijednost jednaka je površini paralelograma, omeđenoga vektorima  $a$  i  $b$ . Vektor  $c$  ima smisao, određen po pravilu desnoavajnog vijka.

Koordinate vektorskog produkta  $c = (c_x, c_y, c_z)$  su:

$$c_x = a_2 b_3 - a_3 b_2, \quad c_y = a_3 b_1 - a_1 b_3, \quad c_z = a_1 b_2 - a_2 b_1$$

$$a \times b = -b \times a \quad (a + b) \times c = a \times c + b \times c$$

$$\text{Za } a = 0, \pi \text{ je: } a \times b = 0$$

Površina  $A$ , koju određuju vektori  $a$  i  $b$ , je

$$\text{za trokut } A = \frac{1}{2} |a \times b| \quad \text{za paralelogram } A = |a \times b|$$

č) *Mješoviti produkt* vektora  $a, b$  i  $c$  je skalar

$$(a, b, c) = a \cdot (b \times c) = (a \times b) \cdot c$$

Apsolutna vrijednost mješovitog produkta jednaka je volumenu  $V$  paralelopipeda, konstruiranoga nad vektorima  $a, b$  i  $c$  u prostoru

$$V = |(a, b, c)|$$

d) *Rastavljanje vektora* u ravnini i prostoru

Ako vektori  $a = (a_x, a_y, a_z)$  i  $b = (b_x, b_y, b_z)$  nisu paralelni ( $a \times b \neq 0$ ), tada se svaki treći vektor  $c = (c_x, c_y, c_z)$ , koji leži u njihovoj ravnini rastavlja u obliku

$$c = ma + nb$$

gdje su  $m$  i  $n$  skalari, određeni jednačbama:

$$m = \frac{c_x b_y - c_y b_x}{a_x b_y - a_y b_x} \quad n = \frac{a_x c_z - a_z c_x}{a_x b_z - a_z b_x}$$

Ako vektori  $a, b$  i  $c$  nisu u istoj ravnini (mješoviti produkt  $(a, b, c) \neq 0$ ), tada svaki četvrti vektor  $d$  u prostoru rastavljamo u obliku

$$d = ma + nb + pc$$

gdje su skalari  $m, n$  i  $p$  određeni jednačbama:

$$m = \frac{(d, b, c)}{(a, b, c)} \quad n = \frac{(d, c, a)}{(a, b, c)} \quad p = \frac{(d, a, b)}{(a, b, c)}$$

## Krivulje u prostoru

Duljinu luka  $s$  prostorne krivulje  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$  za  $\alpha \leq t \leq \beta$  proračunavamo jednašbom

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} dt$$

Ako je krivulja dana jednašbama  $y = y(x)$ ,  $z = z(x)$ , bit će duljina luka  $s$  za  $a \leq x \leq b$  jednaka

$$s = \int_a^b \sqrt{1 + y'^2 + z'^2} dx$$

Za krivulju danu u vektorskom obliku jednašbom

$$\begin{aligned} r = r(t) &= (x(t), y(t), z(t)) \\ \dot{r} &= (\dot{x}(t), \dot{y}(t), \dot{z}(t)) \end{aligned}$$

bit će:

infleksijska zakrivljenost

$$\frac{1}{\rho} = \frac{|\dot{r} \times \ddot{r}|}{|\dot{r}|^3}$$

torzijska zakrivljenost

$$\frac{1}{\tau} = \frac{(\dot{r}, \ddot{r}, \ddot{\ddot{r}})}{|\dot{r} \times \ddot{r}|^2}$$

## Skalarne i vektorske polje

Skalarno polje  $u = u(x, y, z)$

Vektorsko polje  $V = (X(x, y, z), Y(x, y, z), Z(x, y, z))$

Operator derivacije (nabla):  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$

Gradijent skalarnoga polja  $u$  je vektorsko polje

$$\text{grad } u = \left( \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \nabla u$$

Divergencija vektorskog polja  $V$  je skalarno polje, određeno jednašbom

$$\text{div } V = \nabla \cdot V = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}$$

Rotor vektorskog polja  $V$  je vektorsko polje, određeno jednašbom

$$\text{rot } V = \nabla \times V = \left( \frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial z}, \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y} \right)$$

Vektorsko je polje  $V$  potencijalno, ako je izvedeno kao gradijent skalarnoga polja  $u$

$$V = \text{grad } u$$

Vektorsko je polje  $V$  solenoidalno (bez izvora), ako je  $\text{div } V = 0$ .

Vektorsko polje  $V$  nema vrtloga, ako je  $\text{rot } V = 0$ . Bezvrtložno je vektorsko polje samo tada, ako je potencijalno.

Vektorsko polje  $V$  je harmoničko (Laplaceovo), ako u njem nema ni izvora, ni vrtloga. Tada postoji takvo skalarno polje  $u$  kod kojega je

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \Delta u = 0$$

gdje je

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad \text{— Laplaceov operator}$$

## Derivacija i integracija vektorskih funkcija

Definicije vektorske funkcije  $a(t)$  realne varijable  $t$  i njene derivacije su iste kao pri skalarnoj funkciji.

Derivacija zbroja i razlike vektora

$$[ma(t) + nb(t)]' = ma'(t) \pm nb'(t)$$

Derivacija skalarnog produkta

$$[a(t)b(t)]' = a'(t)b(t) + a(t)b'(t)$$

Derivacija vektorskoga produkta

$$[a(t) \times b(t)]' = a'(t) \times b(t) + a(t) \times b'(t)$$

Vektor  $a(t)$  s komponentama  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  (koje su skalarne funkcije)

$$a(t) = [X(t), Y(t), Z(t)]$$

ima derivaciju  $a'(t) = [X'(t), Y'(t), Z'(t)]$

Funkcija  $a(x, y)$  ima dvije parcijalne derivacije

$$a_x = \left( \frac{\partial X}{\partial t}, \frac{\partial Y}{\partial t}, \frac{\partial Z}{\partial t} \right) \quad a_y = \left( \frac{\partial X}{\partial s}, \frac{\partial Y}{\partial s}, \frac{\partial Z}{\partial s} \right)$$

i totalni diferencijal

$$da = a_x dx + a_y ds$$

Neodređeni integral vektorske funkcije

$$a(t) = [X(t), Y(t), Z(t)]$$

dan je jednašbom

$$\int a(t) dt = \left( \int X(t) dt, \int Y(t) dt, \int Z(t) dt \right)$$

a određeni integral za  $\alpha < t \leq \beta$  jednašbom

$$\int_{\alpha}^{\beta} a(t) dt = \left( \int_{\alpha}^{\beta} X(t) dt, \int_{\alpha}^{\beta} Y(t) dt, \int_{\alpha}^{\beta} Z(t) dt \right)$$



Laplaceov transformat  $F(x)$  funkcije  $f(t)$  (za realni broj  $s$ ) definiran je jednačbom

$$F(x) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-xt} f(t) dt \quad x \in \mathbf{C}$$

Svojstva transformacije

$$\mathcal{L}\{a f(t) + b g(t)\} = a \mathcal{L}\{f(t)\} + b \mathcal{L}\{g(t)\}$$

Za  $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(x)$  je:

$$\mathcal{L}\{f(at)\} = 1/a \cdot F(x/a) \quad a > 0$$

$$\mathcal{L}\{e^{-at} f(t)\} = F(x+a)$$

$$\mathcal{L}\{f'(t)\} = xF(x) - f(0)$$

$$\mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\} = x^n F(x) - x^{n-1} f(0) - x^{n-2} f'(0) - \dots - x f^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$$

$$\mathcal{L}\{t^n f(t)\} = (-1)^n F^{(n)}(x)$$

Primjeri transformacije

$f(t)$	$F(x)$	$f(t)$	$F(x)$
1	$1/x$	$\text{sh } at$	$a/(x^2 + a^2)$
$t^n$	$n!/x^{n+1}$	$\text{ch } at$	$x/(x^2 + a^2)$
$e^{at}$	$1/(x-a)$	$t e^{at}$	$1/(x-a)^2$
$\text{sin } at$	$a/(x^2 + a^2)$	$t \text{ sin } at$	$2ax/(x^2 + a^2)^2$
$\text{cos } at$	$x/(x^2 + a^2)$	$t \text{ cos } at$	$(x^2 - a^2)/(x^2 + a^2)^2$

Primjeri inverzne transformacije:

$F(x)$	$f(t)$
1	$\delta(t)$ (impulsna funkcija)
$1/x^n$	$t^{n-1}/(n-1)!$
$1/(x-a)^n$	$t^{n-1} e^{at}/(n-1)!$
$1/(s+ax)$	$1/a \cdot e^{-at}$
$1/[(s-b)^2 + a^2]$	$1/a \cdot e^{bt} \text{ sin } at$
$(x-b)/[(x-b)^2 + a^2]$	$e^{bt} \text{ cos } at$
$1/[(x-b)^2 - a^2]$	$1/a \cdot e^{bt} \text{ sh } at$
$(x-b)/[(x-b)^2 - a^2]$	$e^{bt} \text{ ch } at$

Matematička se statistika bavi metodom vrednovanja pokusima dobivenih podataka, da bi ustanovila vjerojatne zakonitosti opaženih slučajnih pojava i veličina.

**Statistička vjerojatnost**

Relativna učestalost  $p$  događaja  $A$  određena je omjerom

$$p = \frac{m}{n}$$

gdje znače

$n$  — broj ponavljanja pokusa

$m$  — broj koliko se puta događaj  $A$  zbiva.

Relativna je učestalost uvijek

$$0 \leq p \leq 1$$

pri čemu vrijedi

za  $p = 0$  je  $m = 0$ ; događaj nije moguć ni pri jednom opažanju,

za  $p = 1$  je  $m = n$ ; događaj se zbiva pri svakom opažanju.

Ako je broj  $n$  vrlo velik, uzimamo, da je relativna učestalost  $p$  približno jednaka statističkoj vjerojatnosti događaja  $A$  pri pokusu.

**Statistički prosjek**

Najznačajnije karakteristike slučajnih veličina su prosječna vrijednost i varijanca.

*Prosječna vrijednost*  $\bar{x}$  je broj, oko kojeg su nanizane pokusima dobivene vrijednosti slučajne veličine

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

gdje su

$n$  — broj jednakih pokusa

$x_i$  — vrijednost slučajne veličine pri  $i$ -tom pokusu.

Ako su vrijednosti  $x_i$  brojčano velike, možemo odabrati približnu prosječnu vrijednost  $X$  i računati s razlikama

$$x_i - X + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X)$$

Zbroj odstupanja vrijednosti slučajne veličine  $x_i$  od njene prosječne vrijednosti  $X$  jednaka je 0

$$\sum_{i=1}^n (x_i - X) = 0$$

Mjera rasipa  $s^2$  (varijanca) je pri  $n$  pokusa dobivena prosječna vrijednost svake kvadrata odstupanja slučajne veličine  $x$ , od njene prosječne vrijednosti  $\bar{x}$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Standardna devijacija  $s$  je realni korijen mjere rasipa

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Relativna standardna devijacija (koeficijent varijacije) je

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%)$$

Ako pokusom izmjerimo dvije slučajne veličine  $x$  i  $y$ , a pri  $n$  mjerenjima dobivamo za njih vrijednosti:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad \text{in} \quad y_1, y_2, \dots, y_n$$

to će za veličine  $x$  i  $y$  biti karakterističan broj  $s_{x,y}$  (kovarijansa)

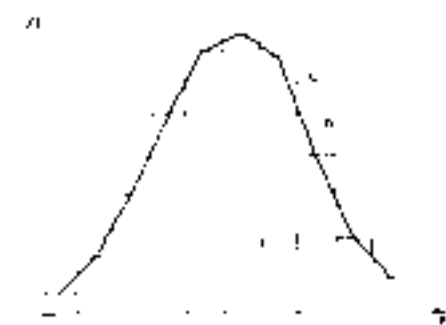
$$s_{x,y} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Za vrlo veliki osnovni skup vrijedi ukupna devijacija

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}$$

gdje su:  $N$  - kardinalni broj (brojnost osnovnog skupa),  $m$  - srednja vrijednost.

### Razdioba učestalosti



Histogram je dijagram, koji prikazuje učestalost vrijednosti slučajne veličine. U njemu se na apscisi nanose izmjerene vrijednosti, a na ordinatu učestalost.

Iz grafikona razdiobe učestalosti (a) dobivamo spajanjem srednje vrijednosti izlomljeni crta (b) koja se to više približava neprekidnoj krivulji, što je sitnija podjela na apscisi.

Pokusom dobiveni histogram je približenje zakonu razdiobe slučajne veličine

### Normalna razdioba

Pri normalnoj razdiobi teče krivulja učestalosti po Gaussovu zakonu

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

gdje su:  $m$  - srednja vrijednost,  $\sigma$  - standardna devijacija

Gaussova krivulja proteže se od  $-\infty$  do  $+\infty$ , a simetrična je s obzirom na vrijednost  $x = m$ , gdje je najveća učestalost

$$x = m \quad y_{\text{maks}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} = 0,39894/\sigma$$

Od te vrijednosti krivulja vrlo naglo pada simetrično s obje strane i ima infleksiju u točkama  $x = m \pm \sigma$ , gdje je učestalost

$$x = m \pm \sigma \quad y = 0,607 y_{\text{maks}} = 0,2420/\sigma$$

Nadalje vrijedi

$$x = m \pm 2\sigma \quad y = 0,135 y_{\text{maks}} = 0,0540/\sigma$$

$$x = m \pm 3\sigma \quad y = 0,004 y_{\text{maks}} = 0,0016/\sigma$$

Kod manjih vrijednosti  $\sigma$  krivulja je normalne razdiobe strmija, a kod većih  $\sigma$  je položita.

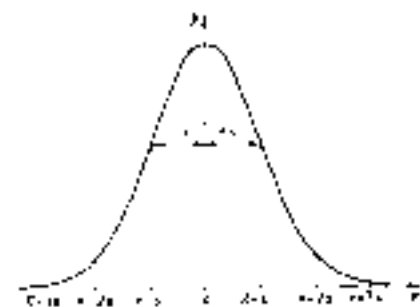
Cjelokupna površina lika među Gaussovom krivuljom i apscisnom osi iznosi

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} y dx = 1$$

a površine među Gaussovom krivuljom i apscisnom osi u pojedinim intervalima iznose:

u intervalu $m \pm 0,5\sigma$	$A = 0,5$
u intervalu $m \pm \sigma$	$A = 0,683$
u intervalu $m \pm 2\sigma$	$A = 0,955$
u intervalu $m \pm 3\sigma$	$A = 0,997$

Gaussovu krivulju (koja vrijedi za vrlo veliki broj pokusa  $N$ ) možemo dovoljnom točnošću upotrijebiti i pri manjem broju pokusa  $n$ , ako u njoj ukupnu devijaciju  $\sigma$  zamijenimo standardnom devijacijom  $s$ , a srednju vrijednost  $m$  prosječnom vrijednošću  $\bar{x}$ .



### Druge značajnije razdiobe:

binomna, Poissonova, Studentova, razdioba  $\chi^2$  itd.

## Regresija i korelacija

Krivulja koja spaja pokusom dobivenih  $n$  točaka, s apscisama  $x_1, x_2, \dots, x_n$  i ordinatama  $y_1, y_2, \dots, y_n$  nazivamo regresijskom krivuljom odgovarajućih veličina  $x$  i  $y$ .

Želimo ustanoviti funkcionalne zavisnost (korelaciju)  $y = f(x)$ .

### Linearna korelacija

### Pravac regresije (p)

$$y = a + bx$$

$a$  – odsječak na osi ordinata,

$b$  – koeficijent smjera

$$b = (y - ay) / (x - ax)$$

Vrijednosti broja  $a$  i  $b$  određujemo metodom najmanjih kvadrata, a odati proizlazi

$$b = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right]}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

### Jednadžbe regresijskog pravca

$$y - \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} (x - \bar{x})$$

## Greške mjerenja

Pri svakom se mjerenju – bez obzira na okolnosti – pojavljuje *mjerena greška*  $\Delta x$ , a to je razlika između izmjerene vrijednosti  $x_i$  i stvarne vrijednosti  $x$

$$\Delta x = x_i - x$$

Iz izmjerene vrijednosti, koju po potrebi valja popraviti (npr. greška mjernog uređaja) ili naknadno preračunati, proizlazi *mjerne rezultate*.

*Sistematske greške* pojavljuju se pod jednakim okolnostima i uvijek s jednakom vrijednošću i jednakim predznakom. Možemo ih lako ustanoviti i odgovarajuće računski ispraviti (npr. netočnost = greška mjernog uređaja).

*Slučajne greške* javljaju se po mjestima i vremenu potpuno nesredeno, s različitim vrijednostima i predznacima (npr. zbog istrošenosti, trenja i sl.) Ne možemo ih predviđati, a ne možemo ni popravljati mjerne rezultate. Zbog slučajnih grešaka postaju mjerne rezultate nepouzdana. Ovu manju možemo smanjiti samo većim brojem mjerenja.

U suprotnosti sa sistematskim i slučajnim greškama koje prate svako mjerenje, su *mjerne greške*, a to su mjerne odstupanja koja potiču od zabuna mjerioca, nepravilnog mjernog postupka, oštećenog ili pokvarenog mjernog uređaja itd. Mjerne greške treba bezuvjetno izlučiti pri ocjeni mjernih rezultata.

## SUSTAVI MJERNIH JEDINICA

### Veličinske jednadžbe i koherentne jedinice

Veličina je svaki (fizikalni) pojam koji se može mjeriti, npr.: put, brzina, težina, temperatura, električni otpor itd. Po srodnosti fizikalnih pojava s kojima su vezane, dijelimo veličine na geometrijske, vremenske, mehaničke (masa, sila, rad i snaga), električne, magnetske itd.

Fizikalni zakoni određuju međusobnu zavisnost razgovornih veličina. Svaki matematički izraz, koji pokazuje samo međusobnu zavisnost veličina zovemo veličinskom jednadžbom\*.

Veličine mjerimo uspoređivanjem s određenom vrijednošću iste veličine, koju smo odabrali za mjeru. Između različitih mjera odabiremo najprikladniju jedinicu.

Jedinice koje odgovaraju veličinskim jednadžbama su dimenzijski koherentne jedinice.

Od dimenzijski koherentnih jedinica možemo samo neke odabrati po volji. Nazivamo ih osnovnim jedinicama. Sve ostale jedinice koje određujemo iz osnovnih jedinica s pomoću odgovarajućih veličinskih jednadžbi (definiციjske jednadžbe) nazivamo izvedenim jedinicama.

Broj osnovnih jedinica veoma je malen. Za sve geometrijske veličine dovoljna je samo jedna osnovna jedinica – za duljinu. Kinematika treba već dvije osnovne jedinice: za duljinu i vrijeme. U kinetici moramo tim dvjema dodati i treću: za masu, a električne i magnetske veličine traže još i četvrtu: za jakost električne struje. Osim tih, potrebne su još osnovne jedinice za temperaturu, svjetlosnu jakost i količinu tvari (materije).

Sve druge jedinice možemo izvesti iz tih osnovnih jedinica.

Sustavi jedinica povezuju osnovne i izvedene jedinice u zajedničku dimenzijsku koherenciju. Novi međunarodni sustav jedinica (SI) odlikuje se dimenzijskom koherencijom za sve značajnije veličine u fizici i tehnici.

### Brojčane jednadžbe

Ako se pri izboru različitih veličina ne bismo obazirali na jedinice ostalih veličina, mogli bismo fizikalne zakone prikazati samo jednadžbama u kojima bi – kao parazitne koeficijente – trebalo uzimati u obzir i međusobne omjere različitih jedinica.

Takav matematički izraz, prilagođen povoljno odabranim dimenzijski nekoherentnim jedinicama, nije više veličinska jednadžba, već samo brojčana jednadžba.

Brojčane se jednadžbe upotrebljavaju samo kada se njima želi prikazati međusobni omjer veličina (npr. prema rezultatima mjerenja kod pokusa) kojih međusobna fizikalna ovisnost (još) nije poznata. U svim slučajevima kad su fizikalne ovisnosti poznate, opravdane su samo veličinske jednadžbe.

\* U ovom su priručniku sve jednadžbe pisane u veličinskom obliku.

Godine 1799. u Francuskoj su uredovno ustanovljene jedinice – metar za duljinu i kilogram za masu.

Godine 1875. u Parizu je 17 država potpisalo *Međunarodnu metarsku konvenciju*, kojoj su postupno pristupale nove države članice, tako da je konvencija nakon sto godina imala 43 članice potpisnice (među njima i Jugoslaviju), dok je metarski sustav upotrebljavalo već više od 120 država.

Za primanje zaključaka Međunarodne metarske konvencije bile su zadane *Generalne konferencije za utege i mjere*.

Godine 1901. je prof. Giorgi predložio novi «apsolutni sustav jedinica», koji je bio prvobitno sastavljen za potrebe elektrotehnike te je, osim jedinica metra i kilograma te sekunde kao jedinice za vrijeme, povezivao sve najznačajnije elektrotehničke jedinice. Taj («Giorgijeve») sustav jedinica je pokazao velike prednosti i na drugim tehničkim područjima, napose u mehanici. Stoga ga je 9. generalna konferencija za utege i mjere u Parizu god. 1948. definitivno primila kao opće prikladan sustav jedinica, koji ima, osim osnovnih jedinica (metra, kilograma i sekunde) još i četvrtu osnovnu jedinicu – amper kao jedinicu za električnu struju, a nazvan je, po tim osnovnim jedinicama «sustav jedinica MKSA».

10. generalna konferencija god. 1954. dodala je još dvije osnovne jedinice: stupanj Kelvina (godine 1969. preimenovan u kelvin) za temperaturu i kandela za jakost svjetla. 11. generalna konferencija je god. 1960. odredila mnogokratnike jedinica i novome sustavu jedinica dala im **Međunarodni sustav jedinica SI** (*Système International d'Unités*). Na 13. generalnoj konferenciji god. 1967. ustanovljena je nova definicija za sekundu, a na 14. generalnoj konferenciji god. 1971. dodana je još i sedma osnovna jedinica – mol kao osnovna jedinica za količinu tvari.

Osnovne jedinice međunarodnoga sustava SI su sada:

za duljinu	– metar	m
za masu	– kilogram	kg
za vrijeme	– sekunda	s
za električnu struju	– amper	A
za temperaturu	– kelvin	K
za jakost svjetla	– kandela	cd
za količinu tvari	– mol	mol

U Jugoslaviji je međunarodni sustav jedinica SI zakonjen g. 1976. Novi zakon o mjernim jedinicama i mjerama objavljen je u veljači 1984. s važnošću od 17. svibnja 1984.

### Osnovne jedinice SI:

Osnovna jedinica za duljinu – metar (m), je bila najprije određena razmakom dviju crtica na međunarodnom praznetru od platine i iridija pri temperaturi 0 °C. Praznetar je bio određen mjerenjem Zemljana kvadranta, i to kao njegov 10-milijunti dio, ali je kasnijim mjerenjima ustanovljeno neznatno odstupanje od te definicije (kraći je za 0,2 nm).

17. generalna konferencija za mjere i utege u Parizu je g. 1983. odredila novu definiciju metra: to je duljina puta koju u vakuumu prevoli svjetlost u 1/299 792 458 sekunde.

Osnovna jedinica za masu – kilogram (kg) – je određena masom međunarodnog prakilograma od platine i iridija.

Prakilogram je najprije bio određen masom 1 dm<sup>3</sup> destilirane vode pri 4 °C i tlaku 1,01325 bar. Kasnijim je mjerenjima ustanovljeno odstupanje i pri izradi prakilograma, koji stvarno odgovara masi od 1,000 028 dm<sup>3</sup> vode pri 4 °C.

Osnovna jedinica za vrijeme – sekunda (s) – prvobitno je bila određena kao 86 400. dio srednjeg Sunčeva dana.

13. generalna konferencija za mjere i utege 1967. god u Parizu utvrdila je i novu definiciju sekunde. to je trajanja 9 192 631 770 perioda zračenja uzija <sup>133</sup>Cs.

Osnovna jedinica jakosti električne struje – amper (A) – je istosmjerna električna struja koja proijedeći u vakuumu kroz dva ravna i međusobno 1 m udaljena paralelna vodiča beskonačne duljine i zanemarljivo malena presjeka uzrokuje među vodičima po svakom metru duljine silu od 2 · 10<sup>-7</sup> N.

Osnovna jedinica za temperaturu (termodinamičku) – kelvin (K) – je 273,16. dio temperaturnog intervala između apsolutne nule i trojne točke vode.

Osnovna jedinica za jakost svjetla – kandela (cd) – je jakost svjetla jednovalnoga zračenja frekvencije 540 · 10<sup>12</sup> Hz i snage 1/683 W/sr. (Hz, W i sr – vidi str. 57)

Jedinica za količinu tvari – mol (mol) – jest ona količina tvari sustava koja sadrži toliko elementarnih čestica koliko je atoma u 12 g ugljika <sup>12</sup>C.

Kad upotrebljavamo mol, moraju elementarne čestice biti posebno označene. To mogu biti: atomi, molekule, ioni, elektroni i druge čestice ili posebno označene skupine takvih čestica.

Broj čestica u molu određuje Avogadrova konstanta

$$N_A = 6,022 045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

## Izvedene jedinice SI

Od osnovnih jedinica međunarodnog sustava jedinica SI izvedene su dimenzijski koherentne jedinice geometrijskih i vremenskih veličina.

za površinu	- m <sup>2</sup>	za ubrzanje	m/s <sup>2</sup>
za volumen	- m <sup>3</sup>	za kutnu brzinu	1/s
za brzinu	- m/s	za kutno ubrzanje	- 1/s <sup>2</sup>

Jedinica za silu proizlazi iz Newtonova zakona, da je sila  $F$  jednaka umnošku mase  $m$  s ubrzanjem  $a$  ( $F = ma$ ), iz kojeg slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za silu} \quad \text{kg m/s}^2 = \text{N}$$

Ta jedinica sile - nazvana »njuton (N)« - je ona sila koja tijelu mase 1 kg daje ubrzanje 1 m/s<sup>2</sup>.

Iz definicije, da je rad  $W$  umnožak sile  $F$  s putem  $s$  ( $W = Fs$ ) slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za rad} \quad \text{Nm} = \text{J}$$

Ta jedinica energije (rada) - nazvana »džul (J)« - je rad sile 1 N na putu od 1 m.

U međunarodnom sustavu jedinica SIJ je istovremeno i koherentna jedinica za toplinu, koja je samo poseban oblik energije.

Definicija za snagu  $P$ , koja je rad  $W$  obavljen u vremenu  $t$  ( $P = W/t$ ) daje dimenzijski koherentnu jedinicu

$$\text{za snagu} \quad \text{J/s} = \text{W}$$

Jedinica za snagu - nazvana »vat (W)« - je rad 1 J, izvršen u 1 s. Jedinica za energiju (rad) je dakle 1 J = Ws.

\*

Na te glavne dimenzijski koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI nastavljaju se jedinice električnih i magnetskih veličina.

Iz zakona o snazi  $P$  istosmjernje električne struje, koja je umnožak napona  $U$  i struje  $I$  ( $P = UI$ ), slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za napon} \quad \text{W/A} = \text{V}$$

Ta jedinica napona - nazvana »volt (V)« - je potencijalna razlika između dviju točaka vodiča u kojem se pri protoku istosmerne struje od 1 A troši među tim točkama snaga od 1 W.

Iz Ohmova zakona, po kojem je napon  $U$  jednak umnošku struje  $I$  i električnog otpora  $R$  ( $U = IR$ ) slijedi dimenzijski koherentna jedinica

$$\text{za električni otpor} \quad \text{V/A} = \Omega$$

Ta jedinica električnog otpora - nazvana »om (Ω)« - je otpor između dviju točaka vodiča među kojima pri naponu od 1 V teče istosmjerna struja od 1 A.

Slično su definirane i ostale koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI.

Izvedene jedinice međunarodnog sustava jedinica SI koje nose posebno ime:

za frekvenciju	-- herc (hertz)	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
za silu	-- njuton (newton)	1 N = 1 kg m/s <sup>2</sup>
za energiju	-- džul (joule)	1 J = 1 Nm
za snagu	-- vat (watt)	1 W = 1 J/s
za tlak	-- paskal (pascal)	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
za količinu elektriciteta	-- kulon (coulomb)	1 C = 1 A s
za električni napon	-- volt	1 V = 1 W/A
za električni otpor	-- om (ohm)	1 Ω = 1 V/A
za električnu vodljivost	-- simens (siemens)	1 S = 1 Ω <sup>-1</sup>
za električni kapacitet	-- farad	1 F = 1 C/V
za električni induktivitet	-- henri (henry)	1 H = 1 Vs/A
za gustoću magnetskog toka	-- tesla	1 T = 1 N/A m
za magnetski tok	-- veber (weber)	1 Wb = 1 T m <sup>2</sup>
za svjetlosni tok	-- lumen	1 lm = 1 cd sr
za razsvjetljenost	-- luks (lux)	1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup>
za radioaktivnost	-- bekerel (becquerel)	1 Bq = 1 s <sup>-1</sup>
za apsorbiranu dozu zračenja	-- grej (gray)	1 Gy = 1 J/kg
za ekvivalentnu dozu zračenja	-- sivert (sievert)	1 Sv = 1 J/kg

Koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI su i jedinice za kutove:

za ravninski kut -- radjan 1 rad = puni ravninski kut/2π

za prostorni kut -- steradian 1 sr = puni prostorni kut/4π

Osim navedenih izvedenih koherentnih jedinica koje imaju posebna imena, koherentne jedinice međunarodnog sustava jedinica SI su i sve jedinice izvedene neposredno iz osnovnih jedinica množenjem ili dijeljenjem, npr.

$$\text{m}^2, \text{m}^3, \text{m}^4, \text{s}^{-1}, \text{s}^{-2}, \text{K}^{-1}$$

$$\text{m/s}, \text{m/s}^2, \text{m}^2/\text{s}, \text{m}^3/\text{s}, \text{kg/s}, \text{kg/m}^3, \text{kg m}$$

ili iz već izvedenih jedinica s posebnim imenom, npr.

$$\text{Nm}, \text{N/m}^2, \text{N/m}^3, \text{N s/m}^2, \text{rad/s}$$

$$\text{J/kg}, \text{J/K}, \text{J/kgK}, \text{W/(m K)}, \text{W/m}^2\text{K}, \text{W/m}^3\text{K}^4$$

Pri jedinicama, koje su umnoženje izvedene iz osnovnih jedinica ili izvedenih jedinica s posebnim imenom, valja među umnoženim jedinicama ostaviti vidljiv prostor ili točka (znak za množenje), npr.

$$\text{kg m} = \text{kg} \cdot \text{m} \quad (\text{ne kgm}), \quad \text{Nm} = \text{N} \cdot \text{m} \quad (\text{ne Nm}),$$

$$\text{W/m K} = \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (\text{ne W/mK})$$

Jednakovrijedni način pisanja

$$1 \frac{\text{W}}{\text{m K}} = 1 \text{ W/m K} = 1 \text{ W}/(\text{m K}) = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) = 1 \text{ Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$$

## Decimálne mjerne jedinice

S obzirom na to da se mjerena veličina gdjekada mora izraziti neprikladno velikim ili malim brojem jedinica, ustanovljena su u međunarodnom sustavu jedinica SI i decimalni višekratnici jedinica obilježeni posebnim predmetnicima:

predmetak	znak	vrijednost	predmetak	znak	vrijednost
deka	da	$10^1$	deci	d	$10^{-1}$
hecto	h	$10^2$	centi	c	$10^{-2}$
kilo	k	$10^3$	mili	m	$10^{-3}$
mega	M	$10^6$	mikro	μ	$10^{-6}$
giga	G	$10^9$	nano	n	$10^{-9}$
tera	T	$10^{12}$	piko	p	$10^{-12}$
peta	P	$10^{15}$	femto	f	$10^{-15}$
eksa	E	$10^{18}$	ato	a	$10^{-18}$

Ti se decimalni višekratnici dodaju svim osnovnim i izvedenim jedinicama s posebnim imenom, a pišu se ispred tih jedinica i tik uz njih (bez razmjaka), npr.

km, mm, μm; dag, mg; ms, μs; mA  
kN, MN, mN; kJ, MJ; kW, MW, GW

Pisanjem predmetaka tik uz mjerne jedinice, decimalne se mjerne jedinice razlikuju od izvedenih jedinica koje su umnožak osnovnih ili izvedenih jedinica s posebnim imenom, pri kojima se mora ostaviti razmak (vidi str. 57). Tako treba razlikovati npr.

ms = milisekunda	m s = m · s	= metar-sekunda
mN = milinjutn	m N = m · N	= metar-njutn
W/mK = vat po milikelvinu	W/m K = W(m · K)	= vat po metar-kelvinu

Pri svakoj je decimalnoj mjernoj jedinici moguć samo jedan predmetak, npr.

$10^9 \text{ m} = 1 \text{ km}$  (ne:  $\cdot 1 \text{ μmm}$ ),  $10^6 \text{ g} = 1 \text{ Mg}$  (ne:  $\cdot 1 \text{ kkg}$ )

Decimalni se višekratnici ne dodaju jedinicama, izraženim potencijom (npr. jedinicama za površinu, volumen, frekvenciju itd.) Dakle,

$1 \text{ km}^2 = (10^3 \text{ m})^2 = 10^6 \text{ m}^2$  (ne:  $= 1 \text{ m}(\text{m}^2) = 10^3 \text{ m}^2$ )  
 $1 \text{ ns}^{-1} = (10^{-9} \text{ s})^{-1} = 10^9 \text{ s}^{-1}$  (ne:  $= 1 \text{ n}(\text{s}^{-1}) = 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ )  
 $1 \text{ m}^3/\text{s} = (10^{-3} \text{ m})^3/\text{s} = 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$  (ne:  $= 1 \text{ m}(\text{m}^3/\text{s}) = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ )

\* Upotreba višekratnika da, h, d i c je ograničena: treba ih upotrebljavati samo u sljedećim slučajevima:

dag, dalm	dl, dm, dm <sup>2</sup> , dm <sup>3</sup>
ha, hl	cl, cm, cm <sup>2</sup> , cm <sup>3</sup> , cm <sup>4</sup>

## JEDINICE I MJERE VELIČINA

(dozvoljene jugoslavenskim zakonom o mjernim jedinicama i mjerilima)

### Geometrijske veličine

#### 1. Duljina *l*, put *s*

Jedinica SI 1 metar (m)

##### Druge mjere

nanometar	1 nm = $10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm}$
mikrometar	1 μm = $10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$
milimetar	1 mm = $10^{-3} \text{ m}$
centimetar	1 cm = $10^{-2} \text{ m} = 10 \text{ mm}$
decimetar	1 dm = $10^{-1} \text{ m} = 10 \text{ cm}$
kilometar	1 km = $10^3 \text{ m}$
morska milja*	= 1852 m

#### 2. Ploha, površina *A*, *S*

Jedinica SI 1 kvadratni metar (m<sup>2</sup>)

##### Druge mjere

kvadratni milimetar	1 mm <sup>2</sup> = $10^{-6} \text{ m}^2$
kvadratni centimetar	1 cm <sup>2</sup> = $10^{-4} \text{ m}^2$
kvadratni decimetar	1 dm <sup>2</sup> = $10^{-2} \text{ m}^2$
ar	1 a = $10^2 \text{ m}^2$
hektar	1 ha = $10^4 \text{ m}^2 = 100 \text{ a}$
kvadratni kilometar	1 km <sup>2</sup> = $10^6 \text{ m}^2 = 100 \text{ ha}$

#### 3. Volumen (obujam, zapremina) *V*

Jedinica SI 1 kubni metar (m<sup>3</sup>)

##### Druge mjere

kubni milimetar	1 mm <sup>3</sup> = $10^{-9} \text{ m}^3$
kubni centimetar	1 cm <sup>3</sup> = $10^{-6} \text{ m}^3$
kubni decimetar	1 dm <sup>3</sup> = $10^{-3} \text{ m}^3$

Mjere za volumen tekućina ili sipkih tvari)

litar**	1 l (1 L) = $10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$
mikrolitar	1 μl (1 μL) = $10^{-9} \text{ m}^3 = 10^{-6} (10^{-6} \text{ L})$
mililitar	1 ml (1 mL) = $10^{-6} \text{ m}^3 = 10^{-3} (10^{-3} \text{ L})$
centilitar	1 cl (1 cL) = $10^{-5} \text{ m}^3 = 10^{-2} (10^{-2} \text{ L})$
decilitar	1 dl (1 dL) = $10^{-4} \text{ m}^3 = 10^{-1} (10^{-1} \text{ L})$
hektolitar	1 hl (1 hL) = $10^{-1} \text{ m}^3 = 10^2 (10^2 \text{ L})$

\* Smije se upotrebljavati samo za označavanje udaljenosti u pomorskom, mječnom i zračnom saobraćaju - \*\* Oznake za litar: l i L su jednakovredne.

#### 4. Ravninski kut $\alpha$ , $\hat{\alpha}$

Ravninski kut je dio ravnine između dva pravca koji se sijeku u vrhu kuta. Merimo ga duljinom luka među sjecištima pravaca i kružnice sa središtem u vrhu kuta i to omjerima duljine luka i opsega kružnice ili duljine luka i polumjera kružnice ( $\text{rad/m}$  - 1).

Prirodna jedinica za ravninski kut je 1 puni kut°. Puni kut je kut pri kojem je luk jednak opsegu kružnice.

Općenito su u upotrebi mjere za kut  $\alpha$ :

kutni stupanj  $1' = \text{puni kut}/360$

kutna minuta  $1'' = 1'/60$

kutna sekunda  $1''' = 1''/60 = 1'/3600$

Druge kutne mjere:

gradus ili gon  $1^g = \text{puni kut}/400$

pravi kut = puni kut/4

Jedinica SI za lučnu mjeru (- analitički ravninski kut)  $\hat{\alpha}$  je 1 radijan (rad). Radijan je kut, pri kojem je luk jednak polumjeru kružnice.

1 rad = puni kut/ $2\pi = 360^\circ/2\pi = 57,29578^\circ = 57^\circ 17' 45''$

Zbog razlikovanja su u ovom priručniku označeni:

- kutovi, mjereni u stupnjevima, oznakama  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ...
- lučne mjere, mjerene u radijanima, oznakama  $\hat{\alpha}$ ,  $\hat{\beta}$ ,  $\hat{\gamma}$ ...

#### Pretvaranje radijana u kutne stupnjeve

rad	°	rad	°	rad	°	rad	°	rad	°
0,01	0,573	0,32	18,335	0,64	36,670	0,96	55,004	1,28	73,339
0,02	1,146	0,34	19,481	0,66	37,815	0,98	56,150	1,30	74,485
0,04	2,292	0,36	20,626	0,68	38,961	1,00	57,296	1,32	75,630
0,06	3,438	0,38	21,772	0,70	40,107	1,02	58,442	1,34	76,776
0,08	4,584	0,40	22,918	0,72	41,253	1,04	59,588	1,36	77,922
0,10	5,730	0,42	24,064	0,74	42,399	1,06	60,734	1,38	79,068
0,12	6,875	0,44	25,210	0,76	43,545	1,08	61,879	1,40	80,214
0,14	8,021	0,46	26,356	0,78	44,691	1,10	63,025	1,42	81,360
0,16	9,167	0,48	27,502	0,80	45,837	1,12	64,171	1,44	82,506
0,18	10,313	0,50	28,648	0,82	46,983	1,14	65,317	1,46	83,652
0,20	11,459	0,52	29,794	0,84	48,128	1,16	66,463	1,48	84,798
0,22	12,605	0,54	30,940	0,86	49,274	1,18	67,609	1,50	85,944
0,24	13,751	0,56	32,086	0,88	50,420	1,20	68,755	1,52	87,090
0,26	14,897	0,58	33,232	0,90	51,566	1,22	69,901	1,54	88,236
0,28	16,043	0,60	34,377	0,92	52,712	1,24	71,047	1,56	89,381
0,30	17,189	0,62	35,523	0,94	53,858	1,26	72,193	1,57	89,954

\* Predložena je (po DIN-u), no međunarodno još nije usvojena, oznaka:  $\hat{\alpha}$  (lat. *planus angulus* = puni kut). Jedinica puni kut potpuno odgovara jedinici jedan okretaj (vidi str. 62)

#### Pretvaranje kutnih stupnjeva, minuta i sekunda u radijane

1' = 0,017453 rad

1'' = 0,000291 rad

1''' = 0,000005 rad

°	rad	°	rad	°	rad	°	rad
1	0,0175	19	0,3316	37	0,6458	55	0,9599
2	0,0349	20	0,3491	38	0,6632	56	0,9774
3	0,0524	21	0,3665	39	0,6807	57	0,9948
4	0,0698	22	0,3840	40	0,6981	58	1,012
5	0,0873	23	0,4014	41	0,7156	59	1,030
6	0,1047	24	0,4189	42	0,7330	60	1,047
7	0,1222	25	0,4363	43	0,7505	61	1,064
8	0,1396	26	0,4538	44	0,7679	62	1,082
9	0,1571	27	0,4712	45	0,7854	63	1,099
10	0,1745	28	0,4887	46	0,8029	64	1,117
11	0,1920	29	0,5061	47	0,8203	65	1,134
12	0,2094	30	0,5236	48	0,8378	66	1,152
13	0,2269	31	0,5410	49	0,8552	67	1,169
14	0,2443	32	0,5585	50	0,8727	68	1,187
15	0,2618	33	0,5760	51	0,8901	69	1,204
16	0,2793	34	0,5934	52	0,9076	70	1,222
17	0,2967	35	0,6109	53	0,9250	71	1,239
18	0,3142	36	0,6283	54	0,9425	72	1,256
						73	1,274
						74	1,291
						75	1,309
						76	1,326
						77	1,344
						78	1,361
						79	1,379
						80	1,396
						81	1,413
						82	1,431
						83	1,448
						84	1,466
						85	1,483
						86	1,501
						87	1,518
						88	1,536
						89	1,553
						90	1,571

#### Pretvaranje kutnih minuta i sekunda u decimale kutnih stupnjeva

1	0,017	4	0,067	7	0,117	10	0,167	40	0,667
2	0,033	5	0,083	8	0,133	20	0,333	50	0,833
3	0,050	6	0,100	9	0,150	30	0,500	60	1,000
1	0,000	4	0,001	7	0,002	10	0,003	40	0,011
2	0,001	5	0,001	8	0,002	20	0,006	50	0,014
3	0,001	6	0,002	9	0,003	30	0,008	60	0,017

#### Pretvaranje decimala kutnih stupnjeva u kutne minute i sekunde

0,001	4''	0,006	22''	0,01	0,36''	0,06	3,36''	0,1	6''	0,6	36''
0,002	7''	0,007	25''	0,02	1,12''	0,07	4,12''	0,2	12''	0,7	42''
0,003	11''	0,008	29''	0,03	1,48''	0,08	4,48''	0,3	18''	0,8	48''
0,004	14''	0,009	32''	0,04	2,24''	0,09	5,24''	0,4	24''	0,9	54''
0,005	18''	0,010	36''	0,05	3''	0,10	6''	0,5	30''	1,0	60''

#### 5. Prostorni kut

Jedinica za prostorni kut je 1 steradian (sr)

1 sr = puni prostorni kut/ $4\pi$

## Vremenske veličine

### 1. Vrijeme $t$

Jedinica SI	1 sekunda (s)
Druge mjere	milisekunda $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ kilosekunda $1 \text{ ks} = 10^3 \text{ s}$ minuta $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ sat (hora) $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ dan (dies) $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$ godina (annus)* $1 \text{ a} = 8760 \text{ h} = 31\,536 \text{ ks}$

### 2. Brzina $v, \dot{x}$

Jedinica SI	1 metar u sekundi (m/s)
Druge mjere	metar u minuti $1 \text{ m/min} = 1/60 \text{ m/s}$ kilometar u sekundi $1 \text{ km/s} = 10^3 \text{ m/s}$ kilometar na sat $1 \text{ km/h} = 1/3,6 \text{ m/s}$ čvor (milja na sat) $1,852 \text{ kn/h} = 0,5144 \text{ m/s}$ brzina svjetlosti $c_0 = 299\,792,458 \text{ km/s}$

### 3. Ubrzanje, $a, \ddot{x}$

Jedinica SI	1 metar u sekundi na kvadrat (m/s <sup>2</sup> )
Druge mjere	zemaljsko ubrzanje $g = 9,806\,65 \text{ m/s}^2$

### 4. Frekvencija $f$

Jedinica SI	1 herc (hertz) (Hz = s <sup>-1</sup> )
Druge mjere	kiloherc $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$ megaherc $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ gigaherc $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$

### 5. Kružna frekvencija $\omega$

Jedinica SI	1 sekunda na minus prvu (s <sup>-1</sup> )
-------------	--

### 6. Brzina vrtnje $n$

Jedinica SI	1 okretaj u sekundi (okr./s)**
Druge mjere	okretaj u minuti $1 \text{ okr./min} = 1/60 \text{ okr./s}$

### 7. Kutna brzina $\omega$

Jedinica SI	1 radijan u sekundi (rad/s)
-------------	-----------------------------

### 8. Kutno ubrzanje $\epsilon$

Jedinica SI	1 radijan u sekundi na kvadrat (rad/s <sup>2</sup> )
-------------	--

## Masene veličine

### 1. Masa $m$

Jedinica SI	1 kilogram (kg)
Druge mjere	miligram $1 \text{ mg} = 10^{-6} \text{ kg} = 10^{-3} \text{ g}$ centigram $1 \text{ cg} = 10^{-5} \text{ kg} = 10^{-2} \text{ g}$ decigram $1 \text{ dg} = 10^{-4} \text{ kg} = 10^{-1} \text{ g}$ gram $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$ dekagram $1 \text{ dag} = 10^{-2} \text{ kg} = 10 \text{ g}$ megagram $1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg} = 1 \text{ t}$ tona $1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}$ kilotona $1 \text{ kt} = 10^6 \text{ kg} = 10^3 \text{ t}$ megatona $1 \text{ Mt} = 10^9 \text{ kg} = 10^6 \text{ t}$ atomska jedinica mase* $u = 1,660\,531 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

### 2. Duljinska masa $m_l$

Jedinica SI	1 kilogram po metar (kg/m)
Druge mjere	kilogram po kilometru $1 \text{ kg/km} = 10^{-3} \text{ kg/m}$ teks, tex** $1 \text{ teks} = 10^{-6} \text{ kg/m} = 1 \text{ g/km}$

### 3. Plošna masa $m_A$

Jedinica SI	1 kilogram po kvadratnom metru (kg/m <sup>2</sup> )
-------------	---

### 4. Volumna masa, gustoća (specifična masa)

Jedinica SI	1 kilogram po kubičnom metru (kg/m <sup>3</sup> )
Druge mjere	gram po kubnom decimetru $1 \text{ g/dm}^3 = 1 \text{ kg/m}^3$ gram po kubnom centimetru $1 \text{ g/cm}^3$ kilogram po kubnom decimetru $1 \text{ kg/dm}^3$ megagram po kubnom metru $1 \text{ Mg/m}^3$ tona po kubnom metru $1 \text{ t/m}^3$ } $= 10^3 \text{ kg/m}^3$

### 5. Specifični volumen $v$

Jedinica SI	1 kubni metar po kilogramu (m <sup>3</sup> /kg)
Druge mjere	kubni decimetar po kilogramu $1 \text{ dm}^3/\text{kg} = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

### 6. Moment tromosti mase $J$

Jedinica SI	1 kilogram-kvadratni metar (kg m <sup>2</sup> )
Druge mjere	gram-kvadratni metar $1 \text{ g m}^2 = 10^{-3} \text{ kg m}^2$ kilogram-kvadratni milimetar $1 \text{ kg mm}^2 = 10^{-6} \text{ kg m}^2$

\* Sabzirano na presupnive godine vrjedn u prosjeku:  $1 \text{ a} = 8765,26 \text{ h} = 31\,556,736 \text{ ks}$

\*\* Međunarodno je predložena, ali još nije usvojena, oznaka *rev/s* (lat. *revolutio* = okretaj). Jedinica okretaj potpuno odgovara jedinici puni kut (vidi str. 60).

\* Upotreba je dozvoljena samo u kemiji i fizici.

\*\* Upotreba je dozvoljena samo za dužinsku masu tekstilnoga vlakna ili krpica.



### Pratne veličine

#### 1. Protok mase $q_m$ , $q$ , $\dot{m}$

Jedinica SI	1 kilogram u sekundi (kg/s)		
Druge mjere	gram u sekundi	1 g/s	= $10^{-3}$ kg/s
	gram u minuti	1 g/min	= $10^{-3}/60$ kg/s
	gram na sat	1 g/h	= $10^{-3}/3600$ kg/s
	kilogram u minuti	1 kg/min	= 1/60 kg/s
	kilogram na sat	1 kg/h	= 1/3600 kg/s
	tona u sekundi	1 t/s	= $10^3$ kg/s
tona u minuti	1 t/min	= $10^3/60$ kg/s	
tona na sat	1 t/h	= $10^3/3600$ kg/s	

#### 2. Volumenski protok $q_v$ , $V$

Jedinica SI	1 kubni metar u sekundi ( $m^3/s$ )		
Druge mjere	kubni metar u minuti	1 $m^3/min$	= 1/60 $m^3/s$
	kubni metar na sat	1 $m^3/h$	= 1/3600 $m^3/s$
	litar u sekundi	1 l/s	= $10^{-3}$ $m^3/s$
	litar u minuti	1 l/min	= $10^{-3}/60$ $m^3/s$
	litar na sat	1 l/h	= $10^{-3}/3600$ $m^3/s$

### Velikine za silu

#### 1. Sila $F$

Jedinica SI	1 njuton, newton ( $N = kg \cdot m/s^2$ )		
Druge mjere	mikronjuti	1 $\mu N$	= $10^{-6}$ N
	milinjuti	1 mN	= $10^{-3}$ N
	kilonjuti	1 kN	= $10^3$ N
	meganjuti	1 MN	= $10^6$ N

#### Upozorenje!

Velikine «težina» i «specifična težina» nisu spomenute u jugoslavenskom zakonu o mjernim jedinicama i mjerilima.

Težina  $G$  je sila, koja proizlazi iz privlačnosti Zemlje za masu  $m$  ( $G = mg$ ); mjerimo je dakle kao silu (N). U svakodnevnom životu upotrebljavamo «težinu» za vaganje ustanovljenu masu (g, kg, t).

«Specifična težina  $\gamma$ » je (zbog prednosti nepromjenljive mase prema promjenljivoj težini) izgubila svoj smisao; stoga je treba u potpunosti zamijeniti gustoćom  $\rho$  ( $\gamma = \rho g$ ).

\* To je u smislu JUS A.A.1.025 (1980). Po DIN-u valja razlikovati «težinu-silu» (*Gewichtskraft*), mjerenu u N, od «težine» (*Gewicht*), mjerene u kg.

#### 2. Moment sile $M$ , okretni moment $T$ , $M_t$

Jedinica SI	1 njuton-metar (N m)		
Druge mjere	milinjuton-metar	1 mN m	= $10^{-3}$ N m
	njuton-milimetar	1 N mm	= $10^{-3}$ N m
	kilonjuton-metar	1 kN m	= $10^3$ N m
	meganjuton-metar	1 MN m	= $10^6$ N m

#### 3. Tlak $p$ , naprezanje $\sigma$ , $\tau$

Jedinica SI	1 paskal, (pascal) ( $Pa = N/m^2$ )		
Druge mjere	milipaskal	1 mPa	= $10^{-3}$ Pa
	kitopaskal	1 kPa	= $10^3$ Pa
	megapaskal	1 MPa	= $10^6$ Pa
	kilonjuton na kvadratni metar	1 kN/m <sup>2</sup>	= 1 kPa
	meganjuton na kvadratni metar	1 MN/m <sup>2</sup>	= 1 MPa
	njuton na kvadratni milimetar	1 N/mm <sup>2</sup>	= 1 MPa
	kilonjuton na kvadr. milimetar	1 kN/mm <sup>2</sup>	= 1 GPa
	bar	1 bar	= $10^5$ Pa
	milibar	1 mbar	= $10^2$ Pa
	mikrobar	1 $\mu$ bar	= $10^{-1}$ Pa
standardni atmosferski tlak	$p_a$	= $1013,25$ mbar	

«Relativni tlak  $p_e$ » je razlika apsolutnoga tlaka  $p$  i (nekog drugog ali redovno) atmosferskoga tlaka  $p_a$ :  $p_e = p - p_a$

$p > p_a$	$p_e > 0$	pretlak
$p < p_a$	$p_e < 0$	podtlak

#### 4. Impuls sile $Ft$ , količina gibanja $mv$

Jedinica SI	1 njuton-sekunda (N s) = = 1 kilogram-metar u sekundi (kg m/s)		
Druge mjere	milinjuton-sekunda	1 mN s	= $10^{-3}$ N s = 1 g m/s
	kilonjuton-sekunda	1 kN s	= $10^3$ N s = 1 Mg m/s

#### 5. Dinamička viskoznost $\eta$

Jedinica SI	1 paskal-sekunda ( $Pa \cdot s = N \cdot s/m^2$ )		
Druge mjere	milipaskal-sekunda	1 mPa $\cdot$ s	= $10^{-3}$ Pa $\cdot$ s

#### 6. Kinematička viskoznost $\nu$

Jedinica SI	1 kvadratni metar u sekundi ( $m^2/s$ )		
Druge mjere	kvadratni milimetar u sekundi	1 mm <sup>2</sup> /s	= $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s

### Energetske veličine

#### 1. Energija $E$ , rad $W$ , toplina $Q$

Jedinica SI	1 džul (Joule) (J = N m)		
Druge mjere	kilodžul	1 kJ	= $10^3$ J
	megadžul	1 MJ	= $10^6$ J
	gigadžul	1 GJ	= $10^9$ J
	vat-sekunda	1 W s	= 1 J
	vat-sat	1 W h	= 3600 J
	kilovat-sekunda	1 kW s	= 1 kJ
	kilovat-sat	1 kW h	= 3600 kJ
	megavat-sat	1 MW h	= 3600 MJ
	elektron-volt	1 eV	= 0,160 219 aJ

#### 2. Snaga $P$ , toplinski tok $\Phi$ , $\dot{Q}$

Jedinica SI	1 vat (watt) (W = J/s)		
Druge mjere	milivat	1 mW	= $10^{-3}$ W
	kilovat	1 kW	= $10^3$ W
	megavat	1 MW	= $10^6$ W
	gigavat	1 GW	= $10^9$ W
	kilodžul u sekundi	1 kJ/s	= 1 kW
	kilodžul na sat	1 kJ/h	= 1/3600 kW

### Toplinske veličine

#### 1. Temperatura

Jedinica SI za (termodinamičku) temperaturu je 1 kelvin (K).

Jedinica kelvin je 273,16. dio temperaturne razlike između apsolutne nule i trojne točke vode.

Druge mjera za temperaturu je stupanj Celzija ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Stupanj Celzija je 100. dio temperaturne razlike (pri tlaku od 1, 01325 bar) između leđišta i vrelišta vode.

Jedinica kelvin i stupanj Celzija su jednaki:  $1 \text{ K} = 1^{\circ}\text{C}$

a) Temperaturna skala

Apsolutna se temperatura  $T$  mjeri od apsolutne nule (0,00 K).

Celzijeva se temperatura  $t$  mjeri od leđišta vode (0,00  $^{\circ}\text{C}$ ).

$$T(\text{K}) - t(^{\circ}\text{C}) = 273,15$$

Dakle vrijedi:

	$T$	$t$
apsolutna nula	0,00 K	-273,15 $^{\circ}\text{C}$
leđište vode	273,15 K	0,00 $^{\circ}\text{C}$
trojna točka vode	273,16 K	0,01 $^{\circ}\text{C}$
vrelište vode	373,15 K	100,00 $^{\circ}\text{C}$

b) Među istim je temperaturama temperaturna razlika  $\Delta T$ , mjerena u kelvinima (K), jednaka temperaturnoj razlici  $\Delta t$ , mjerenoj u stupnjevima Celzija ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$\Delta T(\text{K}) = \Delta t(^{\circ}\text{C})$$

#### 2. Temperaturno raztezanje $\alpha$ , $\beta$

Jedinica SI 1 metar po metru i kelvinu  $\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K}) = \text{K}^{-1}$

Druge mjera mikrometar po metru i kelvinu  $1 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K}) = 10^{-6} \text{K}^{-1}$

#### 3. Brzina zagrijavanja i ohlađivanja $T/t$ ( $dT/dt$ )

Jedinica SI 1 kelvin u sekundi (K/s)

Druge mjere kelvin u minuti 1 K/min = 1/60 k/s  
kelvin na sat 1 K/h = 1/3600 k/s

#### 4. Specifični toplinski kapacitet $c$

Jedinica SI 1 džul po kilogramu i kelvinu (J/kg K)

Druge mjera kilodžul po kilogramu i kelvinu 1 kJ/kg K =  $10^3$  J/kg K

#### 5. Entalpija $H$

Jedinica SI 1 džul (J)

Druge mjera kilodžul 1 kJ =  $10^3$  J

#### 6. Specifična entalpija $h$

Jedinica SI 1 džul po kilogramu (J/kg)

Druge mjera kilodžul po kilogramu 1 kJ/kg =  $10^3$  J/kg

#### 7. Entropija $S$

Jedinica SI 1 džul po kelvinu (J/K)

Druge mjera kilodžul po kelvinu 1 kJ/K =  $10^3$  J/K

#### 8. Specifična entropija $s$

Jedinica SI 1 džul po kelvinu i kilogramu (J/K kg)

Druge mjera kilodžul po kelvinu i kilogramu 1 kJ/K kg =  $10^3$  J/K kg

#### 9. Ogrjevna moć gornja $H_2$ , i donja $H_1$

Jedinica SI 1 džul po kilogramu (J/kg)

Druge mjere kilodžul na kilogram 1 kJ/kg =  $10^3$  J/kg  
megadžul po kilogramu 1 MJ/kg =  $10^6$  J/kg

#### 10. Toplinska vodljivost $\lambda$

Jedinica SI 1 vat po metru i kelvinu (W/(m · K))

Druge mjera kilovat po metru i kelvinu 1 kW/(m · K) =  $10^3$  W/(m · K)

#### 11. Toplinski prijelaz $\alpha$ , toplinski prolaz $k$

Jedinica SI 1 vat po kvadratnom metru i kelvinu (W/m<sup>2</sup> K)

Druge mjera kilovat po kvadratnom metru i kelvinu 1 kW/m<sup>2</sup> K =  $10^3$  W/m<sup>2</sup> K

### Molne veličine

- Molna masa  $m_m$**   
 Jedinica SI 1 kilogram po molu (kg/mol)  
 Druge mjere gram po molu 1 g/mol =  $10^{-3}$  kg/mol  
 kilogram po kilomolu 1 kg/kmol =  $10^3$  kg/mol
- Molni volumen  $V_m$**   
 Jedinica SI 1 kubni metar po molu ( $m^3/mol$ )  
 Druga mjera kubni metar po kilomolu 1  $m^3/kmol$  =  $10^{-3}$   $m^3/mol$
- Koncentracija tvari (molarost)  $1/V_m$**   
 Jedinica SI 1 mol po kubnom metru ( $mol/m^3$ )  
 Druga mjera kilomol po kubnom metru 1  $kmol/m^3$  =  $10^3$   $mol/m^3$
- Molni toplinski kapacitet  $c_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po molu i kelvinu (J/mol K)  
 Druge mjere džul po kilomolu i kelvinu 1 J/kmol K =  $10^{-3}$  J/mol K  
 kilodžul po kilomolu i kelvinu 1 kJ/kmol K = 1 J/mol K  
 kilodžul po molu i kelvinu 1 kJ/mol K =  $10^3$  J/mol K
- Molna entalpija  $h_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po molu (J/mol)  
 Druge mjere džul po kilomolu 1 J/kmol =  $10^{-3}$  J/mol  
 kilodžul po kilomolu 1 kJ/kmol = 1 J/mol  
 kilodžul po molu 1 kJ/mol =  $10^3$  J/mol
- Molna entropija  $s_m$**   
 Jedinica SI 1 džul po kelvinu i molu (J/K mol)  
 Druge mjere džul po kilomolu i kelvinu 1 J/K mol =  $10^{-3}$  J/K mol  
 kilodžul po kilomolu i kelvinu 1 kJ/K kmol = 1 J/K mol  
 kilodžul po molu i kelvinu 1 kJ/K mol =  $10^3$  J/K mol

### Veličine zračenja

- Aktivnost radioaktivnog izvora  $A = dN/dt$  (broj jezgri  $N$  raspalih u vremenu  $t$ )**  
 Jedinica SI 1 bekerel, becquerel (Bq =  $s^{-1}$ )
- Apsorbirana doza ionizirajućega zračenja  $D = E/m$  (energija zračenja  $E$ , dovedena tijelu mase  $m$ )**  
 Jedinica SI 1 grej, gray (Gy = J/kg)
- Ekvivalentna doza ionizirajućega zračenja  $B(D) =$  (biološki učin raznih vrsta zračenja s obzirom na rendgensko zračenje:  $B = 1$ , npr. za zračenje  $\alpha$  je  $B = 10$ )**  
 Jedinica SI 1 svert, sievert (Sv = J/kg)
- Ekspozicijska doza ionizirajućega zračenja  $(Q/m)$  (ionizacijom izazvan naboji  $Q$  u zraku mase  $m$ )**  
 Jedinica SI 1 kulon po kilogramu (C/kg)

### Električne veličine

- Električna struja  $I$**   
 Jedinica SI 1 amper (ampère) (A)  
 Druge mjere nanoamper 1 nA =  $10^{-9}$  A  
 mikroamper 1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A  
 miliamper 1 mA =  $10^{-3}$  A  
 kiloamper 1 kA =  $10^3$  A
- Količina elektriciteta (električni naboj)  $Q$**   
 Jedinica SI 1 kulon (coulomb) (C = A s)  
 Druge mjere milikulon 1 mC =  $10^{-3}$  C  
 kilokulon 1 kC =  $10^3$  C  
 amper-sekunda 1 A s = 1 C  
 amper-sat 1 A h = 3600 C
- Električni napon  $U$**   
 Jedinica SI 1 volt (V = W/A)  
 Druge mjere mikrovolt 1  $\mu$ V =  $10^{-6}$  V  
 milivolt 1 mV =  $10^{-3}$  V  
 kilovolt 1 kV =  $10^3$  V  
 megavolt 1 MV =  $10^6$  V
- Električna jakost polja  $E$**   
 Jedinica SI 1 volt po metru (V/m = N/C)  
 Druge mjere milivolt po metru 1 mV/m =  $10^{-3}$  V/m  
 kilovolt po metru 1 kV/m =  $10^3$  V/m  
 volt po milimetru 1 V/mm =  $10^3$  V/m
- Električni otpor  $R$**   
 Jedinica SI 1 om (ohm) ( $\Omega$  = V/A)  
 Druge mjere miliom 1 m $\Omega$  =  $10^{-3}$   $\Omega$   
 kiloom 1 k $\Omega$  =  $10^3$   $\Omega$
- Specifični (električni) otpor  $\rho$**   
 Jedinica SI 1 om-meter ( $\Omega$  m)  
 Druga mjera om-kvadratni milimetar na metar 1  $\Omega$  mm<sup>2</sup>/m =  $10^{-6}$   $\Omega$  m
- Električna vodljivost  $G$**   
 Jedinica SI 1 simens (siemens) (S = 1/ $\Omega$ )

8. Kapacitet  $C$ 

Jedinica SI	1 farad (F) = C/V		
Druge mjere	pikofarad	1 pF	= $10^{-12}$ F
	nanofarad	1 nF	= $10^{-9}$ F
	mikrofarad	1 $\mu$ F	= $10^{-6}$ F
	milifarad	1 mF	= $10^{-3}$ F

9. Induktivitet  $L$ 

Jedinica SI	1 henri (henry) (H) = Vs/A		
Druge mjere	pikohenri	1 pH	= $10^{-12}$ H
	nanohenri	1 nH	= $10^{-9}$ H
	mikrohenri	1 $\mu$ H	= $10^{-6}$ H
	milihenri	1 mH	= $10^{-3}$ H

10. Gustoća magnetskoga toka (magnetska indukcija)  $B$ 

Jedinica SI	1 tesla (T) = N/A m = Wb/m <sup>2</sup>		
Druge mjere	nanotesla	1 nT	= $10^{-9}$ T
	mikrotesla	1 $\mu$ T	= $10^{-6}$ T
	militesla	1 mT	= $10^{-3}$ T

11. Magnetski tok  $\Phi$ 

Jedinica SI	1 veber (weber) (Wb) = T m <sup>2</sup>		
Druge mjere	miliveber	1 mWb	= $10^{-3}$ Wb

12. Magnetska jakost polja  $H$ 

Jedinica SI	1 amper po metru (A/m)		
Druge mjere	miliamper po metru	1 mA/m	= $10^{-3}$ A/m
	kiloamper po metru	1 kA/m	= $10^3$ A/m
	amper po milimetru	1 A/mm	= $10^3$ A/m

## Svjetlosne veličine

## 1. Jakost energetskega zračenja

Jedinica SI	1 vat na steradian (W/sr)		
-------------	---------------------------	--	--

2. Jakost svjetla  $I$ 

Jedinica SI	1 kandela (candela) (cd)		
-------------	--------------------------	--	--

3. Luminancija  $B$ 

Jedinica SI	1 kandela na kvadratni metar (cd/m <sup>2</sup> )		
-------------	---	--	--

## 4. Svjetlosni tok

Jedinica SI	1 lumen (lm) = cd · sr		
-------------	------------------------	--	--

5. Rasvjetljenost  $E$ 

Jedinica SI	1 luks (lux) (lx) = lm/m <sup>2</sup>		
-------------	---------------------------------------	--	--

## STARJE JEDINICE I MJERE (uključivši i anglosaske mjere)

Zakonom o mjerim jedinicama i mjerilima (1984) ove su jedinice zahtijevane za javnu upotrebu u Jugoslaviji. Za uža stručna područja dopuštene su iznimke (koje proizlaze iz međunarodnih ugovora Jugoslavije).

## 1. Za duljinu

ångström, (ångström)	1 Å	= 0,1 nm	= $10^{-10}$ m
mikron	1 $\mu$	= 1 $\mu$ m	= $10^{-6}$ m
palac, col, inch	1 in. (")	= 25,4 mm	= 0,0254 m
stopa, foot	1 ft. (')	= 12"	= 0,3048 m
jard (yard)	1 yd.	= 3'	= 0,9144 m
fadom, fathom	1 fm.	= 2 yds.	= 1,8288 m

## 2. Za površinu

bar	1 b	= 100 fm <sup>2</sup>	= $10^{-28}$ m <sup>2</sup>
square inch	1 sq. in.	= 6,4516 cm <sup>2</sup>	= $645,16 \cdot 10^{-8}$ m <sup>2</sup>
square foot	1 sq. ft.	= 9,2903 dm <sup>2</sup>	= $92,903 \cdot 10^{-3}$ m <sup>2</sup>
square yard	1 sq. yd.		= 0,83613 m <sup>2</sup>

## 3. Za volumen

cubic inch	1 cu. in.	= 16,387 cm <sup>3</sup>	= $16,387 \cdot 10^{-6}$ m <sup>3</sup>
cubic foot	1 cu. ft.	= 28,32 dm <sup>3</sup>	= $28,32 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup>
cubic yard	1 cu. yd.		= 0,76455 m <sup>3</sup>
registarska tona	1 R. T.	= 100 cu. ft.	= 2,832 m <sup>3</sup>

## 4. Za brzinu

foot per minute	1 ft./min	= 0,00508 m/s
foot per second	1 ft./sec.	= 0,3048 m/s
yard per second	1 yd./sec.	= 0,9144 m/s

## 5. Za ubrzanje

gal	1 Gal	= 1 cm/s <sup>2</sup>	= 0,01 m/s <sup>2</sup>
foot per sec. per sec.	1 ft./sec. sec		= 0,3048 m/s <sup>2</sup>
yard per sec. per sec.	1 yd./sec. sec		= 0,9144 m/s <sup>2</sup>

## 6. Za masu

kvintal, metrička centa	1 q	= 100 kg	
hyl	1 hyl	= 9,80665 kg	
funta, pound (lilne)	1 lb.	= 0,45359 kg	
long-tona, long ton	1 L/T	= 2240 lb.	= 1016,05 kg
karat (metrički)	1 k	= 0,2 g	

## 7. Za gustoću

pound per cubic inch	1 lb./cu. in.	= 27,680 kg/m <sup>3</sup>
pound per cubic foot	1 lb./cu. ft.	= 16,017 kg/m <sup>3</sup>
pound per cubic yard	1 lb./cu. yd.	= 0,59328 kg/m <sup>3</sup>

8. *Za silu*

milipond	1 mp	$10^{-3} p$	$= 9,80665 \cdot 10^{-6} N$
pond	1 p	$\approx 10^{-3} kp$	$= 9,80665 \cdot 10^{-3} N$
kilopond	1 kp		$= 9,80665 N$
megapond	1 Mp	$= 10^3 kp$	$= 9,80665 \cdot 10^3 N$
din	1 dyn	$= 10^{-5} pN$	$= 10^{-5} N$
stène	1 st		$= 10^3 N$
poundal	1 pd.		$0,138254 N$

9. *Za tlak i naprezanje*

fizikalna atmosfera	1 atm	$= 760 \text{ mm Hg}$	$= 101325 \text{ Pa}$
tehnička atmosfera	1 at	1 kp/cm <sup>2</sup>	$= 98066,5 \text{ Pa}$
stupac žive (0°C)	1 mm Hg		$= 133,323 \text{ Pa}$
stupac vode (4°C)	1 mm H <sub>2</sub> O	1 kp/m <sup>2</sup>	$= 9,80665 \text{ Pa}$
kilopond			
— po kvadratnom metru	1 kp/m <sup>2</sup>	1 mm H <sub>2</sub> O	$= 9,80665 \text{ Pa}$
— po kvadratnom centimetru	1 kp/cm <sup>2</sup>	= 1 at	$= 98066,5 \text{ Pa}$
— po kvadratnom milimetru	1 kp/mm <sup>2</sup>		$= 9806650 \text{ Pa}$
barye	1 barye	$= 0,1 N/m^2$	$= 10^{-1} \text{ Pa}$
pièze	1 pz	$= 1 kN/m^2$	$= 10^3 \text{ Pa}$
hectopièze	1 hpz	= 1 bar	$= 10^5 \text{ Pa}$
inch of mercury	1 in. Hg		$= 3386 \text{ Pa}$
inch of water	1 in. H <sub>2</sub> O		$= 249,1 \text{ Pa}$
pound per square inch	1 p. s. i.		$= 6895 \text{ Pa}$
pound per square foot	1 p. s. f.		$= 47,88 \text{ Pa}$
pound per square yard	1 p. s. y.		$= 5,320 \text{ Pa}$
long ton per square inch	1 L./T s. i.		$= 15444,151 \text{ Pa}$
long ton per square foot	1 L./T s. f.		$= 107251 \text{ Pa}$

10. *Za dinamičku viskoznost*

centipoaz	1 cP	$= 10^{-3} \text{ Pa s}$
poaz (poise)	1 P	$= 10^{-1} \text{ Pa s}$
dekapoaz	1 daP	$= 1 \text{ Pa s}$

11. *Za kinematičku viskoznost*

centistoks	1 cSt	1 mm <sup>2</sup> /s	$= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
stoks (stokes)	1 St		$= 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

stupnjevi po Engleru °E:

°E	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
mm <sup>2</sup> /s	1,00	1,82	2,82	3,92	5,08	6,25	7,41	9,66	11,8
°E	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
mm <sup>2</sup> /s	16,7	21,1	29,5	37,4	45,2	52,9	60,8	68,4	76,0

Iznad 10°E 76 mm<sup>2</sup>/s treba za svaki 1°E dodati 7,6 mm<sup>2</sup>/s.

12. *Za energiju, rad, toplinu*

kilopond-metar	1 kp m	$= 9,80665 \text{ J}$
konjska snaga-sat	1 KM h (KS h)	$= 2,648 \cdot 10^6 \text{ J}$
kalorija	1 cal	$= 4,1868 \text{ J}$
kilokalorija	1 kcal	$= 4186,8 \text{ J}$
litar-atmosfera	1 lit at	$= 98,0665 \text{ J}$
erg	1 erg	$= 10^{-7} \text{ J}$
foot-pound	1 ft.-lb.	$= 1,3558 \text{ J}$
horse power-hour	1 HP h	$= 2,685 \cdot 10^6 \text{ J}$
british thermal unit	1 BTU	$= 1,055 \cdot 10^3 \text{ J}$

13. *Za snagu, toplinski tok*

kilopond-metar u sekundi	1 kp m/s	$= 9,80665 \text{ W}$
konjska snaga	1 KM (KS)	$= 735,499 \text{ W}$
kalorija u sekundi	1 cal/s	$= 4,1868 \text{ W}$
kilokalorija na sat	1 kcal/h	$= 1,163 \text{ W}$
erg u sekundi	1 erg/s	$= 10^{-7} \text{ W}$
foot-pound per second	1 ft. lb./sec.	$= 1,3558 \text{ W}$
horse power	1 HP	$= 745,7 \text{ W}$
british thermal unit per hour	1 BTU/h	$= 0,293 \text{ W}$

14. *Za temperaturu*

stupanj Fahrenheita (°F) je definiran temperaturama: ledište vode 32 °F, vrelište vode 212 °F. Preračunavanje na temperaturnoj skali

$$x \text{ °F} = \frac{5}{9} (x - 32) \text{ °C} + \frac{5}{9} (x - 32) + 273 \text{ K}$$

15. *Za električne veličine*

za gustoću magnetskoga toka	1 gauss	$= 10^{-4} \text{ T}$
za magnetski tok	1 maxwell	$= 10^{-8} \text{ Wb}$
za magnetsku jakost polja	1 oersted	$= 10^3/4\pi \text{ A/m}$

16. *Za svjetlosne veličine*

za jakost svjetla	1 hefnerova svijeća	$= 0,917 \text{ cd}$
	1 međunarodna svijeća	$= 1,02 \text{ cd}$
za luminanciju	stljb	$= 1 \text{ sb}$
	nit	$= 1 \text{ nit}$
za rasvijetljenost	phot	$= 1 \text{ ph}$

17. *Za veličine zračenja*

za aktivnost		
radioaktivnoga izvora	curie	$= 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
za apsorbiranu dozu		
ionizirajućeg zračenja	rad	$= 1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy}$
za ekvivalentnu dozu		
ionizirajućeg zračenja	rem	$= 1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$
za ekspozicijsku dozu		
ioniziranoga zračenja	röntgen	$= 1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$

## POSEBNE MJERE

1. **«Standardni (normni) kubni metar»** je masa plina koja pri standardnom stanju (pri temperaturi 0 °C i tlaku 1,013 25 bar) zaprema volumen od 1 m<sup>3</sup>. To je masa plina (kg) koja je brojčano jednaka njegovoj gustoći (kg/m<sup>3</sup>) pa ima stoga za svaki plin drugu vrijednost, npr.:

1,2505 kg dušika      1,4290 kg kisika      1,9768 kg ugljičnog dioksida

Volumen «standardnoga kuhnog metra» je za različite temperature veoma različit pa iznosi za idealni plin

pri temperaturi °C	-100	0	100	1000
volumen m <sup>3</sup>	0,634	1	1,366	4,663

(Pritom nije uzeto u obzir odstupanje realnih plinova od ponašanja idealnih, niti njihova disocijacija pri visokim temperaturama.)

«Standardni kuhni metar» je nepregledna, zastarjela mjera (u jugoslavenskom zakonu o mjerim jedinicama i mjerilima uopće nije spomenuta).

2. **«Baumé-ova areometarska skala»** služi za određivanje gustoće kapljevina pomoću stupnjeva Baumé-a (°Bé).

a) Za kapljevine gustoće  $\rho \geq 1 \text{ kg/dm}^3$  određena je Baumé-ova skala vrijednostima  $N$

$$N = 0 \text{ } ^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$$

$$N = 66 \text{ } ^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,8427 \text{ kg/dm}^3$$

Za preračunavanje vrijedi

$$\rho = 144,32 / (144,32 - N) \quad (\text{kg/dm}^3)$$

b) Za kapljevine gustoće  $\rho \leq 1 \text{ kg/dm}^3$  određena je Baumé-ova skala vrijednostima  $N$

$$N = 10 \text{ } ^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$$

$$N = 90 \text{ } ^\circ\text{Bé} \quad \text{pri} \quad \rho = 0,6434 \text{ kg/dm}^3$$

Za preračunavanje vrijedi

$$\rho = 144,32 / (134,32 + N) \quad (\text{kg/dm}^3)$$

3. **«Beaufortova skala»** označuje brzinu vjeta (u meteorologiji) pomoću posebne mjere «bofor» – u ovisnosti o brzini vjeta  $v$ :

bofor	$v$ km/h	bofor	$v$ km/h
1	1 ... 5	7	50 ... 61
2	6 ... 11 lahor	8	62 ... 74 olujni vjetar
3	12 ... 19	9	75 ... 88
4	20 ... 28 vjetrić	10	89 ... 102 vjhor
5	29 ... 38	11	103 ... 117
6	39 ... 49 jači vjetar	12	> 117 orkan

## TVARI

### SASTAV TVARI

Tvar (materija) se sastoji od kemijskih *elemenata* ili njihovih *spojeva*. Sve spojeve možemo rastaviti na elemente koje dalje ne možemo rastavljati nikakvim kemijskim sredstvima.

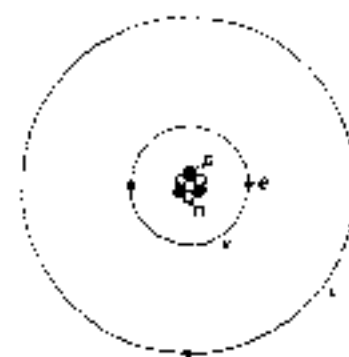
Dio elementa koji dalje ne možemo više dijeliti nazivamo *atom*. (Promjer atoma iznosi po redu veličine približno 0,1 nm = 10<sup>-10</sup> m.)

Nuklearna je fizika po svojim otkrićima razvila (Bohrov) model o zgradi atoma, prema kojem se sastoji atom svakoga elementa od jezgre, gdje su sabrani *nukleoni*, tj. pozitivno nabijeni *protoni* i električki neutralni *neutroni*, a jezgru okružuju negativno nabijeni *elektroni*.

U jezgri atoma (promjera reda veličine  $\approx 10^{-14}$  m) skupljena je gotovo sva masa atoma.

Mase i naboji nukleona i elektrona iznose:

	masa	naboj
proton	1,672 · 10 <sup>-24</sup> g	+ 0,160 · 10 <sup>-18</sup> As
neutron	1,675 · 10 <sup>-24</sup> g	0
elektron	0,9108 · 10 <sup>-27</sup> g	- 0,160 · 10 <sup>-18</sup> As



$p$  – protoni,  $n$  – neutroni,  $e$  – elektroni

Naboj jezgre određen je brojem protona koji je jednak «rednom broju  $Z$ » elementa. Tim su nabojem određena kemijska i fizikalna svojstva elementa.

Ukupan broj nukleona, tj. protona i neutrona, daje «maseni broj  $A$ » (relativnu atomsku masu) elementa.

Npr. uranov atom ( $Z = 92$ ) relativne atomske mase  $A = 238$  sastoji se iz 92 protona i 146 neutrona.

Pri električki neutralnim atomima je broj elektrona jednak broju protona (= rednom broju  $Z$ ).

Elektroni kruže oko atomske jezgre po određenim stazama (kružnim odnosno eliptičnim) koje teku po energetski razmještenim *ljuskama* K, L, M, N, O, P i Q (kojih se polumjeri udnose kao kvadrati cijelih brojeva, tj. 1<sup>2</sup>: 2<sup>2</sup>: 3<sup>2</sup>: ...). Broj elektrona u svakoj ljusci je ograničen ( $2n^2$ ):

ljuska	K	L	M	N	O	P	Q
najveći broj elektrona	2	8	18	32	(50)	(72)	(98)

Elektronima su sasvim popunjene samo ljuske K, L, M i N.

**Kemijski elementi**

Simbol, redni (atomska) broj Z (- broj atomska masa A (s obzirom na ugljikov izotop <sup>12</sup>C))

prutona u atomu), relativna i raspored elektrona po ljuskama (K do Q)

Element	Simbol	Z	A	K	L	M	N	O	Element	Simbol	Z	A	K	L	M	N	O	P	Q
vodik	H	1	1,008	1					srebro	Ag	47	107,9	2	8	18	18	1		
helij	He	2	4,003	2					kadmij	Cd	48	112,4	2	8	18	18	2		
litij	Li	3	6,939	2	1				indij	In	49	114,8	2	8	18	18	3		
berilij	Be	4	9,012	2	2				kusitar	Sn	50	118,7	2	8	18	18	4		
bor	B	5	10,81	2	3				antimon	Sb	51	121,8	2	8	18	18	5		
ugljik	C	6	12,01	2	4				telur	Te	52	127,6	2	8	18	18	6		
dušik	N	7	14,01	2	5				jod	I	53	126,9	2	8	18	18	7		
kisik	O	8	16,00	2	6				ksenon	Xe	54	131,3	2	8	18	18	8		
fluor	F	9	19,00	2	7				cezij	Cs	55	132,9	2	8	18	18	8	1	
neon	Ne	10	20,18	2	8				barij	Ba	56	137,3	2	8	18	18	8	2	
natrij	Na	11	22,99	2	8	1			lantan	La	57	138,9	2	8	18	18	9	2	
magnezij	Mg	12	24,31	2	8	2			cer	Ce	58	140,1	2	8	18	20	8	2	
aluminij	Al	13	26,98	2	8	3			praseodim	Pr	59	140,9	2	8	18	21	8	2	
silicij	Si	14	28,09	2	8	4			neodim	Nd	60	144,2	2	8	18	21	8	2	
fosfor	P	15	30,97	2	8	5			prometij	Pm	61	(145)	2	8	18	23	8	2	
sumpor	S	16	32,06	2	8	6			samarij	Sm	62	150,4	2	8	18	24	8	2	
klor	Cl	17	35,45	2	8	7			europij	Eu	63	152,0	2	8	18	25	8	2	
argon	Ar	18	39,95	2	8	8			gadolinij	Gd	64	157,1	2	8	18	25	9	2	
kalcij	K	19	39,10	2	8	8	1		terbij	Tb	65	158,9	2	8	18	27	8	2	
kalciij	Ca	20	40,08	2	8	8	2		disprozij	Dy	66	162,5	2	8	18	28	8	2	
skandij	Sc	21	44,96	2	8	9	2		holmij	Ho	67	164,9	2	8	18	29	8	2	
titan	Ti	22	47,90	2	8	10	2		erbij	Er	68	167,3	2	8	18	30	8	2	
vanadij	V	23	50,94	2	8	11	2		lutecij	Lm	69	168,9	2	8	18	31	8	2	
krom	Cr	24	52,00	2	8	13	1		iterbij	Yb	70	173,0	2	8	18	32	8	2	
mangan	Mn	25	54,94	2	8	13	2		lutecij	Lu	71	175,0	2	8	18	32	9	2	
željezo	Fe	26	55,85	2	8	14	2		hafnij	Hf	72	178,5	2	8	18	32	10	2	
kobalt	Co	27	58,93	2	8	15	2		tantal	Ta	73	180,9	2	8	18	32	11	2	
nikal	Ni	28	58,71	2	8	16	2		vulfram	W	74	183,9	2	8	18	32	12	2	
bakar	Cu	29	63,54	2	8	18	1		renij	Re	75	186,2	2	8	18	32	13	2	
cinak	Zn	30	65,37	2	8	18	2		osmij	Os	76	190,2	2	8	18	32	14	2	
galij	Ga	31	69,72	2	8	18	3		iridij	Ir	77	192,2	2	8	18	32	15	2	
germanij	Ge	32	72,59	2	8	18	4		platina	Pt	78	195,1	2	8	18	32	16	2	
arsen	As	33	74,92	2	8	18	5		zlato	Au	79	197,0	2	8	18	32	18	1	
selen	Se	34	78,96	2	8	18	6		hiva	Hg	80	200,6	2	8	18	32	18	2	
brom	Br	35	79,91	2	8	18	7		talij	Tl	81	204,4	2	8	18	32	18	3	
kripton	Kr	36	83,80	2	8	18	8		olovo	Pb	82	207,2	2	8	18	32	18	4	
rubidij	Rb	37	85,47	2	8	18	8	1	hizmut	Bi	83	209,0	2	8	18	32	18	5	
stroncij	Sr	38	87,62	2	8	18	8	2	polonij	Po	84	(210)	2	8	18	32	18	6	
itrij	Y	39	88,91	2	8	18	9	2	astat	At	85	(210)	2	8	18	32	18	7	
cirkonij	Zr	40	91,22	2	8	18	10	2	radon	Rn	86	(222)	2	8	18	32	18	8	
niobij	Nb	41	92,91	2	8	18	12	1	francij	Fr	87	(223)	2	8	18	32	18	8	1
molibden	Mo	42	95,94	2	8	18	13	1	radaj	Ra	88	(226)	2	8	18	32	18	8	2
tehnecij	Tc	43	(99)	2	8	18	14	1	aktinij	Ac	89	(227)	2	8	18	32	18	9	2
rutenij	Ru	44	101,1	2	8	18	15	1	torij	Th	90	232,0	2	8	18	32	18	10	2
rodij	Rh	45	102,9	2	8	18	16	1	protaktinij	Pa	91	(231)	2	8	18	32	20	9	2
paladij	Pd	46	106,4	2	8	18	18		uran	U	92	238,0	2	8	18	32	21	9	2

Transurani su umjetno dobiveni (radioaktivni) elementi, kojih u prirodi nema:

Element	Simbol	Z	A*
neptunij	Np	93	(237)
plutonij	Pu	94	(242)
američij	Am	95	(243)
kurčum	Cm	96	(247)
berkelij	Bk	97	(247)
kalifornij	Cf	98	(249)
ejštajnij	Es	99	(254)
fermij	Fm	100	(255)
mendelevij	Md	101	(258)
nobelij	Nb	102	(258)
livermorij	Lv	103	(263)
kirijevij	Kj	104	(261)
hencij (huj)	Hh (Hu)	105	(262)

\* Počeci se iz raznih izvora znatno razlikuju, a vrijede za najstabilniji izotop.

Pri jednakom rednom broju Z (tj. pri jednakom broju protona) moguće su različite atomske mase A (zbog različitog broja neutrona). Elemente s jednakim rednim brojem (s jednakim nabojem jezgre), ali s različitim relativnim atomskim masama (masenim brojevima), nazivamo *izotopima*. Izotopi se vladaju kemijski potpuno jednako; razlikuju se samo po fizikalnim svojstvima.

Pri vodiku npr. poznamo tri izotopa: vodik H =  $^1\text{H}$  (s protonom i bez neutrona), deuterij D =  $^2\text{H}$  (s protonom i jednim neutronom) i tritij T =  $^3\text{H}$  (s protonom i dvama neutronima).

Prirodni se elementi sastoje većinom od stalne mješavine svojih izotopa. (Samo 22 prirodna elementa sastoji se od samo jednoga izotopa, npr. F, Na, Al, P, Co itd.) Na primjer: prirodni uran sadrži 99,28(%) izotopa  $^{238}\text{U}$ , 0,714% izotopa  $^{235}\text{U}$  i 0,006% izotopa  $^{234}\text{U}$ .

Pri jednakom pozitivnom naboju jezgre (tj. pri jednakom broju protona) broj elektrona može biti veći ili manji. Takav atom, koji nije više električki neutralan, nazivamo *ion*.

pozitivni ioni (*kationi*) nastaju od atoma, koji mogu odavati elektrone, tj. od takvih, koji imaju na vanjskoj ljusci samo jedan ili dva elektrona (pri elementima s većim brojem protona i više). To su tipične *kovine* (dobro vode električnu struju). Većina kemijskih elemenata su kovine.

Negativni ioni (*anioni*) nastaju od atoma, koji mogu primiti elektrone, tj. od takvih, koji imaju na vanjskoj ljusci sedam ili šest elektrona (pri elementima s malim brojem protona i manje). To su tipične *nekovine* (ne vode električnu struju).

Medu elementima, koji formiraju samo katione ili anione, postoje elementi, koji pod određenim okolnostima formiraju jedne ili druge atome. Elementi sa četiri elektrona u vanjskoj ljusci samo ponekad formiraju ione.

## Periodični sistem elemenata (po Mendeljejevu)

Brojevi pored simbola su redni brojevi Z

Oznaka + : elementi (kovine), koji tvore samo pozitivne ione (katione)

Oznaka - : elementi (nekovine), koji tvore samo negativne ione (anione).

Period	Glavna skupina							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1 H							2 He
2	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 <sup>+</sup> Na	12 <sup>+</sup> Mg	13 Al	14 <sup>-</sup> Si	15 <sup>-</sup> P	16 <sup>-</sup> S	17 <sup>-</sup> Cl	18 Ar
4	19 <sup>+</sup> K	20 <sup>+</sup> Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 <sup>-</sup> Br	36 Kr
5	37 <sup>+</sup> Rb	38 <sup>+</sup> Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 <sup>-</sup> I	54 Xe
6	55 <sup>+</sup> Cs	56 <sup>+</sup> Ba	81 Tl	82 Pb	83 <sup>-</sup> Bi	84 Po	85 <sup>-</sup> At	86 Rn
7	87 <sup>+</sup> Fr	88 <sup>+</sup> Ra						

Lijevo i pod debelom crtom — kovine; desno i iznad debele crte — nekovine.

Period	Sporedna skupina									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4			21 <sup>+</sup> Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 <sup>+</sup> Ni
5			39 <sup>+</sup> Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 <sup>+</sup> Rh	46 <sup>+</sup> Pd
6			57 <sup>+</sup> La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 <sup>+</sup> Ir	78 <sup>+</sup> Pt
7			89 <sup>+</sup> Ac	104 Rf	105 Ha					

Z = 58... 71: lantanidi<sup>+</sup>, Z = 90... 103: aktinidi<sup>+</sup>

U sporednoj skupini su svi elementi samo kovine



Element		Promjer atoma nm	Svojstva elemenata			
skupina	simbol		Valencija*	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća (20°C) kg/m <sup>3</sup>
	H	0,169	1	-259,4	-252,7	0,084
<i>Alkalne kovine</i>						
I	Li	0,313	1	186	1370	530
	Na	0,383	1	97,7	892	970
	K	0,476	1	63	770	860
	Rb	0,502	1	39	680	1520
	Cs	0,540	1	28	690	1900
<i>Zemno-alkalne kovine</i>						
II	Be	0,225	2	1280	2770	1820
	Mg	0,320	2	650	1110	1740
	Ca	0,393	2	850	1440	1550
	Sr	0,429	2	770	1380	2600
	Ba	0,448	2	704	1640	3500
<i>Barova skupina</i>						
III	B		3	2300	2550	2300
	Al	0,282	3	660,1	2060	2699
	Ga	0,270	3	29,8	2071	5910
	In	0,314	3	156,4	1450	7310
	Tl	0,342	1, 3	300	1460	11850
<i>Oglikova skupina</i>						
IV	C	0,154	4, 2	3700	4830	2220
	Si	0,234	4	1410	2300	2330
	Ge	0,279	4	958	2700	5360
	Sn	0,316	4, 2	231,9	2270	7298
	Pb	0,349	2, 4	327,3	1740	11340
<i>Dušikova skupina</i>						
V	N	0,106	1, 5, 2	-210,0	-195,8	1,165
	P	0,216	5, 3	44,1	280	1820
	As	0,250	3, 5	610	610	5730
	Sb	0,323	3, 5	630,5	1440	6620
	Bi	0,364	3, 5	271,3	1420	9800
<i>Halogeni</i>						
VI	O		2	-218,8	-183,0	1,332
	S	0,212	6, 4, 2	119,0	444,6	2070
	Se	0,232	4, 6, 2	220	680	4810
	Te	0,290	2, 4, 6	450	1390	6240

\* Valencija je broj vodikavih atoma koje atom elementa može vezati u molekulu ili ih u njoj može nadomjestiti.

Element		Promjer atoma nm	Svojstva elemenata				
skupina	simbol		Valencija	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća (20°C) kg/m <sup>3</sup>	
<i>Halogeni</i>							
VII	F	0,136	1	223	-188,2	1,578	
	Cl	0,194	1, 7, 5	-101	-34,7	3,000	
	Br	0,226	1, 5	-7,2	58	3120	
	I	0,270	1, 5, 7	114	183	4930	
<i>Plemeniti plinovi</i>							
VIII	He		0	-271,4	-268,9	0,166	
	Ne	0,320	0	248,6	-246,0	0,839	
	Ar	0,382	0	-189,4	-185,8	1,663	
	Kr	0,400	0	-157	-152	3,488	
	Xe	0,440	0	-112	-108	5,495	
<i>Kovine sporednih skupina</i>							
4. period	Li	0,291	4, 1	1820	5100	4540	
	V	0,271	5, 4, 2	1735	3400	6000	
	Cr	0,257	3, 6, 2	1930	2500	7190	
	Mn	0,250	2, 3, 4	1245	2150	7410	
	Fe	0,252	3, 2	1539	2740	7870	
	Co	0,250	2, 3	1492	2901	8900	
	Ni	0,249	2, 3	1453	2730	8900	
	Cu	0,255	2, 1	1083	2600	8960	
	Zn	0,275	2	419,5	906	7133	
		Zr	0,319	4	1750	5050	6500
5. period	Nb	0,294	5, 3	2415	3100	8570	
	Mo	0,280	6, 3, 5	2625	4800	10200	
	Tc		7			11460	
	Ru	0,267	3, 4, 6	2500	4900	12200	
	Rh	0,270	3, 4	1960	4500	12440	
	Pd	0,275	2, 4	1552	4000	12000	
	Ag	0,288	1	960,8	2210	10490	
	Cd	0,304	2	320,9	765	8650	
		Hf	0,317	4		3700	11400
		Ta	0,294	5	2996	6100	16600
6. period	W	0,282	6, 4	3380	5930	19300	
	Re	0,275	7, 4, 1	3170	5900	20000	
	Os	0,270	4, 6	2700	5500	22500	
	Ir	0,271	4, 3, 6	2443	5300	22500	
	Pt	0,277	4, 2	1769	4410	21450	
	Au	0,288	1, 3	1063	2970	19320	
	Hg	0,310	2, 1	-38,9	356,6	13550	

**Kemijske veze**

**1. Atomske veze (homeopolarne, kovalentne)**

Atomske veze su veze među nekovinskim atomima. Zajednički elektroni više atoma tvore molekule, i to od priprostih dvoatomnih do vrlo velikih molekula s više stotina ili više tisuća atoma.

Spojevi s atomskim vezama (molekularnu zgradu) obuhvaćaju razmjerno manji broj anorganskih spojeva; posebno su značajni organski spojevi.

Anorganski spojevi s atomskim vezama su:

— pretežno plinovite tvari (s niskim talištima i vrelištima), npr. nekovinski elementi ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ), nekovinski oksidi i hidridi ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ) i spojevi nekovina ( $SiCl_4$ ,  $PCl_3$ );

— tvari dijamantnog tipa (s visokim talištima i vrelištima) s vrlo jakim atomskim vezama (tvrdoća!), npr. dijamant (C) i nekovinski karbidi ( $SiC$ ,  $B_4C$ ). Tima su slični također nekovinski nitridi ( $BN$ ,  $Si_3N_4$ ).

Organski spojevi sežu od malih molekula, npr. priprostih ugljikovodika ( $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ), do veoma velikih molekula, npr. polivinilklorida ( $C_2H_3Cl$ )<sub>n</sub>. S porastom broja atoma u molekuli prelaze te tvari iz plinovitih u tekuće i potom u krute. Ne vode električne struje.

**2. Ionske veze (heteropolarne, elektrovalentne)**

Ionske veze nastaju među kovinskim i nekovinskim atomima na taj način, da kovinski atomi odaju vanjske (valentne) elektrone (jednoga ili više) te postaju pozitivnim ionima — kationima, nekovinski atomi pak primaju vanjske elektrone i postaju negativnim ionima — anionima. U plinovitom ili tekućem stanju (ili u otopini) su pozitivni i negativni ioni slobodno gibljivi, dok u krutom stanju formiraju skupnu kristalnu rešetku.

Ionske su veze karakteristične za kovinske okside (npr.  $Na_2O$ ) i hidrokside (npr.  $NaOH$ ) a naročito za soli, koje su spojevi pozitivnih (kovinskih) i negativnih (nekovinskih) iona ( $NaCl = Na^+ + Cl^-$ ).

Soli imaju visoka tališta i vrelišta te su pravi elektroliti; u taljevini ili otopini vode električnu struju, pri čemu su ioni nosioči naboja.

**3. Kovinske veze**

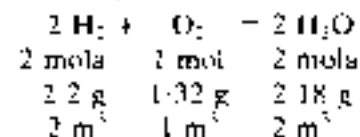
Kovinske veze su veze među kovinskim atomima.

U kristalnim rešetkama, koje tvore sve kovine, su atomi — odavanjem valentnih elektrona — pozitivno nabijeni, valentni elektroni pa se kreću među njima u rešetki razmjerno slobodno.

Kovinske su veze karakteristične za sve kovine i njihove slitine, a odlikuju se naročito dobrom električnom i toplinskom vodljivošću te tvrdoćom i gnjetljivošću (moogućnost preoblikovanja, kovkost).

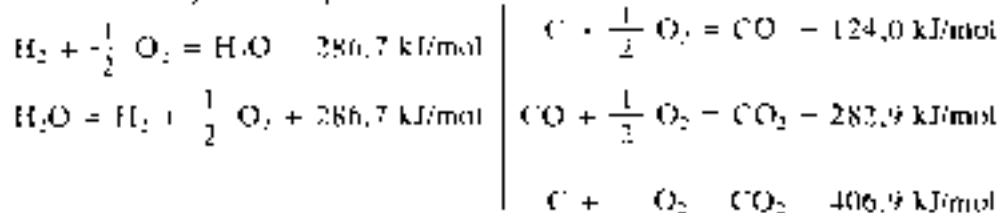
**Kemijske reakcije**

Jednadžbe kemijskih reakcija prikazuju količinske odnose sudjelujućih tvari



U plinovitom stanju

Pri eksotermičkim reakcijama se toplina oslobađa (odvodi, -), pri endotermičkim reakcijama se toplina traži (dovodi, +):



Pri kemijskoj reakciji odvedena ili dovedena toplina nije ovisna o toku reakcije — pri međustupocima ili neposredno (Hessov zakon).

Reakcije redukcija — oksidacija (=red-okse) nastaju iz djelomičnih reakcija redukcije (oduzimanje kisika spoju) i oksidacije (spajanje s kisikom).

**Hidridi**

Hidridi su binarni spojevi vodika s nekovinama ili nekim kovinama. Hidridi su plinoviti, tekući ili kruti (nekovinski su hidridi plinoviti ili tekući).

*Svojstva vodika i nekovanskih hidrida*

Tvar	Relativna molekularna masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
Vodik $H_2$	2,016	259,4	-252,7	0,090	
Hidridi					
$H_2O$ <sup>1)</sup>	18,02	0,00	100,0	1000,0 (4 °C)	voda (H oksid)
$H_2O_2$ <sup>1)</sup>	34,01	-89	152,1	1465	H peroksid
$NH_3$ <sup>2)</sup>	17,03	77,7	-33,35	0,771	amoniak
HF	20,01	97,3	19,4	987	fluorovodik
HCl	36,46	-112	82,7	1,64	klorovodik
HBr	80,92	-88,5	67,0	3,50	bromovodik
HI	127,91	50,8	35,4 (4 bar)	5,66	jodovodik
$H_2S$	34,08	-82,9	61,8	1,54	sumporovodik
$H_3P$	34,00	132,5	87,4	1,53	fosforovodik
$HCN$ <sup>3)</sup>	27,03	-14	26	688	cijanovodik

1) Voda i vodikov peroksid su istodobno hidridi i oksidi.  
2) Pozitivno nabijena jednovalentna skupina  $NH_4^+$  = «amonijs»  
3) Negativno nabijena jednovalentna skupina  $CN^-$  = «cijan»

### Oksidi

Oksidi su binarni spojevi kisika s elementima te su plinoviti, tekući ili kruti. Elementi s više valencija mogu imati i više različitih oksida.

Svojstva kisika i oksida (pri  $p_2 = 1,01325 \text{ bar}$ )

Tvar	Relat. molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća $\text{kg/m}^3$ (0 °C)	Opaska
<b>Kisik</b>					
O <sub>2</sub>	32,00	-218,8	-183,0	1,429	
<b>Nekovinski oksidi</b>					
CO	28,01	-207	-191,5	1,250	C monoksid
CO <sub>2</sub>	44,01	-78,3 s	—	1,977	C dioksid
N <sub>2</sub> O	44,01	-102,3	91,7	1,978	N(I) oksid
NO	30,01	-161	-151	1,340	N(II) oksid, N monoksid
NO <sub>2</sub>	46,01	-9,3	21,3	1,447	N dioksid
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	76,01	-103	3,5	1,447	N(III) oksid, N trioksid
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	108,01	30 s	—	2,050	N pentoksid
SO <sub>2</sub>	64,06	-75,5	-10,0	2,926	S dioksid
SO <sub>3</sub>	80,06	16,8	44,5	1,923	S trioksid
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	109,95	23,8	173,1	1,943	P trioksid
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141,94	250 s	—	2,387	P pentoksid
SiO <sub>2</sub>	60,08	1710	2630	2,320	Si dioksid, kremen
<b>Kovinski oksidi</b>					
Na <sub>2</sub> O	61,98	1275 s	—	2,270	
K <sub>2</sub> O	94,20	350	—	2,320	
MgO	40,31	2500	—	3,550	magnezija
CaO	56,08	2572 s	—	3,400	pečeno (živo) vapno
BaO	153,34	1923	2000	5,720	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,96	2050	2250	4,000	glinica, korund
CrO	68,00	—	—	—	Cr(II) oksid
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	151,99	2200	—	5,210	Cr(III) oksid
CrO <sub>3</sub>	99,99	196	—	2,800	Cr(VI) oksid
Cu <sub>2</sub> O	143,08	1235	—	6,000	Cu(I) oksid
CuO	79,54	—	—	6,400	Cu(II) oksid
FeO	71,85	1420	—	5,990	Fe(II) oksid
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,69	1595	—	5,240	Fe(III) oksid
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	231,54	1538	—	5,180	Fe(II), Fe(III) oksid
MnO	70,94	1650	—	5,090	Mn(II) oksid
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	157,87	1080	—	4,500	Mn(III) oksid
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	228,81	1705	—	4,856	Mn(II), Mn(III) oksid
MnO <sub>2</sub>	86,94	535	—	5,026	Mn(IV) oksid
PbO	223,19	—	—	9,500	Pb(II) oksid
PbO <sub>2</sub>	239,19	—	—	9,365	Pb(IV) oksid
TiO	63,90	1750	—	5,500	
WO <sub>2</sub>	215,90	—	—	1,2110	W(IV) oksid
WO <sub>3</sub>	231,90	1373	—	7,160	W(VI) oksid
ZnO	81,37	1700 s	—	5,606	cinkovo bjelilo

### Karbidi

Karbidi su binarni spojevi ugljika s kovinama, te s nekovinama B i Si. Karbidi su (vrde ili vrlo tvrde) tvari visokog tališta.

Svojstva ugljika i karbida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća $\text{kg/m}^3$ (0 °C)	Opaska	
<b>Ugljik</b>						
grafit	12,01	3700	4830	2220	gustoća amorfnooga C: 1970 $\text{kg/m}^3$	
dijamant	12,01	> 3500	—	3510		
<b>Karbidi</b>						
B <sub>4</sub> C	55,25	2350	3500	2515	brusni materijal	
SiC	40,10	2700 s	—	3170		karborund
CaC <sub>2</sub>	64,10	2300	—	2220	s vodom: C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	180,01	1690	—	6680	u celicima	
Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	284,00	1665	—	6950		
Fe <sub>3</sub> C	179,55	1837	—	7680		cementit
Mn <sub>3</sub> C	176,83	—	—	6890		
MoC	107,95	2570	—	8400		
NbC	104,92	3500	—	8200		
TaC	192,96	3877	5500	13960		
TiC	59,91	3140	4300	4250		
VC	62,95	2830	3900	5380		
WC	195,86	2777	—	15700		karbidni
W <sub>3</sub> C	379,71	2857	—	16060	tvrdi metali	

### Nitridi

Nitridi su binarni spojevi dušika s kovinama, među nekovinama pak naročito s B.

Svojstva dušika i nitrida

Tvar	Relativna molekul. masa	Talište °C (s = subl.)	Vrelište °C	Gustoća $\text{kg/m}^3$ (0 °C)	Opaska
<b>Dušik</b>					
N <sub>2</sub>	28,01	-209,86	-195,8	1,251	
<b>Nitridi</b>					
BN	24,82	2730 s	—	2255	u celicima za nitiranje
AlN	40,99	2200 (4 bar)	—	3050	
CrN	66,00	1500	—	—	
Fe <sub>3</sub> N	125,70	200	—	6350	
Fe <sub>4</sub> N	237,39	—	—	6570	
NbN	106,91	2050	—	8260	
TaN	194,95	3360	—	14100	
TiN	61,91	3220	—	5190	
VN	64,95	2320	—	5630	

## Sulfidi

Sulfidi su binarni spojevi sumpora s kovinama, a među nekovinama naročito sa C (i H - vidi: hidridi, str. 83).

## Svojstva sumpora i sulfida

Tvar	Relativna molekularna masa	Talžište °C	Vrelište °C (s = subl.)	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Opaska
<b>Sumpor</b>					
amorfni	32,06	120	444,6	2046	monoklin ortoromban
kristaličan	256,48	{ 119,0 112,6	{ 444,6 -	{ 1960 2070	
<b>Sulfidi</b>					
CS <sub>2</sub>	76,13	111,6	46,3	1201	oktaedričan
Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	150,12	1110	1350 s	2020	
Cs <sub>2</sub> S	84,07	1350	-	4100	oktaedričan kubičan
Cu <sub>2</sub> S	159,20	{ 1100 1120	-	{ 5600 5280	
CuS	95,63	-	270	4600	pirat
FeS	87,90	1193	-	5010	
FeS <sub>2</sub>	119,96	1171	-	5000	
MnS	86,99	-	1475 s	4000	
MoS <sub>2</sub>	160,07	1185	-	4800	
PbS	239,27	1114	-	7500	
SnS	150,76	880	1240	5080	
WS <sub>2</sub>	248,04	-	-	7500	
ZnS	97,44	1850	1200 s	4087	

(150 bar)

## Fosfidi

Fosfidi su binarni spojevi fosfora s kovinama.

## Svojstva fosfora i fosfida

Tvar	Relativna molekularna masa	Talžište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Opaska
<b>Fosfor</b>					
crni	123,92	-	-	2090	plamište 400 °C plamište 725 °C
crveni	123,92	610 (43 bar)	-	2200	
bijeli	123,92	44,1	280	1820	
<b>Fosfidi</b>					
CcP	83,03	-	-	5700	
Cu <sub>3</sub> P	221,73	-	-	6700	
Cu <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	252,75	-	-	6350	
SnP <sub>2</sub>	211,76	415	-	4100	
Fe <sub>2</sub> P	142,70	1290	-	6560	
Fe <sub>3</sub> P	198,54	1100	-	6710	
MnP	85,95	1190	-	5490	

Kiseline su tvari, kojih molekule ili ioni lako odavaju protone (vodikove jezgre H<sup>+</sup>).

Kiseline su vodene otopine spojeva vodika s halogenima ili drugim nekovinama (»kiseline bez kisika«), ili pak nastaju pri reakciji nekovinskih oksida s vodom (»kiseline s kisikom«), npr.:

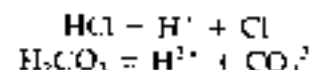
## - kiseline bez kisika

fluorovodična	= vodena otopina HF
klorovodična (solna)	= vodena otopina HCl
bromovodična	= vodena otopina HBr
jodovodična	= vodena otopina HI
sumporovodična	= vodena otopina H <sub>2</sub> S
fosforovodična	= vodena otopina H <sub>3</sub> P
cijanovodična	= vodena otopina HCN

## - kiseline s kisikom

ugljična	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	(CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )
sumporasta	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	(SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )
sumporna	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
dušična	HNO <sub>3</sub>	(N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O → 2 HNO <sub>3</sub> )
fosforna	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 3 H <sub>2</sub> O → 2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )

Karakteristični sastojak svih kiselina je vodik, koji je u vodenoj otopini pozitivno nabijen ion H<sup>+</sup>, dok je drugi dio kiseline negativno nabijena nekovina ili atomska skupina:



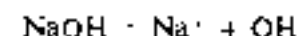
Baze (lužine) su spojevi, kojih molekule ili ioni lako primaju protone

Baze su hidroksidi, koji nastaju pri reakciji određenih kovina, kovinskih oksida ili amonijaka s vodom, npr.

natrijev hidroksid	NaOH	2 Na + 2 H <sub>2</sub> O → 2 NaOH + H <sub>2</sub> ↑
		Na <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O → 2 NaOH
kalijev hidroksid	KOH	2 K + 2 H <sub>2</sub> O → 2 KOH + H <sub>2</sub> ↑
		K <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O → 2 KOH
kalcijev hidroksid (gašeno vapno)	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca + 2 H <sub>2</sub> O → Ca(OH) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> ↑
		CaO + H <sub>2</sub> O → Ca(OH) <sub>2</sub>
amonijev hidroksid	NH <sub>4</sub> OH	NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → NH <sub>4</sub> OH

Karakteristična sastavina baza je negativno nabijena jednovalentna skupina OH<sup>-</sup> - »hidroksid«.

Vodne otopine baza sadrže pozitivne kovinske ione i negativne hidroksidne skupine (te su dobri vodiči električne struje), što vrijedi i za taljevine baza:



## Svojstva kiselina i baza

Kiselina - vodena otopina	Topivost (0 °C)		Kiselina - vodena otopina	Topivost (0 °C)	
	g/kg vode	koncentracija max. %		g/kg vode	koncentracija max. %
HF	∞	100	H <sub>2</sub> S	6,7	0,67
HCl	823	45	H <sub>3</sub> P	0,4	0,04
HBr	2210	69	CO <sub>2</sub>	3,4	0,34
HJ	2,4	0,24	SO <sub>2</sub>	228	18,6
HCN	∞	100			

Tvar	Relativna molek masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
<b>Kiseline</b>					
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	10,5	-	1834	sumporna kiselina
HNO <sub>3</sub>	63,02	-42	86	1508	dušična kiselina
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98,00	42,35	213	1834	fosforna kiselina
HClO <sub>4</sub>	100,47	112	(39)	1764	klorna kiselina (eksplozivna)
<b>Baze</b>					
NaOH	40,00	318,4	1388	2130	vodene otopine: - natrijeva lužina
KOH	56,11	360,4	1320	2044	- kalijeve lužina
Ca(OH) <sub>2</sub>	74,10	580	-	2239	- gašeno vapno
NH <sub>4</sub> OH	35,05	77	-	-	- amonijalna vodica

## Vrijednost pH

Mjera za stupanj kiselosti vodenih otopina je »vrijednost pH« (– *potentia hydrogenii*), koja je definirana negativnim dekadskim logaritmom koncentracije vodikovih iona  $a$  (mol · l<sup>-1</sup>):

$$\text{pH} = -\lg a$$

Otuda proizlaze vrijednosti:

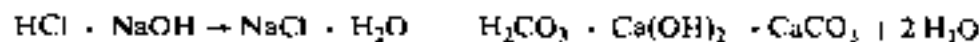
- za kisele otopine  $a > 10^{-7}$  pH < 7
- za neutralne otopine (čista voda)  $a = 10^{-7}$  pH = 7
- za bazične otopine  $a < 10^{-7}$  pH > 7 (... 14)

Vrijednost pH mjerimo pomoću elektrokemijskih mjerila, a možemo je očitovati raznobojnim indikatorima koji pri određenoj vrijednosti pH promijene boju, npr.:

Indikator	pH	boja
metiloranž	crven 3 – 4,4	žut
metilno crvenilo	crveno 4,4 – 6,2	žuto
lakmus	crven 5 – 8	modar
bromtimol (modri)	žut 6 – 7,5	modar
fenolftalein	bežbojan 8 – 10	crven

## Soli

Soli nastaju pri reakciji kiseline s bazom:



Soli nastaju i pri:

– djelovanju halogena na kovine



– djelovanju nekovinskih oksida na kovinske okside ili baze



– djelovanju kiselina na nepleksirano kovinu ili kovinski oksid



Nazivi za soli

Imena soli iz kiselina bez kisika završavaju na -id:

CaF <sub>2</sub> – Ca fluorid	Cu <sub>3</sub> P – Cu fosfid
NaCl – Na klorid	KCN – K cijanid
AgBr – Ag bromid	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> – K Fe(II) cijanid
KJ – K jodid	K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> – K Fe(III) cijanid
PbS – Pb sulfid	

Imena soli iz kiselina s kisikom završavaju na -at (it):

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – Na karbonat	KClO <sub>4</sub> – K klorat
NaHCO <sub>3</sub> – Na hidrokarbonat	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> – K silikat
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> – Na sulfid	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> – K kromat
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – Na sulfat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – K bikromat
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Na tiosulfat	KMnO <sub>4</sub> – K manganat
NaNO <sub>3</sub> – Na nitrat	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> – K Al sulfat
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – Na fosfat	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – Na hidrofosfat	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – Na bihidrofosfat	

Posebno značajne alkalne soli

Sol	Na	K	Ca	Ba	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
klorid	NaCl kuhinjska sol	KCl	CaCl <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl salmijak
karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> kalcinirana soda	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> potaša	CaCO <sub>3</sub> vapnenac	BaCO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub> šedra	BaSO <sub>4</sub> barit	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
nitrat	NaNO <sub>3</sub> čička salitra	KNO <sub>3</sub> indijska salitra			NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>

## Svojstva soli

Sol	Relat. molekul. masa	Talište °C (s - subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska	Sol	Relat. molekul. masa	Talište °C (s - subl.)	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0 °C)	Opaska
BaCl <sub>2</sub>	208,25	962	1560	3856		KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12 H <sub>2</sub> O	474,39	92	—	1750	stipsa (alaun)
BaCO <sub>3</sub>	197,35	1380	—	4430		K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	329,26	—	—	1894	crvena krvna sol
BaSO <sub>4</sub>	233,40	1453	—	4500	haritno hjeliko	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> · 3 H <sub>2</sub> O	422,41	70	—	1850	žuta krvna sol
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	261,35	595	—	3245		MgCl <sub>2</sub>	95,22	712	1412	2316	
BaCrO <sub>4</sub>	253,33	—	—	4600		MgCO <sub>3</sub>	84,32	350	900	3010	magnezit
CaCl <sub>2</sub>	110,99	782	1600	2152		MgSO <sub>4</sub>	120,37	1124	—	2660	
CaCO <sub>3</sub>	100,09	898,6 s	—	2711	vapnenac, kreča	MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	246,48	150	200	1636	gorka sol
CaCO <sub>3</sub> · MgCO <sub>3</sub>	184,41	—	—	—	dolomit	NaF	41,99	993	1702	2790	
CaSO <sub>4</sub>	136,14	1450	—	2960	sadra (gips)	NaCl	58,44	801	1449	2165	kuhinska sol
CaSO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	172,16	128	163	2320		NaBr	102,90	756	1393	3203	
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310,14	1670	—	3080		NaI	149,89	665	1300	3665	
CaHPO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	172,09	25	100	2316		NaCN	49,01	563,7	1500	—	
CaCrO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	192,10	200	—	—		NaHCO <sub>3</sub>	84,01	270	—	2221	soda bikarbona
CaSiO <sub>3</sub>	116,16	1540	—	2905		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	105,99	860	—	2533	kalcinirana soda
CuCl <sub>2</sub>	134,45	498	993	3054		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	286,14	—	—	1446	kristalna soda
CuS	95,60	103	220	4600		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142,04	884	—	2698	
CuCO <sub>3</sub> · Cu(OH) <sub>2</sub>	221,08	201	—	4000		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	322,19	—	—	1465	Glauberova sol
CuSO <sub>4</sub>	159,60	200	650	3600		NaNO <sub>3</sub>	84,99	306,8	380	2267	čilska salitra
CuSO <sub>4</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	249,68	110	150	2284	modra galica	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	344,09	100	—	2536	
FeCl <sub>2</sub>	126,75	672	1023	2988	Fe(II) klorid	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	177,99	95	—	2066	
FeCl <sub>3</sub>	162,21	282	315	2894	Fe(III) klorid	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	137,99	100	200	1910	
FeSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	169,92	—	—	3040		Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	122,06	1088	—	2400	
FeSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	278,02	64	300	1898	zelena galica	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	248,18	48	70	1750	fiksna sol
KCl	74,56	776	1417	1989		NH <sub>4</sub> Cl	53,49	—	—	1527	salmijak (nišador)
KCN	65,12	634,5	—	1560	cijanikalij	NH <sub>4</sub> Br	97,95	542 s	—	2429	bijela sol (fot.)
KHCO <sub>3</sub>	100,12	150	—	2180		NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	79,06	107,5	—	1573	
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	138,21	896	—	2267	K. bikarbonat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	114,10	60	—	—	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,27	588	1069	2664	pepeljika (potaša)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,14	100	—	1770	
KNO <sub>3</sub>	101,11	337	400	2100	indijska salitra	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	169,6	210	1725	umjetno gnojivo
K <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	212,28	1340	—	2564		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	132,06	—	—	1619	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	174,18	—	—	—		NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,03	—	—	1794	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	252,6	300	2338		PbS	239,25	1114	—	7500	
KClO <sub>4</sub>	138,55	610	—	2525		PbSO <sub>4</sub>	303,25	1000	—	6380	
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	154,29	976	—	—		PbCrO <sub>4</sub>	323,18	844	—	6300	
KMnO <sub>4</sub>	158,04	240	—	2703	permanganat	ZnCl <sub>2</sub>	136,28	283	710	2910	
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	194,20	968	—	2732		ZnS	97,43	1020	—	4102	
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294,19	236	500	2690		ZnCO <sub>3</sub>	125,38	300	—	4440	

## Organski spojevi

U svim organskim spojevima sadržan je ugljik. Međutim, u organske spojeve ne ulazimo slijedeće anorganske spojeve sa C:

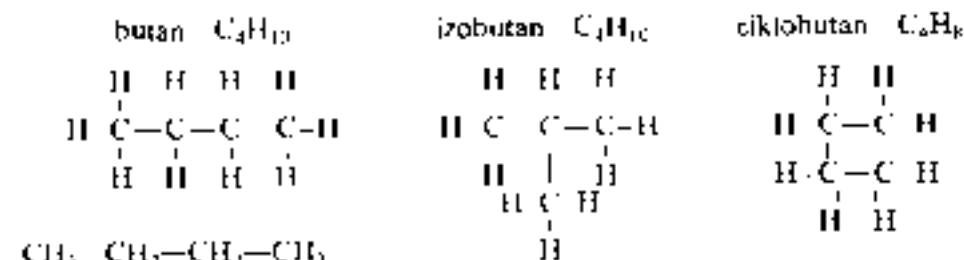
ugljične okside	CO, CO <sub>2</sub>	ugljični disulfid	CS <sub>2</sub>
ugljičnu kiselinu	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	cijanovodik	CN
karbonate	npr. CaCO <sub>3</sub>	cjanide	npr. KCN
karbide	npr. CaC <sub>2</sub>	i sl.	

Organski su spojevi najčešće sastavljeni od ugljika i vodika (ugljikovodici), često još i s N i S. U principu su u organskim spojevima mogući svi elementi. U organskim spojevima prevladavaju u prvom redu atomske veze.

Nazivi organskih spojeva po broju atoma C u molekuli:

1 atom: met-	5 atoma: pent-	9 atoma: non-
2 atoma: et-	6 atoma: heks-	10 atoma: dek-
3 atoma: prop-	7 atoma: hept-	
4 atoma: but-	8 atoma: okt-	

Za molekule organskih spojeva karakteristična je atomska struktura ugljika, koji se veže u lance (lančani = aciklički, alifatski spojevi) ili u kolute (kolutni = ciklični spojevi). Molekule jednakog sastava mogu imati različite strukture (izomeri).



Ugljikovodici mogu biti:

- zasićeni: alkani, npr. etan CH<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>
- nezasićeni: s dvojnim vezama: alkeni, npr. eten CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>
- s trojnim vezama: alkini, npr. etin CH≡CH

Nezasićeni ugljikovodici teže pretvoriti u spojeve sa stabilnijom vezom (u zasićene). Stoga su nezasićeni ugljikovodici kemijski vrlo aktivni pa se takođe spajaju u velike molekule (polimeri).

Alkili (opća oznaka -R) su atomske skupine koje imaju jedan vodikov atom manje nego li odgovarajući alkani, npr

metil	CH <sub>3</sub>	propil	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	pentil (amid)	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>
etil	-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	butil	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>		

Organske spojeve koji, osim C i H, sadrže i druge elemente, možemo razvrstati s obzirom na karakteristične skupine atoma (prema kojima imaju i slična kemijska svojstva).

### Systemske skupine organskih spojeva

Skupina	karakteristična sastav	Broj atoma C u molekuli		
		1	2	3
alkani (parafini)	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	CH <sub>4</sub> metan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> etan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> propan
alkeni (olefini)	C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eten	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> propen
alkini (acileni)	C <sub>n</sub> H <sub>2n-2</sub>		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> etin (acilen)	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> propin
alkanoli (alkoholi)	OH (hidroksil)	CH <sub>3</sub> OH metanol (metilalkohol)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH etanol (etilalkohol)	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH propanol (propilalkohol)
alkanali (aldehidi)	-CHO (aldehidna skupina)	HCHO metanal (formaldehid)	CH <sub>3</sub> CHO etanal (acetaldehid)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO propanal
alkanske kiseline (karbonske k.)	-COOH (karboksil)	HOOCOH metanska k. (mavčja k.)	CH <sub>3</sub> COOH etanska k. (ocetna k.)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH propanska k.
alkanoni (ketoni)	C=O (karbonil)			(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO propanon (acetoni)

### Primjeri značajnih organskih skupina

Spaj	Karakteristična atomska skupina	Primer	Primer
eteri	O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -O-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	dieter
estri	-COO	CH <sub>3</sub> -COO-CH <sub>3</sub>	metilmetan
epoksidi	-C <sub>2</sub> O-	CH <sub>2</sub> Cl-CH <sub>2</sub> -O-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub>	kloroepoksipropin
amini	-NH <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -NH <sub>2</sub>	etilamin
amidi	CONH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -CONH <sub>2</sub>	propanamid
nitrili	-CN	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CN	propionitril (vinilamid)

### Atomatični ugljikovodici (benzenskog tipa)

benzen (benzol)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH} \\   \\ \text{CH} \\   \\ \text{CH} \\   \\ \text{CH} \\   \\ \text{CH}_2 \end{array}$	(benz. C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	fenol		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ksilol
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	toluen		C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub> tereftalna kiselina
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	stiril		
C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> H	sulfonska kiselina		

Spoj		Relat. molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0°C)	Opaska
metan	CH <sub>4</sub>	16,04	-182,5	-161,7	0,717	
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	-172	-88,6	1,356	
propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,10	-187,7	-42,1	2,019	
n-butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	-138,3	-0,5	2,703	
izohutan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	-159,6	-11,7	2,668	
ciklobutan	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,11	-50	10*	703	
n-oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	-57,0	125,8	764	
izooktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	-107,4	99,3	691	
eten	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,05	-169	-103,5	1,260	»etilen« <sup>1)</sup>
propen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,08	-185,3	-47,7	1,915	»propilen« <sup>2)</sup>
buten	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,05	-130	-6,5	2,500	»butilen« <sup>1)</sup>
ciklobuten	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,09	-1	2**	733	
etin	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,04	-81,5	-83,6	1,171	acetilen
propin	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	40,07	-102,7	-23,2	--	
butin	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,09	-32,2	27	693	
metanol	CH <sub>3</sub> OH	32,04	97,8	64,7	792	metilalkohol
etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,07	112	78,4	789	etilalkohol
propanol	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	60,10	127	97,8	804	propilalkohol
butanol	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74,12	-79,9	117	810	butilalkohol
metanal	HCHO	30,03	-92	-21	--	formaldehid <sup>2)</sup>
etanal	CH <sub>3</sub> CHO	44,05	-123,5	20,2	781	
propanal	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	58,08	81	49,5	807	
butanal	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CHO	72,11	99	75,7	817	
metanska kiselina	HCOOH	46,03	8,6	100,8	1220	mravlja kiselina
etanska kiselina	CH <sub>3</sub> COOH	60,05	16	118,1	1049	ocetna kiselina
propanska kiselina	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	74,08	-22	141,1	992	
butanska kiselina	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	88,11	-4,7	164	964	maslačna kiselina
propanon	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	58,08	-94,6	56,5	792	acetoni
propantriol	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub> CHOH	92,09	17,9	290	1260	glicerin

<sup>1)</sup> Zastarjela imena! <sup>2)</sup> Rastopina formaldehida u vodi = formalin.

\* 968 mbar. \*\* 972 mbar.

Spoj		Relat. molekul. masa	Talište °C	Vrelište °C	Gustoća kg/m <sup>3</sup> (0°C)	Opaska
monoklorometan	CH <sub>3</sub> Cl	50,49	97,7	24	1,785	metil-klorid
diklorometan	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,93	-96,7	-40	1,336	metilen-klorid
triklorometan	CHCl <sub>3</sub>	119,38	-63,5	61,2	1489	kloroform
tetraklorometan	CCl <sub>4</sub>	153,82	-22,6	76,8	1595	
monofluor-triklorom.	CFCl <sub>3</sub>	137,37	-111	24,9	1494	R 11 freon 11
difluordiklorometan	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	120,91	-155	-29,2	--	R 12 freon 12
monofluordiklorom.	CHFCl <sub>2</sub>	102,92	-127	14,5	1426	R 21
monoklor-etan	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	64,52	-139	13	917	etil-klorid
monoklor-eten	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62,50	-160	-12	0,908	vinil-klorid
naftalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,18	80,2	217,9	1145	naftalin
benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	5,5	80,1	879	»benzol«
hidroksi-benzen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94,11	42	182	1071	fenol
amino-benzen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	93,13	-6,2	184,4	1022	anilin
eter	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74,12	-116,3	34,6	708	
erandiol	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub>	62,07	-15,6	197,4	1113	glikol
fenol-ftalein	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	318,33	261	--	1299	
celuloza	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	(162,14) <sub>n</sub>	--	--	1350	
glukoza	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180,16	146	--	1544	dekstroza
saharin	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> O <sub>3</sub> NS	183,19	226 s	--	--	
salicilna kis.	HOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOH	138,12	159	--	1443	salicil
fosgen	COCl <sub>2</sub>	98,92	-104	8,2	1,392	
iperit	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl) <sub>2</sub> S	159,08	14	216	1279	
gliceril-nitrat	(O <sub>2</sub> NO) <sub>3</sub> C <sub>3</sub> H <sub>5</sub>	227,09	13,3	160 (20 mbar)	1601	nitro-glicerin
trinitrotoluen	(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	227,13	81	280 ekspl.	1654	trotil (TNT)



## Polimeri

**Polimeri** (umjetni organski spojevi) su makromolekularni organski spojevi koji nastaju nizanjeni molekula osnovnih tvari – monomera – u makromolekule s vrlo velikim brojem atoma (do 1000 i više). Relativna molekularna masa polimera iznosi prosječno oko  $10^4$  do  $10^7$ .

Brojem molekula – monomera, od kojih se sastoji molekula polimera, je određen *stupanj polimerizacije*. S porastom stupnja polimerizacije mijenjaju se i svojstva polimera (viskoznost, mogućnost preoblikovanja, čvrstoća, topljivost itd.).

Pojedine molekule polimera nisu jednake veličine. Stoga se stupanj polimerizacije može smatrati samo prosječnim. Budući da je broj kemijski vezanih molekula (monomera) u molekuli polimera vrlo velik, to manje razlike u veličini makromolekula neće bitno utjecati na promjenu njihovih svojstava.

Najobičniji oblik makromolekule proizlazi iz lančanog nizanja monomera.

Polimere dobivamo iz monomera sintetički ili pretvorbom prirodnih tvari. Glavni postupci za dobivanje polimera su:

a) **Polimerizacija** je organska kemijska reakcija spajanja jednakih ili različitih nezasićenih spojeva s malim molekulama u makromolekularne tvari, i to bez nastajanja nusprodukata.

b) **Polikondenzacija** je kemijska reakcija pri kojoj se osnovne tvari s malim molekulama vežu u makromolekule uz izlučivanje nusprodukata (naročito vode, alkohola, halogenida).

c) **Poliadicija** je organska kemijska reakcija spajanja različitih spojeva s malim molekulama u makromolekularne tvari, bez nastajanja nusprodukata.

**Kopolimerizacija** je polimerizacija barem dvaju različitih monomera, pri čem nastaju makromolekule koje sadrže međusobno povezane monomernu molekule kao osnovne skupine.

Kopolimerizacijom nastaju polimerne tvari čija svojstva mogu biti u širokim granicama prilagođena potrebama za njihovu primjenu.

Primjeri najznačajnijih polimera:

celuloza	$(C_6H_{10}O_5)_n$	polietilen	$(C_2H_4)_n$
naravni kaučuk	$(C_5H_8)_n$	polipropilen	$(C_3H_6)_n$
sintetički kaučuk:		polistirol	$(C_8H_8)_n$
buna S	$(C_{12}H_{16})_n$	polivinilklorid	$(C_2H_3Cl)_n$
buna N	$(C_7H_5N)_n$	poliakrilnitril	$(C_3H_3N)_n$
silikon	$(RSiO_2)_n$	poliamid	$(C_6H_{11}ON)_n$

## Pregled tvari

Čiste tvari	elementi	čisti elementi (samo jedan red atoma)		jedna faza
	spojevi	miješani elementi (najmanje dva izotopa)		
Smjese (disperzni sistemi)	homogene smjese	anorganski spojevi		jedna faza
	(molekularna disperzija) veličina čestica $< 1 \text{ nm}$	organski spojevi		
		(prave) otopine	plinovite smjese (zrak)	
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	tekuće otopine		više faza
		– plinova ( $CO_2$ u vodi)		
		– tekućina (alkohol u vodi)		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	– krutina (sol u vodi)		više faza
		krute otopine		
		– ionski kristali (austenit)		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	plinoviti dispergenti (aerosoli)		više faza
		tekućina (magla)		
		krutina (dim, prah)		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	tekući dispergenti		više faza
		– plinova: koloidna pjena (sapunica)		
		– tekućina: koloidna emulzija (mlijeko)		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	– krutina: koloidna otopina		više faza
		kruti dispergenti		
		– plinova: krute pjene		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	– tekućina: (plovuđac)		više faza
		– krutina: koloidni eutektik		
		suspenzije		
Smjese (disperzni sistemi)	heterogene smjese – jedna tvar u raznim fazama (voda i led) ili – više tvari (voda i ulje) veličina čestica $> 1 \text{ nm}$	veličina čestica $> 100 \text{ nm}$		više faza
		veličina čestica $> 100 \text{ nm}$		
		veličina čestica $> 100 \text{ nm}$		

**Taloženje** (sedimentacija) (čestice se talože zbog težine ili pomoću centrifuge):

- grubodisperzne suspenzije lako se talože,
- koloidne otopine talože se pomoću (ultra)centrifuge,
- prave se otopine ne talože.

**Filtriranje:**

- suspenzije se filtriraju kroz obične filtre (otvori očica 100 nm),
- koloidi se filtriraju kroz specijalne filtre (otvori očica 1 nm),
- prave se otopine ne mogu filtrirati.

## MEHANIKA

### Masa i težina

Masa  $m$  (kg) je svojstvo tijela koje se očituje u inerciji protiv promjena gibanja i u uzajamnom privlačenju drugih tijela. Masu određujemo uspoređivanjem s drugim tijelima poznate mase (tj. vaganjem pomoću utega). Masa se ne mijenja s promjenom položaja.

Masa je također vaganjem određena količina tvari

Gustoća  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) je odnos mase  $m$  i volumena  $V$ :  $\rho = m/V$ .

Gustoćom izražena masa:  $m = \rho V$ .

Težina  $G$  (N) je sila, kojom Zemlja privlači tijela. Određena je masom  $m$  tijela i ubrzanjem zemaljske sile teže  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ :  $G = mg$ .

Težina nije konstantna, već se mijenja s promjenom ubrzanja  $g$  sile teže (koja se mijenja od ekvatora do polova od 9,78 do 9,83 m/s<sup>2</sup>).

U svakidašnjem životu označuje »težina« i vaganjem ustanovljenu masu (g. kg. t). (Vidi upozorenje na str. 64.)

### Gustoća tehničkih materijala (kg/m<sup>3</sup>)

#### Čisti elementi i spojevi

Gustoća čistih elemenata i spojeva sabrana je u podacima o tvarima:

čisti elementi	str. 80, 81	kiseline, baze	str. 88
hidridi, oksidi	str. 84, 85	solni	str. 90, 91
karbidi, nitridi	str. 86	organski spojevi	str. 94, 95

#### Tehničke kovine i spojevi

aluminij lijevani	2560	delta kovina	8600
- kovani	2750	duralumin	2800
aluminijeve slitine	2600 ... 2900	elektron	1800
bakar - tekući	8220	konstantan	8800
- elektrolitski	8900 ... 8950	kositar tekući	7025
- lijevani	8300 ... 8920	- lijevani	7200
kovani, valjani	8800 ... 9000	manganin	8400
bijela kovina	7500 ... 10100	mjed (mesing)	8400 ... 8800
bronca - kositarana	8730 ... 8800	monel kovina	8580
- aluminijaska	7400 ... 8200	olovo tekuće	10640
čink - tekući	6480	lijevano	11340
- lijevani	6900	silumin	2500 ... 2650
kovani	7000 ... 7200	svi ljevi	7250
čelik lijevani	7850	srebro - lijevano	10400 ... 10500
- valjani	7850	- kovano	10500 ... 10600
- brzorezni	8100 ... 9000	zlato, lijevano	19250

### Nekovinske krutine

asfalt	1050 ... 1380	pepeco	1800 ... 2400
azbest	2100 ... 2800	pluto	200 ... 350
azbestna ljepenka	1200	porculan	2150 ... 2450
boksit	2400 ... 2600	smirak	4000
celofan	1420	smola, prirodna	1250 ... 1330
celuloid	1380	staklo	2400 ... 3000
cement	2200 ... 3250	svila, umjetna	1250 ... 1600
grafit	2000 ... 2500	šamot	1800 ... 2600
guma, tvrda	1150 ... 1700	šećer	1610
gumeni proizvodi	1000 ... 2000	škrob	1530
kačuk, sirovi	910 ... 930	tinjac	2600 ... 3200
keramički proizvodi	1600 ... 3900	treset, posušen	800 ... 1600
koks	1600 ... 1900	troška	2500 ... 3000
kolofonij	1070 ... 1090	ugljen	1200 ... 1500
korund	3750 ... 4000	ugljen, drveni	1400 ... 1500
kreda	1800 ... 2600	ugljeni hrikeri	1250
kremen (kvarc)	2100 ... 2650	vapnenac	1500 ... 1700
kremeno staklo	2200	vapno živo	900 ... 1300
kriofit	2950	gaženo	1150 ... 1250
led (H <sub>2</sub> O)	880 ... 920	vosak	980 ... 1040
mast	910 ... 960	vuna	1300 ... 1400
pamuk	1480	zrnja	1300 ... 2000
papir	700 ... 1200	Zemlja (planet)*	5530

\* Ukupna masa Zemlje iznosi  $5960 \cdot 10^{21}$  t.

### Kapljevine (pri 15 °C)

benzin - laki	680 ... 720	plinsko ulje iz	
- - teški	760	katrana	880 ... 900
cilindarsko ulje	930	- kamenog ugljena	1020 ... 1080
katran iz		- nafte	860 ... 890
- kamenog ugljena	1100 ... 1200	- smeđeg ugljena	880 ... 900
- smeđeg ugljena	850 ... 910	repifino ulje	911 ... 918
katransko ulje iz		ricinusovo ulje	959 ... 974
- kamenog ugljena	1080	solna otopina	
- smeđeg ugljena	780 ... 1040	(NaCl) - 10%	1071
laneno ulje	940	terpentinsko ulje	860
morska voda	1020 ... 1030	ulje za loženje	
nafta	700 ... 1040	- lako	890 ... 980
parafinsko ulje	900 ... 1020	- teško	1020 ... 1080
petrolej	760 ... 860	voda	999,13

Zid od prirodnog kamena:		Gradiva	
graubl. porfir	2600	vapno	1700
mramor	2700	vapno-cement	1900
pješčenjak	2400	beton (od šljunka)	2200
vapnenac – gust	2600	drvo (prosušeno)	
– porozan	2200	bukovina	600 ... 700
zid od umjetnog gradiva:		brezovina	700 ... 800
ohišna opeka	1800	bukovina	700 ... 800
porozna puna opeka	1100	hrastovina	800 ... 900
porozna šuplja opeka	1000	javorovina	650 ... 750
šuplja opeka	1450	jelovina	550 ... 600
žbuka		lipovina	500 ... 600
cement	2100	smrekovina	550 ... 600
sadnja	1200	topolovina	450 ... 500

Sipke i vati		Sipke i vati	
briketi, ugljeni	750 ... 1250	sol	1250
cement rastresen	1200 ... 1400	treset	300 ... 900
– nabijen	1900 ... 2000	ugljen drveni	
drvo u ojepanicama	330 ... 520	– od meka drveta	150
koks	320 ... 450	– od tvrdi drveta	200
materijal za nasipavanje:		ugljen, kameni	800 ... 900
šljunak suh	1700	– smeđi	700 ... 800
– vlažan	2000	vapnenac	1400
troska (šljaka)	1000	vapno, gašeno	1150 ... 1250
zemlja, pijesak, šlovača		– živo	1060
– mokra	2100	zemlja	1600 ... 2000
– prirodno vlažna	1800	žito, krumpir, voće	
– suha	1600	brašno, rastreseno	500
pijesak, ljevanička		ječam	650
– rastresen	1200	krumpir	750
– nabijen	1650	pšenica	760
slama	45	raž	680
snijeg – svježe zapao	80 ... 190	voće	360
– makar	200 ... 800	zob	550

Kutovi prirodnog pokosa		Kutovi prirodnog pokosa	
cement	40°	pšenica, raž	25 ... 35°
gračak, gračak	35°	ugljen, kameni	45°
ječam, zob	40 ... 45°	– smeđi	35 ... 50°
koks	35 ... 50°	zemlja	27 ... 35°

Sila

Sila  $F$  (N) je uzrok promjeni gibanja i oblika tijela. Sila je vektor određen veličinom, smjerom i hvatištem.

Sila u ravni

$F$  – sila s hvatištem  $(x_0, y_0)$

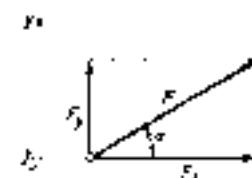
$F_x, F_y$  – komponente

$\alpha$  – kut što ga zatvara smjer sile  $F$  s osi  $x$

$$F = F_x + F_y$$

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \sin \alpha$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \tan \alpha = F_y / F_x$$



Sila u prostoru

$F$  – sila s hvatištem  $(x_0, y_0, z_0)$

$F_x, F_y, F_z$  – komponente

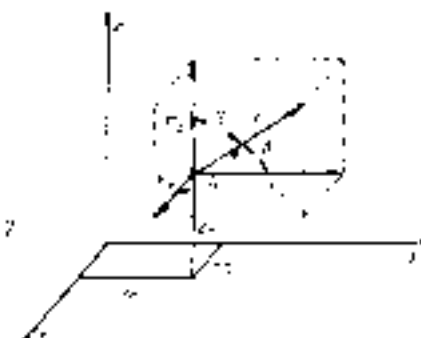
$\alpha, \beta, \gamma$  – kutovi što ih zatvara sila  $F$  s osima  $x, y, z$

$$F = F_x + F_y + F_z$$

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \cos \beta \quad F_z = F \cos \gamma$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$



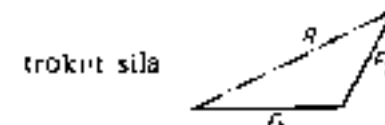
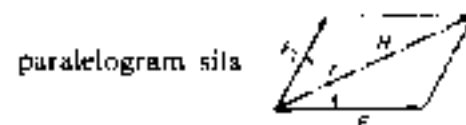
Sastavljanje dviju sila u ravni

Sile koje sastavljamo  $F_1, F_2$  – komponente

Kut među silama  $\gamma$

Ukupna sila  $R$  – rezultanta

Grafičko rješenje:



Analitičko rješenje:

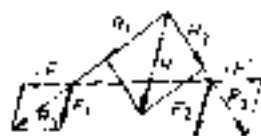
$$R = F_1 + F_2 \quad \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \gamma}$$

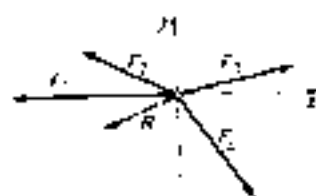
$R_x$  i  $R_y$  su projekcije rezultante  $R$  na osi  $x$  i  $y$

$$R_x = F_1 + F_2 \cos \gamma \quad R_y = F_2 \sin \gamma$$

Pri sastavljanju dviju paralelnih sila  $F_1$  i  $F_2$  dajemo dvije jednake, ali suprotne sile  $|F'|$  i  $-F'$ .



Sastavljanje više sila sa zajedničkim hvatištem



Grafičko rješenje: poligon sila



Analitičko rješenje  $R = \sum_{i=1}^n F_i$

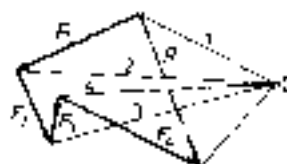
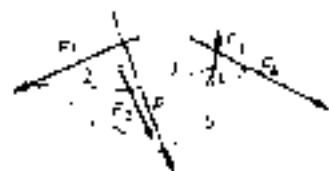
Projekcija rezultante na os  $x(y)$  jednaka je zbroju projekcija svih komponenta na os  $x(y)$ :

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Hvatište rezultante je u hvatištu sila.

Sastavljanje više sila s različitim hvatištima

Grafičko rješenje: verižni poligon

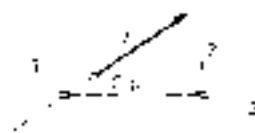


(O po volji odabrani pol)

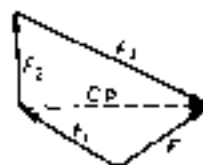
Analitičko rješenje  $R = \sum_{i=1}^n F_i$

Daljnje rješavanje — pomoću projekcija kao u prijašnjem primjeru.

Rastavljanje sile  $F$  u više komponenta (1, 2 i 3), koje se ne sijeku sve u istoj točki



Grafičko rješenje:



C. p. = Culmannov pravac spaja sjecište pravca djelovanja sile  $F$  i jednog od zadanih pravaca sa sjecištem ostalih dvaju pravaca.

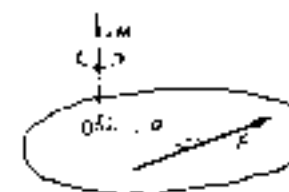
## Statički moment sile

Statički moment sile  $M$  (Nm) s obzirom na neku točku (pol  $O$ ) je umnožak sile  $F$  i njena kraka  $a$  (tj okomite udaljenosti te točke od smjera sile  $F$ )

$$M = Fa$$

Po dogovoru moment je pozitivan ako njegovo djelovanje ima smisao suprotan smislu kazaljke na satu.

Moment sile je vektor kojemu je smjer okomit na ravninu određenu smjerom sile i kraka. Vektor momenta sile ima takav smisao da je moment, gledan u suprotnom smislu, pozitivan



Moment sile u ravnini

Momenti komponenta sile  $F$

$$-M_x = F_z y_0$$

$$M_y = F_x z_0$$

Moment sile  $F$

$$M = (M_x) + M_y = M_y - M_x$$

Zbrajanje momenata s obzirom na istu točku (os)

$$M_R = \sum_{i=1}^n M_i$$

Moment sile u prostoru

Momenti s obzirom na pojedine koordinatne osi  $x, y$  i  $z$  (vidi sliku: sile u prostoru — na str. 101):

$$M_x = F_z y_0 - F_y z_0$$

$$M_y = F_x z_0 - F_z x_0$$

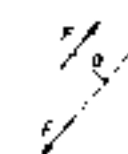
$$M_z = F_y x_0 - F_x y_0$$

ukupni moment

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

Spreg sila (par sila) su dvije jednako velike, usporedne i suprotno usmjerene sile  $F$  i  $-F$  s međusobnim razmakom  $a$ . Te se dvije sile ne mogu sastaviti u rezultantu. Moment sprega sile iznosi

$$M = Fa$$



Spreg sila može se u istoj ili paralelnoj ravnini po volji premještati ili zamijeniti drugim spregom sile koji ima isti moment.

## Ravnoteža sila

Sile su u ravnoteži ako kruto tijelo, na kojemu djeluju, ostaje u mirovanju (odn. ne mijenja stanje gibanja).

Uvjeti ravnoteže

a) Rezultanta svih sila mora biti jednaka nuli

$$R = \sum_{i=1}^n F_i = 0$$

Stoga moraju biti i rezultante komponenta jednake nuli

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 \quad R_z = \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

Pri grafičkom rješavanju poligon sila mora biti zatvoren ( $R = 0$ ).

b) Zbroj svih momenata mora biti jednak nuli

$$M_R = \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Zato moraju zbrojevi momenata s obzirom na pojedine koordinatne osi također biti jednaki nuli

$$M_{R_x} = \sum_{i=1}^n M_{ix} = 0 \quad M_{R_y} = \sum_{i=1}^n M_{iy} = 0 \quad M_{R_z} = \sum_{i=1}^n M_{iz} = 0$$

U sila koje imaju isto hvatište nije potreban uvjet za momente.

## Stabilnost

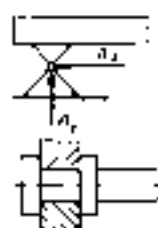
Tijelo je stabilno s obzirom na prevrtanje ako je

$$\sum \text{momenata stabilnosti} > \sum \text{momenata prevrtanja}$$

Pri tome računamo sve momente s obzirom na brzo prevrtanja.

Reakcije u osloncima (smjer)

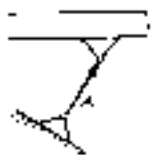
Nepomični oslonac



Pomični oslonac



Njihanji oslonac



## Nosači

Nosač na dva oslonca

Reakcije u osloncima

$$A = F_1 \frac{l - x_1}{l} + F_2 \frac{l - x_2}{l}$$

$$B = F_1 \frac{x_1}{l} + F_2 \frac{x_2}{l}$$



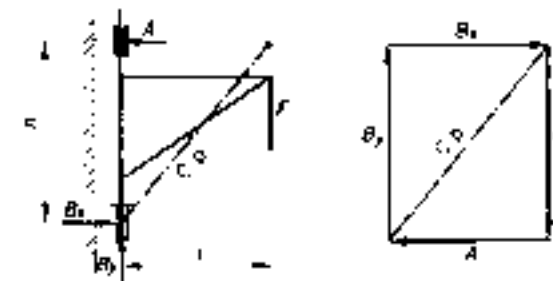
Zidni (okretni) nosač

Reakcije u osloncima

$$A_x - B_y = F \frac{l}{h}$$

$$A_y - F$$

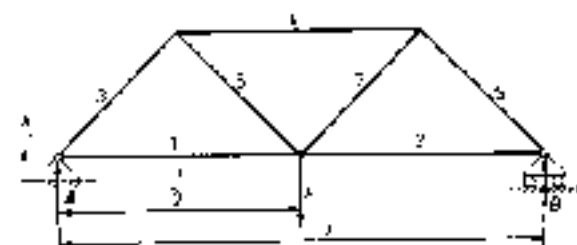
(C. p. = Culmannov pravac)



Rešetkasti nosač (rešetka)

Reakcije u osloncima

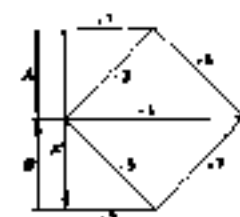
$$A - B = \frac{F}{2}$$



Cremonin plan

sastavljen je od (zatvorenih) poligona sila koje djeluju u svakom čvoru, a nalaze se u ravnoteži.

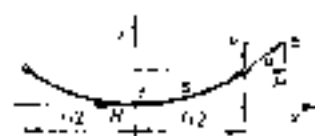
Najprije određujemo reakcije u osloncima A i B. Zatim crtamo plan tako da kod svih čvorova uzimamo u obzir redoslijed sila kakav je na slici, pri čemu treba usvojiti isti smisao promatranja (npr. x).



(+ vlačno naprezanje)  
(- tlačno naprezanje)

## Statika užeta

Uže upeto na razmaku  $l$  s progibom  $f$ . Težina jedinice duljine



$$p = A \rho g \quad (\text{N/m})$$

$A$  - (ukupni) presjek užeta  
 $\rho$  - gustoća materijala užeta  
 $g$  - ubrzanje teže ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

### 1. Maleni progib

Uže će poprimiti (dovoljnom točnošću) oblik parabole

$$y \approx 4f/l^2 \cdot x^2$$

Duljina užeta  $2s \approx l$       Težina užeta  $G \approx pl$   
 Progib  $f \approx p l^2 / 8H$       Prikloni kut  $\tan \alpha \approx 4f/l$   
 Sile u užetu: komponente  $V \approx pl/2$      $H \approx p l^2 / 8f$   
 rezultanta  $S \approx pl/8 \cdot \sqrt{(l/f)^2 + 16}$

### 2. Proizvoljni progib

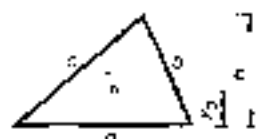
Uže će poprimiti oblik lančanice

$$y = h/2 \cdot (e^{x/h} + e^{-x/h}) - h \quad h = H/p \approx l^2/8f$$

Duljina užeta  $2s = 2\sqrt{f^2 + 2fh}$       Težina užeta  $G = 2ph$   
 Progib  $f = h/2 \cdot (e^{l/h} + e^{-l/h}) - h$       Prikloni kut  $\tan \alpha = s/h$   
 Sile u užetu: komponente  $V = ps$      $H = ph$   
 rezultanta  $S = p(f + h)$

## TEŽIŠTA

### Težišta linija



1. Dužina. Težište je na polovici dužine.

2. Obod trokuta

$$y_0 = \frac{h}{2} = \frac{b+c-a}{2}$$

3. Kružni luk s polumjerom  $r$  i kutom  $\alpha$

$$y_0 = r \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \alpha (\text{rad})$$

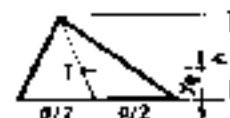


$\alpha = \pi/2 = 90^\circ$      $y_0 = 2r/\pi \approx 0,6366r$   
 $\alpha = \pi/4 = 45^\circ$      $y_0 = 2r/\pi \cdot \sqrt{2} \approx 0,9003r$   
 $\alpha = \pi/6 = 30^\circ$      $y_0 = 3r/\pi \approx 0,9549r$

## Težišta likova

1. Trokut

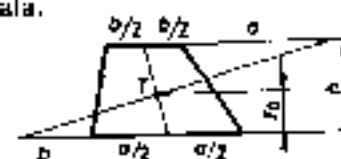
$$y_0 = \frac{h}{3}$$



2. Paralelogram. Težište je u sjecištu dijagonala.

3. Trapez

$$y_0 = \frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$$



4. Pravi višekut i krug. Težište je u središtu.

5. Kružni isječak

$$y_0 = \frac{2}{3} r \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \alpha (\text{rad})$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad y_0 = \frac{4r}{3\pi} \approx 0,4244r$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ \quad y_0 = \frac{4\sqrt{2}}{3\pi} r \approx 0,6002r$$

$$\alpha = \frac{\pi}{6} = 30^\circ \quad y_0 = \frac{2r}{\pi} \approx 0,6366r$$



6. Kružni odsječak

$$y_0 = \frac{2}{3} r \frac{\sin^3 \alpha}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha} \quad \alpha (\text{rad})$$



7. Isječak kružnog vijenca

$$y_0 = \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \alpha (\text{rad})$$

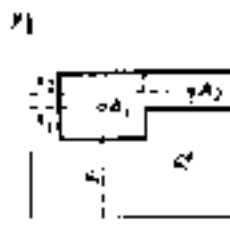


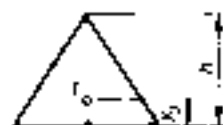
8. Sastavljeni lik

Pojedine površine  $A_i$   
 koordinate težišta

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i x_i) / A}{A} \quad A = \sum_{i=1}^n A_i$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i y_i) / A}{A}$$





1. Kocka i prizma. Težište je u središtu.

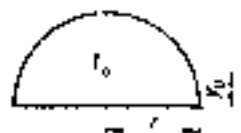
2. Piramida i stožac

$$x_0 = \frac{h}{4}$$

3. Kugla. Težište je u središtu.

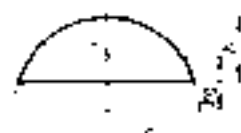
4. Polukugla

$$x_0 = \frac{3}{8}r$$



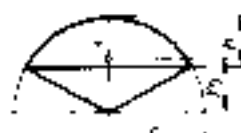
5. Kuglin odsječak (kalota)

$$x_0 = \frac{3}{4} \frac{(2r - h)^2}{(3r - h)}$$



6. Kuglin isječak

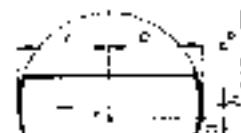
$$x_0 = \frac{3}{8}(2r - h)$$



7. Kuglina zona

$$x_0 = \frac{-3(a^2 - b^2)}{6h(a^2 + b^2) - 2h^3}$$

$$a = \sqrt{h_0(2r - h_0)} \quad b = \sqrt{h_1(2r - h_1)}$$



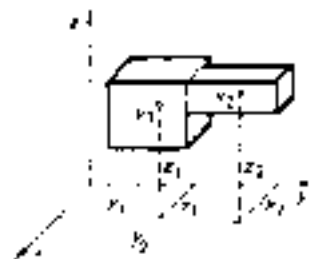
8. Sastavljeno tijelo

Pojedini volumeni  $V_i$ ,  
koordinate težišta

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i x_i)}{V}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i y_i)}{V} \quad V = \sum_{i=1}^n V_i$$

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i z_i)}{V}$$



Trenje je otpor pri klizanju dvaju tijela koja se dodiruju plohami. Sila trenja  $F_T$  ovisi o hrapavosti i materijalu kliznih ploha, sredstvu za podmazivanje i o okomitoj (normalnoj) sili  $F_N$ , kojom jedna ploha tlači drugu.

1. Trenje mirovanja

$$\text{Sila trenja} \quad F_T = \mu_0 F_N \quad \mu_0 - \text{koeficijent trenja mirovanja}$$

2. Trenje gibanja

$$\text{Sila trenja} \quad F_T = \mu F_N \quad \mu - \text{koeficijent trenja gibanja}$$

3. Koeficijenti trenja

Parovi materijala	$\mu_0$		$\mu$	
	suho	podmazano	suho	podmazano
čelik na čelik	0,12 ... 0,30	0,10	0,10	0,01 ... 0,05
čelik na lijev. željezo ili broncu	0,19 ... 0,20	0,10	0,18	0,01 ... 0,05
kovina na drvo	0,50 ... 0,65	0,10	0,20 ... 0,50	0,02 ... 0,10
drvo na drvo	0,40 ... 0,65	0,16 ... 0,20	0,20 ... 0,40	0,04 ... 0,16
koža na kovinu	0,60	0,20	0,22	0,12
koža na lijevano željezo	0,56		0,28	0,12

Koeficijent trenja  $\mu$  za gumeni kotač na dobroj cesti (asfalt, beton):  
suho: 0,5 ... 0,65; vlažno: 0,2 ... 0,35; snijeg: 0,1 ... 0,5; led: 0,05 ... 0,15

4. Trenje tijela na kosini

Sila okomira na podlogu

$$F_N = G \cos \alpha \quad G - \text{težina}$$

Sila u smjeru podloge (niz kosinu)

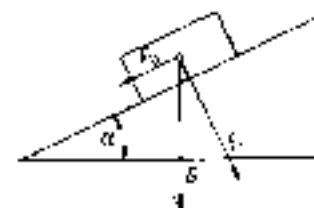
$$F_0 = G \sin \alpha$$

Tijelo miruje zbog trenja u svakom položaju kosine ako je

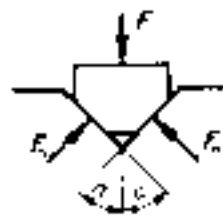
$$F_T \geq F_0 \quad \mu_0 \geq \tan \alpha \quad \varphi_0 \geq \alpha \quad F_T = \mu_0 F_N = \mu_0 G \cos \alpha$$

Kut trenja  $\tan \varphi_0 = \mu_0$   $\varphi_0$  — kut trenja mirovanja

$$\tan \varphi = \mu \quad \varphi - \text{kut trenja gibanja}$$



### 5. Trenje u klinastom utoru pri djelovanju sile $F$ na klin



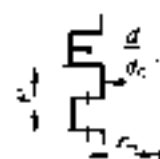
$$F = 2F_n \sin \alpha$$

Trenje mirovanja

$$F_t = \mu_0 2F_n \frac{\mu_0}{\sin \alpha} \quad F = \mu_0 F$$

Koeficijent trenja klina  $\mu' = \mu_0 / \sin \alpha$

### 6. Trenje vijka



a) Vijak s plosnatim navojem

$$\text{Srednji polumjer} \quad r_m = \frac{d + d_k}{4}$$

$$\text{Kut uspona } \alpha \quad \tan \alpha = \frac{p}{2r_m \pi}$$

Koeficijent trenja  $\tan \varphi = \mu$

Djelovanje vjka nasuprot sili opterećenja  $Q$ :  
Sila gibanja bez trenja

$$F_0 = Q \tan \alpha$$

Sila gibanja s trenjem

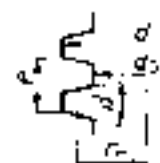
$$F = Q \tan (\alpha + \varphi) = Q \frac{\mu + 2r_m \pi \alpha}{2r_m \pi - \mu P}$$

Koristnost

$$\eta = F_0 / F = \tan \alpha / \tan (\alpha + \varphi)$$

Sila samokočnosti  $F' = Q \tan (\alpha - \varphi)$

Uvjet samokočnosti vijka  $\alpha \leq \varphi$ .



b) Vijak s trapeznim navojem

Koeficijent trenja  $\mu' = \mu / \cos (\beta / 2)$

Sav ostali proračun trenja isti je kao i za vijak s plosnim navojem.

### 7. Trenje u kliznom ležaju u kojem djeluje sila $F$ na površinu $A$

Specifičan pritisak  $p = F/A$

Moment trenja za radijalni ležaj promjera  $d$  (polupjera  $r$ ) i duljine  $l$

$$M = \mu r F \quad p = F/d$$

za aksijalni ležaj s polupjerom rukavca  $r$  i pulupjerom otvora u ležaju  $r_0$

$$M = 2/3 \mu p \pi (r^3 - r_0^3) \quad p = F/\pi (r^2 - r_0^2)$$

### 8. Trenje kotrljanja

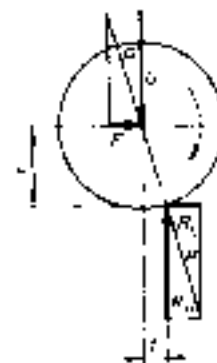
Kotač (kolut, kugla, valjak), opterećen silom (npr. težinom  $G$ ), kotrlja se po ravnoj podlozi zbog sile kotrljanja  $F$  koja na nj djeluje odnosno zbog momenta kotrljanja  $M$ .

Hvatište (prema središtu kola uperene) sile otpora  $R$  pomaknuto je za krak  $f$  pred kotačem.

Komponente sile otpora  $R$ :  $R_n = G$   $R_t = F$

Trenje kotrljanja:  $f/r = R_t/R_n = F/G$

Sila kotrljanja i moment:  $F = f/r \cdot G$   $M = fG$



Kotrljanje počinje samo pri nagibu podloge  $\tan \alpha > f/r$ .

Pri kotrljanju zbog momenta kotrljanja  $M$  mora biti koeficijent trenja između kotača i podloge (tračnice, ceste)  $\mu > f/r$ .

Krak momenta kotrljanja  $f$ :

kaljena čelična tijela (kugle, valjci)

na čeličnoj podlozi (kotrljajući ležaji)  $f \approx 0,01$  mm

čelik, čelični lijev ili sivi lijev

na željku (vozila na tračnicama)  $f \approx 0,5$  mm

drvo na drvetu

$f = 5,0$  mm

Trenje kotrljanja  $f/r$  za gumene kotače na cestu (automobili):

asfalt  $\approx 0,08$ ; beton  $\approx 0,015$ ; makadam  $\approx 0,03$ , pijesak do 0,3

### 9. Kolutno obodno trenje

Trenje užeta ili trake na obodu koluta

Ohvatni kut  $\alpha$  (rad)  $= 180/\pi \cdot x^\circ$

a) Trenje na užnici  $F > F_0$

Najveća obodna tarzna sila

$$F_{tmax} = F - F_0 = F(e^{\mu \alpha} - 1)/e^{\mu \alpha}$$

Najveći obodni tarzni moment

$$M_{tmax} = F_{tmax} r = Fr(e^{\mu \alpha} - 1)/e^{\mu \alpha}$$

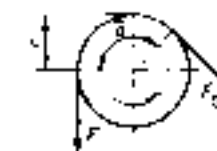
b) Trenje na zavornom kolutu  $F > F_0$

Tarzna sila

$$F_t = F - F_0 = F_0(e^{\mu \alpha} - 1)$$

Tarzni moment

$$M_t = F_t r = F_0 r(e^{\mu \alpha} - 1)$$



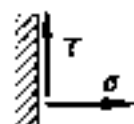


# ČVRSTOĆA

## Naprezanja

Pri deformacijama nastaju u materijalu naprezanja koja djeluju suprotno uzroku deformacija:

normalne sile  $F_n$  djeluju okomito na promatrani presjek  $S$ , i uzrokuju *normalna naprezanja*  $\sigma$



$$\sigma = F_n/S$$

tangencijalne sile  $F_t$  djeluju u presjeku  $S$  samom i uzrokuju *tangencijalna naprezanja*  $\tau$

$$\tau = F_t/S$$

a) Normalna naprezanja  $\sigma$  uzrokuju produženje ili skraćenje materijala (npr. kod vlakna ili tlaka). Pri tom se pojavljuje

aps. produženje  $\Delta l = l - l_0$  rel. produženje  $\epsilon = \Delta l/l_0$   
 aps. suženje  $\Delta d = d_0 - d$  rel. suženje  $\epsilon_q = \Delta d/d_0$

$l_0, d_0$  prvobitna duljina odnosno promjer epruvete (bez naprezanja),  
 $l, d$  duljina i promjer epruvete pri naprezanju  $\sigma$ .

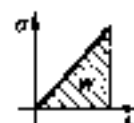
$$\epsilon/\epsilon_q = m \quad \text{Poissonov broj } \mu = 1/m$$

za kovine  $m = 3 \dots 4$  (za čelik  $10/3$ )  
 za sivi lijev  $m = 5 \dots 9$

Hookov zakon vrijedi ako je rastezanje linearno proporcionalno naprežanju

$$\epsilon = \alpha \sigma \quad \alpha \text{ — koeficijent rastezanja}$$

$$\sigma = \epsilon E \quad E = 1/\alpha \text{ — modul elastičnosti}$$



Hookov zakon vrijedi (do granice linearne proporcionalnosti) za čelik, a praktično i za bakar, aluminij i drvo

$$\text{Deformacijski rad } W = \sigma \epsilon / 2$$

Potencijalni zakon (ustanovljen na temelju preciznih mjerenja)  $\epsilon = \alpha_0 \sigma^n$  vrijedi osobito za sivi lijev, gdje je  $\alpha_0 \approx 1/E$ , dok je  $n = 1,08$  za vlak i  $n = 1,04$  za tlak. Za neke druge materijale je npr.

$n > 1$  — za lijevani cink, granit, beton ( $n = 1,14 \dots 1,16$ )  
 $n < 1$  — za kožu ( $n = 0,7$ ), užad od konoplje itd.

Modul elastičnosti  $E$  (N/mm<sup>2</sup>)

čelik	210 000	Al i Al-slitine	≈ 70 000
čelični lijev	200 000	Mg i Mg-slitine	≈ 39 000
modularni lijev	≈ 180 000	bakar	125 000
sivi lijev	≈ 100 000	mjed	≈ 90 000
karbidni tvrdi metalji	≈ 580 000	drvo	≈ 10 000

b) Tangencijalna naprezanja  $\tau$  uzrok su klizanju materijala (npr. kod smicanja). Pri tom se javlja tangencijalna deformacija  $\gamma$ . Slično Hookovu zakonu vrijedi za područje u kojem je tangencijalno naprezanje  $\tau$  linearno proporcionalno klizanju (deformaciji)  $\gamma$

$$\gamma = \beta \tau \quad \beta \text{ — koeficijent smicanja}$$

$$\tau = \gamma G \quad G = 1/\beta \text{ — modul smicanja}$$

$$\text{Deformacijski rad } W = \tau \gamma / 2$$

Odnos između modula elastičnosti  $E$  i modula smicanja  $G$

$$G = E m / 2(m + 1) = E / 2(1 + \mu)$$

(Za čelik je  $m = 10/3$  pa je  $G = 0,385 E$ .)

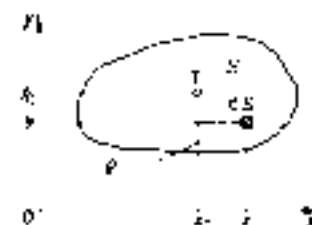
## Geometrijske karakteristike presjeka

Statički moment plohe s obzirom na neku os jest suma umnožaka elementarnih površina te plohe i udaljenosti njihovih težišta od izabrane osi

$$M_x = \int y dS \approx \sum y_i S_i$$

a jednak je umnošku površine  $S$  i udaljenosti  $y_0$  njena težišta  $T$  od osi  $x$

$$M_x = y_0 S$$



Statički moment plohe s obzirom na os kroz težište je nula.

Moment tromosti plohe

Aksijalni moment plohe je suma umnožaka elementarnih površina i kvadrata udaljenosti njihovih težišta od izabrane osi, npr. od osi  $x$  ili  $y$ :

$$I_x = \int y^2 dS = \sum y_i^2 S_i \quad I_y = \int x^2 dS = \sum x_i^2 S_i$$

$$\text{Polupjer tromosti } i = \sqrt{I/S}$$

Polarni moment tromosti plohe je suma umnožaka elementarnih površina i kvadrata udaljenosti njihovih težišta od izabranog pola (0)

$$I_p = \int \rho^2 dS \approx \sum \rho_i^2 S_i$$

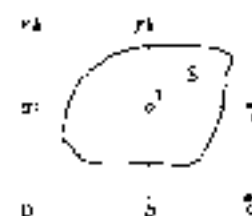
$$\text{Pri tom vrijedi } \rho^2 = x^2 + y^2 \text{ i } I_p = I_x + I_y$$

Moment tromosti plohe uvijek je pozitivan.

Stejnerovo pravilo

Aksijalni moment tromosti plohe s obzirom na os koja je paralelna s osi kroz težište iznosi

$$I_p = I_c + a^2 S \quad I_y = I_c + b^2 S$$



Opterećenje  $F$ , koje zamisljamo da je jednoliko raspodijeljeno po presjeku  $S$ , uzrokuje naprezanje

$\sigma = \frac{F}{S}$  kod vlaka  $+\sigma = \frac{F}{S}$

$\sigma = -\frac{F}{S}$  kod tlaka  $\sigma = -\frac{F}{S}$

Deformacija kod vlaka (tlaka) - produženje (skraćenje)

$\Delta l = \alpha l \Delta T$

Temperaturna naprezanja  $\sigma_T$  pojavljuju se pri zagrijavanju ili ohlađivanju čvrsto upeta predmeta

$\sigma_T = \epsilon l = E \cdot \Delta l / l_0$

$\Delta l$  je linearno temperaturno produženje (skraćenje) (v. str. 157)

$\Delta l = \alpha_l l_0 \cdot \Delta T$

gdje su:  $l_0$  - prvobitna duljina,  $\Delta T$  - temperaturna razlika,  $\alpha_l$  - linearni koeficijent temperaturnog rastezanja ( $K^{-1}$ ) (v. str. 158 i 159).

$\sigma_T = E \cdot \alpha_l \cdot \Delta T$

Temperaturna naprezanja ne zavise od dimenzija predmeta i mogu biti katkada vrlo velika.

**Savijanje**

Moment savijanja  $M$  uzrokuje naprezanje  $\sigma$ , koje zamisljamo raspodijeljeno po presjeku razmjerno prema udaljenosti od neutralne osi  $n$

Neutralna os prolazi kroz težište promatranog presjeka (na sl. kroz točku  $O$ )

Maksimalno naprezanje na savijanje  $\sigma_{max}$  pojavljuje se u točki koja je najudaljenija od neutralne osi (za  $e_1, e_2$ ), i iznosi

$\sigma_{max} = M e_1 / I$        $\sigma_{max} = M e_2 / I$

Ako je presjek simetričan s obzirom na  $n$  ( $e_1 = e_2 = e$ ), vrijedi

$\sigma_{max} = M e / I = M / W$

$I$  - moment tromosti presjeka  $S$  s obzirom na  $n$

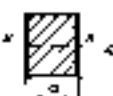
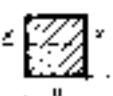
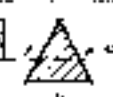
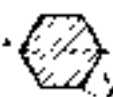

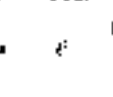

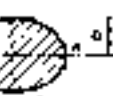
$W$  - moment otpora presjeka  $W = I/e$

Progib nosača  $f$  slijedi iz diferencijalne jednačbe elastične linije

$y'' = -M/EI$

$M_{max}, f, I, W$  za najčešće slučajeve dani su na str. 115 i 116.

Slika opterećenja	Moment savijanja $M_{max}$	Opasni presjek	Progib $f$	na mjestu
	$F l$	B	$\frac{F l^3}{EI \cdot 3}$	A ( $x = 0$ )
	$\frac{F l}{4}$	C	$\frac{F l^3}{EI \cdot 48}$	C ( $x = l/2$ )
	$\frac{F a b}{l}$	C	$\frac{F a^2 b^3}{EI \cdot 3l}$ $\frac{l \cdot b \sqrt{l^2 - b^2}}{3b \sqrt{l^2 - a^2}}$	$x = a \sqrt{\frac{l \cdot b}{3a}}$ za $a > b$
	$\frac{3 F l}{16}$	B	$\frac{F l^3}{EI \cdot 48} \cdot 5$	$x = \frac{l}{\sqrt{5}}$
	$\frac{F l}{8}$	A, B, C	$\frac{F l^3}{EI \cdot 192}$	C ( $x = l/2$ )
	$\frac{Q l}{2}$	B	$\frac{Q l^3}{EI \cdot 8}$	A ( $x = 0$ )
	$\frac{Q l}{8}$	C	$\frac{Q l^5}{EI \cdot 384}$	C ( $x = l/2$ )
	$\frac{Q l}{8}$	B	$\frac{Q l^3}{EI \cdot 185}$	$x = 0,4215 l$
	$\frac{Q l}{12}$	A, B	$\frac{Q l^3}{EI \cdot 384}$	C ( $x = l/2$ )

Presjek	$I_x$	$W_x$
	$ah^3/12$	$ah^2/6$
	$a^4/12$	$a^3/6$
	$bh^3/36$	$bh^2/24$
	$\frac{5\sqrt{3}}{16} r^4$ $0.5413 r^4$	$\frac{5}{8} r^3$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0.1 d^3$
	$\frac{4(\pi d)^3}{6} \left(\frac{\pi}{8} - \frac{9}{9\pi}\right) / 16 = 0.00686 d^4$	$0.0238 d^3$
	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} \approx 0.1 \frac{D^4 - d^4}{D}$
Za tanke stijenke $s = (D - d)/2$ $r = (D + d)/2$	$\approx \pi s r^3$	$\approx \pi s r^2$
	$\frac{\pi a b^3}{4}$	$\frac{\pi a b^2}{4}$

Momente tromosti i momente otpora za standardne čelične profile vidi u poglavlju: Oblici kovinskih poluproizvoda (str. 426 do 430).

**Smik (Odrez)**

Poprečna sila  $F$ , koja djeluje u samom presjeku, a zamišljamo je jednoliko raspodijeljenom po presjeku  $S$ , uzrokuje naprezanja na smik

$$\tau_s = F/S$$

Naprezanja na smik uvijek su vezana s naprezanjem na savijanje.

U kratkih svornjaka i zakovica možemo naprezanje na savijanje zanemariti i izvršiti proračun samo na smik.

Međutim, čim se smicanju pridruži i moment savijanja, naprezanja na smik se raspodijele po presjeku nejednoliko. Zbog toga se pojavljuje najveće naprezanje na smik:

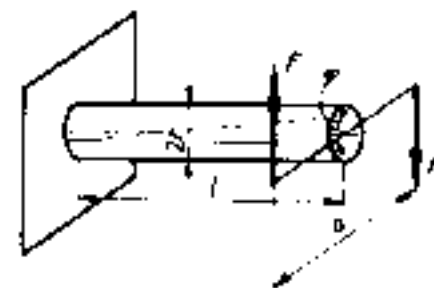
kod pravokutnog presjeka	$\tau_{s, \max} = (3/2) \cdot F/S$
kod okruglog presjeka	$\tau_{s, \max} = (4/3) \cdot F/S$
kod okruglog prstena s tankom stijenkom	$\tau_{s, \max} = 2F/S$

**Torzija (Uvijanje)**

Moment torzije  $T$

$$T = Fd$$

uzrokuje torziono naprezanje koje zamišljamo jednoliko razdijeljeno po presjeku i razmjerno prema udaljenosti od težišta. Najveće torziono naprezanje pojavljuje se u točki najudaljenijoj od težišta ( $r$ )



$$\tau_{i, \max} = (T/I_p)r = T/W_p$$

$I_p$  - polarni moment tromosti presjeka

$W_p$  - polarni moment otpora presjeka

$$W_p = I_p/r$$

Za kružni presjek je npr.  $I_p = \pi d^4/32 \approx 0.1 d^4$   $W_p = \pi d^3/16 \approx 0.2 d^3$






Kut torzije  $\varphi$

$$\varphi = Tl/GI_p \quad \varphi(\text{rad})$$

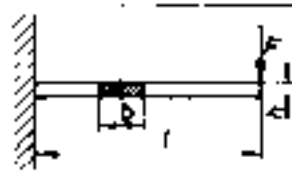
Kut torzije sveden na jedinicu duljine

$$\hat{\theta} = T/GI_p \quad \hat{\theta}(\text{rad/m})$$

Polarni momenti otpora  $W_p$  i kutovi torzije svedeni na jedinicu duljine sabrani su za najvažnije presjeke na str. 118.

Presjek	Polarni moment otpora $W_p$	Kut torzije na jedinicu duljine $\varphi$ (rad/m)
	$\frac{\pi}{16} \cdot d^3$	$\frac{32}{\pi d^4} \cdot \frac{T}{G}$
	$\frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\frac{32}{\pi(D^4 - d^4)} \cdot \frac{T}{G}$
Za tanke slijenke $s = (D - d)/2$ $r = (D + d)/2$	$\approx 2\pi sr^2$	$\approx \frac{1}{2\pi sr^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$\frac{\pi}{2} \cdot ab^2$	$\frac{1}{\pi} \frac{a^2 + b^2}{a^3 b^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$0,208 a^3$	$\frac{7,11}{a^4} \cdot \frac{T}{G}$
	$c_1 \cdot ab^2$ $c_2$	$\frac{1}{c_1 ab^3} \cdot \frac{T}{G}$
	$c_1 = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{0,630}{n} + \frac{0,052}{n^2} \right)$ $c_2 = 1 - \frac{0,65}{(1+n)}$ $n = \frac{a}{b}$	

$\sigma$  – normalno naprezanje  $F$  opterećenje  
 $\tau$  – tangencijalno naprezanje  $f$  progib



$$F = \frac{bh^2}{6} \cdot \frac{\sigma}{l}$$

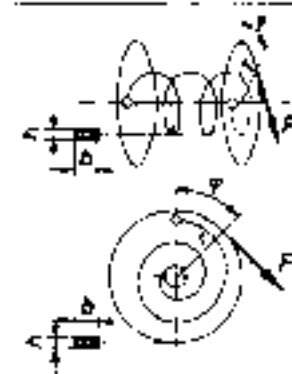
$$f = \frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{3} = \frac{4l^3}{bh^3} \cdot \frac{F}{E} = \frac{2l^2}{3h} \cdot \frac{\sigma}{E}$$



$$f = \frac{n bh^2}{6l} \cdot \frac{\sigma}{E}$$

$$f = \psi \cdot \frac{F}{EI} \cdot \frac{l^3}{3} = \psi \frac{4l^3}{bh^3} \cdot \frac{F}{E} = \psi \cdot \frac{2l^2}{3h} \cdot \frac{\sigma}{E}$$

$n$  – broj lamela  
 $n$  1 2 3 4 5 10  $\infty$   
 $\psi$  1,000 1,160 1,234 1,283 1,318 1,390 1,500



$$F = \frac{bh^2}{6r} \cdot \sigma$$

$$f = r\psi = \frac{F}{EI} \cdot lr^2 =$$

$$= 12 \frac{F}{E} \cdot \frac{lr^2}{bh^3} = 2 \frac{lr}{b} \cdot \frac{\sigma}{E}$$

$\psi$  (rad)



$$F = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \tau$$

$$f = \frac{64nr^4}{d^4} \cdot \frac{F}{G} = \frac{32lr^2}{\pi d^2} \cdot \frac{F}{G} =$$

$$= \frac{4\pi nr^2}{d} \cdot \frac{\tau}{G} = \frac{2lr}{d} \cdot \frac{\tau}{G}$$

$n$  – broj zavoja opruge  
 $l$  – duljina žice opruge  
 (Te jednačbe vrijede samo ako je promjer žice vrlo malen prema promjeru opruge)

## Izvijanje

Najmanja sila pri kojoj se pojavljuje izvijanje je sila izvijanja  $F_k$ . Djelovanje te sile na nosač presjeka  $S$  uzrokuje u njemu naprezanje izvijanja  $\sigma_k$

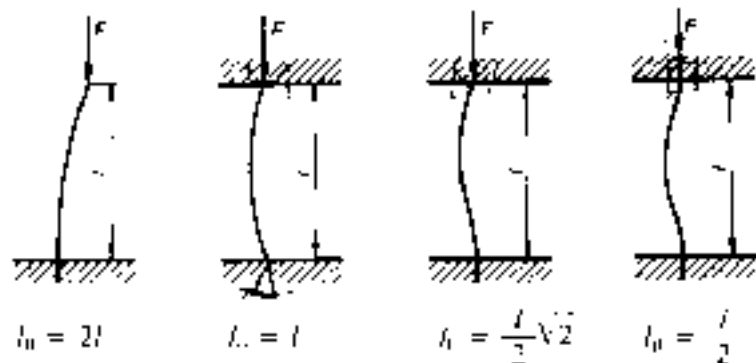
$$\sigma_k = \frac{F_k}{S}$$

Sila izvijanja  $F_k$  i naprezanje izvijanja  $\sigma_k$  ovise o vitkosti  $\lambda$

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

gdje znače:  $l_0$  – slobodnu duljinu izvijanja,  $i$  – polumjer tromosti

Slobodna duljina izvijanja  $l_0$  za različite slučajeve opterećenja na izvijanje iznosi.



Polumjer tromosti  $i$

$$i = \sqrt{I_{\min}/A}$$

gdje je  $S$  presjek nosača, a  $I_{\min}$  njegov najmanji aksijalni moment tromosti

Eulerova jednadžba za elastično izvijanje

$$F_k = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{l_0^2}$$

Odatle slijedi naprezanje  $\sigma_k$  za elastično izvijanje

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S} = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{l_0^2 S} = \pi^2 \frac{E}{\lambda^2} \quad (F = ? \quad l_0 = ?)$$

Te dvije jednadžbe vrijede samo za elastično tlačno područje, tj. kod čelika za vitkost  $\lambda > 105$ .

Stvarnu silu  $F$  kojom možemo opteretiti nosač određujemo pomoću faktora sigurnosti  $\nu$

$$F = \frac{F_k}{\nu}$$

Faktor sigurnosti  $\nu$  iznosi: za sivi lijev  $\nu = 8$ , za čelik  $\nu = 5$ , za drvo  $\nu = 6 \dots 12$ .

Te i majerove jednadžbe za naprezanje  $\sigma_k$  pri neelastičnom izvijanju kojima se služimo pri gradnji strojeva:

Materijal	$E$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_k$ N/mm <sup>2</sup>	Vitkost $\lambda$
sivi lijev	100000	$776 - 12,0 \lambda - 0,053 \lambda^2$	$\lambda < 80$
čelični lijev	200000	$303 - 1,29 \lambda$	$\lambda < 112$
čelik:			
- mekani	210000	$310 - 1,14 \lambda$	$\lambda < 105$
- tvrd	210000	$335 - 0,62 \lambda$	$\lambda < 89$
- Cr Ni	210000	$470 - 2,30 \lambda$	$\lambda < 86$
drvo	10000	$29,3 - 0,194 \lambda$	$\lambda < 100$

Dopušteno opterećenje

$$F = \frac{F_k}{\nu} = \frac{\sigma_k S}{\nu}$$

Faktor sigurnosti  $\nu$  iznosi: za manje strojeve  $\nu = 8 \dots 10$ ,  
za veće strojeve  $\nu = 6 \dots 8$ .

\*

Postupak  $\omega$  upotrebljavamo za čelične i drvene konstrukcije.

Naprezanje u nosaču određujemo izrazom

$$\frac{F}{S} = \omega \sigma$$

gdje su:  $S$  – presjek nosača,  $F$  – tlačna sila kojom je opterećen,  $\sigma$  – naprezanje (normalno),  $\omega$  – koeficijent izvijanja ovisan o vitkosti  $\lambda$  i materijalu nosača.

Koeficijenti izvijanja  $\omega$

za čelik čvrstoće 360 N/mm<sup>2</sup> ( $\sigma_{0,6}$ ) i 510 N/mm<sup>2</sup> ( $\sigma_{0,1}$ ):

$\lambda$	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\omega_{0,6}$	1,00	1,04	1,08	1,14	1,21	1,30	1,41	1,55	1,71	1,90
$\omega_{0,1}$	1,00	1,06	1,11	1,19	1,28	1,41	1,58	1,79	2,05	2,53
$\lambda$	110	120	130	140	160	180	200	220	240	250
$\omega_{0,6}$	2,11	2,43	2,85	3,31	4,32	5,47	6,75	8,17	9,73	10,55
$\omega_{0,1}$	3,06	3,65	4,28	4,96	6,48	8,21	10,13	12,26	14,59	15,83

za sivi lijev

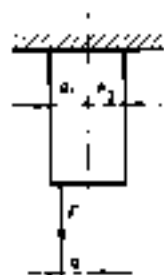
$\lambda$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\omega$	1,00	1,01	1,05	1,11	1,22	1,39	1,67	2,21	3,50	4,43	5,45

za drvo

$\lambda$	0	10	20	30	40	60	80	100	120	140	150
$\omega$	1,00	1,01	1,03	1,08	1,14	1,42	2,07	3,22	4,64	6,31	7,25

## Složena opterećenja

### a) Vlak i savijanje



Nosač opterećen na vlak silom  $F$  koja djeluje na nj ekscentrično na udaljenosti  $a$  od osi nosača dodatno je opterećen momentom  $M = Fa$

Naprezanje zbog vlaka  $\sigma = FiS$

Najveće naprezanje zbog savijanja

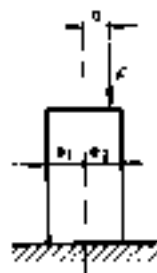
$$\sigma_1 = Mx_1/I = Fae/I$$

$$\sigma_2 = -Mx_2/I = -Fae/I$$

Najveća ukupna naprezanja  $\sigma_{11} = \sigma + \sigma_1 = FiS + Fae/I$

$$\sigma_{12} = \sigma - \sigma_2 = FiS - Fae/I$$

### b) Tlak i savijanje



Tlačna sila  $F$  koja djeluje na nosač u udaljenosti  $a$  od osi nosača uzrokuje opterećenje na tlak i dodatno opterećenje momentom  $M = Fa$ .

Naprezanja zbog tlaka  $\sigma = FiS$

Naprezanje zbog savijanja

$$\sigma_1 = Mx_1/I = Fae/I$$

$$\sigma_2 = -Mx_2/I = -Fae/I$$

Najveća ukupna naprezanja

$$\sigma_{11} = -\sigma + \sigma_1 = -FiS + Fae/I$$

$$\sigma_{12} = -\sigma - \sigma_2 = -FiS - Fae/I$$

Nosače koji su razmjerno vitki (velike duljine s obzirom na presjek) treba proračunati u izvijanju

\*

Što se hvatište sile  $F$  više udaljuje od osi nosača, dakle što se udaljenost  $a$  povećava, to se više smanjuju tlačna naprezanja u rubu nosača koji je nasuprot hvatištu sile  $F$ . Ta tlačna naprezanja poprimaju konačnu vrijednost jednaku nuli kad  $a$  naraste do vrijednosti  $a = i/S$ . Poveća li se udaljenost  $a$  iznad te vrijednosti, u suprotnom rubu nosača pojavit će se vlačna naprezanja. Sama tlačna naprezanja (npr. kod materijala koji ne podnose vlačna naprezanja) dohvaćamo ako sila djeluje na površini je zgre presjeka koja je omeđena »polumjerom jezgre«

$$r = i/S$$

Polumjer jezgre  $r$  iznosi za različite nosače:

za kvadratno (sa stranicom $h$ ) – u smjeru stranice	$r = h/6$
– u smjeru dijagonale	$r = 0,1179 h$
za okrugli (s promjerom $d$ )	$r = d/8$
za prstenasti (s promjerima $d$ i $D$ )	$r = D/8 \cdot [1 + (d/D)^2]$

### c) Smik i torzija

Sila  $F$  koja djeluje na obodu čepa promjera  $d$  možemo zamijeniti silom koja djeluje u središtu čepa i momentom para sila  $T = F \cdot r = Fd/2$ .

Sila kroz središte uzrokuje naprezanje na smik  $\tau_s$

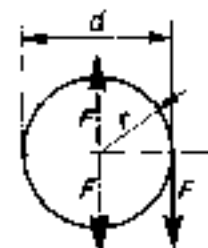
$$\tau_s = (4/3) \cdot FiS = (16/3) \cdot F/\pi d^2$$

Okretni moment dviju sila uzrokuje tangencijalno naprezanje  $\tau_t$

$$\tau_t = 16 T/(\pi d^3) = 8 F/\pi d^2$$

Najveće ukupno naprezanje iznosi

$$\tau_{\max} = \tau_s + \tau_t = (16/3) \cdot F/\pi d^2 + 8 F/\pi d^2 = 40 F/3 \pi d^2$$



### d) Savijanje i torzija

Presjek nosača je opterećen istovremeno momentom savijanja  $M$  i okretnim momentom  $T$

U okruglog presjeka (ili kružnog vijenca) pojavljuju se najveće vrijednosti normalnog naprezanja  $\sigma$  i tangencijalnog naprezanja  $\tau$  na rubu na istom mjestu.

Okrugli presjek ima

moment otpora  $W = \pi d^3/32$

polarni moment otpora  $W_p = \pi d^3/16 = 2W$

Kružni vijenac ima

moment otpora  $W = (\pi/32) \cdot (D^4 - d^4)/D$

polarni moment otpora  $W_p = (\pi/16) \cdot (D^4 - d^4)/D = 2W$

Pojedinačna naprezanja iznose

normalna naprezanja zbog savijanja  $\sigma = M/W$

tangencijalna naprezanja zbog torzije  $\tau = T/W_p = T/2W$

Ukupna su naprezanja

$$\sigma_{\max} = \xi M/W$$

gdje vrijedi

– po Bachu	$\xi = 0,35 + 0,65 [1 + (\alpha_0 T/M)^2]$	$\alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/1,3 \tau_{\text{dop}}$
– po Huberu (i dr.)	$\xi = [1 + 0,75 (\alpha_0 T/M)^2]$	$\alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/1,73 \tau_{\text{dop}}$
– po Mohru	$\xi = [1 + (\alpha_0 T/M)^2]$	$\alpha_0 = \sigma_{\text{dop}}/2 \tau_{\text{dop}}$

U svim je slučajevima  $\sigma_{\text{dop}}$  dopušteno normalno naprezanje, a  $\tau_{\text{dop}}$  je dopušteno tangencijalno naprezanje (vidi str. 532)



## Kinematika

a) Newtonov zakon (osnovni zakon dinamike)

»Sila  $F$  je jednaka umnošku mase  $m$  i ubrzanja  $a$ «  $F = ma$

Ako su vektori sile i ubrzanja istog smjera, vrijedi  $F = ma$ .

Suma komponenta ( $F_{1x}$ ,  $F_{1y}$ ,  $F_{2z}$ ) sile  $F$ , koja djeluje na masu  $m$  proporcionalna je s komponentama ubrzanja ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ )

$$\sum F_{ix} = ma_x, \quad \sum F_{iy} = ma_y, \quad \sum F_{iz} = ma_z$$

Izraz ( $ma$ ) nazivamo »silom tromosti«.

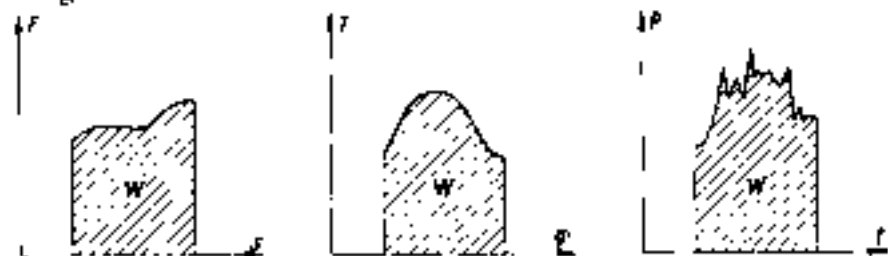
Mehanički je sustav u dinamičkoj ravnoteži ako je suma svih vanjskih sila koje na nj djeluju i svih sila tromosti sustava jednaka nuli (D'Alembertov princip)

$$\sum F_i - \sum m_i a_i = 0$$

b) Zakretni moment  $T$  sile  $F$  na kraku  $r$   $T = Fr$

Obodna sila  $F = Tr$

c) Rad  $W$  sile  $F$  na putu  $s$  ili zakretnog momenta  $T$  pri zakretu za kut  $\phi$  (rad) ili snage  $P$  u vremenu  $t$  iznosi



$$W = \int F ds = \int F v dt \quad W = \int T d\phi = \int T \omega dt$$

$$W = \int P dt$$

Kad su vektori  $F$ ,  $v$  i  $s$  istog smjera vrijedi:

$$F = \text{konst} \quad W = F s$$

$$T = \text{konst} \quad W = T \phi$$

$$P = \text{konst} \quad W = P t$$

Rad pomaka

$$F = F_0 = \text{konst}$$

$$W = \int_{s_0}^s F ds = F(s - s_0)$$

Elastični deformacijski rad

$$F = kx$$

$k$  - konstanta elastičnosti opruge

$$W = \int_{s_0}^s F ds = k \frac{s^2}{2} - \frac{k s_0^2}{2} = \frac{k}{2} (s^2 - s_0^2)$$

d) Snaga  $P$  je rad obavljen u jedinici vremena  $t$

$$P = \frac{dW}{dt} = Fv = F \frac{ds}{dt} \quad P = T \frac{d\phi}{dt}$$

U isto usmjerenih vektora  $F$ ,  $v$  i  $s$  i pri konstantnoj snazi  $P$  vrijedi

$$P = W/t \quad P = Fv \quad P = T\omega = T2\pi n$$

e) Korisnost

Korisnost nekog procesa, stroja ili uređaja jest omjer između korisno dobivene energije  $W$  (snage  $P$ ) i utrošene energije  $W_0$  (snage  $P_0$ )

$$\eta = W/W_0 = P/P_0 < 1$$

f) Kinetička energija  $W_k$  je energija mase u gibanju.

Pri pravocornom gibanju izražavamo kinetičku energiju masom  $m$  i brzinom  $v$

$$W_k = mv^2/2$$

Pri kružnom gibanju izražavamo kinetičku energiju momentom tromosti mase  $J$  (vidi str. [29]) i kutnom brzinom  $\omega$

$$W_k = J\omega^2/2$$

Za promjenu kinetičke energije

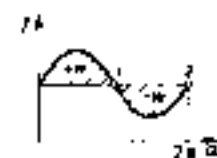
$$\text{od } W_0 = mv_0^2/2 \text{ i } J\omega_0^2/2 \text{ na } W_k = mv^2/2 \text{ i } J\omega^2/2$$

potreban je rad

$$W = m(v^2 - v_0^2)/2 = J(\omega^2 - \omega_0^2)/2$$

Zamašnjak

Nejednoliki zakretni moment  $T$  pogonskog stroja, koji se mijenja za vrijeme jednog okretaja ( $2\pi$ ), povećava kutnu brzinu zamašnjaka do  $\omega_{\max}$  (u točki 1) i smanjuje je do  $\omega_{\min}$  (u točki 2).



Prosječna kutna brzina  $\omega_{\text{med}} = (\omega_{\max} + \omega_{\min})/2$

Stupanj nejednolikosti  $\delta = (\omega_{\max} - \omega_{\min})/\omega_{\text{med}}$

Primljeni odnosno predani rad zamašnjaka, koji ima moment tromosti mase  $J$  i prosječnu brzinu vrtanje  $n$ , iznosi

$$W = J(\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2)/2 = J\omega_{\text{med}}^2 \delta = J \cdot 4\pi^2 n_{\text{med}} \delta$$

g) Potencijalna energija  $W_p$  je energija položaja (stanja). Tijelo mase  $m$ , tj. težine  $G = mg$ , ima, s obzirom na neku ravninu, iznad koje se nalazi na visini  $h$ , potencijalnu energiju (energiju položaja)

$$W_p = mgh = Gh$$

Osim toga primjera, potencijalna se energija pojavljuje i kao energija napete opruge ili komprimiranog plina, kao toplinska ili kemijska energija itd.



b) Impuls sile  $Fdt$  izražava djelovanje sile  $F$  u vremenu  $t$ , a jednak je promjeni količine gibanja  $mv$

$$Fdt = m dv$$

$$\int Fdt = m(v - v_0)$$

gdje je  $v_0$  — početna brzina.

Za  $F$ : konst vrijedi

$$Ft = m(v - v_0)$$

Ako su vektori  $F$  i  $v$  istoga smjera, bit će

$$Ft = m(v - v_0)$$

$$+$$

Za sustav materijalnih točaka vrijedi

$$\sum F_i = a_0 \sum m_i$$

gdje je  $a_0$  ubrzanje težišta.

Težište sustava materijalnih točaka giba se kao da je u njemu združena sva masa sustava sa svim vanjskim silama koje na nj djeluju.

Nema li vanjskih sila (odnosno ako su u međusobnoj ravnoteži pa je njihova rezultanta jednaka nuli), vrijedi

$$\sum m_i a_i = 0$$

$$\sum m_i v_i = \text{konst}$$

i) Moment impulsa  $Tdt$  je moment količine gibanja  $mv$  s obzirom na neku točku (pol) ili os

$$Tdt = rmdv = Jd\omega$$

$$\int Tdt = r m(v - v_0) = J(\omega - \omega_0)$$

gdje su:  $r$  — okomita udaljenost točke (osi) od smjera vektora brzine  $v$ ,  
 $J$  — moment tromosti mase s obzirom na točku (os),  $\omega$  — kutna brzina.

Moment impulsa je vektor koji je okomit na ravninu vektora  $v$  i  $r$ .

Pri rotaciji sustava materijalnih točaka oko neke osi vrijedi

$$\int Tdt = \int Frdt = \sum (r_i m_i v_i) = \sum (r_i m_i v_{i0}) = J(\omega - \omega_0)$$

**Moment tromosti mase**

— aksijalni (s obzirom na os  $z$ )

$$J_z = \int r_z^2 dm \quad r_z^2 = y^2 + z^2$$

polarni (s obzirom na pol)

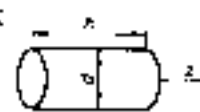
$$J = \int r^2 dm \quad r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

Polutijer tromosti  $i$   $i = \sqrt{J/m}$   $J = mi^2$

Zamašni moment  $mD^2$   $i = D/\sqrt{2}$   $J = mD^2/4$   $mD^2 = 4J$

**Momenti tromosti mase tijela (gustoće  $\rho$ )**

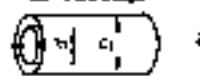
Valjak



$$J_z = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{\pi}{32} d^4 h \rho$$

$$m = d^2 \pi / 4 \cdot h \rho$$

Šupći valjak



$$J_z = \frac{1}{2} m(R^2 + r^2) = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) h \rho$$

$$m = (D^2 - d^2) \pi / 4 \cdot h \rho$$

tankih stijena

$$d_m = (D + d)/2$$

$$s = (D - d)/2$$

$$J_z \approx m r_m^2 = \frac{\pi}{4} d_m^3 s h \rho$$

$$m \approx d_m \pi s h \rho$$

Kugla

$$d = 2r$$

(os  $z$  kroz središte)

$$J_z = \frac{2}{5} mr^2 = \frac{\pi}{60} d^5 \rho$$

$$m = \pi / 6 \cdot d^3 \rho$$

Šuplja kugla

$$D = 2R$$

$$d = 2r$$

$$J_z = \frac{2}{5} m \frac{R^2 + r^2}{2} = \frac{\pi}{60} (D^5 - d^5) \rho$$

$$m = \pi / 6 \cdot (D^3 - d^3) \rho$$

tankih stijena

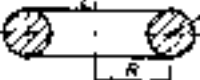
$$d_m = (D + d)/2$$

$$s = (D - d)/2$$

$$J_z \approx \frac{2}{3} m r_m^2 = \frac{\pi}{6} d_m^4 s \rho$$

$$m \approx \pi d_m^2 s \rho$$

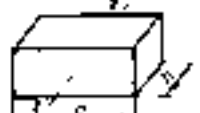
Prsten



$$J_z \approx m \left( R^2 + \frac{3}{4} r^2 \right) = 2\pi^2 R r^2 \left( R^2 + \frac{3}{4} r^2 \right) \rho$$

$$m \approx 2\pi^2 R r^2 \rho$$

Ploča



$$J_z = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) = \frac{1}{12} a b h (a^2 + b^2) \rho$$

$$m = a b h \rho$$

Steinerovo pravilo

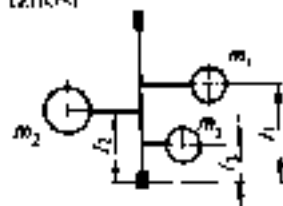
$$J_a = J_c + m e^2$$

$J_c$  — moment tromosti tijela s obzirom na os kroz težište tijela

$J_a$  — moment tromosti tijela s obzirom na os koja je paralelna s osi kroz težište i od nje udaljena za  $e$

**Centrifugalna sila**  $F_c$  mase  $m$ , koja rotira obodnom brzinom  $u$  odnosno kutnom brzinom  $\omega$  na polumjeru  $r$ , (udaljenost težišta tijela od osi rotacije) iznosi

$$F_c = m u^2 / r = m r \omega^2$$



**Dinamička ravnoteža**

Osovina je u dinamičkoj ravnoteži ako na nju ne djeluju nikakve centrifugalne sile ili se utjecaji tih sila međusobno poništavaju (slobodna osovina).

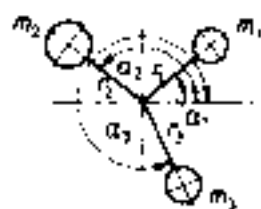
Uvjeti dinamičke ravnoteže su:

$$\sum m r \sin \alpha = 0$$

$$\sum m r \cos \alpha = 0$$

$$\sum m r \sin \alpha = 0$$

$$\sum m r \cos \alpha = 0$$



**Sudar** je dodir dvaju tijela koji se zbiva u vrlo kratkom vremenu razmjerno velikim silama.

**Centralni sudar**

Mase  $m_1$  i  $m_2$  koje se gibaju po istom pravcu sudaraju se brzinama (prije sudara)  $v_1$  odnosno  $v_2$ .

Brzine masa  $m_1$  i  $m_2$  nakon sudara



$$u_1 = v_1 - (1 + \epsilon)(v_1 - v_2) \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = v_2 + (1 + \epsilon)(v_1 - v_2) \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

**Koeficijent sudara**

$$\epsilon = (u_2 - u_1) / (v_1 - v_2)$$

Zbog gubitaka je (zvuk, deformacija, toplina)  $0 \leq \epsilon \leq 1$ .

materijal obaju tijela	staklo	čelik	slonovača	pluto	drvo
$\epsilon$	0,95	0,6... 0,95	0,9	0,55	0,5

( $\epsilon$  u četku raste s tvrdoćom)

$\epsilon = 0$  potpuno plastičan sudar

$$u_1 = u_2 = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$$

$\epsilon = 1$  potpuno elastičan sudar

$$u_1 = v_1 - 2(v_1 - v_2)m_2 / (m_1 + m_2)$$

$$u_2 = v_2 + 2(v_1 - v_2)m_1 / (m_1 + m_2)$$

Gubitak energije pri sudaru

$$W = (1 - \epsilon^2) / 2 (v_1 - v_2)^2 m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$$

**Titranje**

1. **Slobodno neprigušeno titranje**

Giba li se materijalna točka periodično s frekvencijom  $f$  tako, da je sila  $F$  koja na nju djeluje razmjerna razmaku  $y$  od središnjeg položaja, a suprotna po smjeru, bit će gibanje harmonijsko

$$F = -cy \quad c = \text{konstanta opruge}$$

Vlastita frekvencija  $f$  neprigušenoga harmonijskoga titranja

$$f = 1 / 2\pi \cdot \sqrt{c/m}$$

Iz diferencijalne jednadžbe neprigušenoga harmonijskoga titranja

$$m(d^2y/dt^2) + cy = 0$$

proizlazi rješenje:

put	$y = y_m \sin(\omega t + \varphi)$	$y_m$	amplituda
- brzina	$v = v_m \cos(\omega t + \varphi)$	$v_m = \omega y_m$	
- ubrzanje	$a = -a_m \sin(\omega t + \varphi)$	$a_m = \omega^2 y_m$	

gdje znače:

$t$  - vrijeme       $\varphi$  - faznu konstantu  
 $\omega_0 = 2\pi f$  - "kružna frekvencija" vlastitog titranja

$\omega_0 = \sqrt{c/m}$  - pri običnom titranju

$\omega_0 = \sqrt{c/l}$  - pri kružnom titranju

Period (vrijeme nphaja)       $T = 1/f = 2\pi/\omega_0$

2. **Prigušeno slobodno titranje**

Djeluje li na materijalnu točku što titra otpor  $R$  koji je razmjeran brzini, ali suprotan po smjeru, bit će titranje prigušeno

$$R = -k(dy/dt) \quad k = \text{konstanta prigušivačja}$$

Za prigušeno titranje vrijedi diferencijalna jednadžba

$$m(d^2y/dt^2) + k(dy/dt) + cy = 0$$

Uvođenjem izraza

$$\lambda = k/2m = \nu\omega_0 \quad \nu = k/2\sqrt{cm}$$

dobivamo rješenje diferencijalne jednadžbe

$$y = y_0 e^{-\lambda t} \sin(\omega t + \varphi)$$

gdje je kružna frekvencija prigušenoga titranja

$$\omega = \sqrt{c/m} \quad \lambda = \nu \omega_0 = \nu \sqrt{c/m}$$

$\nu = 0$  - neprigušeno nphanje       $\nu < 1$  - periodičko prigušeno titranje

Pri aperiodičnom gibanju ( $\nu > 1$ ) nema titranja pa se put  $y$  postupno približava nuli.

### 3. Prisilno titranje

Na materijalnu točku koja titra djeluje — osim otpora  $R$  — još i vanjska sila  $F$ , npr.

$$F = F_0 \sin \omega t$$

Za takvo titranje vrijedi jednačina

$$m(d^2y/dt^2) + k(dy/dt) + cy = F_0 \sin \omega t$$

Približava li se kružna frekvencija  $\omega$  prisilnog titranja kružnoj frekvenciji  $\omega_0$  vlastitog titranja, amplituda titranja se povećava i dostiže maksimum (rezonancija) pri kružnoj frekvenciji

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - 2\gamma^2}$$

odnosno, uz neznatno prigušivanje pri kritičnoj kružnoj frekvenciji  $\omega_k$

$$\omega_k = \omega_0 \cdot \sqrt{c/m}$$

Pri prisilnom titranju bez prigušivanja postala bi amplituda kritične kružne frekvencije beskonačno velikom.

### 4. Kritična brzina vrtnje osovine

Karakteristika je elastičnog progiba osovine omjer  $e$  između sile  $F$  i deformacije  $y$

$$e = F/y$$

Pri ekscentričnosti  $e$  težišta osovine mase  $m$  djeluje na nju pri rotaciji sila  $F_c$ , koja dodatno opterećuje osovinu za vrijednost  $y$ . Centrifugalna sila, koja zadržava u težištu, udaljenom za  $e + y$  od središnjice osovine u mirovanju, iznosi pri rotaciji kutnom brzinom  $\omega$

$$F_c = m\omega^2(e + y) = cy$$

Progib osovine pri rotaciji iznosi

$$y = (m\omega^2 e) / (c - m\omega^2)$$

Za kutnu brzinu kod koje bi bilo  $c = m\omega^2$  (ne uzimajući u obzir prigušivanje) bilo bi  $y = \infty$ . Tome odgovaraju

$$\text{kritična kutna brzina} \quad \omega_k = \sqrt{c/m}$$

$$\text{kritična brzina vrtnje} \quad n_k = \omega_k / 2\pi$$

Za određivanje omjera  $e$  elastičnog progiba može se uzeti progib  $y_0$  osovine u mirovanju što ga izaziva težina osovine  $G = mg$ :

$$e = Gy_0 = mg/y_0 \quad \omega_k = \sqrt{g/y_0}$$

Naraste li kutna brzina  $\omega$  iznad kritične  $\omega_k$

$$\omega > \omega_k$$

smanjit će se progib  $y$  osovine pri rotaciji (osovina će se sama centrirati)

## HIDROMEKANIKA

Zakone hidromekanike primjenjujemo za fluide (tekućine u širem smislu), tj. na sve kapljevine (tekućine u užem smislu) i na plinove do granice do koje ih još možemo smatrati praktički nestlačivima (inkompresibilnima), tj. do brzine strujanja oko 1000 m/s. Isključene su tzv. nepravne tekućine, kao npr. katran, asfalt, med i sl.

Kod nestlačivog fluida mase  $m$  jesu volumen  $V$  i gustoća  $\rho$  konstantni

$$V = \text{konst.} \quad \rho = m/V = \text{konst.}$$

U *idealnom fluidu* nema sila trenja. Takav fluid ne postoji, ali njime često pojednostavljujemo računске probleme. U *realnom fluidu* postoji trenje između čestica — fluid je viskozna.

**Viskoznost** je otpor fluida protiv tangencijalnih sila ili kutnih deformacija čestica.

*Dinamička viskoznost*  $\eta$  definirana je Newtonovim zakonom.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

$\tau$  je naprezanje na smik,  $dv$  je razlika u brzini slojeva na razmaku  $dy$ ,  $\eta$  je apsolutna (dinamička) viskoznost.

*Kinematička viskoznost*  $\nu$  je omjer dinamičke viskoznosti  $\eta$  i gustoće  $\rho$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Mjere za viskoznost — vidi str. 65 i 72. Brojčane vrijednosti za kinematičku viskoznost — vidi u tablicama na str. 212 do 214.

## HIDROSTATIKA

**Hidrostatički tlak**  $p$  je tlak u tekućini, što ga uzrokuje težina. Ovisi samo o visini  $h$  razne (nivoa) tekućine iznad mjesta mjerenja i gustoći tekućine  $\rho$

$$p = \rho gh$$

gdje je  $g$  zemaljsko ubrzanje ( $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )

Sila tlaka  $F$  na horizontalno dno posude ovisi samo o hidrosatičkom tlaku  $p$  i o površini dna  $A$

$$F = pA = \rho ghA$$

Ta sila tlaka, međutim, ne ovisi o obliku posude («hidrostatički paradoks»).



U zgon  $F_z$  je sila kojom tekućina djeluje okomito prema pore na tijelo imonjeno u tekućinu. Po veličini je jednak težini istisnute tekućine, a hvatište mu je u njezinu težištu (Arhimedov zakon)

$$F_z = m g = \rho g V$$

$m$  je masa,  $V$  volumen istisnute tekućine (istisnine), a  $\rho$  njena gustoća.

### Sila tlaka na stijenke

Sila tlaka  $F$  tekućine gustoće  $\rho$  na ravnu stijenku posude kojoj je omočena ploha površine  $A$  iznosi

$$F = h_T \rho g A$$

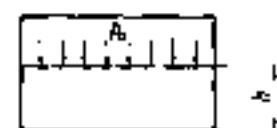


$h_T$  je vertikalna udaljenost težišta (T) omočene plohe od razine tekućine. Hvatište sile  $F$  je, međutim, ispod težišta plohe, na dubini

$$h_T = \frac{I}{h_T A}$$

gdje je  $I$  geometrijski moment tromosti omočene plohe s obzirom na njezin rub u visini razine tekućine (0)

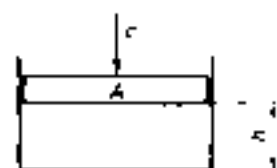
### Pascalov zakon



Natpruni tlak širi se po tekućim nesmanjeno i jednako u svim smjerovima.

Tlak  $p$  na dno posude u kojoj je iznad površine tekućine (visine  $h$  i gustoće  $\rho$ ) tlak  $p_0$

$$p = p_0 + h \rho g$$



Tlak  $p$  na dno posude, uzrokovan u tekućini silom  $F$  na stop površine  $A$  iznosi

$$p = \frac{F}{A} + h \rho g$$

Atmosferski tlak  $p_a$  na površini tekućine prouzrokuje u tekućini stvarni tlak koji je veći od hidrostatskog i iznosi

$$p = p_a + h \rho g$$

Pri proračunavanju posuda s obzirom na tlak tekućine, atmosferski tlak u tekućini ne uzimamo u obzir jer on djeluje i s druge strane stijenke posude, pa se djelovanja, u odnosu na stijenke, međusobno poništavaju.

### Atmosfersko stanje

Zračni tlak  $p_a$ , temperatura  $t$  i gustoća  $\rho$   
Višegodišnji prosjek (po: Mende/Simoni)

Godišnje doba	Tlak $p_a$ mbar		Temperatura $t$ °C		Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	
	0	2000	0	2000	0	2000
siječanj	1 019	791	4	-3	1,28	1,026
srpanj	1 015	799	16	7	1,21	0,996
godišnji prosjek	1 016	795	8	0	1,25	1,008

Zbog vremenskih upliva mijenjaju se: zračni tlak za  $\pm 5\%$ , gustoća zraka za  $\pm 20\%$ , a relativna vlaga (vidi str. 193) među 60 i 100%.

Pri potpunij zasićenosti zraka ( $\varphi = 100\%$ ) zavisi apsolutna vlaga  $x$  o temperaturi  $t$ :

$t$	°C	-20	10	0	10	20	30
$x$	g/m <sup>3</sup>	0,883	2,14	4,86	9,46	17,5	31,1

Standardne (normane) vrijednosti zračnoga tlaka  $p_a$ , temperature  $t$  i gustoće  $\rho$  pri različitim nadmorskim visinama  $h$  (po ICAO – *International Civil Aviation Organization*)

$h$ m	$p_a$ mbar	$t$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$h$ m	$p_a$ mbar	$t$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
0	1 013	15	1,225	2 500	737	1,25	0,945
100	1 001	14,35	1,214	3 000	701	- 4,5	0,910
200	989	13,7	1,202	4 000	616	11	0,819
300	978	13,05	1,191	5 000	540	17,5	0,736
400	966	12,4	1,179	6 000	472	-21	0,660
500	954	11,75	1,167	8 000	356	37	0,526
600	943	11,1	1,157	10 000	265	- 50	0,413
800	921	9,8	1,135	12 000	195	56,5	0,314
1 000	898	8,5	1,111	15 000	121	-56,5	0,195
1 200	877	7,2	1,091	20 000	55	56,5	0,0889
1 500	845	5,25	1,060	25 000	25	56,5	0,0406
2 000	795	2,0	1,007	30 000	12	-42,8	0,0179

Kinematička viskoznost  $\nu$  pri različitim nadmorskim visinama  $h$ .

$h$ km	0	5	10	15	20	25	30
$\nu$	14,61	22,10	35,23	73,03	160,0	350,0	835,7

Promatramo stacionarno strujanje, tj. ono, pri kojem brzina u određenoj točki ne mijenja s vremenom ni veličinu ni smjer.

*Laminarno strujanje* je ono, pri kojem se čestice gibaju u beskonačno tankim slojevima, što se klizu jedan po drugome bez miješanja. *Turbulento strujanje* je ono, pri kojem se čestice gibaju nepravilno u svim smjerovima. U obzir uzimamo samo njihovo prosječno gibanje u smjeru strujanja.

Jednadžba kontinuiteta glasi da je protok mase  $q_m = \text{konst.}$  što možemo izraziti presjekom  $A$ , brzinom  $v$  i gustoćom  $\rho$

$$q_m = A \rho v = \text{konst.}$$

Za nestlačive fluide, za koje vrijedi  $\rho = \text{konst.}$ , i volumenski je protok  $q_v = \text{konst.}$

$$q_v = A v = \text{konst.}$$

**Bernoullijeva jednadžba** za stacionarno strujanje nestlačivog fluida (bez trenja) glasi, da je suma svih energija (položajne i tlačne + brzinske) u svakom presjeku (na svakoj strujnici) konstantna. Bernoullijevu jednadžbu možemo izraziti za dva promatrana presjeka (1 i 2)

- specifičnom energijom s obzirom na jedinicu mase

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = e = \text{konst.}$$

- tlakom (energijom za jedinicu volumena)

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = z_2 \rho g + p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} = p = \text{konst.}$$

- tlačnom visinom (energijom za jedinicu težine)

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{konst.}$$

Bernoullijeva jednadžba za stacionarno strujanje realnog fluida uzima u obzir gubitke (od presjeka 1 do 2), koje izražavamo gubitkom tlaka  $\Delta p_f$

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = z_2 \rho g + p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \Delta p_f$$

ili gubitkom tlačne visine  $\Delta h_f$

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_f$$

U tim su jednadžbama:  $z_i$  - geodetska visina nad po volji odabranom horizontom,  $p_i = h_i \rho g$  statički tlak u fluidu (gdje je  $h_i$  tlačna visina),  $\rho$  - gustoća i  $v_i$  - brzina strujanja.

Gubitak tlaka  $\Delta p_f$  ili tlačne visine  $\Delta h_f$  računamo s pomoću Darcyjeve formule (str. 141).

Bernoullijeva jednadžba za sustav koji jednoliko rotira (s gubicima)

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \omega_1^2 r_1^2 / 2 = z_2 \rho g + p_2 + \rho \omega_2^2 r_2^2 / 2 + \Delta p_f$$

Osim oznaka navedenih na kraju str. 136, u ovoj jednadžbi znače:  $\omega_i$  - relativnu brzinu fluida (s obzirom na rotirajući kanal),  $v_i$  - obodnu brzinu rotacije sustava.

Impulsoni stavak

Struja fluida protoka mase  $q_m$  promijenit će pod utjecajem vanjskih sila (kojih je suma  $F$ ) brzinu za  $\Delta v$

$$F = q_m \cdot \Delta v = q_m (v_2 - v_1) = R$$

$q_m v$  - sekundni impuls.

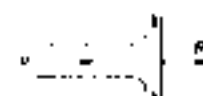
Budući da su sile i brzine vektorske naravi, treba istaknuti da je smjer sile  $F$  (odn.  $-R$ ) identičan sa smjerom promjene brzine  $\Delta v$ .

Sila  $F$  kojom okoliš djeluje na fluid, jest aktivna sila, dok je sila  $R$  kojom fluid djeluje na okoliš - reaktivna sila (Npr. u turbinama fluid djeluje na lopatice silom  $R$ , dok u pumpama lopatice djeluju na fluid silom  $F$ .)

**Pritisak mlaza na ploču**

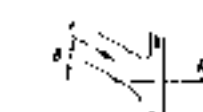
Protok mase mlaza je  $q_m$ , brzina mlaza je  $v$ .

Ravna ploča smještena okomito na smjer mlaza izvrgnuta je pritisku mlaza  $R = q_m v$



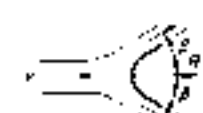
Ravna ploča o koju udara mlaz pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v \cos \beta$$



Konveksna ploča o koju udara mlaz u sredini i otklanja se od prvobitnog smjera pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v (1 - \cos \beta)$$



Konkavna ploča o koju udara mlaz u sredini i skreće unatrag pod kutom  $\beta$  izvrgnuta je pritisku

$$R = q_m v (1 + \cos \beta)$$



Za kut  $\beta = 0^\circ$  pritisak mlaza iznosi  $R = 2q_m v$

Konkavna ploča o koju udara mlaz pod kutom  $\beta_1$  i skreće unatrag pod kutom  $\beta_2$  izvrgnuta je pritisku mlaza

$$R = q_m v (\cos \beta_1 + \cos \beta_2)$$



Za kutove  $\beta_1 = \beta_2 = 0^\circ$  pritisak mlaza iznosi  $R = 2q_m v$

Reakcija mlaza koji izlazi s protokom mase  $q_m$  i brzinom  $v$  kroz izlazni otvor presjeka  $A$  iz posude gdje vlada tlak  $p$  iznosi

$$R = q_m v = 2Ap$$

### Brzina istjecanja

Teoretska brzina istjecanja kroz mali otvor iz otvorene posude u kojoj je stalna razina tekućine visine  $h$  iznad izlaza (Torricellijeva formula)

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže

Teoretska brzina istjecanja iz posude u kojoj je iznad tekućine gustoće  $\rho$  pretlak  $\Delta p$

$$v_0 = \sqrt{2(g\bar{h} + \Delta p/\rho)}$$

Ako visinu  $h$  ne treba uzeti u obzir (kod plinova i para), teoretska brzina istjecanja pri pretlaku  $\Delta p$

$$v_0 = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

Zbog trenja u mlazu i u sapnici bit će stvarna brzina manja

$$v = \varphi v_0$$

U dobro zaobljene sapnice koeficijent je brzine  $\varphi = 0,95 \dots 0,99$ .

### Količina istjecanja

a) Količina istjecanja kroz otvor presjeka  $A$  izražena protokom mase  $q_m$  iznosi

$$q_m = A v \rho$$

gdje je  $v$  izlazna brzina i  $\rho$  gustoća fluida.

Zbog kontrakcije mlaza  $\mu$  i uzimajući u obzir koeficijent brzine  $\varphi$  dobivamo

$$q_m = \alpha A v_0 \rho$$

$\alpha$  je koeficijent istjecanja koji združuje koeficijente kontrakcije i brzine:  $\alpha = \mu \varphi$ .

Pri istjecanju tekućine iz otvorene posude je

$$q_m = \alpha A \rho \sqrt{2gh}$$

Za istjecanje iz zatvorene posude u kojoj je iznad površine tekućine pretlak  $\Delta p$  vrijedi

$$q_m = \alpha A \rho \sqrt{2(g\bar{h} + \Delta p/\rho)}$$

Za  $h = 0$  (što vrijedi za plinove i pare) dobiva se

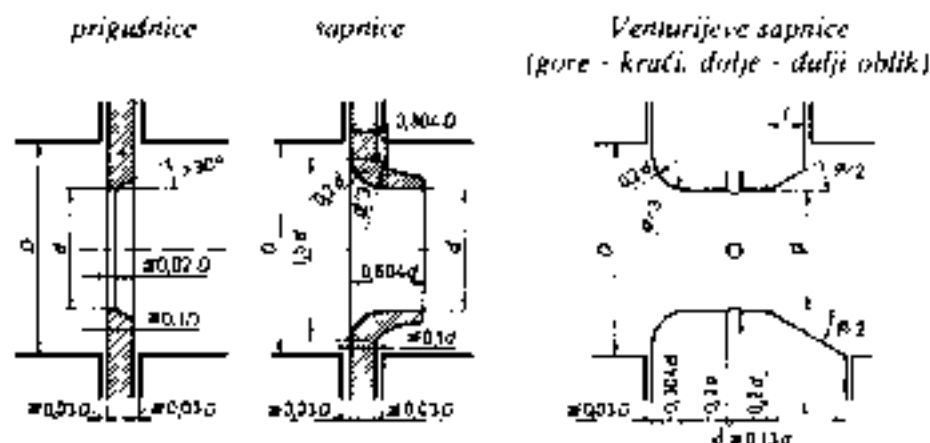
$$q_m = \alpha A \sqrt{2\rho \Delta p}$$

b) Količina istjecanja kroz otvor presjeka  $A$  izražena volumenskim protokom fluida  $q_V$  iznosi

$$q_V = q_m/\rho = \alpha A v_0$$

### Protok

1. Za određivanje protoka kroz cijevod služe:



Protječe li najužim otvorom presjeka  $A$  fluid gustoće  $\rho$ , nastat će pad tlaka  $\Delta p$ . Protok izražavamo

protokom mase  $q_m$

$$q_m = \alpha A v \sqrt{2\rho \Delta p}$$

volumenskim protokom  $q_V$

$$q_V = \alpha A v \sqrt{2 \Delta p/\rho}$$

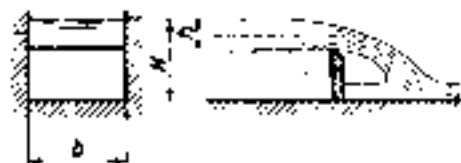
Koeficijent protjecanja  $\alpha$  određen je za svaku vrstu mjernog uređaja u ovisnosti o omjeru  $m = (d/D)^2$ , gdje je  $D$  promjer cijevi, a  $d$  promjer otvora mjerenja kojemu je presjek  $A (= d^2 \pi/4)$ .

Gubitak tlaka u prigušnici odnosno sapnici  $\Delta p$ , ovisan je o omjeru  $m$ :

$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$	Koeficijent $\alpha$ za		
	prigušnice	sapnice	venturijeve sapnice
0,05	0,598	—	—
0,10	0,102	0,989	0,989
0,15	0,608	0,994	0,994
0,20	0,615	0,999	1,001
0,25	0,624	1,005	1,010
0,30	0,634	1,015	1,020
0,35	0,645	1,029	1,032
0,40	0,660	1,044	1,048
0,45	0,676	1,060	1,067
0,50	0,695	1,081	1,091
0,55	0,716	1,108	1,120
0,60	0,740	1,142	1,155
0,65	0,768	1,183	—
$\Delta p$	$(1 - \alpha) \cdot \Delta p$	$(1 - \alpha)(1 + m) \cdot \Delta p$	$\approx 0,1 \cdot \Delta p$

2. Protok u otvorenim kanalima mjerimo s pomoću preljeva. Za pravokutni preljev visine  $h$  i širine  $b$  vrijedi

$$q_v = \frac{2}{3} \mu k b \sqrt{2gh}$$



Koeficijent  $\mu$  ovisan je o visinama  $H$  i  $h$  te iznosi

	$h$ (m)					
	0,025	0,050	0,100	0,200	0,400	0,800
$H = 0,6$ m	0,639	0,629	0,630	0,652	—	—
$H = 1,0$ m	0,638	0,628	0,624	0,630	0,666	—
$H = 1,6$ m	0,638	0,627	0,622	0,623	0,636	0,693
$H = 2,4$ m	0,638	0,627	0,622	0,620	0,626	0,650

### Zakoni sličnosti strujanja

Promjene pri strujanju ne možemo obuhvatiti samo teoretskim sredstvima, već ih treba i mjeriti. Strujanja, međutim, ne možemo mjeriti na predmetima u naravnoj veličini, već to možemo načiniti i na geometrijski sličnim modelima (manjima ili većima). U tu svrhu se mora osim geometrijske postići još kinematička i dinamika sličnost strujanja.

Reynoldsova značajka  $Re$  je najviše upotrebljavan kriterij za sličnost strujanja nestlačivih tekućina u potpuno ispunjenim cijevima gdje težina ne utječe na profil brzine.

Reynoldsova značajka (bezdimenzijska) jest omjer sila tromosti i sila trenja i iznosi

$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

gdje su:  $v$  — brzina strujanja,  $l$  — karakteristična linearna dimenzija,  $\nu$  — kinematička viskoznost.

Kinematička viskoznost  $\nu$  iznosi (pri 20 °C) za vodu 1,01 mm<sup>2</sup>/s, za zrak pa 15,7 mm<sup>2</sup>/s. Kinematička viskoznost za vodu, zrak i druge fluide pri različitim temperaturama sabrana je na str. 212 do 214.

Kod okruglih je cijevi promjera  $d$ :  $Re = vd/\nu$

Općenito vrijedi  $Re = vd'/\nu$

$d'$  je tzv. hidraulički promjer

$$d' = 4A/O$$

gdje su:  $A$  — presjek voda,  $O$  — fluidom omeđeni opseg.

Reynoldsovom značajkom razgraničujemo laminarno i turbulentno strujanje. Za strujanje u cijevima vrijedi

$Re < 2320$  — laminarno strujanje

$Re > 2320$  — turbulentno strujanje

### Otpori strujanja u cijevima i armaturama

Gubitak tlaka zbog otpora pri strujanju fluida gustoće  $\rho$  brzinom  $v$  daje Darcyjeva formula

$$\Delta p = \zeta \rho v^2 / 2$$

$\zeta$  je koeficijent gubitaka, koji za ravne cijevi kružnog presjeka iznosi

$$\zeta = \lambda / d$$

$\lambda$  je koeficijent trenja,  $l$  je duljina cijevi,  $d$  je promjer cijevi.

#### 1. Koeficijent trenja $\lambda$

Koeficijent trenja  $\lambda$  ovisi o Reynoldsovoj značajki  $Re$  i relativnoj hrapavosti cijevi  $k/d$ , gdje je  $k$  apsolutna hrapavost (prosječna visina izbočina) srijenke.

U laminarnom području (do  $Re = 2320$ )  $\lambda$  ovisi o obliku cijevi i o  $Re$ , te iznosi

$$\lambda = \phi 64 / Re$$

$\phi$  je faktor oblika cijevi. Za okrugle je cijevi  $\phi = 1$  pa je

$$\lambda = 64 / Re = 64 \nu / vd$$

Pri turbulentnom strujanju ( $Re > 2320$ ) razlikujemo:

a) *Hidraulički glatke cijevi*. Cijevi smatramo hidraulički glatkima do

$$Re \approx d/k \cdot \lg(0,1 d/k) \approx 2 d/k$$

Za proračun  $\lambda_g$  služi Prandtl-Karmanova formula

$$1/\sqrt{\lambda_g} = 2,3 \lg(0,398 Re \sqrt{\lambda_g})$$

Vrijednosti  $\lambda_g$  za različite  $Re$ :

$Re$	2320	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
$\lambda_g$	0,04725	0,03039	0,018	0,01165	0,00811	0,005945

Za praktičko računanje služimo se eksplicitnom, aproksimativnom Colebrookovom formulom  $\lambda_2 = 0,31 / (\lg 0,143 Re)^2$

U cijelom praktički uporabivom području  $Re = 5 \cdot 10^3 \dots 10^8$  iznosi odstupanje  $\approx \pm 1\%$

b) *Prelazno područje*, u kojem vrijedi Colebrookova formula

$$1/\sqrt{\lambda} = -2,3 \lg(0,269 k/d + 2,51/Re \sqrt{\lambda})$$

praktički završava kod  $Re \approx 400 d/k \cdot \lg(3,715 d/k) \approx 10^5 d/k$ .

Za praktičko proračunavanje služi eksplicitna, aproksimativna Pežomikova formula

$$\lambda = 0,25 \cdot [\lg(15/Re + 0,269k/d)]^2$$

koja vrijedi s maksimalnom pogreškom od  $\approx 6\%$  za  $Re = 4 \cdot 10^3 \dots 10^8$  i relativne hrapavosti  $k/d = 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-6}$ .

c) Područje potpune hrapavosti (koje obuhvaća vrijednosti  $Re > 400d/k \cdot \lg(13,715d/k)$ ), u kojemu određujemo  $\lambda_h$  po Nikuradsevoj formuli

$$\lambda_h = 0,25 \cdot [\lg(13,715d/k)]^2$$

Vrijednosti  $\lambda_h$  za različite  $d/k$ :

$d/k$	10	40	60	100	200	500	1000
$\lambda_h$	0,1014	0,0529	0,0453	0,0378	0,0303	0,0234	0,0196

\*

Sa stanovitim ograničenjima ( $k/d = 0,01$  in  $\lambda = 0,05$ ) i s nešto manjom točnošću ( $\approx 5\%$ ) vrijedi u području  $Re = 4 \cdot 10^3 \dots 10^7$  (tako u svim područjima) Moodyjeva formula

$$\lambda = 5,5 \cdot 10^{-3} \left(1 + \frac{1}{2} \cdot 10^4 k/d + 10^5 / Re\right)$$

U glatkom području je  $k/d = 0$ , dok je u potpuno hrapavom području  $Re \approx \pi$  pa formula prelazi u oblik

$$\lambda_h = 5,5 \cdot 10^{-3} + 0,15 \sqrt{k/d}$$

Apsolutne prosječne visine hrapavosti  $k$  (po Richteru)

Materijal i stanje cijevi	$k$ mm
Vučene cijevi od bakra, mieda, bronce, aluminija, stakla, umjetnih tvaca itd.	... 0,002
Vučene čelične cijevi — nove	0,02 ... 0,10
— malo zardale	... 0,40
— jako inkrustirane	... 3
Zavarene čelične cijevi — nove	0,04 ... 0,10
— nove, prevučene bitumenom	$\approx 0,05$
— rubljene, jeftiniko zardale	$\approx 0,15$
— nakon višegodišnje uporabe	$\approx 0,5$
— malo inkrustirane	$\approx 1,5$
— jako inkrustirane	2 ... 4
Zakrivane čelične cijevi (prema načinu izvedbe)	0,5 ... 10
Pocinčane čelične cijevi — nove	0,07 ... 0,15
Cijevi od lijevanog željeza — nove	0,25 ... 1
— nove, prevučene bitumenom	0,1 ... 0,15
— rubljene, malo zardale	1 ... 1,5
— inkrustirane	1,5 ... 4
Drvene cijevi, nove (uporabom postaju glade)	0,2 ... 1
Betonske cijevi — sirove	1 ... 3
— zaglađene	0,3 ... 0,8

## 2. Koefficienti gubitaka $\zeta$

Ulazna ušća

zaobljena $r > 0,5d$ $\zeta = 0,05$	konična (konfuzor) $\zeta = 0,20$	oštra sa stijenkom $\zeta = 0,50$	oštra bez stijenke $\zeta = 1,00$
---	---	---	---



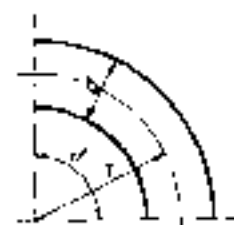
Kružni lukovi polumjera zakrivljenosti  $r$ , s kružnim ili kvadratnim presjekom i kutom skretanja  $\delta = 90^\circ$ :

$r/d$	1,0	1,5	2	3	4	5	6	10
$\zeta$	0,27	0,20	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11

Navedeni  $\zeta$  vrijede za tehnički glatke cijevi (npr. črn), dok za tehnički hrapave cijevi (npr. sivi lijev, zide i sl.) uzimamo dvostruke vrijednosti.

Za kutove  $\delta = 0 \dots 180^\circ$  treba vrijednosti za  $\zeta$  množiti s faktorom  $n$ :

$\delta$	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$n$	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7



### Koljena

$\delta$	15°	30°	45°	60°	90°	105°	120°
$\zeta_g$	0,04	0,13	0,24	0,47	1,13	1,80	2,26
$\zeta_h$	0,06	0,17	0,32	0,68	1,27	2,00	2,54

Vrijednosti  $\zeta_g$  vrijede za glatke, a vrijednosti  $\zeta_h$  za hrapave stijenke cijevi.

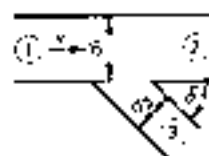


Izlazni otvori (otvori u stijenka)

prvrt u stijenki (oštri rubovi) $\zeta = 1,8$	cilindrični nastavak $\zeta = 0,5$	konični nastavak $\zeta = 0,25$	zaobljenje s nastavkom $\zeta = 0,1$



## Odvojeci



Volumenski protoci:

$$q_{v1} = q_{v2} + q_{v3} \quad \text{u dovodu 1,}$$

$$q_{v2} \quad \text{u dovodu 2,} \quad q_{v3} \quad \text{u odvojkju 3}$$

Gubici - u odvodu 2:  $\Delta p_2 = \zeta_2 \rho v^2 / 2$   
 u odvojkju 3:  $\Delta p_3 = \zeta_3 \rho v^2 / 2$   
 v - brzina u dovodu 1

Odvojeci jednakog kruznog presjeka ( $d_1 = d_2 = d_3$ )

$q_{v2}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,05	-0,108	-0,104	0,07	0,21	0,35
	$\zeta_3$	0,96	0,88	0,89	0,96	1,10	1,29
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,04	-0,06	-0,04	0,07	0,20	0,33
	$\zeta_3$	0,90	0,66	0,47	0,33	0,29	0,35

Odvojeci jednakog kvadratnog presjeka

$q_{v2}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,04	0,00	0,05	0,15	0,28	0,42
	$\zeta_3$	0,91	0,75	0,70	0,74	0,79	0,84
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,10	0,03	0,05	0,14	0,29	0,49
	$\zeta_3$	0,88	0,65	0,47	0,32	0,20	0,18

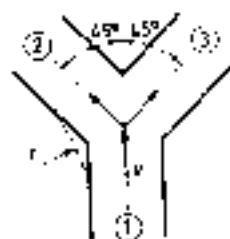
Račeve (Y - komadi) s kruznim ili kvadratnim presjekom površine A

Volumenski protok:

$$u \text{ dovodu 1: } q_v$$

Gubici:

$$\Delta p = \zeta \rho v^2 / 2$$



Protok	$\zeta$ za oštre rubove	
	$A_1 = A_2 = A_3$	$A_2 = A_3 = 0,5 A_1$
od 1 prema 2 i 3	0,55	0,75
od 1 prema 2; dok je 3 zatvoren	0,50	1,35
smanjenje $\zeta$ pri zaobljenju (r) za	$\approx 40\%$	$\approx 40\%$

$\zeta$  se odnosi na brzinu v u dovodu 1.

## Sastavci

Volumenski protoci:

$$q_{v1} = q_{v2} + q_{v3} \quad \text{u odvodu 1,}$$

$$q_{v2} \quad \text{u dovodu 2,} \quad q_{v3} \quad \text{u priključku 3}$$

Gubici - u dovodu 2:  $\Delta p_2 = \zeta_2 \rho v^2 / 2$   
 - u priključku 3:  $\Delta p_3 = \zeta_3 \rho v^2 / 2$   
 v - brzina u odvodu 1



Sastavci jednakog kruznog presjeka ( $d_1 = d_2 = d_3$ )

$q_{v2}/q_{v1}$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\delta = 90^\circ$	$\zeta_2$	0,06	0,18	0,30	0,40	0,50	0,60
	$\zeta_3$	-1,04	0,40	0,10	0,47	0,73	0,92
$\delta = 45^\circ$	$\zeta_2$	0,05	0,17	0,18	0,05	-0,20	-0,57
	$\zeta_3$	-0,90	-0,37	0,00	0,22	0,37	0,38

Okomiti sastavci (T - komadi) kruznog ili kvadratnog presjeka A

Protok	$\zeta$ za oštre rubove	
	$A_2 = A_3 = A_1$	$A_2 = A_3 = 0,5 A_1$
od 2 prema 3; 1 zatv.	0,50	0,50
od 1 prema 2 i 3*	1,00	1,90
od 1 prema 2; 3 zatv.*	1,40	3,70
smanjenje $\zeta$ pri zaobljenju (r) za	$\approx 20\%$	$\approx 60\%$

\*  $\zeta$  vredi za brzinu v u dovodu 1.

Kosi cijevni priključci (45°) kruznog presjeka, površine A pri sastavljanju odnosno razdvajanju tokova (približne vrijednosti):

Protok	$\zeta$	
	$A_1 = A_2 = A_3$	$A_2 = A_3 = 0,5 A_1$
od 1 prema 2; 3 zatv.	0,15	
od 2 prema 1; 3 zatv.	0,05	
od 1 prema 3; 2 zatv.	0,50	
od 3 prema 1; 2 zatv.	0,50	
od 2 prema 3; 1 zatv.	3,0	
od 3 prema 2; 1 zatv.	3,0	



Promjene presjeka od površine  $A_1$  na površinu  $A_2$

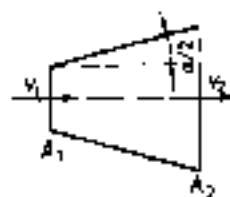
Prijelaz okruglog presjeka u kvadratni (ili obrnuto) jednake površine

$$\zeta = 0,1 \dots 0,2$$

Postupno proširenje (difuzor) za kut proširenja  $\alpha = 8 \dots 14^\circ$

$$\zeta_1 = (0,2 \dots 0,4) [1 - (A_1/A_2)^2]$$

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .

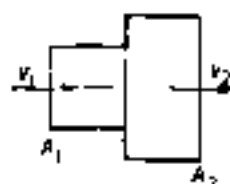


$A_2/A_1$	$\alpha = 10 \dots 15^\circ$	$20 \dots 30^\circ$
1,25 ... 1,75	$\zeta_1 = 0,05$	0,15
2,00 ... 2,50	$\zeta_1 = 0,10$	0,30

Naglo proširenje  $\zeta_1 = (1 - A_1/A_2)^2$

$A_1/A_2$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\zeta_1$	1,00	0,64	0,36	0,16	0,04	0,00

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .



Postupno suženje (konfuzor)

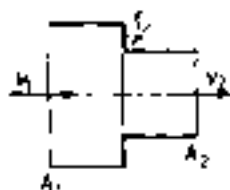
za kutove suženja  $\alpha$  do  $45^\circ$ :  $\zeta = 0$

Naglo suženje za oštre rubove

$A_2/A_1$	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\zeta_1$	9,4	1,8	0,9	0,34	0,25	0,16	0,10

Gubitak se odnosi na brzinu  $v_1$ .

Za pravilna zaobljenja ( $r$ ) je:  $\zeta \approx 0,05$ .



Prigušnice i sapnice (vidi str. 155)

Gubici u prigušnici ili sapnici ovise o omjeru površine njezina otvora  $A_1$  i površine cijevi  $A_2$ , a odnose se na brzinu u cijevi  $v$

Prigušnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
	$\zeta$	249	102	53	31	19	9	4

Sapnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	$\zeta$	81	16	5,4	2,25	1,0	0,44	0,18	0,06

Venturijeve sapnice	$m = A_1/A_2$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
	$\zeta$	17	7	3	2	1	0,5	0,3

Armature  $\zeta$

Normalni ventili	3,9
Poboljšani ventili	2,5 ... 3,4
Ventili s nesmetanim prolazom (eliptični presjek)	0,6
Zaklopke (leptiraste) - otvorene	0,2
Zasuni (pravilno izvedeni) - otvoreni	0,05

## Otpori gibanja u fluidu

Otpor gibanja tijela u fluidu (aerodinamički otpor) iznosi

$$F_r = C_r A v_k^2$$

gdje znače:  $C_r$  - koeficijent otpora (bezdimenzijski broj),  $A$  - površinu projekcije tijela na ravninu okomitu na smjer gibanja,  $v_k$  - kinetički tlak.

Kinetički tlak pri gibanju tijela relativnom brzinom  $v$  u fluidu gustoće  $\rho$  iznosi

$$p_k = \rho v^2 / 2$$

Koeficijenti otpora  $C_r$

	Predmet*		$C_r$
kružna ploča		-	1,11
2 kružne ploče		$ld = 1$	0,93
		1,5	0,78
		2	1,04
		3	1,52
kugla		$Re > (1,5 \dots 4) 10^5$	0,09 ... 0,18
		$Re < (1,5 \dots 4) 10^5$	0,47
polukugla-konveksna		bez dna	0,34
		s dnom	0,4
polukugla-konkavna		bez dna	1,33
		s dnom	1,17
valjak		$Re < 9 \cdot 10^3$ ; $ld = 1$	0,63
		2	0,68
		5	0,74
		10	0,82
		40	0,98
		$\infty$	1,20
aerodinamički profil		$Re > 5 \cdot 10^5$ ; $ld = \infty$	0,35
		$Re > 10^7$ ; $ld = 2$	0,2
		3	0,1
		5	0,06
		10	0,083
		20	0,094

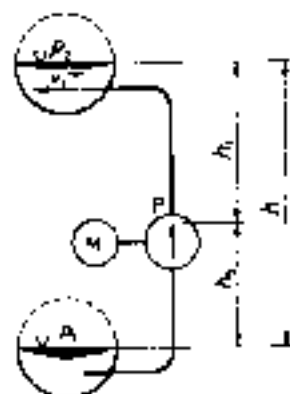
\* Strelica na skici pokazuje smjer djelovanja otpora - suprotno smjeru relativne brzine tijela u fluidu.

# HIDRAULIČKI STROJEVI

## SISALJKE (PUMPE, CRPKE)

Sisaljke služe za prenos kapljevine s nižega na viši položaj ili s nižega na viši tlak ili za oboje. Kadšto služe i tome da – posebnim uređajem (mlaznicom) – postignemo znatniju izlaznu brzinu iz cijevi (npr. štrcaljke).

### Dobavna visina (napor)



Sisaljke povećavaju specifičnu energiju  $e$  (J/kg) kapljevine gustoće  $\rho$ , od ulaza u sisaljku do izlaza iz nje. To povećanje energije redovno izražavamo visinom stupca erpljene kapljevine, a nazivamo je dobavnom visinom  $H$

$$H = \frac{e}{g}$$

( $g$  – zemljino ubrzanje)

Potrebnu dobavnu visinu  $H$  određujemo karakteristikom priključenoga cijevnoga sistema  $H_c$

$$H = H_c - \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + h + h_r + \frac{v_1^2}{2g}$$

gdje su  $p_1$  i  $p_2$  tlakovi u usisnoj i tlačnoj posudi;  $h = h_s + h_t$  – ukupna geodetska (usisna i tlačna) visina,  $h_r$  – gubici u cijevnom sistemu;  $v_1$  – izlazna brzina. (Ulazna je brzina zanemarena, dok je izlazna brzina katkad znatna, npr. pri štrcaljkama.)

Karakteristika cijevnoga sistema mijenja se s protokom.

Povećanje specifične energije u sisaljci iznosi

$$e = gH = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + g(h + h_r) + \frac{v_1^2}{2}$$

Ako su tlakovi  $p_1$  i  $p_2$  jednaki zračnome  $p_a$  ( $p_1 = p_2 = p_a$ ) – kao npr. pri štrcaljkama – vrijedi

$$e = g(h + h_r) + \frac{v_1^2}{2}$$

Kad je izlazna brzina mlazna, zanemarujemo zadnji član.

Dopuštena usisna visina (geodetska)  $h_{s, dop}$  za kapljevine gustoće  $\rho$  ovisi o tlaku  $p_1$  (apsolutnom) u donjoj (usisnoj) posudi, tlaku  $p_T$  zasićene pare pri temperaturi tekućine  $T$ , gubicima u usisnoj cijevi  $h_r$ , i o posebnim gubicima  $h_p$  sisaljke (ovisnim o vrsti sisaljke)

$$h_{s, dop} \leq \frac{p_1 - p_T}{\rho g} - h_r - h_p$$

Ako je donja posuda otvorena ( $p_1 = p_a$ ), dopuštena geodetska usisna visina ovisi o zračnom tlaku  $p_a$ , koji se mijenja s nadmorskom visinom.

Za vode su tlačne visine zraka  $h_a (= p_a / \rho g)$  – u ovisnosti o nadmorskoj visini:

nadmorska visina	0	100	300	500	1000	2500 m
$h_a$	10,3	10,2	9,9	9,7	9,2	7,7 m

Tlak zasićene pare  $p_T$  ovisi o vrsti kapljevine i njevoj temperaturi  $T$ .

Kod vode je tlačna visina zasićene pare  $h_T (= p_T / \rho g)$  – u ovisnosti o temperaturi  $T$ .

$T$	5	10	20	50	80	100 °C
$h_T$	0,09	0,12	0,24	1,26	4,83	10,33 m

Gubitak tlaka u usisnoj cijevi računamo prema Darcyju (str. 141).

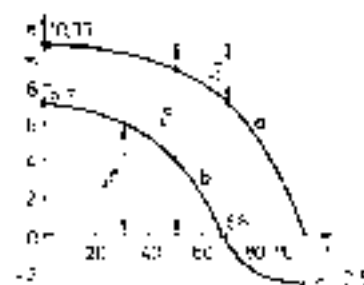
Posebni gubici u sisaljci su ovisni:

pri stepnim sisaljkanama od otvaranja usisnog ventila i utjecaja usisnog vjetrocnika,

– pri turbopumpama od pojave kavitacije.

U dijagramu (desno) prikazana je usisna visina vode na površini mora u ovisnosti od temperature vode

Zbog navedenih utjecaja ne može geodetska usisna visina  $h_s$  u vode s temperaturom od 15 °C biti veća od 7 m, dok pri temperaturi od 70 °C voda mora sisaljku pritjecati. Iako hlapive kapljevine moraju uvijek pritjecati sisaljki, (Kod benzina, npr. time sprječavamo nastajanje lako upaljivih para!)



a – teoretska krivulja  
b – stvarna krivulja

**Snaga**, potrebnu za pogon sisaljke proračunavamo na temelju prirasta specifične energije  $e$  odn. dobavne visine  $H$ . Za kapljevину gustoće  $\rho$  pri masenom protoku  $q_m$  odnosno volumenskom protoku  $q_v$  iznosi:

teoretsku snagu  $P_t = q_m e = q_m g H = q_v \rho g H$

unutarnja snaga  $P_i = \frac{P_t}{\eta_i}$

efektivna snaga  $P = \frac{P_i}{\eta_m} = \frac{P_t}{\eta_i \eta_m}$

$$P = \frac{P_t}{\eta} = \frac{q_m e}{\eta} = \frac{q_m g H}{\eta} = \frac{q_v \rho g H}{\eta}$$

gdje su:  $\eta_i$  - unutarnja korisnost,  $\eta_m$  - mehanička korisnost,  $\eta$  - efektivna korisnost, koja iznosi

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_m$$

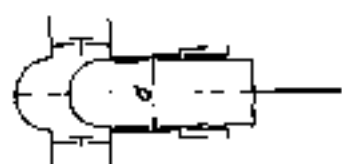
Korisnosti za različite vrste sisaljki i ventilatora iznose:

	$\eta_i$	$\eta_m$	$\eta$
stapne sisaljke	0,90 ... 0,95	0,88 ... 0,95	0,80 ... 0,90
turbopumpe	0,55 ... 0,90	0,95	0,60 ... 0,85
ventilatori	.	-	0,50 ... 0,90

Te korisnosti vrijede za najpovoljnije pogonske uvjete. Pri promjenljivim uvjetima djelovanja (promjenljiv protok, promjenjiva dobavna visina ili brzina vrtnje) korisnosti se mijenjaju, i to osobito znatno kod turbopumpi (vidi str. 152).

### Stapne sisaljke

Stapne su sisaljke izgubile svoj nekadašnji značaj (male brzine), ali se upotrebljavaju i nadalje za male dobave ili veoma visoke tlakove



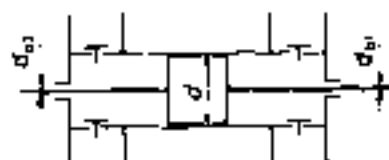
Volumenski protok iznosi teoretski.

- kod jednoradnih stapnih sisaljki promjera cilindra  $d$ , stapaja  $s$  i brzine vrtnje  $n$

$$q_{vt} = \frac{\pi d^2}{4} s n$$

- kod dvoradnih sisaljki s promjenjivim stapajama  $d_{b1}$  i  $d_{b2}$

$$q_{vt} = \frac{\pi}{4} (2d^2 - d_{b1}^2 - d_{b2}^2) s n$$



Dobava sisaljke, tj. stvarni volumenski protok  $q_v$ , iznosi zbog volumetrijskih gubitaka (kod stapa, ventila itd.) samo

$$q_v = \lambda q_{vt}$$

gdje je stupanj dohava  $\lambda = 0,93 \dots 0,98$ .

Dobava  $q_v$  je kod stapnih sisaljki nejednolika. Ona se mijenja već prema položaju (kutu  $\alpha$ ) osnaca stapnog mehanizma.

Dobava  $q_v$  odgovara, prema sl. a, jednoradnoj stapnoj sisaljci; prema sl. b dvoradnoj, odnosno jednoradnoj, ali sa 2 cilindra (s osnacima pod kutom od  $180^\circ$ ).

Nejednolikost stapnih sisaljki ublažava se vjetrenicima (zračnim komorama) ili većim brojem cilindara (npr. kod triju cilindara su osnaci međusobno razmaknuti za  $120^\circ$ , sl. c).

Vjetrenici na usisnoj strani povećavaju usisnu visinu, a na tlačnoj strani su zaštita protiv hidrauličkog udara.

Brzina vrtnje stapnih pumpi iznosi  $11,75 \dots 4,7$  okr./s (= 45 ... 280 okr./min)

Pri konstantnoj brzini vrtnje (i nepromijenjenom stapaju) bit će dobava konstantna.

Usisna visina  $h_s$  računa se pri stapnim pumpama do tlačnog ventila i iznosi:

pri pumpama s usisnim vjetrenikom

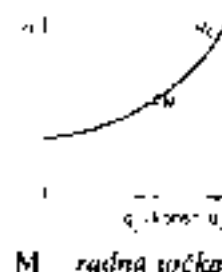
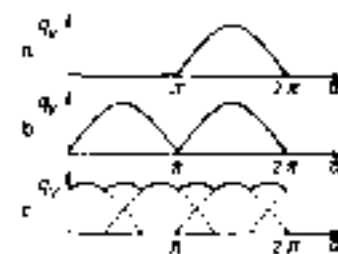
$$h_{s,dnp} \leq \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - h_v - h_s$$

gdje su:  $h_v$  - gubitak visine u usisnoj cijevi;  $h_s$  - gubitak visine pri otvaranju usisnog ventila ( $\approx 2$  m),

pri pumpama bez usisnog vjetrenika

$$h_{s,dnp} \leq \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - \left( h_v + a n^2 r l_s \frac{A}{A_s} \right)$$

gdje su:  $a = 4,82$  s<sup>2</sup>/m,  $n$  - brzina vrtnje (okr./s),  $r$  - radij osnaca,  $l_s$  - duljina usisne cijevi,  $A$  - konstantni presjek cilindra pumpe,  $A_s$  - presjek usisne cijevi.



## Turbopumpe

Turbopumpe su skupno ime za radijalne i aksijalne (rotacijske) pumpe koje djeluju po Eulerovim zakonima za turbostrojeve.

U praksi se često sve turbopumpe (radijalne i aksijalne) nepravilno nazivaju »centrifugalnim« pumpama, iako su zapravo samo radijalne pumpe centrifugalne.

Brzohodnost (specifična brzina vrtnje)  $n_q$

$$n_q = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{q_V}{V \dot{H}}}$$

pokazuje koju bi brzinu vrtnje morala imati geometrijski slična pumpa, izvedena za dobavnu visinu  $H$  (m), protok (dobavu)  $q_V$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) i brzinu vrtnje  $n$ , da bi pri dobavnoj visini  $H_1 = 1$  m dobavljala  $q_{V1} = 1$   $\text{m}^3/\text{s}$ . (Prividna nekoherentnost veličina u toj jednadžbi otpada, ako pod simbolima  $H$  i  $q_V$  razumijevamo bezdimenzijske omjere  $H/H_1$  i  $q_V/q_{V1}$ .)

Sve geometrijski slične turbopumpe koje imaju slične protočne uvjete (geometrijski slične trokute brzina) imaju i jednaku brzohodnost. Ona iznosi za različite turbopumpe:

radijalne	$n_q = 0,23 \dots 1,7$ okr./s	14 ... 100 okr./min
aksijalne (propelerne)	$n_q = 1,7 \dots 10$ okr./s	100 ... 600 okr./min

Manjoj brzohodnosti  $n_q$  odgovara manja brzina vrtnje, manji protok i veća dobavna visina.

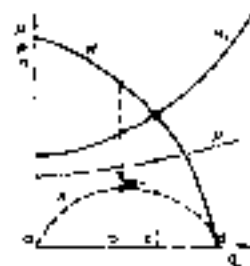
Za visokotlačne sisaljke kojima je brzohodnost  $n_q < 0,23$  okr./s (odn. < 14 okr./min), izabireno sisaljke s više stupnjeva.

Karakteristike turbopumpa (i ventilatora)

Pri konstantnoj brzini vrtnje  $n$  dobavna visina  $H$ , korisnost  $\eta$  i snaga  $P$  potrebna za pogon sisaljke ovise o dobavi  $q_V$  (koju možemo mijenjati priključivanjem).

U dijagramu radijalne sisaljke  $H = f(q_V)$  odgovaraju točke:

- radu pri potpuno zatvorenom izlaznom otvoru ( $q_V = 0$ ); sva se snaga pretvara u toplotu (porast temperature kapljevine);
- radu pri optimalnim uvjetima ( $\eta_{\max}$ );
- stvarnom radu pri priključku pumpe na cjevovod ( $H = H_c$ );
- radu na prazno ( $H = 0$ ; samo teoretski!).



Pri promjeni brzine vrtnje od  $n_1$  na  $n_2$  mijenjaju se za jednu te istu sisaljku protok  $q_V$ , dobavna visina  $H$  i snaga  $P$  po zakonu afineteta

$$\frac{q_{V1}}{q_{V2}} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Usisna visina  $h_s$  je vertikalna udaljenost osi pumpe (pri ulaznoj površini rotora) od površine kapljevine u usisnoj posudi (crpilištu)

Dopuštena usisna visina iznosi

$$h_{s, \text{dop}} \leq \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - h_{s, \text{v}} - \sigma H$$

gdje je kavitacijski koeficijent  $\sigma$  za pumpe (po Stepanovu) ovisan o brzohodnosti  $n_q$  (okr./s)

$$\sigma = 0,287 n_q^{4,3}$$

(Prividna nesuvislost u toj jednadžbi ne postoji, ako pod  $n_q$  razumijevamo bezdimenzijski omjer  $n_q/n_1$ , pri čemu je  $n_1 = 1$  okr./s)

Turbopumpne redovno ne mogu same usisati tekućinu, već se mora usisna cijev napuniti tekućinom. Da bi usisna cijev i za vrijeme pogonskog prekida ostala napunjena tekućinom, ugrađuje se na njezinu dnu odbojni (»nožni«) ventil ili zaklopka. – Ima, međutim, i tzv. samousisnih sisaljki u kojih je prigrađen poseban uređaj da mogu usisati tekućinu i kad je usisna cijev napunjena zrakom.

## Ventilatori

Ventilatori služe za transport plinova i para pa su zapravo sisaljke za plinove i pare u području njihove nestlačivosti.

Kao turbostrojevi, oni se pokoravaju istim zakonima kojima i turbopumpe, samo što prirast specifične energije  $e$ , odnosno dobavnu visinu  $H$  izraženu u stupcu fluida, obično izražavamo prirastom (»skokom«) tlaka (»naporom«)

$$\Delta p = \rho g H$$

gdje je  $\rho$  – gustoća dobavnog fluida.

Karakteristika cjevovoda  $\Delta p_c (= H_c \rho g)$  načelno je jednaka onoj za pumpe s razlikom što – zbog male gustoće plinova – ne uzimamo u obzir geodetsku visinu  $h$

$$\Delta p_c = p_2 - p_1 + \Delta p_r + \rho \frac{v_2^2}{2}$$

Ventilatore dijelimo također prema brzohodnosti na:

radijalne	$n_q = 0,1 \dots 1,67$ okr./s	6 ... 100 okr./min
aksijalne (propelerne)	$n_q = 1,17 \dots 10$ okr./s	70 ... 600 okr./min

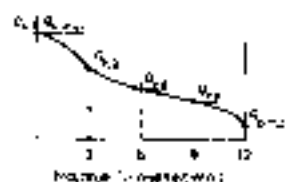
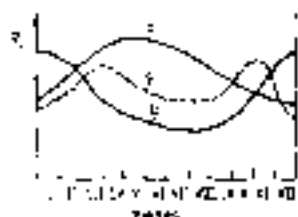
Karakteristike ventilatora u načelu su slične karakteristikama turbopumpi (vidi str. 152).

**Vodna snaga**  $P_r$  dana je raspoloživim protokom vodne mase  $q_m$  ili volumenskim protokom  $q_v$  i korisnim padom  $H$

$$P_0 = q_m g H = q_v \rho g H$$

gdje je  $\rho$  gustoća vode.

Protok je ovisan o karakteristici rijeke kojoj pripada određeno oborinsko područje. Visokogorske rijeke (npr. Drava) imaju najveći protok u kasno proljeće i rano ljeto, kad se u visokim planinama tope ledenjaci. Primorske rijeke (npr. Neretva) imaju najveći protok u doba zimskih kiša. Srednjogorske rijeke (npr. Sava) imaju po dva maksimuma — u proljeće i u jesen.



Protok je, osim toga, ovisan o vlažnosti godine (sušne i vlažne godine). Pri ocjenjivanju protoka uzimamo u obzir njegov prosjek kroz duži niz godina (npr. 35 godina).

Radi prosuđivanja rentabilnosti postrojenja i izbora turbine ustanovljujemo osim najvećeg i najmanjeg protoka ( $q_{v,max}$  i  $q_{v,min}$ ) još i protoke koji godišnje traju (ukupno) 3 mjeseca ( $q_{p,3}$ ), 6 mjeseci ( $q_{p,6}$ ) ili 9 mjeseci ( $q_{p,9}$ ).

Nejednolikost protoka izravnavamo akumulacijom vode u vrijeme većeg protoka odnosno manjeg potroška. Akumulacija može biti dnevna ili tjedna (brane) ili godišnja (dolinske hrane). U posebnim slučajevima viškom energije u vrijeme malog opterećenja crpimo vodu u visoko smještene akumulacijske bazene, da je odatle u vrijeme vršnog opterećenja iskoristavamo.

**Korisni pad**  $H$  ovisi o geodetskom padu  $h$  (tj. o razlici vodenih razina na najvišem mjestu i na izlazu iz turbinskog postrojenja) te o gubicima  $h_f$  u dovodu (cjevovod, armature itd.)

$$H \approx h - h_f$$

Točno određivanje raspoloživog pada  $H$  je — za razne vrste turbinskih postrojenja — definirano u međunarodnim propisima za primopredaju vodnih turbina.

Geodetski pad  $h$  mijenja se s promjenom protoka. Povećani protok izaziva porast vodenih razina, a osobito razine na izlazu, zbog čega se smanjuje geodetski pad. Pri razmjerno malom padu njegovo je smanjenje vrlo osjetljivo i može unatoč povećanom protoku prouzročiti smanjenje vodne snage  $P_0$ .

**Snaga turbine**

Teoretska snaga  $P_0$  turbine jednaka je raspoloživoj vodnoj snazi

$$P_0 = q_m e = q_m g H = q_v \rho g H$$

gdje  $q_m$  odnosno  $q_v$  znači maseni odnosno volumenski protok kroz turbinu.

Unutarnja snaga  $P_1$  smanjena je za unutarnje gubitke koje uzimamo u obzir unutarnjom korisnošću  $\eta_1$

$$P_1 = \eta_1 P_0$$

Unutarnja korisnost turbina (umnožak hidrauličke korisnosti  $\eta_h$  i volumetrijske korisnosti  $\eta_v$ ;  $\eta_1 = \eta_h \eta_v$ ) jako ovisi o njenoj brzini vrtanje pa je dobra samo pri određenim brzinama vrtanje ( $n'$ ), za koje su izvedene turbinske lopatice.

Efektivna snaga  $P$  smanjena je još za mehaničke gubitke (uključivši gubitke za pogon pomoćnih uređaja, regulatora itd.). Što uzimamo u obzir mehaničkom korisnošću  $\eta_m$  odnosno efektivnom korisnošću  $\eta = \eta_1 \eta_m$

$$P = \eta_m P_1 = \eta P_0 \quad P = \eta q_m e = \eta q_m g H = \eta q_v \rho g H$$

Efektivna korisnost turbina iznosi:

- za manje turbine  $\eta = 0,75 \dots 0,85$
- za veće turbine  $\eta = 0,85 \dots 0,95$

Efektivna korisnost ovisi o promjeni opterećenja  $P$ , i to različito za različite turbine s raznovrsnim sistemima regulacije. Ovisnost  $\eta = f(P)$  pri konstantnoj brzini vrtanje  $n$  prikazana je dijagramom u kojem krivulje znače:

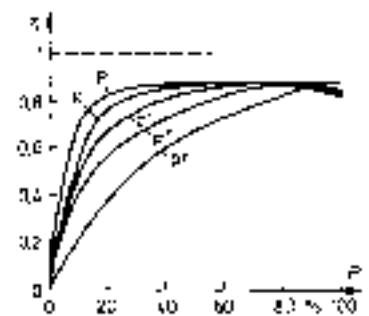
- P — peltonove turbine
- F' — sporohodne francisove turbine
- F'' — brzoohodne francisove turbine
- pr — propelemerne turbine
- K — kaplanove turbine

**Brzobudnost turbina** (specifična brzina vrtanje)  $n_q$

$$n_q = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt[3]{\frac{q_v}{\sqrt{H}}}$$

pokazuje kakvu bi brzinu vrtanje morala imati geometrijski slična turbina, građena za korisni pad  $H$  (m), protok  $q_v$  ( $m^3/s$ ) i brzinu vrtanje  $n$ , da bi pri korisnom padu  $H_1 = 1$  m gutala količinu vode  $q_{v1} = 1$   $m^3/s$ .

(Koherentnost veličina nije narušena ni ovdje ako pod simbolima  $H$  i  $q_v$  razumijevamo bezdimenzijske omjere  $H_1/H$  i  $q_{v1}/q_v$ .)



Ima li turbina više ( $i$ ) sapnica (kod peltonovih turbina) ili više rotora na istoj osovini (kod peltonovih i francisovih turbina), bit će brzohodnost

$$n_{q_i} = n_q \sqrt{i}$$

Geometrijski slične vodne turbine imaju, uz slične protočne uvjete (slične «stokute brzina»), istu brzohodnost  $n_q$ .

Vodne turbine za velike padove imaju manju brzohodnost, a one za manje padove veću brzohodnost.

Područja upotrebljivosti pojedinih vrsta vodnih turbina.

Vrste turbina	H m	$n_q$	
		okr./s	okr./min
Peltonove – s jednom sap. } – s više sapnica }	2000 ... 100	0,02 ... 0,16	1,2 ... 9,5
		0,08 ... 0,37	5 ... 22
Francisove – sporoходне – normalne – brzoходне	500 ... 105	0,33 ... 0,75	20 ... 45
	105 ... 55	0,75 ... 1,17	45 ... 70
	55 ... 35	1,17 ... 1,67	70 ... 100
Propelerne Kaplanove	35 ... 5	1,67 ... 5,80	100 ... 350

Izbor turbine ograničen je kavitacijom. Brzohodnost  $n_q$  određuje se (na temelju dijagrama ispitivanja) u ovisnosti o minimalnom dopuštenom koeficijentu kavitacije  $\sigma_{min}$  (Thominoeg broja)

$$n_q = f(\sigma_{min}) \quad \sigma_{min} = (p_a / \rho g - h_d) / H$$

gdje su:  $p_a$  – zračni tlak,  $h_d$  – visina difuzora

Brzina vrtnje vodnih turbina prilagođuje se traženoj brzini vrtnje gonjenih strojeva. Redovno su to električni generatori koji imaju određenu brzinu vrtnje (vidi str. 266). Turbinu odabiremo tako da ima pri traženoj brzini vrtnje najbolju korisnost  $\eta$ .

Najveća brzina vrtnje  $n_{maks}$ , koju turbina može postići u slučaju potpunog rasterećenja i potpuno otvorenih privodnih lopatica («pobjegnuće») mnogo je veća od normalne brzine vrtnje  $n$  i iznosi,

kod peltonovih turbina	$n_{maks} = (1,8 \dots 1,9)n$
kod francisovih turbina	$n_{maks} = (1,8 \dots 2,1)n$
kod kaplanovih turbina	$n_{maks} = (2,3 \dots 3,0)n$

Pri normalnom se radu brzina vrtnje turbine po pravilu ne smije povećati više od 10%. Regulator koji pravilno djeluje mora spriječiti da se pri normalnom radu vrtnje turbine poveća iznad dopuštene vrijednosti. Međutim, svi rotirajući dijelovi turbine i priključenih strojeva moraju – radi sigurnosti u slučaju greške na regulatoru – izdržati i najveću brzinu vrtnje  $n_{maks}$ .

## TOPLINA

### Specifični toplinski kapacitet

Toplina  $dQ$  mijenja tijelu mase  $m$  temperaturu za  $dT$

$$dQ = cm dT$$

$c$  je specifični toplinski kapacitet tijela (J/kg·K). U idealnih je plinova u najpriprostijem slučaju konstantna, inače općenito ovisi o temperaturi i o tlaku.

Smatramo li  $c$  konstantnim, pišemo

$$Q = cm(T_2 - T_1)$$

Vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta pojedinih tvari razabiru se iz tablica na str. 163 i 212 do 217.

Pri promjenljivom specifičnom kapacitetu računamo katkada s «prosječnim specifičnim kapacitetom» između temperatura  $T_1$  i  $T_2$

$$c_{med} = \int c dT / (T_2 - T_1)$$

S prosječnim specifičnim kapacitetom računamo kao da je konstantan.

**Entalpija** je određena izrazom  $H = U + pV$

U tom je izrazu  $U$  – unutarnja energija, a  $pV$  – vanjska energija (energija prostora,  $p$  – tlak,  $V$  – volumen).

«Specifična entalpija  $h$ » je entalpija jedinice mase s obzirom na po volji odabrano ishodište (npr. 0°C), gdje je  $h = 0$ . Mjerimo je u J/kg. Vrijednosti specifične entalpije za pare složene su u tablicama na str. 169 do 191, a za vlažni zrak na str. 194 do 197.

### Temperaturna raztežljivost (dilatacija)

Linearno temperaturno rastezanje zbog povišenja temperature za  $dT$  iznosi

$$dl = \alpha l_0 dT$$

gdje su:  $\alpha$  – linearni koeficijent temperaturnog rastezanja (K<sup>-1</sup>),  $l_0$  – prvobitna duljina.

Smatramo li da je koeficijent  $\alpha$  konstantan, vrijedi

$$l = l_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Koeficijent rastezanja  $\alpha$  pri visim temperaturama raste. Njegove su vrijednosti za čvrste tvari dane na str. 158 i 159.

Kubično temperaturno rastezanje zbog povećanja temperature za  $dT$  iznosi

$$dV = \beta V_0 dT$$

gdje su:  $\beta$  – kubični koeficijent temperaturnog rastezanja (K<sup>-1</sup>),  $V_0$  – prvobitni volumen.

Smatramo li koeficijent  $\beta$  konstantnim, bit će

$$V = V_0 [1 + \beta(T - T_0)]$$

I kubični koeficijent rastezanja  $\beta$  pri visim temperaturama raste. Njegove su vrijednosti za tekućine i plinove dane na str. 159.

Linearni koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\alpha$  (K<sup>-1</sup>)

Temperaturno područje:	0... 100 °C	0... 500 °C	0... 1000 °C
<b>Kovine:</b>			
aluminij	0,000 023 8	0,000 027 4	—
bakar	0,000 016 5	0,000 018 1	—
cink	0,000 016 5	—	—
iridij	0,000 006 5	—	—
kadmij	0,000 036 0	—	—
kobalt	0,000 013 0	—	—
kositar	0,000 026 7	—	—
krom	0,000 008 4	—	—
magnezij	0,000 026 0	0,000 029 8	—
mangan	0,000 022 8	—	—
molibden	0,000 005 2	—	—
nikal	0,000 013 0	0,000 015 2	0,000 016 8
olovo	0,000 029 2	—	—
platina	0,000 009 0	0,000 009 5	0,000 010 2
srebro	0,000 019 7	0,000 020 9	—
volfram	0,000 004 5	0,000 004 5	0,000 004 6
zlato	0,000 014 2	0,000 015 2	—
željezo (čisto)	0,000 012 3	—	—
<b>Slitine:</b>			
bronca (kositrena)	0,000 018 0	—	—
čvrsti lijev	0,000 019 0	—	—
čelik — neleg. 0,1 % C	0,000 012 0	0,000 014 1	—
0,6 % C	0,000 011 7	0,000 013 8	—
— legir. CrNi	0,000 011 5	—	—
18 Cr 8 Ni	0,000 016 0	—	—
13 % Cr	0,000 010 5	—	—
— invar (36 % Ni)	0,000 001 5	0,000 003 4	—
duratumin	0,000 023 5	0,000 027 3	—
konstantan	0,000 015 2	0,000 016 8	—
manganin	0,000 017 5	0,000 019 4	—
mjed (mesing)	0,000 018 4	—	—
novi srebro	0,000 018 0	—	—
platina-iridij (10 % Ir)	0,000 009 0	0,000 009 5	0,000 010 2
silitin	0,000 022 0	—	—
sivi lijev	0,000 010 4	0,000 012 9	—
tvrdi metali	0,000 005 5	—	—

Linearni koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\alpha$  (K<sup>-1</sup>)

Temperaturno područje:	0... 100 °C	0... 500 °C	0... 1000 °C
<b>Nekovine:</b>			
beton	0,000 012	—	—
celuloid	0,000 101	—	—
dijamant	0,000 001 3	—	—
grafit	0,000 002	—	—
granit	0,000 006	—	—
korund	0,000 006 4	0,000 007 2	0,000 008 2
magnezija (MgO)	0,000 012 3	0,000 012 6	0,000 013 9
opeka	0,000 008	—	—
poliamidi	0,000 110	—	—
polivinilklorid	0,000 080	—	—
porculan	0,000 003 0	0,000 003 6	0,000 004 3
staklo - jeusko	0,000 003 5	0,000 004 0	—
- kremenno	0,000 008 1	0,000 009 3	—
sumpor	0,000 090	—	—

Kubični koeficijenti temperaturnog rastezanja  $\beta$  (K<sup>-1</sup>)

Kapljevina	$\beta$	Kapljevina	$\beta$
voda 0 °C	0,000 060	benzin	0,001 200
10 °C	0,000 200	benzen (benzol)	0,001 106
20 °C	0,000 380	etanol (alkohol)	0,001 150
60 °C	0,000 540	ulje za mazanje	0,000 740
100 °C	0,000 780	pentan	0,000 160
200 °C	0,000 550	propantriol (glicerin)	0,000 520
		terpentinsko ulje	0,000 097
		transformatorsko ulje	0,000 690
		živa	0,000 180
Plin	$\beta$	Plin	$\beta$
amonijak	0,003 802	ugljični dioksid	0,003 726
argon	0,003 676	ugljični monoksid	0,003 670
dušik	0,003 674	vodik	0,003 662
helij	0,003 660	sumporni dioksid	0,003 850
kisik	0,003 674	idealni plin	0,003 661 =
neon	0,003 661		- 1/273,15



**Prvi glavni zakon termodinamike**

»Toplina je ekvivalentna mehaničkom radu.« (Mayer, 1842; Joule, 1843)

Dovođenje ili odvođenje topline  $Q$  uzrokuje promjenu unutarnje energije  $U$  i apsolutnog rada  $A$  (dobivenoga ili utrošenoga), odnosno promjenu entalpije  $H$  i tehničkog rada  $W$  (dobivenoga ili utrošenoga):

$$\begin{aligned} dQ &= dU - dA & -dQ &= \text{dovedena toplina} \\ dQ &= dH + dW & dQ &= \text{odvedena toplina} \end{aligned}$$

Za slučaj mehaničke ravnoteže možemo rad izraziti tlakom  $p$  i volumenom  $V$

$$\begin{aligned} dA &= p dV & +dA, +dW &= \text{dobiveni rad} \\ dW &= -V dp & -dA, -dW &= \text{utrošeni rad} \end{aligned}$$

Entalpijski teorem:  $H_2 - H_1 = Q - W$

**Drugi glavni zakon termodinamike**

»Toplina ne prelazi nikada sama od sebe s hladnijega na toplije tijelo.« (Clausius, 1850; Thomson, 1851.)

Po tome razlikujemo:

a) **povratne procese**, tj. one koji su mogući u jednom ili drugom smislu, a da pri povratku ne ostane u prirodi nikakav trag (npr. isparivanje i kondenzacija, kompresija i ekspanzija itd.), i

b) **nepovratne procese**, koji su mogući samo u jednom smislu (npr. prijelaz topline, trenje, prigušivanje, miješanje itd.).

Entropija je za sve povratne procese određena izrazom  $dS = dQ/T$ . U tom je izrazu  $dQ$  promjena topline pri apsolutnoj temperaturi  $T$ .

»Specifična entropija  $s$ « je entropija jedinice mase računana s obzirom na - po volji odabrano - ishodište (npr. kod  $0^\circ\text{C}$ ), gdje je  $s = 0$ . Mjerimo je u  $\text{J/kgK}$ . Njene vrijednosti za pare dane su na str. 169 do 191.

Entropija se zatvorenog sustava pri svim nepovrativim procesima povećava ( $dS > 0$ ).

**Eksergija\***  $E$  je maksimalni tehnički rad što ga s obzirom na stanje okoline (pri temperaturi  $T_0$  i tlaku  $p_0$ ) možemo dobiti iz unutarnje energije tvari kojoj je entalpija  $H$  i entropija  $S$ :  $E = H - H_0 - T_0(S - S_0)$ .  $H_0$  je entalpija, a  $S_0$  entropija tvari pri stanju okoline ( $T_0, p_0$ ).

**Anergija\***  $T_0(S - S_0)$  je dio unutarnje energije iz kojega ne možemo dobiti tehnički rad.

»Specifična eksergija  $e$ « je eksergija jedinice mase:  $e = h - h_0 - T_0(s - s_0)$ , gdje su:  $h$  - specifična entalpija i  $s$  - specifična entropija tvari u promatranom stanju,  $h_0$  i  $s_0$  su specifična entalpija i entropija tvari pri tlaku i temperaturi okoline, »specifična anergija«  $b = T_0(s - s_0)$ .

\* Te se nazive uveo prof. Z. Rant, Ljubljana (SV 1955/1 i SV 1962/1-2)

**Promjene stanja tvari**

Pri promjeni stanja određujemo uglavnom: volumen  $V$ , tlak  $p$ , temperaturu  $T$ , apsolutni rad  $A$ , odn. tehnički rad  $W$  i toplinu  $Q$ .

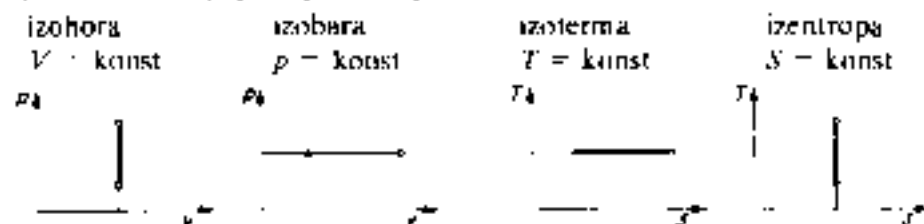
U  $pV$ -dijagramu predočeni su apsolutni rad  $A$  površinom ispod krivulje promjene stanja, a tehnički rad  $W$  površinom lijevo od te krivulje

$$A = \int p dV \quad W = \int V dp$$

U  $TS$ -dijagramu predočena je toplina  $Q$  površinom ispod krivulje povrtnice promjene stanja  $Q = \int T dS$



Najkarakterističnije promjene stanja:



»Adijabata« znači promjenu stanja pri kojoj toplinu niti (izvana) dovodimo niti je odvodimo, ali ona može biti proizvedena u samom sistemu zbog izentalpa.  $H = \text{konst}$ . U idealnom su slučaju (bez gubitaka) adijabata i izentropa identične.

**Kružni procesi**

U idealnom (bez gubitaka i sl.) desnokretnom kružnom procesu (tj. u smislu kazaljke na satu, vidi sliku!), koji odgovara procesu pogonskih strojeva, površine omeđene zatvorenom krivuljom povratne promjene stanja predstavljaju: u  $pV$ -dijagramu dobiveni rad  $W_k$ , u  $TS$ -dijagramu razliku toplina  $Q_k$ :

$$W_k = Q_k = Q - Q_0$$

gdje je  $Q$  dovedena, a  $Q_0$  odvedena toplina ( $Q > Q_0$ ).

Energetska korisnost kružnog procesa je  $\eta_k = W_k/Q = 1 - Q_0/Q$



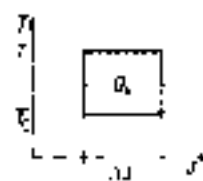
U lijevakretnom kružnom procesu (protivnom smislu u slici), koji odgovara procesu toplinskih pumpi, negativni su i rad  $W_k$  (utrošeni) i razlika toplina  $-Q_k$  (dobivena) ( $Q < Q_0$ ).

Carnotov kružni proces teče između dviju izentropa i dviju izoterma. Za nj vrijedi

$$Q_k = (T - T_0) \Delta S$$

a energetska korisnost iznosi

$$\eta = 1 - T_0/T \quad (\text{Thomsonova jednačnja})$$



## IDEALNI PLINOVİ

Pod »idealnim plinovima« razumijevamo tako visoko pregrijane pare da se pokoravaju zakonu Boyleovu i Mariotteovu ( $pV = \text{konst}$  pri  $T = \text{konst}$ ) te Gay-Lussacovu ( $V/T = \text{konst}$  pri  $p = \text{konst}$ ). U prirodi nema idealnih plinova, no mnogi se realni plinovi pri svojim svojstvima tako približuju idealnim plinovima da za njih vrijede s dovoljnom točnošću navedeni zakoni.

Tehnjički osobito važni realni plinovi jesu:

jednoatomni	He, Ar
dvotoomni	H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, zrak
višeatomni	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>

Pri malom tlaku i pogotovo još pri visokoj temperaturi možemo zakone idealnih plinova primijeniti i na H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> itd.

Jednadžba stanja plina povezuje tlak  $p$ , gustoću  $\rho$ , odnosno specifični volumen  $v$  ili volumen  $V$  te masu  $m$  i temperaturu  $T$ :

$$p \rho v = RT \quad p v = RT \quad p V = mRT$$

$R$  = plinska konstanta, koja ovisi samo o sastavu plina. Mjerno je u J/kg·K. Vrijednosti za  $R$  – vidi str. 163.

Opća plinska konstanta (umnožak molne mase  $m_m$  i plinske konstante  $R$ ) jednaka je za sve plinove i iznosi:

$$R_m = m_m R = 8,314,34 \text{ J/kmol K}$$

Avogadrov zakon

1 kmol bilo kojeg (idealnog) plina zauzima pri jednakom stanju uvijek isti volumen  $V_m$ , koji pri 0°C i tlaku 1,01325 bar iznosi

$$V_m = R_m T / p = 22,4136 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

Prema tome vrijedi za sve plinove (molne mase  $m_m$  i gustoće  $\rho$ )  $V_m = m_m / \rho$ , a za plinove među sobom  $m_{m1} / m_{m2} = \rho_1 / \rho_2$ .

Specifični toplinski kapacitet plinova

izobarski	– pri konstantnom tlaku	$c_p = dh/dT$
izovolumetrički	– pri konstantnom volumenu	$c_v = du/dT$

gdje su:  $dh$  – promjena specifične entalpije,  $du$  – promjena specifične unutarnje energije ( $u = U/m$ ),  $dT$  – promjena temperature.

Omjer specifičnih toplinskih kapaciteta  $\kappa = c_p / c_v$

Razlika specifičnih toplinskih kapaciteta  $c_p - c_v = R$

$$c_p = \kappa R / (\kappa - 1) \quad c_v = R / (\kappa - 1)$$

Entalpija plinova

$$\text{specifična entalpija} \quad h = \int c_p dT + C$$

$$\text{molna entalpija} \quad h_m = m_m \int c_p dT + C$$

Podaci o molnoj entalpiji  $h_m$  najpoznatijih plinova nalaze se na str. 164. Iz molne se entalpije vrlo lako može izračunati specifična entalpija  $h = h_m / m_m$ .

## Toplinska svojstva plinova

Vrelište i kritično stanje plinova

Plin	Kem. simbol	Vrelište (pri 1,01325 bar)		Veličine kritičnog stanja			
				temperatura		tlak	gust.
		$t_b$ °C	$T_b$ K	$t_k$ °C	$T_k$ K	$p_k$ bar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
helij	He	268,9	4,2	-267,9	5,3	2,28	69
argon	Ar	-185,9	87,3	-172,4	150,8	48,7	521
vodik	H <sub>2</sub>	-252,8	20,4	-259,3	33,3	13,0	31
dušik	N <sub>2</sub>	-195,8	77,4	-147,1	126,1	33,9	311
kisik	O <sub>2</sub>	-183,0	90,2	-118,8	154,4	50,4	430
zrak		-194,0	79,2	-140,7	132,5	37,7	310
uglj. monoks.	CO	-191,5	81,7	-140,2	134,0	34,9	301
uglj. dioksid	CO <sub>2</sub>	78,5	194,7	+31,0	304,2	73,6	460
sump. dioksid	SO <sub>2</sub>	-10,0	263,2	+157,3	430,5	78,9	524
amonijak	NH <sub>3</sub>	-33,4	289,8	+132,4	405,6	113,0	275
etin (acetilen)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	83,6	189,6	+35,7	308,9	63,5	231
metan	CH <sub>4</sub>	-161,7	111,5	-83,0	190,7	46,3	162
monoklor- metan	CH <sub>3</sub> Cl	-24,0	249,2	+143,1	416,1	66,8	370
difluordiklor- metan	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	-30,0	243,2	+111,3	364,7	40,1	555
eten (etilen)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-103,5	169,7	+19,3	282,5	51,4	216
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	88,6	184,6	+35,0	308,2	49,6	210

Plinska konstanta, specifični toplinski kapacitet, gustoća

plin	Broj atoma u molekuli	Molna masa $m_m$ kg/kmol	Plinska konstanta $R$ J/kg·K	Specifična topl. kap. $c_p$ J/kg·K	$\kappa = c_p / c_v$	Gustoća**
						$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
He	1	4,003	2078	5,237	1,66	0,1785
Ar	1	39,94	208,2	521	1,66	1,7834
H <sub>2</sub>	2	2,016	4127	14245	1,41	0,0899
N <sub>2</sub>	2	28,02	296,7	1038	1,40	1,2505
O <sub>2</sub>	2	32,00	259,8	913	1,40	1,4290
zrak	–	28,96	287,0	1005	1,40	1,2928
CO	2	28,01	296,9	1042	1,40	1,2500
CO <sub>2</sub>	2	44,01	188,8	820	1,30	1,9768
SO <sub>2</sub>	2	64,06	129,8	607	1,27	2,9265
NH <sub>3</sub>	4	17,03	488,2	2055	1,31	0,7713
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	4	26,04	314,6	1511	1,26	1,1709
CH <sub>4</sub>	5	16,04	518,7	2156	1,32	0,7168
CH <sub>3</sub> Cl	5	50,49	164,7	737	1,29	2,3064
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	5	120,9	68,8	561	1,14	5,0830
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6	28,05	296,7	1612	1,25	1,2604
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8	30,07	276,7	1729	1,20	1,3560

\* Pri 0°C. \*\* Pri 0°C i 1,01325 bar.

Molna entalpija  $h_m$  plinova  
pri konstantnoj tlaku  $p = 0$  (bez obzira na disocijaciju)

Temperatura		$h_m$ kJ/kmol			
$t$ °C	$T$ K	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Zrak
0	273	0	0	0	0
100	373	2 897	2 918	2 951	2 913
200	473	5 819	5 860	5 982	5 865
300	573	8 765	8 845	9 113	8 858
400	673	11 640	11 880	12 360	11 920
500	773	14 630	14 970	15 640	15 040
600	873	17 610	18 110	19 070	18 260
700	973	20 620	21 320	22 520	21 480
800	1073	23 630	24 610	26 030	24 810
900	1173	26 640	27 960	29 570	28 210
1000	1273	29 790	31 360	33 150	31 620
1100	1373	32 920	34 790	36 750	35 080
1200	1473	36 140	38 260	40 390	38 570
1300	1573	39 380	41 760	44 040	42 070
1400	1673	42 660	45 290	47 720	45 630
1500	1773	45 960	48 810	51 450	49 190
1750	2023	54 380	57 770	60 860	58 190
2000	2273	63 040	66 810	70 410	67 330
2500	2773	80 960	85 190	89 890	85 330
3000	3273	99 590	103 730	109 910	104 600

Temperatura		$h_m$ kJ/kmol			
$t$ °C	$T$ K	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
0	273	0	0	0	0
100	373	2 918	3 839	4 077	3 361
200	473	5 860	8 079	8 498	6 798
300	573	8 866	12 630	13 710	10 320
400	673	11 920	17 310	18 150	13 960
500	773	15 050	22 500	23 150	17 730
600	873	18 260	27 700	28 510	21 600
700	973	21 520	33 060	33 840	25 610
800	1073	24 870	38 490	39 250	29 770
900	1173	28 250	44 080	44 750	34 060
1000	1273	31 690	49 690	50 270	38 340
1100	1373	35 170	55 460	55 840	42 900
1200	1473	38 690	61 240	61 450	47 470
1300	1573	42 240	67 060	67 100	52 130
1400	1673	45 750	72 920	72 710	56 970
1500	1773	49 310	78 860	78 360	61 790
1750	2023	58 310	93 720	94 810	74 340
2000	2273	67 440	108 400	106 900	87 150
2500	2773	85 940	139 100	139 000	113 800
3000	3273	104 500	169 700	164 500	141 000

Povratne promjene stanja plinova

Oznake veličina – na str. 157 do 162

- a) **Izohora**  $V = \text{konst}$   $p/T = \text{konst}$  ( $= mR/V$ )  $p_1/p_2 = T_1/T_2$   
 Absolutni rad  $A = 0$   
 Tehnički rad  $W = V(p_1 - p_2)$   
 Toplina  $Q = m c_v (T_2 - T_1) = m \frac{R}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) = \frac{V}{\kappa - 1} (p_2 - p_1)$
- b) **Izobara**  $p = \text{konst}$   $V/T = \text{konst}$  ( $= mR/p$ ) (Gay-Lussacov zakon)  
 $V_1/V_2 = \rho_2/\rho_1 = T_1/T_2$   
 Absolutni rad  $A = p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$   
 Tehnički rad  $W = 0$   
 Toplina  $Q = m c_p (T_2 - T_1) = m \frac{\kappa R}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) = \frac{\kappa p}{\kappa - 1} (V_1 - V_2) = \frac{\kappa}{\kappa - 1} A$
- c) **Izoterma**  $T = \text{konst}$   
 $pV = \text{konst}$  ( $= mRT$ ) (Boyleov i Mariotteov zakon)  
 $p_1 V_1 = p_2 V_2$   
 Absolutni rad  $A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = mRT \ln \frac{V_2}{V_1} = mRT \ln \frac{p_1}{p_2}$   
 Tehnički rad  $W = A$   
 Toplina  $Q = A = W = T(S_2 - S_1)$
- d) **Izentropa**  $S = \text{konst}$   
 $pV^\kappa = \text{konst}$   $TV^{\kappa-1} = \text{konst}$   $T \left(\frac{1}{p}\right)^\kappa = \text{konst}$   
 Absolutni rad  $A = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[ 1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) = \frac{mR}{\kappa - 1} (T_1 - T_2) = m c_v (T_1 - T_2)$   
 Tehnički rad pri izentropskoj promjeni stanja (= teoretski rad toplinskih strojeva)  $W = \kappa A = m c_p (T_1 - T_2) = H_1 - H_2 = m(h_1 - h_2)$   
 Toplina  $Q = 0$

### c) Politropa

predstavlja općenitu promjenu stanja pri kojoj je promjena temperature upravo razmjerna dovedenoj ili odvedenoj toplini  $dQ = mcdT$

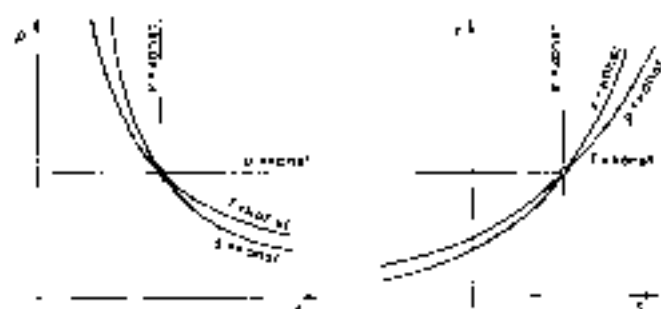
$$pV^n = \text{konst} \quad n = \frac{c - c_p}{c - c_v} \quad c = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1}$$

$$\begin{aligned} \text{Apsolutni rad} \quad A &= \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} \right] \\ &= \frac{p_1 V_1}{n-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{n-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \\ &= \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2) \end{aligned}$$

$$\text{Tehnički rad} \quad W = nA$$

$$\text{Toplina} \quad Q = \frac{\kappa - n}{\kappa - 1} A$$

Promjena stanja po politropi — kao općenita — obuhvaća sve prije navedene povratne promjene stanja koje su samo njezini posebni slučajevi.



#### Usporedba politropa

politropa	$n$	$c$
izohora $V = \text{konst}$	$+\infty$	$c_v$
izobara $p = \text{konst}$	0	$c_p$
izoterma $T = \text{konst}$	1	$-\infty$
izentrope $S = \text{konst}$	$\kappa$	$0$

#### Prigušivanje

je nepovratna promjena stanja za koju kod idealnih plinova vrijedi:

$$\text{izeatalpa} \quad h = \text{konst} \quad T = \text{konst}$$

### Smjese idealnih plinova

(Indeksima 1, 2, ...  $n$  označujemo veličine koje pripadaju pojedinim sastavnima u smjesi)

$$\text{Masa smjese} \quad m = m_1 + m_2 + \dots$$

$$\text{Volumen smjese} \quad V = V_1 + V_2 + \dots$$

$$\text{Tlak smjese} \quad p = p_1 + p_2 + \dots$$

$p_1, p_2, \dots$  su parcijalni tlakovi pojedinih plinova u smjesi (Daltonov zakon)

$$p_1 = p V_1 / V \quad p_2 = p V_2 / V$$

Za smjesu plinova vrijedi ista jednačba stanja kao i za homogene plinove

$$pV = mRT$$

Plinska konstanta smjese  $R$  i prividna molna masa smjese  $m_m$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} R_i \quad m_m = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} m_{m_i}$$

Gustoća smjese

$$\rho = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} \rho_i$$

Specifični toplinski kapaciteti i specifična entalpija smjese:

$$c_p = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} c_{p_i} \quad c_v = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} c_{v_i} \quad h = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} h_i$$

Zrak

Sastav potpuno suhog zraka

Sastavina	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He + Ne + Kr + Xe
volumni %	78,03	20,99	0,93	0,03	0,01	0,01
maseni %	75,47	23,20	1,28	0,046	0,001	0,003

#### Miješanje plinova (nepovrativi proces)

a) Miješanje pri  $V = \text{konst}$

$$\text{parcijalni tlak} \quad p' = (p_1 V_1 / T_1) \cdot T / V$$

temperatura smjese

$$\text{tlak smjese} \quad p = p' + p'' + \dots$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i c_{v_i} T_i}{\sum_{i=1}^n m_i c_{v_i}}$$

b) Miješanje pri  $p = \text{konst}$

$$\text{parcijalni volumen} \quad V' = (p_1 V_1 / T_1) \cdot T / p$$

temperatura smjese

$$\text{volumen smjese} \quad V = V' + V'' + \dots$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i c_{p_i} T_i}{\sum_{i=1}^n m_i c_{p_i}}$$

**Zasićena para**

je smjesa dviju faza: tekuće i plinovite. Para ima u zasićenom stanju za svaku temperaturu točno određenu vrijednost tlaka.

Omjer mase plinovite faze (suhe pare) i mase cjelokupne smjese (suhe pare i tekućine) nazivamo "suhoća pare"  $x$ . S obzirom na  $x$  je zasićena para:

- $x = 0$  – (vrela) tekućina (bez pare),
- $0 < x < 1$  mokra para, koja u jedinici mase sadrži  $x$  dijelova suhe pare i  $(1 - x)$  dijelova tekućine,
- $x = 1$  suha para (samo para, bez tekućine).

Različite veličine stanja pare, napose gustoću  $\rho$ , specifični volumen  $v$ , specifičnu entalpiju  $h$  i specifičnu entropiju  $s$  označujemo

pri stanju  $x = 0$  oznakom pri stanju  $x = 1$  oznakom \*

Temperatura i odgovarajući tlak te ostale veličine zasićene pare pri stanju  $x = 0$  i  $x = 1$  nalaze se za najvažnije pare u tablicama na str. 172 do 174 i 188 do 191.

Za mokru paru ( $0 < x < 1$ ) vrijedi:

$$\begin{aligned} \text{specifični volumen} & v_x = v' + x(v'' - v') \\ \text{specifična entalpija} & h_x = h' + x(h'' - h') \\ \text{specifična entropija} & s_x = s' + x(s'' - s') \end{aligned}$$

Clapeyronova jednačba prikazuje toplinu isparavanja  $r$  kao funkciju temperature zasićenja  $T_s$ , povećanja volumena pri isparivanju  $v'' - v'$  i diferencijalnog kvocijenta  $dp/dT$ :  $r = T_s(v'' - v') \cdot (dp/dT)$   $r = h'' - h'$

**Pregrijana para**

je realni plin koji je pregrijan iznad temperature zasićenja i ne sadrži više nikakve tekućine

Obično smatramo pregrijanom onu paru koja nije pregrijana mnogo iznad temperature zasićenja i nju možemo računati po posebnim zakonima za pregrijanu paru, dok se visoko pregrijane pare postupno približuju svojstvima idealnih plinova.

Veličine stanja pregrijane pare ( $p, v, h, s$ ) funkcije su tlaka i temperature:

$$pv = RT + f_1(p, T) \quad h = h'' + \int c_p dT \quad s = s'' + \int c_p (dT/T) + f_2(p, T)$$

Za pregrijanu paru sastavljene su razne tablice o parama, npr.:

- za zrak (ako uzimamo u obzir odstupanje od idealnih plinova) na str. 169.
- za pregrijanu vodenu paru na str. 175 do 187.

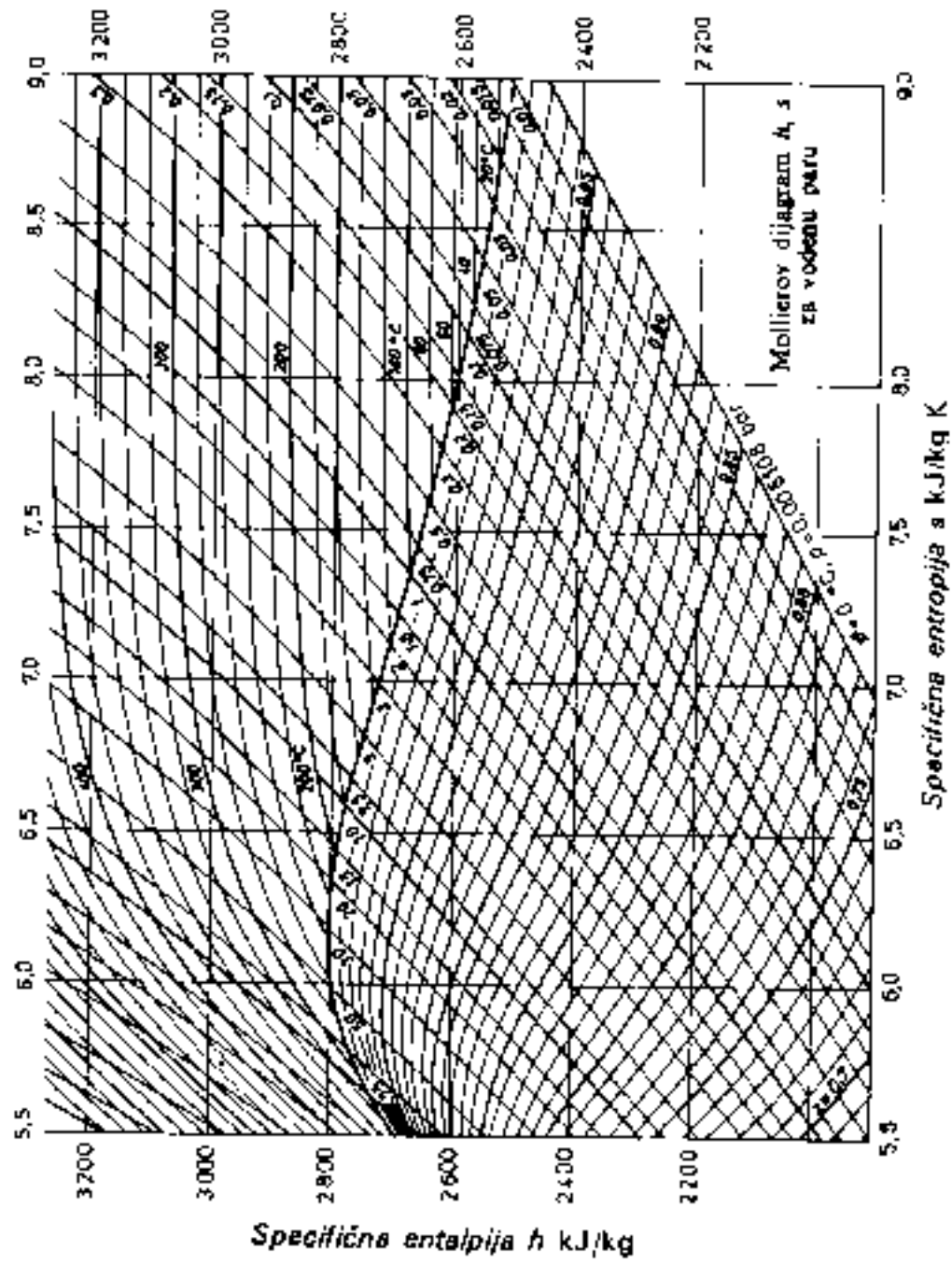
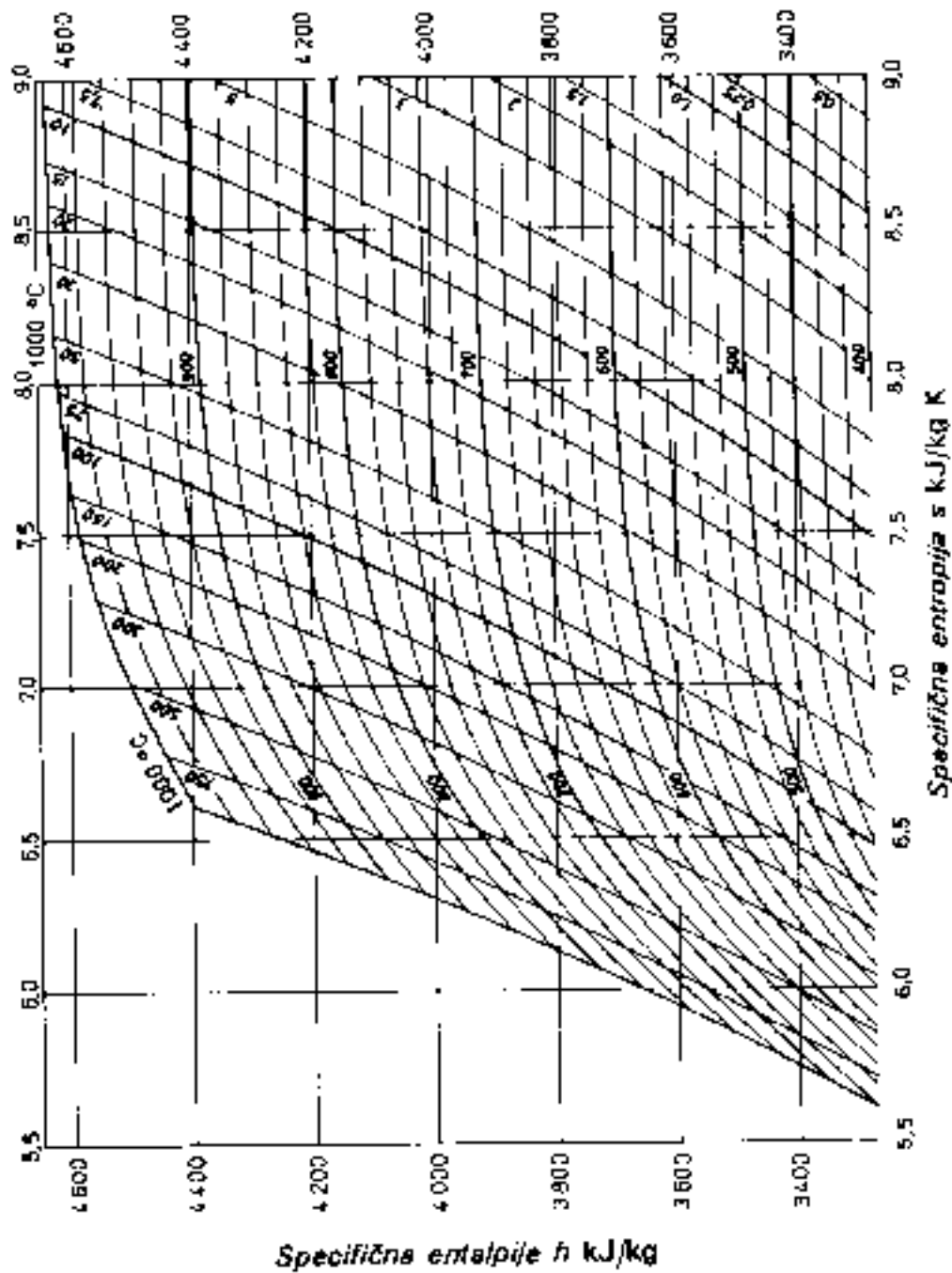
Pregled šireg područja (zasićene i pregrijane) vodene pare prikazuje posebno zorno Mollierov  $h, s$ -dijagram (str. 170 i 171).

kao pregrijana para (koji pri točnijem računanju odstupa od zakona idealnih plinova)

Toplinska svojstva pri tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
specifični volumen  $v$ , specifična entalpija  $h^*$ , specifična entropija  $s^*$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$ bar			5 bar		
-100	0,495 1	172,8	6,359	0,097 66	170,0	5,843
50	0,639 3	223,1	6,636	0,127 3	221,3	6,106
0	0,783 8	273,3	6,859	0,156 6	272,1	6,311
50	0,926 5	323,6	7,026	0,185 4	322,8	6,479
100	1,071	374,1	7,172	0,214 4	373,5	6,584
200	1,356	476,1	7,413	0,271 6	475,7	6,866
400	1,930	686,1	7,775	0,386 7	686,1	7,229
	$p =$ 10 bar			20 bar		
-100	0,047 98	166,7	5,632	0,023 14	159,7	5,403
50	0,063 29	219,3	5,899	0,031 29	215,3	5,687
0	0,078 17	270,9	6,121	0,038 97	268,0	5,900
50	0,092 71	321,9	6,277	0,046 39	319,9	6,072
100	0,107 3	372,8	6,424	0,053 80	371,5	6,221
200	0,136 1	475,2	6,668	0,068 33	474,4	6,467
400	0,193 6	686,1	7,030	0,097 31	686,1	6,830
	$p =$ 40 bar			60 bar		
-100	0,010 72	144,4	5,137	0,006 582	118,0	4,944
-50	0,015 29	207,1	5,460	0,009 955	195,0	5,315
0	0,019 36	262,8	5,685	0,012 83	255,2	5,552
50	0,023 22	316,2	5,862	0,015 50	311,0	5,734
100	0,027 03	368,9	6,015	0,018 11	365,2	5,890
200	0,034 44	473,2	6,263	0,023 15	471,8	6,142
400	0,049 08	686,2	6,629	0,033 00	686,4	6,510
	$p =$ 80 bar			100 bar		
100	0,004 512	109,2	4,938	0,003 270	94,6	4,652
-50	0,007 288	191,2	5,204	0,005 688	183,7	5,114
0	0,009 564	252,8	5,454	0,007 604	248,1	5,420
50	0,011 64	309,3	5,641	0,009 328	306,1	5,567
100	0,013 65	364,0	5,800	0,010 97	361,9	5,729
200	0,017 50	471,2	6,056	0,014 11	470,2	5,987
400	0,024 96	686,6	6,425	0,020 14	686,8	6,359

\* Ishodište za specifičnu entalpiju  $h$  i specifičnu entropiju  $s$  izabrano je pri (idealiziranoj) apsolutnoj nuli.



Toplinska svojstva pri

temperaturama od 0 do 374,15 °C

Temperatura  $t_s$ , tlak  $p$ , specifični volumen  $v', v''$ ;specifična entalpija  $h', h''$ ; specifična entropija  $s', s''$ 

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
0,04	0,006 112	0,001 600 2	206,2	0,00	2 502	0,000 41	9,158
5	0,008 718	0,001 400 0	147,2	21,03	2 511	0,076 2	9,027
10	0,012 27	0,001 000 3	106,4	41,99	2 520	0,151 0	8,902
15	0,017 04	0,001 001	77,98	62,94	2 529	0,224 3	8,783
20	0,023 37	0,001 002	57,84	83,86	2 538	0,296 3	8,668
25	0,031 66	0,001 003	43,40	104,8	2 547	0,367 0	8,559
30	0,042 41	0,001 004	32,93	125,7	2 556	0,436 5	8,455
35	0,056 22	0,001 006	25,24	146,6	2 565	0,504 9	8,351
40	0,073 75	0,001 008	19,55	167,5	2 574	0,572 1	8,256
45	0,095 82	0,001 010	15,28	188,4	2 583	0,638 3	8,166
50	0,123 4	0,001 012	12,05	209,3	2 592	0,703 5	8,078
55	0,157 4	0,001 015	9,579	230,2	2 601	0,767 7	7,993
60	0,199 2	0,001 017	7,679	251,1	2 610	0,831 0	7,911
65	0,250 1	0,001 020	6,702	272,0	2 618	0,893 3	7,832
70	0,311 6	0,001 023	5,046	293,0	2 627	0,954 8	7,757
75	0,385 5	0,001 026	4,134	313,9	2 635	1,015	7,684
80	0,473 6	0,001 029	3,409	334,9	2 644	1,075	7,613
85	0,578 0	0,001 033	2,829	355,9	2 652	1,134	7,545
90	0,701 3	0,001 036	2,361	376,9	2 660	1,193	7,480
95	0,845 3	0,001 040	1,982	398,0	2 668	1,250	7,417
100	1,013 3	0,001 044	1,673	419,1	2 676	1,307	7,355
105	1,208	0,001 048	1,419	440,2	2 684	1,363	7,296
110	1,433	0,001 052	1,210	461,3	2 691	1,419	7,239
115	1,691	0,001 056	1,036	482,5	2 699	1,471	7,183
120	1,985	0,001 061	0,891 5	503,7	2 706	1,528	7,129
125	2,321	0,001 065	0,770 2	525,0	2 713	1,581	7,077
130	2,701	0,001 070	0,668 1	546,3	2 720	1,634	7,026
135	3,131	0,001 075	0,581 8	567,7	2 727	1,687	6,977
140	3,614	0,001 080	0,508 5	589,1	2 733	1,739	6,928
145	4,155	0,001 085	0,446 0	610,6	2 739	1,791	6,882
150	4,760	0,001 091	0,392 4	632,2	2 745	1,842	6,836
155	5,433	0,001 096	0,346 4	653,8	2 751	1,892	6,791
160	6,181	0,001 102	0,306 8	675,5	2 757	1,943	6,748
165	7,008	0,001 108	0,272 4	697,3	2 762	1,992	6,705
170	7,920	0,001 115	0,242 6	719,1	2 767	2,042	6,663
175	8,924	0,001 121	0,216 5	741,3	2 772	2,091	6,622
180	10,03	0,001 128	0,193 8	763,1	2 776	2,139	6,582
185	11,23	0,001 134	0,173 9	785,3	2 780	2,188	6,542

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
190	12,55	0,001 142	0,156 3	807,3	2 784	2,236	6,504
195	13,99	0,001 149	0,140 8	829,9	2 788	2,283	6,465
200	15,55	0,001 157	0,127 2	852,4	2 791	2,331	6,428
205	17,24	0,001 164	0,115 0	875,0	2 794	2,378	6,391
210	19,08	0,001 173	0,104 2	897,7	2 796	2,425	6,354
215	21,06	0,001 181	0,094 63	920,6	2 798	2,471	6,318
220	23,20	0,001 190	0,086 04	943,7	2 800	2,518	6,282
225	25,50	0,001 199	0,078 35	966,9	2 801	2,564	6,246
230	27,98	0,001 209	0,071 45	990,3	2 802	2,610	6,211
235	30,63	0,001 219	0,065 25	1 014	2 802	2,656	6,176
240	33,48	0,001 229	0,059 65	1 038	2 802	2,702	6,141
245	36,52	0,001 240	0,054 61	1 062	2 802	2,748	6,106
250	39,78	0,001 251	0,050 04	1 086	2 802	2,794	6,071
255	43,25	0,001 263	0,045 90	1 110	2 799	2,839	6,036
260	46,94	0,001 276	0,042 13	1 135	2 796	2,885	6,001
265	50,88	0,001 289	0,038 71	1 160	2 794	2,931	5,966
270	55,06	0,001 303	0,035 59	1 185	2 791	2,976	5,930
275	59,50	0,001 317	0,032 74	1 211	2 786	3,022	5,895
280	64,20	0,001 332	0,030 13	1 237	2 780	3,068	5,859
285	69,19	0,001 349	0,027 73	1 263	2 774	3,115	5,822
290	74,46	0,001 366	0,025 54	1 290	2 768	3,161	5,785
295	80,04	0,001 384	0,023 51	1 317	2 760	3,208	5,747
300	85,93	0,001 404	0,021 65	1 345	2 751	3,255	5,708
305	92,14	0,001 425	0,019 93	1 373	2 741	3,303	5,669
310	98,70	0,001 448	0,018 33	1 402	2 730	3,351	5,628
315	105,6	0,001 473	0,016 86	1 432	2 718	3,400	5,586
320	112,9	0,001 500	0,015 48	1 463	2 704	3,450	5,542
325	120,6	0,001 529	0,014 19	1 494	2 688	3,501	5,497
330	128,6	0,001 562	0,012 99	1 527	2 670	3,553	5,449
335	137,1	0,001 598	0,011 85	1 560	2 650	3,606	5,398
340	146,1	0,001 639	0,010 78	1 596	2 626	3,662	5,343
345	155,5	0,001 686	0,009 767	1 633	2 599	3,719	5,283
350	165,4	0,001 741	0,008 799	1 672	2 568	3,780	5,218
355	175,8	0,001 809	0,007 859	1 713	2 530	3,849	5,144
360	186,8	0,001 896	0,006 940	1 764	2 485	3,921	5,060
365	198,3	0,002 016	0,006 037	1 818	2 428	4,002	4,958
370	210,5	0,002 214	0,004 973	1 890	2 343	4,111	4,814
374,15	221,20	0,003 17		2 107,4		4,442 9	

Toplinska svojstva pri tlaku od 0,01 do 200 bar

Tlak  $p$ , temper.  $t_s$ , spec. vol.  $v'$ ,  $v''$ ; spec. entalp.  $h'$ ,  $h''$ ; spec. entrop.  $s'$ ,  $s''$ 

$p$ bar	$t_s$ °C	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
0,01	6,983	0,001 000	129,2	29,34	2 514	0,106 0	8,977
0,02	17,51	0,001 001	67,01	73,46	2 534	0,268 7	8,725
0,04	28,98	0,001 004	34,80	171,4	2 555	0,422 5	8,476
0,06	36,18	0,001 006	23,74	251,5	2 568	0,520 9	8,331
0,08	41,53	0,001 008	18,10	323,9	2 577	0,592 5	8,230
0,1	45,83	0,001 010	14,67	391,8	2 585	0,649 3	8,151
0,12	49,45	0,001 012	12,46	446,9	2 591	0,696 3	8,087
0,16	55,34	0,001 015	9,433	531,6	2 603	0,777 1	7,987
0,2	60,09	0,001 017	7,650	591,5	2 610	0,832 1	7,909
0,25	64,94	0,001 020	6,204	632,0	2 616	0,893 2	7,837
0,3	69,17	0,001 022	5,229	669,3	2 625	0,944 1	7,770
0,4	75,89	0,001 027	3,993	717,7	2 637	1,026	7,671
0,5	81,35	0,001 030	3,240	740,6	2 646	1,091	7,595
0,6	85,95	0,001 033	2,732	759,9	2 654	1,145	7,531
0,8	93,51	0,001 039	2,087	791,7	2 666	1,233	7,445
1,0	99,63	0,001 043	1,694	817,5	2 675	1,303	7,360
1,2	104,8	0,001 046	1,428	839,4	2 683	1,361	7,296
1,6	113,3	0,001 055	1,091	875,4	2 696	1,455	7,202
2,0	120,7	0,001 061	0,885 4	904,7	2 706	1,530	7,127
2,5	127,4	0,001 068	0,718 4	935,5	2 716	1,607	7,052
3	133,5	0,001 074	0,605 6	961,4	2 725	1,672	6,991
4	143,6	0,001 084	0,462 2	1014,7	2 738	1,776	6,894
5	151,8	0,001 093	0,374 7	1040,1	2 748	1,860	6,819
6	158,8	0,001 101	0,315 5	1060,4	2 756	1,933	6,756
8	170,4	0,001 115	0,240 3	1109,9	2 768	2,036	6,660
10	179,9	0,001 127	0,194 3	1142,6	2 776	2,138	6,583
12	188,0	0,001 139	0,162 2	1168,4	2 783	2,216	6,519
16	201,4	0,001 159	0,123 7	1258,6	2 792	2,344	6,416
20	212,4	0,001 177	0,099 54	1308,6	2 797	2,447	6,337
25	223,9	0,001 197	0,079 91	1362,0	2 801	2,554	6,254
30	233,8	0,001 216	0,066 63	1408	2 802	2,646	6,164
40	250,3	0,001 252	0,049 75	1487	2 809	2,797	6,069
50	263,9	0,001 286	0,039 43	1555	2 794	2,921	5,974
60	275,6	0,001 319	0,032 43	1614	2 785	3,027	5,891
80	295,0	0,001 384	0,023 53	1737	2 760	3,208	5,747
100	311,0	0,001 453	0,018 04	1808	2 728	3,361	5,620
120	324,7	0,001 527	0,014 28	1847	2 689	3,497	5,500
160	347,3	0,001 710	0,009 308	1951	2 585	3,747	5,253
200	365,7	0,002 037	0,005 877	1977	2 418	4,015	4,941

Toplinska svojstva pri tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
specifični volumen  $v$ , specifična entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$ 

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$		0,01 bar	0,02 bar			
0	0,001 000 2	0,0	0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	135,2	2 539	9,061	67,58	2 538	8,740
40	144,5	2 576	9,184	72,21	2 576	8,864
60	153,7	2 613	9,300	76,84	2 613	8,980
80	163,0	2 651	9,410	81,46	2 651	9,089
100	172,2	2 689	9,514	86,08	2 689	9,193
$p =$		0,04 bar	0,06 bar			
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	36,06	2 575	8,543	24,04	2 575	8,354
60	38,40	2 613	8,659	25,59	2 612	8,471
80	40,71	2 650	8,769	27,13	2 650	8,581
100	43,03	2 688	8,873	28,68	2 688	8,685
120	45,34	2 726	8,972	30,22	2 726	8,785
$p =$		0,08 bar	0,10 bar			
0	0,001 000 2	—0,0	0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	19,18	2 612	8,337	15,34	2 612	8,233
80	20,34	2 650	8,448	16,27	2 650	8,344
100	21,50	2 688	8,552	17,20	2 688	8,449
120	22,66	2 726	8,652	18,12	2 726	8,548
$p =$		0,12 bar	0,16 bar			
0	0,001 000 2	0,0	0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	12,77	2 611	8,148	9,570	2 611	8,014
80	13,55	2 649	8,259	10,16	2 649	8,125
100	14,33	2 687	8,364	10,74	2 687	8,230
120	15,10	2 725	8,464	11,32	2 725	8,330
140	15,87	2 764	8,559	11,90	2 763	8,425



Voda i pregrijana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$		0,2 bar		0,25 bar		
0	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2	0,001 000 2	—0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	8,117	2 648	8,021	6,488	2 647	7,916
100	8,585	2 686	8,126	6,864	2 686	8,022
120	9,051	2 725	8,226	7,237	2 724	8,123
140	9,516	2 763	8,322	7,611	2 763	8,219
160	9,980	2 802	8,413	7,982	2 801	8,310

$p =$		0,3 bar		0,4 bar		
0	0,001 000 2	0,0	0,000 2	0,001 000 2	0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	5,401	2 647	7,830	4,042	2 645	7,694
100	5,714	2 685	7,936	4,279	2 684	7,801
120	6,027	2 724	8,037	4,515	2 723	7,902
140	6,338	2 762	8,133	4,749	2 761	7,999
160	6,648	2 801	8,224	4,983	2 800	8,090
180	6,958	2 840	8,312	5,215	2 839	8,178

$p =$		0,5 bar		0,6 bar		
0	0,001 000 2	0,0	—0,000 2	0,001 000 2	0,0	—0,000 2
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	83,9	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,1	0,831 0
80	0,001 029	334,9	1,075	0,001 029	334,9	1,075
100	3,418	2 683	7,695	2,844	2 681	7,609
120	3,607	2 722	7,797	3,002	2 721	7,711
140	3,796	2 761	7,894	3,160	2 760	7,808
160	3,983	2 800	7,986	3,317	2 799	7,901
180	4,170	2 839	8,074	3,473	2 838	7,989
200	4,356	2 878	8,159	3,628	2 877	8,074

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$		0,8 bar		1,0 bar		
0	0,001 000 2	0,0	—0,000 1	0,001 000 2	0,1	0,000 1
20	0,001 002	83,9	0,296 3	0,001 002	84,0	0,296 3
40	0,001 008	167,5	0,572 1	0,001 008	167,5	0,572 1
60	0,001 017	251,1	0,831 0	0,001 017	251,2	0,830 9
80	0,001 029	334,9	1,075	0,001 029	335,0	1,075
100	2,126	2 679	7,470	1,696	2 676	7,362
120	2,246	2 719	7,574	1,793	2 717	7,467
140	2,365	2 758	7,672	1,889	2 756	7,566
160	2,484	2 798	7,766	1,984	2 796	7,660
180	2,601	2 837	7,854	2,078	2 836	7,750
200	2,718	2 876	7,940	2,172	2 875	7,835
220	2,835	2 916	8,021	2,266	2 915	7,917
240	2,952	2 955	8,100	2,359	2 955	7,996
260	3,068	2 995	8,176	2,453	2 994	8,072
280	3,184	3 035	8,249	2,546	3 034	8,145
300	3,300	3 075	8,320	2,639	3 075	8,217

$p =$		1,2 bar		1,6 bar		
0	0,001 000 2	0,1	0,000 1	0,001 000 2	0,1	—0,000 1
20	0,001 002	84,0	0,296 3	0,001 002	84,0	0,296 3
40	0,001 008	167,6	0,572 1	0,001 008	167,6	0,572 1
60	0,001 017	251,2	0,830 9	0,001 017	251,2	0,830 9
80	0,001 029	335,0	1,075	0,001 029	335,0	1,075
100	0,001 044	419,1	1,307	0,001 044	419,1	1,307
120	1,490	2 714	7,379	1,112	2 710	7,237
140	1,571	2 755	7,479	1,173	2 751	7,340
160	1,651	2 795	7,573	1,234	2 792	7,436
180	1,730	2 835	7,663	1,294	2 832	7,527
200	1,808	2 874	7,749	1,353	2 873	7,613
220	1,887	2 914	7,832	1,413	2 913	7,696
240	1,965	2 954	7,911	1,471	2 953	7,776
260	2,043	2 994	7,987	1,530	2 993	7,852
280	2,120	3 034	8,061	1,588	3 033	7,926
300	2,198	3 074	8,132	1,647	3 073	7,998

Voda i pregrjana

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	2,0 bar		2,5 bar		
0	0,001 000 1	0,2	0,000 1	0,001 000 1	0,2	-0,000 1
20	0,001 002	84,0	0,296 3	0,001 002	84,1	0,296 2
40	0,001 008	167,6	0,572 0	0,001 008	167,7	0,572 0
60	0,001 017	251,2	0,830 9	0,001 017	251,3	0,830 9
80	0,001 029	335,0	1,075	0,001 029	335,1	1,075
100	0,001 044	419,1	1,307	0,001 044	419,2	1,307
120	0,001 061	503,7	1,528	0,001 061	503,8	1,528
140	0,934 9	2 748	7,230	0,744 0	2 743	7,118
160	0,984 0	2 789	7,328	0,784 0	2 786	7,218
180	1,033	2 830	7,420	0,823 2	2 827	7,312
200	1,080	2 871	7,507	0,862 0	2 866	7,400
220	1,128	2 911	7,591	0,900 4	2 909	7,485
240	1,175	2 951	7,671	0,938 5	2 949	7,565
260	1,222	2 991	7,748	0,976 3	2 990	7,643
280	1,269	3 032	7,822	1,014	3 030	7,717
300	1,316	3 072	7,894	1,052	3 071	7,789
	$p =$	3 bar		4 bar		
0	0,001 000 1	0,3	-0,000 1	0,001 000	0,4	-0,000 1
20	0,001 002	84,1	0,296 2	0,001 002	84,2	0,296 2
40	0,001 008	167,7	0,572 0	0,001 008	167,8	0,572 0
60	0,001 017	251,3	0,830 8	0,001 017	251,4	0,830 8
80	0,001 029	335,1	1,075	0,001 029	335,2	1,075
100	0,001 044	419,2	1,307	0,001 044	419,3	1,307
120	0,001 061	503,8	1,528	0,001 061	503,9	1,527
140	0,616 7	2 779	7,025	0,001 080	589,1	1,739
160	0,650 6	2 782	7,127	0,483 7	2 774	6,981
180	0,683 7	2 824	7,222	0,509 3	2 816	7,079
200	0,716 4	2 866	7,312	0,534 3	2 860	7,171
220	0,748 6	2 907	7,397	0,558 9	2 902	7,258
240	0,780 5	2 948	7,478	0,583 1	2 944	7,340
260	0,812 3	2 988	7,556	0,607 2	2 985	7,419
280	0,843 8	3 029	7,631	0,631 1	3 026	7,495
300	0,875 3	3 070	7,703	0,654 9	3 067	7,568

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	5 bar		6 bar		
0	0,001 000	0,5	-0,000 1	0,001 000	0,6	0,000 1
20	0,001 002	84,3	0,296 2	0,001 002	84,4	0,296 2
40	0,001 008	167,9	0,571 9	0,001 008	168,0	0,571 9
60	0,001 017	251,5	0,830 7	0,001 017	251,6	0,830 7
80	0,001 029	335,3	1,075	0,001 029	335,4	1,075
100	0,001 044	419,4	1,307	0,001 043	419,4	1,307
120	0,001 061	503,9	1,527	0,001 060	504,0	1,527
140	0,001 080	589,2	1,739	0,001 080	589,3	1,739
160	0,383 5	2 766	6,863	0,316 5	2 758	6,764
180	0,404 5	2 811	6,965	0,334 6	2 805	6,869
200	0,425 0	2 855	7,059	0,352 0	2 850	6,966
220	0,445 0	2 898	7,148	0,369 0	2 894	7,057
240	0,464 7	2 940	7,232	0,385 7	2 936	7,142
260	0,484 1	2 982	7,312	0,402 1	2 979	7,223
280	0,503 4	3 023	7,388	0,418 3	3 021	7,300
300	0,522 6	3 065	7,461	0,434 4	3 062	7,374
320	0,541 6	3 106	7,532	0,450 4	3 104	7,445
340	0,560 6	3 147	7,601	0,466 3	3 145	7,514
360	0,579 5	3 189	7,667	0,482 1	3 187	7,581
380	0,598 4	3 230	7,732	0,497 9	3 229	7,646
400	0,617 2	3 272	7,795	0,513 6	3 271	7,709
420	0,635 9	3 314	7,856	0,529 3	3 313	7,771
440	0,654 7	3 356	7,916	0,545 0	3 355	7,831
460	0,673 4	3 398	7,975	0,560 6	3 397	7,889
480	0,692 1	3 441	8,032	0,576 2	3 440	7,947
500	0,710 8	3 484	8,089	0,591 8	3 483	8,003
520	0,729 4	3 527	8,143	0,607 4	3 526	8,058
540	0,748 1	3 570	8,197	0,623 0	3 569	8,112
560	0,766 7	3 614	8,250	0,638 6	3 613	8,165
580	0,785 3	3 657	8,302	0,654 1	3 657	8,217
600	0,803 9	3 702	8,353	0,669 6	3 701	8,268
620	0,822 5	3 746	8,401	0,685 1	3 745	8,318
640	0,841 1	3 790	8,452	0,700 7	3 790	8,367

Voda i pare (nastavak)

Toplinska svojstva pri

specifični volumen  $v$ , specifična

entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$

entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p$			10 bar			
8 bar						
0	0,001 000	0,8	-11,000 1	0,001 030	1,0	-0,000 1
20	0,001 001	84,6	0,296 1	0,001 031	84,8	0,296 1
40	0,001 008	168,2	0,571 8	0,001 007	168,3	0,571 7
60	0,001 017	251,7	0,840 6	0,001 017	251,9	0,840 5
80	0,001 029	335,5	1,075	0,001 029	335,7	1,075
100	0,001 043	419,6	1,306	0,001 043	419,7	1,306
120	0,001 060	504,1	1,527	0,001 060	504,3	1,527
140	0,001 080	589,4	1,739	0,001 080	589,5	1,738
160	0,001 102	675,6	1,942	0,001 102	675,7	1,942
180	0,247 1	2 791	6,712	0,194 4	2 777	6,584
200	0,260 8	2 834	6,815	0,205 9	2 827	6,692
220	0,274 0	2 884	6,909	0,216 9	2 875	6,791
240	0,286 9	2 929	6,998	0,227 6	2 921	6,883
260	0,299 5	2 972	7,081	0,237 9	2 965	6,968
280	0,311 9	3 015	7,160	0,248 0	3 009	7,049
300	0,324 1	3 057	7,235	0,258 0	3 052	7,125
320	0,336 1	3 099	7,307	0,267 8	3 095	7,198
340	0,348 3	3 141	7,377	0,277 6	3 137	7,269
360	0,360 3	3 183	7,444	0,287 3	3 180	7,337
380	0,372 3	3 225	7,509	0,296 9	3 222	7,403
400	0,384 2	3 268	7,571	0,306 5	3 264	7,467
420	0,396 0	3 310	7,635	0,316 0	3 307	7,529
440	0,407 8	3 352	7,695	0,325 6	3 350	7,589
460	0,419 6	3 393	7,754	0,335 0	3 392	7,648
480	0,431 4	3 438	7,812	0,344 5	3 435	7,706
500	0,443 2	3 481	7,868	0,354 0	3 478	7,763
520	0,454 9	3 524	7,923	0,363 4	3 522	7,818
540	0,466 6	3 567	7,977	0,372 8	3 565	7,872
560	0,478 3	3 611	8,030	0,382 2	3 609	7,926
580	0,490 0	3 653	8,082	0,391 6	3 653	7,978
600	0,501 7	3 699	8,134	0,401 0	3 697	8,029
620	0,513 4	3 744	8,184	0,410 4	3 742	8,080
640	0,525 1	3 788	8,233	0,419 7	3 787	8,129

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
$p =$			12 bar		16 bar	
0	0,001 000	1,3	-0,000 1	0,000 999 4	1,6	0,000 0
20	0,001 001	85,0	0,296 1	0,001 001	85,4	0,296 0
40	0,001 007	168,5	0,571 7	0,001 007	168,9	0,571 5
60	0,001 017	252,1	0,840 4	0,001 016	252,4	0,840 1
80	0,001 029	335,8	1,075	0,001 028	336,1	1,074
100	0,001 043	419,9	1,306	0,001 043	420,2	1,306
120	0,001 060	504,4	1,527	0,001 060	504,7	1,526
140	0,001 080	589,6	1,738	0,001 079	589,9	1,738
160	0,001 102	675,8	1,942	0,001 102	676,0	1,941
180	0,001 127	763,2	2,139	0,001 127	763,4	2,139
200	0,169 2	2 814	6,587	0,001 156	852,4	2,331
220	0,178 8	2 865	6,691	0,131 0	2 843	6,524
240	0,187 9	2 912	6,786	0,136 3	2 895	6,626
260	0,196 8	2 958	6,874	0,141 3	2 944	6,720
280	0,205 4	3 003	6,956	0,145 1	2 991	6,806
300	0,213 9	3 047	7,034	0,148 7	3 036	6,887
320	0,222 2	3 090	7,109	0,152 1	3 081	6,964
340	0,230 4	3 133	7,180	0,155 4	3 125	7,037
360	0,238 6	3 176	7,248	0,158 7	3 169	7,107
380	0,246 7	3 219	7,315	0,162 0	3 212	7,174
400	0,254 7	3 261	7,379	0,165 1	3 255	7,239
420	0,262 7	3 304	7,442	0,168 1	3 298	7,303
440	0,270 7	3 347	7,502	0,171 1	3 341	7,364
460	0,278 7	3 390	7,562	0,174 0	3 385	7,424
480	0,286 6	3 433	7,620	0,176 9	3 428	7,482
500	0,294 5	3 476	7,677	0,179 7	3 472	7,540
520	0,302 4	3 520	7,732	0,182 5	3 515	7,595
540	0,310 3	3 563	7,786	0,185 3	3 559	7,650
560	0,318 1	3 607	7,840	0,188 0	3 604	7,704
580	0,326 0	3 651	7,892	0,190 7	3 648	7,756
600	0,333 8	3 696	7,944	0,193 4	3 693	7,808
620	0,341 7	3 740	7,994	0,196 1	3 737	7,859
640	0,349 5	3 785	8,044	0,198 7	3 782	7,909

Voda i pregrijana vodena para (nastavak)

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$   
entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	20 bar		25 bar		
0	0,000 999 2	2,0	-0,000 0	0,000 999 0	2,5	0,000 0
20	0,001 007	85,7	0,295 9	0,001 001	86,2	0,295 8
40	0,001 007	169,2	0,571 3	0,001 007	169,7	0,571 1
60	0,001 016	252,7	0,829 9	0,001 016	253,2	0,829 7
80	0,001 028	336,5	1,074	0,001 028	336,9	1,074
100	0,001 043	420,5	1,305	0,001 043	420,9	1,305
120	0,001 060	505,0	1,526	0,001 059	505,3	1,526
140	0,001 079	590,2	1,737	0,001 079	590,5	1,737
160	0,001 101	676,3	1,941	0,001 101	676,6	1,940
180	0,001 127	763,6	2,138	0,001 126	763,9	2,137
200	0,001 156	852,6	2,330	0,001 156	852,8	2,329
220	0,102 1	2 620	6,363	0,001 190	943,7	2,518
240	0,106 4	2 876	6,494	0,084 36	2 851	6,352
260	0,114 4	2 928	6,594	0,089 51	2 907	6,461
280	0,120 0	2 978	6,685	0,094 33	2 960	6,558
300	0,125 5	3 025	6,770	0,099 93	3 010	6,647
320	0,130 8	3 071	6,849	0,103 4	3 059	6,730
340	0,136 0	3 116	6,924	0,107 6	3 105	6,807
360	0,141 1	3 161	6,995	0,111 8	3 151	6,880
380	0,146 1	3 205	7,064	0,116 0	3 196	6,951
400	0,151 1	3 249	7,130	0,120 0	3 241	7,018
420	0,156 1	3 292	7,194	0,124 1	3 285	7,083
440	0,161 0	3 336	7,256	0,128 1	3 329	7,146
460	0,165 9	3 380	7,316	0,132 0	3 373	7,207
480	0,170 7	3 423	7,375	0,136 0	3 418	7,266
500	0,175 6	3 467	7,432	0,139 9	3 462	7,324
520	0,180 4	3 511	7,489	0,143 8	3 506	7,381
540	0,185 2	3 556	7,544	0,147 7	3 551	7,436
560	0,190 0	3 600	7,597	0,151 5	3 595	7,490
580	0,194 7	3 644	7,650	0,155 4	3 640	7,543
600	0,199 5	3 689	7,702	0,159 2	3 685	7,596
620	0,204 3	3 734	7,753	0,163 0	3 730	7,647
640	0,209 0	3 779	7,803	0,166 9	3 776	7,697

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	30 bar		40 bar		
0	0,000 998 7	3,0	0,000 1	0,000 998 2	4,0	0,000 2
20	0,001 000	86,7	0,295 7	0,000 999 9	87,6	0,295 5
40	0,001 007	170,1	0,571 0	0,001 006	171,0	0,570 6
60	0,001 016	253,6	0,829 4	0,001 015	254,4	0,828 9
80	0,001 028	337,1	1,073	0,001 027	338,1	1,073
100	0,001 042	421,2	1,305	0,001 042	422,0	1,304
120	0,001 059	505,7	1,526	0,001 058	506,4	1,524
140	0,001 078	590,8	1,736	0,001 078	591,5	1,735
160	0,001 101	676,9	1,940	0,001 100	677,5	1,939
180	0,001 126	764,1	2,137	0,001 125	764,6	2,135
200	0,001 155	853,0	2,328	0,001 154	853,4	2,327
220	0,001 189	943,9	2,517	0,001 188	944,1	2,515
240	0,0168 16	2 823	6,224	0,001 228	1 039	2,701
260	0,012 81	2 885	6,343	0,051 32	2 836	6,135
280	0,011 12	2 942	6,448	0,055 44	2 902	6,258
300	0,091 16	3 995	6,542	0,058 83	2 962	6,364
320	0,085 00	3 045	6,629	0,062 00	3 018	6,459
340	0,085 71	3 094	6,709	0,064 99	3 070	6,546
360	0,092 32	3 141	6,784	0,067 87	3 120	6,627
380	0,095 84	3 187	6,856	0,070 66	3 168	6,702
400	0,099 31	3 233	6,925	0,073 38	3 216	6,773
420	0,102 7	3 278	6,991	0,076 04	3 262	6,841
440	0,106 1	3 322	7,054	0,078 66	3 308	6,907
460	0,109 5	3 367	7,116	0,081 25	3 354	6,970
480	0,112 8	3 412	7,176	0,083 81	3 400	7,031
500	0,116 1	3 456	7,235	0,086 34	3 445	7,091
520	0,119 4	3 501	7,292	0,088 86	3 490	7,149
540	0,122 6	3 546	7,347	0,091 35	3 536	7,206
560	0,125 9	3 591	7,402	0,093 84	3 581	7,261
580	0,129 1	3 636	7,455	0,096 31	3 627	7,315
600	0,132 3	3 681	7,508	0,098 76	3 673	7,369
620	0,135 6	3 727	7,559	0,101 2	3 719	7,420
640	0,138 8	3 772	7,610	0,103 6	3 765	7,471

Voda i pregrizana

Toplinska svojstva pri

specifični volumen  $v$ , specifična

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	50 bar		60 bar		
0	0,000 997 7	5,1	0,000 2	0,000 997 2	6,1	0,000 3
20	0,000 999 5	88,6	0,295 2	0,000 999 0	89,5	0,293 0
40	0,001 006	171,9	0,570 2	0,001 005	172,7	0,569 8
60	0,001 015	255,3	0,828 3	0,001 014	256,1	0,827 8
80	0,001 027	338,8	1,072	0,001 026	339,6	1,071
100	0,001 041	422,7	1,303	0,001 041	423,5	1,302
120	0,001 058	507,1	1,523	0,001 057	507,8	1,522
140	0,001 077	592,1	1,734	0,001 076	592,8	1,733
160	0,001 099	678,1	1,937	0,001 098	678,6	1,936
180	0,001 124	765,2	2,134	0,001 123	765,7	2,133
200	0,001 153	853,8	2,325	0,001 152	854,2	2,324
220	0,001 187	944,4	2,511	0,001 185	944,7	2,511
240	0,001 226	1 038	2,698	0,001 225	1 038	2,696
260	0,001 275	1 135	2,884	0,001 273	1 135	2,881
280	0,002 22	2 857	6,089	0,003 17	2 805	5,927
300	0,045 30	2 926	6,211	0,036 14	2 865	6,069
320	0,048 10	2 987	6,316	0,038 74	2 954	6,188
340	0,050 70	3 044	6,411	0,041 11	3 017	6,291
360	0,053 16	3 098	6,497	0,043 30	3 074	6,384
380	0,055 51	3 149	6,576	0,045 39	3 128	6,468
400	0,057 79	3 198	6,651	0,047 38	3 180	6,546
420	0,060 01	3 247	6,722	0,049 31	3 230	6,620
440	0,062 18	3 294	6,789	0,051 18	3 279	6,689
460	0,064 31	3 341	6,854	0,053 02	3 327	6,756
480	0,066 42	3 387	6,916	0,054 82	3 375	6,820
500	0,068 49	3 434	6,977	0,056 59	3 422	6,882
520	0,070 55	3 480	7,036	0,058 34	3 469	6,942
540	0,072 59	3 526	7,093	0,060 08	3 516	7,000
560	0,074 61	3 572	7,149	0,061 79	3 563	7,057
580	0,076 62	3 618	7,204	0,063 49	3 609	7,112
600	0,078 62	3 665	7,258	0,065 18	3 656	7,166
620	0,080 60	3 711	7,310	0,066 86	3 703	7,220
640	0,082 58	3 757	7,362	0,068 53	3 750	7,272

vodena para (nastavak)

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$

entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p =$	80 bar		100 bar		
0	0,000 996 2	6,1	0,000 4	0,000 995 3	10,1	0,000 5
20	0,000 998 1	91,4	0,294 6	0,000 997 2	93,2	0,294 2
40	0,001 004	174,5	0,569 0	0,001 003	176,3	0,568 2
60	0,001 014	257,8	0,826 7	0,001 013	259,4	0,825 7
80	0,001 025	341,2	1,070	0,001 025	342,8	1,069
100	0,001 040	425,0	1,301	0,001 039	426,5	1,299
120	0,001 056	509,2	1,521	0,001 055	510,6	1,519
140	0,001 075	594,1	1,731	0,001 074	595,4	1,729
160	0,001 097	679,8	1,934	0,001 095	681,0	1,932
180	0,001 122	766,7	2,130	0,001 120	767,8	2,127
200	0,001 150	855,1	2,321	0,001 148	855,9	2,318
220	0,001 183	945,3	2,508	0,001 181	945,9	2,504
240	0,001 222	1 038	2,692	0,001 219	1 038	2,688
260	0,001 269	1 135	2,876	0,001 265	1 134	2,871
280	0,001 328	1 236	3,063	0,001 322	1 235	3,056
300	0,024 26	2 787	5,794	0,001 398	1 343	3,249
320	0,026 81	2 879	5,952	0,019 26	2 784	5,715
340	0,028 96	2 955	6,079	0,021 47	2 883	5,880
360	0,030 88	3 023	6,187	0,023 31	2 965	6,011
380	0,032 65	3 084	6,283	0,024 93	3 036	6,121
400	0,034 31	3 142	6,369	0,026 41	3 100	6,218
420	0,035 89	3 196	6,449	0,027 79	3 150	6,306
440	0,037 40	3 249	6,524	0,029 11	3 206	6,386
460	0,038 87	3 300	6,595	0,030 36	3 271	6,461
480	0,040 30	3 350	6,662	0,031 58	3 323	6,532
500	0,041 70	3 399	6,726	0,032 76	3 375	6,599
520	0,043 08	3 447	6,788	0,033 91	3 425	6,664
540	0,044 43	3 496	6,848	0,035 04	3 475	6,726
560	0,045 77	3 544	6,907	0,036 15	3 525	6,786
580	0,047 09	3 592	6,964	0,037 24	3 574	6,845
600	0,048 39	3 640	7,019	0,038 32	3 623	6,901
620	0,049 69	3 687	7,073	0,039 39	3 672	6,957
640	0,050 97	3 735	7,126	0,040 44	3 720	7,011

Voda i pregrijana

vodena para (nastavak)

Toplinska svojstva pri  
specifični volumen  $v$ , specifična

tlaku  $p$  i temperaturi  $t$

entalpija  $h$ , specifična entropija  $s$

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p$	120 bar		160 bar		
0	0,000 994 3	12,1	0,000 6	0,000 992 3	16,1	0,000 8
20	0,000 996 3	95,1	0,293 7	0,000 994 6	98,8	0,292 8
40	0,001 003	178,0	0,567 4	0,001 001	181,6	0,565 9
60	0,001 012	263,1	0,824 6	0,001 010	264,5	0,822 5
80	0,001 024	344,4	1,067	0,001 022	347,6	1,065
100	0,001 038	428,0	1,298	0,001 036	431,0	1,295
120	0,001 054	512,1	1,517	0,001 052	514,9	1,514
140	0,001 073	596,7	1,727	0,001 070	599,4	1,723
160	0,001 094	682,2	1,929	0,001 091	684,6	1,925
180	0,001 118	768,8	2,125	0,001 115	771,0	2,120
200	0,001 146	856,8	2,315	0,001 142	858,6	2,309
220	0,001 178	946,6	2,500	0,001 174	947,9	2,494
240	0,001 216	1 039	2,684	0,001 210	1 039	2,676
260	0,001 261	1 134	2,866	0,001 254	1 134	2,856
280	0,001 317	1 234	3,050	0,001 307	1 233	3,038
300	0,001 390	1 341	3,240	0,001 374	1 337	3,224
320	0,001 494	1 461	3,445	0,001 467	1 452	3,421
340	0,016 19	2 795	5,675	0,001 618	1 588	3,646
360	0,018 11	2 898	5,841	0,011 04	2 717	5,463
380	0,019 69	2 982	5,971	0,012 87	2 851	5,673
400	0,021 08	3 055	6,081	0,014 27	2 951	5,824
420	0,022 36	3 121	6,178	0,015 46	3 034	5,946
440	0,023 55	3 182	6,265	0,016 53	3 108	6,050
460	0,024 67	3 240	6,345	0,017 51	3 175	6,143
480	0,025 75	3 296	6,420	0,018 42	3 237	6,227
500	0,026 79	3 350	6,491	0,019 29	3 297	6,305
520	0,027 79	3 402	6,558	0,020 13	3 355	6,379
540	0,028 77	3 454	6,622	0,020 93	3 410	6,448
560	0,029 73	3 505	6,684	0,021 71	3 465	6,514
580	0,030 68	3 556	6,744	0,022 46	3 518	6,578
600	0,031 60	3 606	6,802	0,023 20	3 571	6,639
620	0,032 52	3 656	6,859	0,023 93	3 623	6,698
640	0,033 42	3 705	6,914	0,024 64	3 675	6,755

$t$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg K
	$p$	200 bar		250 bar		
0	0,000 990 4	20,1	0,000 8	0,000 988 1	25,1	0,000 9
20	0,000 992 9	102,5	0,291 9	0,000 990 7	107,1	0,290 7
40	0,000 999 2	185,1	0,564 3	0,000 997 1	189,4	0,562 3
60	0,001 008	267,8	0,820 4	0,001 006	272,0	0,817 8
80	0,001 020	350,8	1,062	0,001 018	354,8	1,059
100	0,001 034	434,0	1,292	0,001 031	437,8	1,288
120	0,001 050	517,7	1,510	0,001 047	521,3	1,506
140	0,001 068	602,0	1,719	0,001 065	605,4	1,714
160	0,001 089	687,1	1,920	0,001 085	690,2	1,915
180	0,001 112	773,1	2,115	0,001 108	775,9	2,108
200	0,001 139	860,4	2,303	0,001 134	862,8	2,296
220	0,001 169	949,3	2,487	0,001 164	951,2	2,479
240	0,001 205	1 040	2,668	0,001 198	1 042	2,658
260	0,001 247	1 134	2,847	0,001 238	1 134	2,836
280	0,001 297	1 231	3,026	0,001 286	1 230	3,013
300	0,001 361	1 334	3,209	0,001 345	1 331	3,192
320	0,001 445	1 446	3,400	0,001 421	1 439	3,376
340	0,001 570	1 573	3,610	0,001 527	1 558	3,574
360	0,001 827	1 743	3,884	0,001 698	1 701	3,804
380	0,008 246	2 660	5,317	0,002 240	1 941	4,176
400	0,009 947	2 821	5,559	0,006 024	2 582	5,146
420	0,011 20	2 933	5,723	0,007 580	2 774	5,427
440	0,012 24	3 024	5,852	0,008 696	2 902	5,609
460	0,013 15	3 103	5,962	0,009 609	3 002	5,748
480	0,013 99	3 174	6,058	0,010 41	3 087	5,864
500	0,014 77	3 241	6,146	0,011 13	3 166	5,966
520	0,015 51	3 304	6,226	0,011 80	3 238	6,057
540	0,016 21	3 365	6,302	0,012 42	3 305	6,141
560	0,016 88	3 423	6,372	0,013 01	3 369	6,218
580	0,017 53	3 480	6,440	0,013 58	3 430	6,291
600	0,018 16	3 536	6,504	0,014 13	3 490	6,360
620	0,018 78	3 590	6,566	0,014 65	3 548	6,426
640	0,019 38	3 644	6,626	0,015 17	3 605	6,490

## Zasićena para

## rastopljenih tvari

Toplinska svojstva

pri temperaturi  $t$ ,tlak  $p$ ; specifični volumen  $v'$ ,  $v''$ ;specifična entalpija  $h'$ ,  $h''$ ; specifična entropija  $s'$ ,  $s''$ 

$t$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
-----------	------------	----------------------------	-----------------------------	---------------	----------------	-----------------	------------------

$t$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg	$s'$ kJ/kg K	$s''$ kJ/kg K
-----------	------------	----------------------------	-----------------------------	---------------	----------------	-----------------	------------------

Uglijeni dioksid CO<sub>2</sub>

## Krušina — para

100	0,139	0,000 627	2,316	-373	212	-1,676	1,704
- 80	0,896	0,000 639	0,398	-350	224	-1,549	1,422
- 60	4,10	0,000 657	0,091 2	-319	231	-1,400	1,180
- 36,6	5,18	0,000 661	0,072 2	-313	231	-1,371	1,140

## Kapljevina — para

- 56,6	5,18	0,000 849	0,072 2	-117	231	-0,467	1,140
- 50	6,84	0,000 867	0,055 4	105	233	-0,410	1,101
- 40	10,05	0,000 897	0,038 2	- 85,4	235	-0,327	1,048
- 30	14,27	0,000 931	0,027 0	- 66,1	237	-0,248	0,998
- 25	16,81	0,000 950	0,022 9	- 56,5	237	-0,209	0,975
- 20	19,67	0,000 971	0,019 5	- 46,5	237	-0,170	0,951
- 15	22,89	0,000 994	0,016 6	- 36,0	237	-0,130	0,928
- 10	26,47	0,001 019	0,014 2	- 24,7	237	-0,089 2	0,905
- 5	30,45	0,001 048	0,012 1	13,0	236	-0,046 0	0,883
0	34,85	0,001 081	0,010 4	0	235	0	0,860
5	39,72	0,001 120	0,008 85	13,0	232	0,043 1	0,831
10	45,06	0,001 166	0,007 52	27,2	229	0,091 3	0,802
15	50,93	0,001 223	0,006 32	42,3	223	0,142	0,768
20	57,33	0,001 298	0,005 26	58,6	214	0,196	0,726
25	64,32	0,001 417	0,004 17	78,7	196	0,263	0,663
30	71,92	0,001 677	0,002 99	108	172	0,357	0,566
31	73,51	0,002 156	0,002 16	140	140	0,460	0,460

Sumporni dioksid SO<sub>2</sub>

- 50	0,119	0,000 642	2,429	- 61,5	353	-0,252	1,607
- 40	0,218	0,000 652	1,378	- 50,2	359	-0,198	1,557
- 30	0,380	0,000 663	0,819	- 37,7	365	-0,146	1,509
- 20	0,635	0,000 674	0,507	- 25,5	370	-0,097 1	1,465
- 10	1,014	0,000 686	0,328	- 13,0	375	-0,049 8	1,423
0	1,554	0,000 697	0,220	0	379	0	1,388
10	2,296	0,000 710	0,154	13,4	383	0,050 7	1,357
20	3,284	0,000 723	0,108	27,2	387	0,101	1,328
30	4,566	0,000 738	0,079	41,0	391	0,150	1,302
40	6,186	0,000 754	0,059	55,7	393	0,197	1,277
50	8,189	0,000 772	0,045	69,9	396	0,245	1,254

Amonijak NH<sub>3</sub>

- 70	0,168	0,001 379	9,01	310,2	1 154	-1,307	5,903
- 60	0,219	0,001 401	4,70	-267,5	1 171	-1,103	5,653
- 50	0,409	0,001 425	2,62	235,2	1 189	-0,907 5	5,433
- 40	0,718	0,001 449	1,55	-180,8	1 206	-0,713 7	5,237
- 30	1,195	0,001 476	0,963	-136,5	1 221	-0,526 6	5,061
- 25	1,516	0,001 490	0,772	-114,3	1 229	-0,435 3	4,980
- 20	1,913	0,001 504	0,624	91,3	1 237	-0,345 8	4,902
- 15	2,363	0,001 519	0,509	- 68,7	1 244	-0,257 4	4,827
- 10	2,909	0,001 534	0,419	- 46,0	1 250	-0,170 4	4,756
- 5	3,549	0,001 550	0,347	- 23,0	1 256	-0,084 6	4,688
0	4,294	0,001 566	0,290	0	1 262	0	4,622
5	5,157	0,001 583	0,244	23,0	1 268	0,083 7	4,558
10	6,150	0,001 601	0,206	46,5	1 272	0,166 2	4,496
15	7,281	0,001 619	0,175	69,9	1 277	0,247 8	4,436
20	8,572	0,001 639	0,149	93,8	1 280	0,328 6	4,378
25	10,03	0,001 659	0,128	117,6	1 284	0,408 6	4,322
30	11,67	0,001 680	0,111	141,5	1 287	0,487 7	4,266
40	15,54	0,001 726	0,083 2	190,5	1 291	0,643 8	4,158
50	20,33	0,001 777	0,063 5	240,3	1 292	0,797 0	4,052

Monoklorometan (metilklorid) CH<sub>3</sub>Cl

- 30	0,772	0,000 986	0,528	- 46,0	488	-0,178 4	1,610
- 20	1,177	0,001 004	0,354	- 31,0	394	-0,118 6	1,563
- 10	1,750	0,001 022	0,241	15,5	400	-0,057 8	1,527
0	2,521	0,001 042	0,168	0	406	0	1,486
10	3,552	0,001 063	0,120	15,9	411	0,056 5	1,453
20	4,889	0,001 085	0,087 3	31,8	416	0,111 8	1,423
30	6,586	0,001 109	0,065 1	47,7	420	0,165 8	1,395
40	8,702	0,001 134	0,051 1	64,0	424	0,218 5	1,371

Diklorometan (metilenklorid) CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

- 20	0,0559	—	4,14	- 28,5	353	0,112	1,399
- 10	0,109	—	2,35	14,2	358	-0,051 2	1,363
0	0,188	—	1,42	0	363	0	1,331
10	0,299	—	0,92	14,2	368	0,047 7	1,297
20	0,469	0,001 749	0,61	28,5	372	0,091 3	1,263
30	0,693	—	0,417	44,0	377	0,131	1,232

## Zasićena para

Toplinska svojstva  
tlak  $p$ ; specifični volumen  $v'$ ,  $v''$ ;

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg
<b>R 11 monofluortriklorometan CFCl<sub>3</sub></b>					
-40	0,051	0,000 616 7	2,760	33,20	170,3
-30	0,092	0,000 625 0	1,573	25,00	175,3
-20	0,157	0,000 633 5	0,963	16,71	180,3
-10	0,256	0,000 642 5	0,616	8,374	185,3
0	0,402 1	0,000 651 9	0,405	0,000	190,4
10	0,605 6	0,000 661 4	0,277	8,457	195,5
20	0,886 5	0,000 672 2	0,194	17,04	200,5
30	1,261	0,000 683 3	0,140	25,71	205,5
40	1,748	0,000 695 0	0,103	34,50	210,5
50	2,357	0,000 707 5	0,077	43,46	215,3
<b>R 12 — difluordiklorometan C F<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>					
-70	0,123 4	0,000 623 4	1,126	39,29	120,9
0	0,227 0	0,000 634 9	0,639 4	51,58	125,6
50	0,392 2	0,000 646 8	0,385 4	47,58	130,5
40	0,642 4	0,000 659 2	0,244 1	35,48	135,5
30	1,015	0,000 672 5	0,161 3	26,92	140,4
20	1,510	0,000 686 8	0,110 7	18,27	145,3
10	2,191	0,000 701 8	0,078 13	9,211	150,2
0	3,086	0,000 717 3	0,056 67	0,000	154,9
10	4,230	0,000 734 7	0,042 04	9,462	159,4
20	5,667	0,000 752 4	0,031 75	19,22	163,8
30	7,434	0,000 771 4	0,024 43	29,18	167,8
40	9,582	0,000 796 8	0,018 82	39,40	171,4
<b>R 13 trifluoromonoklorometan C F<sub>3</sub>Cl</b>					
100	0,352 6	0,000 626	0,407 0	-100,5	57,99
80	1,095	0,000 658	0,134 2	-82,86	66,40
60	2,817	0,000 695	0,055 42	-64,18	74,44
50	4,204	0,000 717	0,037 74	54,30	78,13
40	6,051	0,000 741	0,026 42	44,00	81,56
30	8,394	0,000 769	0,018 69	33,45	84,53
20	11,47	0,000 802	0,013 75	22,57	86,96
10	15,15	0,000 842	0,010 10	11,47	88,84
0	19,70	0,000 894	0,007 47	0,000	89,93
10	25,19	0,000 962	0,005 49	12,52	89,68
20	31,78	0,001 079	0,003 829	28,26	86,21

## rastopljena tvar (nastavak)

pri temperaturi  $t_s$   
specifična entalpija  $h'$ ,  $h''$

$t_s$ °C	$p$ bar	$v'$ m <sup>3</sup> /kg	$v''$ m <sup>3</sup> /kg	$h'$ kJ/kg	$h''$ kJ/kg
<b>R 13 B1 — trifluoromonobrommetan CF<sub>3</sub>Br</b>					
-100	0,077 18	0,000 462 0	1,246	-66,57	61,96
-80	0,305 0	0,000 479 5	0,347 7	-54,85	69,50
-60	0,908 1	0,000 499 6	0,126 2	-42,71	76,20
-50	1,445	0,000 510 8	0,081 8	-36,01	79,55
40	2,200	0,000 523 1	0,055 11	-29,31	82,90
30	1,221	0,000 536 6	0,038 35	-22,09	86,25
20	1,568	0,000 551 5	0,027 42	-15,07	88,76
10	6,292	0,000 568 7	0,020 04	-7,536	91,69
0	8,454	0,000 587 2	0,014 91	0,000	94,20
10	11,12	0,000 609 2	0,011 25	7,955	96,30
20	14,35	0,000 635 2	0,008 559	16,33	98,39
30	18,22	0,000 667 1	0,006 536	24,70	99,65
40	22,81	0,000 708 4	0,004 969	33,49	100,5
<b>R 21 — monofluordiklorometan C H F Cl<sub>2</sub></b>					
20	0,283 5	0,000 679 8	0,716 9	-20,56	276,6
10	0,457 6	0,000 690 3	0,458 7	-10,30	241,7
0	0,708 6	0,000 701 4	0,303 3	0,000	246,7
10	1,059	0,000 713 1	0,210 3	10,47	252,2
20	1,532	0,000 725 5	0,149 1	20,89	257,2
30	2,156	0,000 738 6	0,108 4	31,48	262,4
40	2,959	0,000 752 3	0,080 4	42,20	267,4
50	3,970	0,000 767 2	0,060 7	53,00	271,2
<b>R 22 — difluoromonoklorometan C H F<sub>2</sub>Cl</b>					
-100	0,020 6	0,000 640 9	8,340	-108,4	158,8
-80	0,103 0	0,000 661 2	1,775	-87,34	168,7
-60	0,374 6	0,000 682 4	0,535	-66,36	178,9
-50	0,647 2	0,000 695 0	0,323	-55,68	183,8
40	1,055	0,000 708 6	0,205	-44,92	188,9
30	1,647	0,000 723 5	0,135	-33,91	193,6
20	2,461	0,000 740 5	0,092 9	-22,69	198,7
10	3,560	0,000 758 2	0,065 4	-11,51	202,9
0	5,001	0,000 778 3	0,047 1	0,000	207,0
10	6,855	0,000 800 4	0,034 6	12,64	210,8
20	9,169	0,000 824 4	0,025 8	25,67	214,1
30	12,02	0,000 850 1	0,019 4	39,52	216,8
40	15,45	0,000 883 0	0,014 8	53,47	218,2



### Promjene stanja parc

računamo pomoću tablica odnosno dijagrama za vodenu paru (Oznake velično v. str. 157 do 160 i 168).

a) Izohora  $V = \text{konst}$   $v = 1/\rho = V/m = \text{konst}$

Za određeni tlak  $p$  uz odgovarajuće vrijednosti  $v'$  i  $v''$  vrijedi

$v < v'$	tekućina
$v' < v < v''$	mokra para
$v'' < v$	pregrijava para

Odgovarajuće temperature i ostale veličine određujemo iz tablica ili dijagrama.

Apsolutni rad	$A = 0$
Toplina	$Q = m(h_2 - h_1) \quad V(p_2 = p_1)$

b) Izobara i izoterma

U području mokre pare svakom tlaku  $p$  odgovara točno određena temperatura  $T_s$ . Izobara je, dakle, ovdje identična s izotermom, dok se izvan područja mokre pare od nje bitno razlikuje.

$p = \text{konst}$	Apsolutni rad	$A = p(V_2 - V_1)$
	Toplina	$Q = H_2 - H_1 = m(h_2 - h_1)$
$T = \text{konst}$	Apsolutni rad	$A = \int p dV$
	Toplina	$Q = T(S_2 - S_1) = mT(s_2 - s_1)$

c) Izentropa

Kao kod plinova, upotrebljavamo i kod para za izentropu jednadžbu

$$pV^\kappa = \text{konst}$$

gdje je  $\kappa$  samo empirijski određena vrijednost i nije ni u kojoj vezi sa specifičnim toplinskim kapacitetima  $c_p$  i  $c_v$  (u zasićenom je području  $c_p = \infty$ ).

Vrijednost  $\kappa$  iznosi za vodenu paru:

u pregrijanom području ( $p < 25 \text{ bar}$ )	$\kappa = 1,30$
u zasićenom području	
- za suho zasićenu paru ( $x = 1$ )	$\kappa = 1,135$
- za mokru paru ( $x > 0,75$ )	$\kappa = 1,035 + 0,1x$

d) Prigušivanje pare  $h = \text{konst}$

Za razliku od plinova, za koje pri prigušivanju vrijedi  $T = \text{konst}$ , temperatura se pare pri prigušivanju mijenja («Joule-Thomsonov efekt»)

$$T = \text{konst}$$

Ispod određene temperature («temperatura inverzije») temperatura pare pri prigušivanju pada, a iznad nje raste. Temperatura inverzije iznosi šestorostruku do sedmerostruku vrijednost kritične temperature (K).

### SMJESE PLINOVA I PARA

Ukupni tlak smjese jednak je zbroju parcijalnih tlakova sastavnih smjese (kao kod smjesa plinova – vidi str. 167).

Po Daltonovu je zakonu smjesa pare i plina u ravnoteži s tekućinom koja ishlapljuje kada parcijalni tlak pare  $p'$  dosegne tlak zasićene pare  $p_s$  pri odgovarajućoj temperaturi. To je stanje zasićenosti smjese.

Stanje zasićenosti se narušava promjenom temperature. Pri povećanju temperature raste tlak zasićene pare ( $p_s > p'$ ), smjesa postaje nezasićenom (a para u njoj pregrijava), te je sposobna primiti nove količine pare koje počinje ishlapljivati iz tekućine (sušenje). Pri padu temperature pada i tlak zasićene pare ( $p_s < p'$ ), smjesa više ne može zadržati sve količine pare pa se iz smjese počinje izlučivati suvišak tekućine (rošenje).

#### Smjesa zraka i vodene pare (vlažan zrak)

Vlažnost  $x$  (apsolutna vlaga) je omjer vodene pare  $m_v$  i mase suhog zraka  $m_z$  u vlažnom zraku

$$x = m_v/m_z = (R_z/R_v)p'(p - p') = 0,622 p'(p - p')$$

Plinske konstante za zrak i vodenu paru

$$R_z = 0,287 \text{ kJ/kg K} \quad R_v = R_{m0}/m_{v0} = 8,314/18 = 0,462 \text{ kJ/kg K}$$

$p'$  je parcijalni tlak vodene pare,  $p$  je ukupni tlak smjese,  $p - p' = p_z$  je parcijalni tlak suhog zraka.

$$\text{Vlažnost pri zasićenju } (p' = p_s): \quad x_s = 0,622 p_s/(p - p_s)$$

$$\text{Stupanj zasićenosti} \quad \psi = x/x_s$$

Relativna vlažnost  $\psi$  jest omjer parcijalnog tlaka vodene pare  $p'$  i tlaka zasićenja  $p_s$

$$\psi = p'/p_s \quad (1 = \psi)$$

Specifična entalpija smjese (kJ/kg\*) u nezasićenom području s obzirom na izhodište pri leđištu vode, (gdje je  $h = 0$ ) bit će

$$h = c_{pz}t + x(c'_{pv}t + r)$$

gdje znače: - specifični toplinski kapacitet zraka	$c_{pz}$	1,005 kJ/kg K
- specifični toplinski kapacitet vodne pare	$c'_{pv}$	1,926 kJ/kg K
toplina isparivanja vode (pri 0°C)	$r$	2500 kJ/kg

$t$  je temperatura u °C pa je

$$h = 1,005 t + x(1,926 t + 2500)$$

Pri potpunom zasićenju ( $p' = p_s$ ,  $x = x_s$ ) je  $h = h_s$ .

Toplinska svojstva suhog i zasićenoga zraka pri raznim temperaturama su sabrana na str. 194, za vlažni zrak (nezasićen) na str. 195 do 197. Sve se promjene stanja vlažnog zraka najbolje mogu pratiti u Mollierovu  $h, x$  - dijagramu za vlažni zrak (str. 198).

\* Specifična vrijednost odnosi se na 1 kg suhog zraka u vlažnoj smjesi, odn. na  $(1 + x)$  kg vlažne smjese.

**Suhl i zasićení vlažni zrak**  
 Toplinska svojstva pri temperaturi  $t$   
 parcijalni tlak pare  $p_s$ , vlažnost  $x$ , spec. entalpija  $h$ , spec. volumen  $v$

$t$ °C	Zasićení vlažni zrak				Suchi zrak	
	$p_s$ mbar	$x$ kg/kg	$h$ kJ/kg	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$h$ kJ/kg	$v$ m <sup>3</sup> /kg
-20	0,031	0,000 642	-18,53	0,727	20,11	0,727
-18	0,034	0,000 777	-16,18	0,733	-18,10	0,733
-16	0,035	0,000 938	-13,77	0,739	16,09	0,738
-14	0,039	0,001 128	-11,29	0,745	-14,08	0,744
-12	0,041	0,001 353	-8,71	0,750	12,07	0,750
-10	0,046	0,001 619	-6,04	0,756	-10,06	0,756
-8	0,049	0,001 932	-3,24	0,762	8,04	0,761
-6	0,054	0,002 300	-0,31	0,768	-6,03	0,767
-4	0,057	0,002 721	2,78	0,774	4,02	0,773
-2	0,061	0,003 204	6,06	0,780	2,01	0,778
0	0,066	0,003 821	9,55	0,786	0	0,784
2	0,071	0,004 499	13,08	0,792	2,01	0,790
4	0,076	0,005 248	16,80	0,798	4,02	0,796
6	0,081	0,005 968	20,77	0,804	6,03	0,801
8	0,087	0,006 740	24,99	0,810	8,04	0,807
10	0,093	0,007 577	29,52	0,817	10,06	0,813
12	0,099	0,008 481	34,36	0,823	12,07	0,819
14	0,105	0,009 451	39,58	0,829	14,08	0,824
16	0,111	0,010 488	45,20	0,836	16,09	0,830
18	0,117	0,011 591	51,28	0,842	18,10	0,836
20	0,124	0,012 761	57,87	0,849	20,11	0,842
22	0,131	0,014 008	65,01	0,856	22,12	0,847
24	0,138	0,015 332	72,78	0,863	24,13	0,853
26	0,145	0,016 733	81,25	0,870	26,14	0,859
28	0,152	0,018 211	90,49	0,877	28,15	0,865
30	0,160	0,019 766	100,6	0,885	30,17	0,870
32	0,168	0,021 400	111,6	0,892	32,18	0,876
34	0,176	0,023 113	123,7	0,900	34,19	0,882
36	0,184	0,024 906	137,0	0,908	36,20	0,888
38	0,192	0,026 779	151,6	0,916	38,21	0,893
40	0,200	0,028 733	167,7	0,925	40,22	0,899
42	0,208	0,030 768	185,5	0,934	42,23	0,905
44	0,216	0,032 885	205,0	0,943	44,24	0,911
46	0,224	0,035 084	226,7	0,953	46,25	0,916
48	0,232	0,037 365	250,6	0,963	48,26	0,922
50	0,240	0,039 728	277,2	0,973	50,28	0,928
55	0,254	0,044 12	357,7	1,002	55,30	0,942
60	0,269	0,049 52	464,5	1,034	60,33	0,957
65	0,285	0,055 55	609,1	1,072	65,36	0,971
70	0,301	0,062 27	811,1	1,117	70,39	0,985
75	0,318	0,069 77	1 106	1,170	75,41	1,000
80	0,336	0,078 15	1 561	1,235	80,44	1,014
85	0,355	0,087 52	2 351	1,316	85,47	1,028
90	0,375	0,097 99	3 983	1,418	90,50	1,043
95	0,396	0,109 57	6 193	1,553	95,52	1,057

**Vlažni zrak**

Toplinska svojstva pri temperaturi  $t$

Parcijalni tlak pare  $p'$  (mbar), vlažnost  $x$  (g/kg suhog zraka), specifična entalpija vlažnoga zraka  $h$  (kJ/(1 +  $x$ ) kg vlažnoga zraka)

$t$ °C	Relativna vlažnost $\varphi$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0	$p'$	0,61	1,22	1,83	2,44	3,06	3,67	4,28	4,89	5,50	6,11
	$x$	0,38	0,76	1,14	1,52	1,91	2,29	2,67	3,06	3,44	3,82
	$h$	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,55
2	$p'$	0,71	1,41	2,12	2,82	3,53	4,23	4,94	5,64	6,35	7,05
	$x$	0,44	0,88	1,32	1,76	2,20	2,64	3,09	3,53	3,97	4,41
	$h$	3,10	4,20	5,30	6,40	7,50	8,60	9,73	10,8	11,9	13,1
4	$p'$	0,81	1,63	2,44	3,25	4,07	4,88	5,69	6,50	7,32	8,13
	$x$	0,50	1,02	1,52	2,03	2,54	3,05	3,56	4,07	4,59	5,10
	$h$	5,25	6,55	7,81	9,09	10,4	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8
6	$p'$	0,93	1,87	2,81	3,74	4,68	5,61	6,55	7,48	8,42	9,35
	$x$	0,58	1,17	1,75	2,34	2,92	3,51	4,10	4,69	5,28	5,87
	$h$	7,45	8,93	10,4	11,9	13,3	14,8	16,3	17,8	19,3	20,7
8	$p'$	1,07	2,14	3,22	4,29	5,36	6,43	7,50	8,58	9,65	10,72
	$x$	0,67	1,33	2,01	2,68	3,35	4,03	4,70	5,38	6,06	6,74
	$h$	9,68	11,3	13,1	14,7	16,4	18,1	19,8	21,5	23,2	25,0
10	$p'$	1,23	2,45	3,68	4,91	6,14	7,36	8,59	9,82	11,04	12,27
	$x$	0,77	1,53	2,30	3,07	3,84	4,61	5,39	6,17	6,94	7,73
	$h$	11,9	13,9	15,8	17,7	19,7	21,6	23,6	25,5	27,5	29,5
12	$p'$	1,40	2,80	4,20	5,60	7,01	8,41	9,81	11,2	12,6	14,0
	$x$	0,87	1,75	2,62	3,50	4,39	5,28	6,16	7,05	7,94	8,84
	$h$	14,2	16,4	18,6	20,8	23,1	25,3	27,5	29,8	32,0	34,3
14	$p'$	1,60	3,20	4,80	6,40	8,00	9,60	11,2	12,8	14,4	16,0
	$x$	1,00	2,00	3,00	4,01	5,02	6,03	7,05	8,06	9,09	10,1
	$h$	16,5	19,1	21,6	24,1	26,7	29,2	31,8	34,4	37,0	39,5

Vlažni zrak

Toplinska svojstva

Parcijalni tlak pare  $p'$  (mbar), vlažnost  $x$  (g/kg suhog zraka), specifična

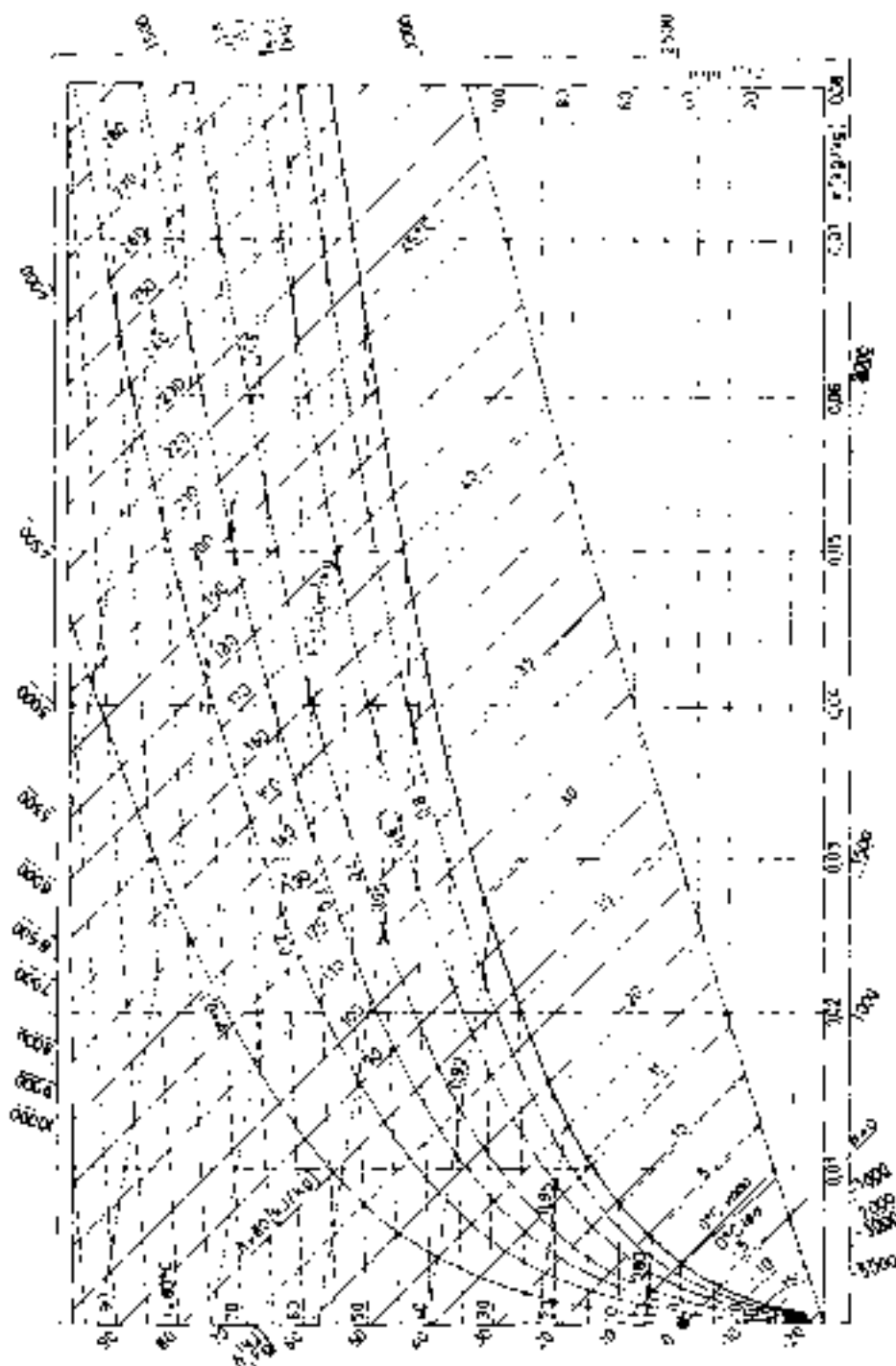
$t$ °C	Relativna vlažnost $\varphi$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
16	$p'$	1,81	3,63	5,45	7,27	9,09	10,9	12,7	14,5	16,4	18,2
	$x$	1,13	2,27	3,41	4,56	5,71	6,85	8,00	9,15	10,3	11,5
	$h$	18,9	21,7	24,6	27,5	30,4	33,3	36,2	39,1	42,1	45,1
18	$p'$	2,06	4,12	6,19	8,25	10,3	12,4	14,4	16,5	18,6	20,6
	$x$	1,28	2,57	3,87	5,17	6,47	7,81	9,09	10,4	11,8	13,1
	$h$	21,2	24,5	27,8	31,1	34,4	37,8	41,0	44,3	47,9	51,2
20	$p'$	2,34	4,67	7,01	9,35	11,7	14,0	16,4	18,7	21,0	23,4
	$x$	1,46	2,92	4,39	5,87	7,36	8,83	10,4	11,9	13,3	14,9
	$h$	23,7	27,4	31,1	34,9	38,7	42,4	46,4	50,2	53,7	57,8
22	$p'$	2,64	5,28	7,93	10,6	13,2	15,9	18,5	21,1	23,8	26,4
	$x$	1,65	3,30	4,97	6,66	8,32	10,1	11,7	13,4	15,2	16,9
	$h$	26,2	30,4	34,6	38,9	43,1	47,7	51,7	56,0	60,6	64,9
24	$p'$	2,98	5,96	8,95	11,9	14,9	17,9	20,9	23,9	26,8	29,8
	$x$	1,86	3,73	5,62	7,49	9,41	11,3	13,3	15,2	17,1	19,1
	$h$	28,7	33,5	38,3	43,1	47,9	52,8	57,8	62,7	67,5	72,6
26	$p'$	3,36	6,72	10,1	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	30,2	33,6
	$x$	2,10	4,21	6,35	8,45	10,6	12,8	15,0	17,2	19,4	21,6
	$h$	31,3	36,7	42,2	47,5	53,0	58,6	64,2	69,8	75,4	81,1
28	$p'$	3,78	7,56	11,3	15,1	18,9	22,7	26,4	30,2	34,0	37,8
	$x$	2,36	4,74	7,11	9,54	12,0	14,5	16,9	19,4	21,9	24,4
	$h$	34,0	40,1	46,1	52,3	58,6	65,0	71,1	77,5	83,9	90,3
30	$p'$	4,24	8,48	12,7	17,0	21,2	25,4	29,7	33,9	38,2	42,4
	$x$	2,65	5,32	8,00	10,8	13,5	16,2	19,0	21,8	24,7	27,5
	$h$	36,8	43,6	50,4	57,6	64,5	71,4	78,6	85,7	93,1	100,3
32	$p'$	4,75	9,51	14,3	19,0	23,8	28,5	33,3	38,0	42,8	47,5
	$x$	2,97	5,97	9,02	12,1	15,2	18,3	21,4	24,6	27,8	31,1
	$h$	39,6	47,3	55,1	63,0	70,9	78,8	86,8	95,0	103,2	111,3

zrak (nastavak)

pri temperaturi  $t$

entalpija  $h$  (kJ/(1 +  $x$ ) kg vlažnoga zraka)

$t$ °C	Relativna vlažnost $\varphi$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
34	$p'$	5,32	10,6	16,0	21,3	26,6	31,9	37,2	42,5	47,9	53,2
	$x$	3,33	6,66	10,1	13,5	17,0	20,5	24,0	27,6	31,3	34,9
	$h$	42,5	51,1	59,9	68,6	77,6	86,5	95,5	104,7	114,2	123,7
36	$p'$	5,94	11,9	17,8	23,8	29,7	35,6	41,6	47,8	53,5	59,4
	$x$	3,72	7,49	11,3	15,2	19,0	23,0	27,0	31,2	35,2	39,3
	$h$	45,5	55,2	65,0	75,0	84,8	95,0	105,1	116,1	126,4	136,9
38	$p'$	6,62	13,2	19,9	26,5	33,1	39,7	46,4	53,0	59,6	66,2
	$x$	4,15	8,32	12,6	16,9	21,3	25,7	30,3	34,8	39,4	44,1
	$h$	48,7	59,4	70,4	81,4	92,8	104,1	115,9	127,5	139,3	151,4
40	$p'$	7,38	14,8	22,1	29,5	36,9	44,3	51,6	59,0	66,4	73,8
	$x$	4,62	9,34	14,1	18,9	23,8	28,8	33,8	39,0	44,2	49,5
	$h$	51,9	64,0	76,3	88,7	101,3	114,1	127,0	140,4	153,8	167,7
42	$p'$	8,20	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	57,4	65,6	73,8	82,0
	$x$	5,14	10,4	15,7	21,1	26,6	32,2	37,9	43,7	49,6	55,5
	$h$	55,3	68,8	82,5	96,4	110,6	125,0	139,7	154,7	169,9	185,3
44	$p'$	9,10	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0
	$x$	5,71	11,5	17,5	23,5	29,7	35,9	42,3	48,8	55,5	62,3
	$h$	58,7	73,7	89,2	104,7	120,7	136,8	153,2	170,0	187,3	204,9
46	$p'$	10,1	20,2	30,3	40,3	50,4	60,5	70,6	80,7	90,8	100,8
	$x$	6,35	12,8	19,4	26,1	33,0	40,1	47,3	54,6	62,1	69,8
	$h$	62,4	79,1	96,2	113,5	131,3	149,7	168,3	187,2	206,6	226,2
48	$p'$	11,2	22,3	33,5	44,6	55,8	67,0	78,1	89,3	100,4	111,6
	$x$	7,05	14,2	21,6	29,0	36,8	44,7	52,7	61,0	69,4	78,1
	$h$	66,3	84,8	103,9	123,1	143,3	163,7	184,5	206,0	227,7	250,2
50	$p'$	12,3	24,7	37,0	49,3	61,7	74,0	86,3	98,7	111,0	123,3
	$x$	7,75	15,8	23,9	32,3	40,9	49,7	58,8	68,1	77,7	87,5
	$h$	70,1	91,0	112,0	133,8	156,1	178,9	202,5	226,6	251,5	276,9

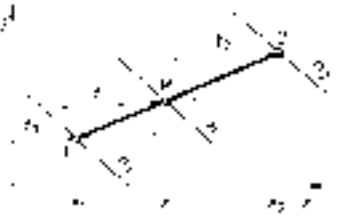


Mollierov dijagram h, x za vlažni zrak

1. Miješanje vlažnoga zraka s vlažnim zrakom  $m_1$  drugačije vlažnosti

Miješa li se vlažni zrak, mase suhoga zraka  $m_1$ , temperature  $t_1$  i vlažnosti  $x_1$  (stanje u točki 1) s vlažnim zrakom, mase suhoga zraka  $m_2$ , temperature  $t_2$  i vlažnosti  $x_2$  (stanje u točki 2), to će se za smjesu proračunati:

vlažnost	$x = (m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2) / (m_1 + m_2)$
specifična entalpija	$h = (m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2) / (m_1 + m_2)$
- temperatura u °C	$t = (h - x \cdot r) / (c_{pv} + x \cdot c_{pw}) =$ $= (h - 2501) / (1,0175 + 1,921 \cdot x)$



Sve se te veličine mogu direktno očitati iz dijagrama h, x za stanje smjese u točki M, koja je određena omjerom  $M_2/M_1 = m_2/m_1$ .

2. Promjena stanja pri x = konst (izohigra)

Pri zagrijavanju (od stanja 1 do 2) ugrije se vlažni zrak za temperaturnu razliku  $t_2 - t_1$  a specifična se entalpija povećava od  $h_1$  do  $h_2$ , pa je stoga potrebno dovoditi toplinu

$$Q = m_2(h_2 - h_1)$$

$m_2$  je masa suhoga zraka

Pri hlađenju među istim stanjima vlažnoga zraka (od 2 do 1) valja istu količinu topline Q odvesti.

3. Hlađenje do temperature pod rosištem

Pri hlađenju rashladnom površinom, koja ima temperaturu  $t_0$  nižu od temperature rosišta (R), može se smatrati da je nastalo miješanje vlažnog zraka stanja 2 i graničnog sloja na rashladnoj površini stanja R<sub>0</sub>, pri čemu se vlažni zrak ohladi do temperature  $t' (< t_0)$ , a time i osuši. Vlažnost se smanjila od x do x', jer se izlučila masa vode  $m_2(x - x')$ . Odvesti treba toplinu

$$Q = m_2(h_2 - h' - (x - x') \cdot r)$$

t' je konačna temperatura u °C.

4. Vlaženje vodom ili vodenom parom

Dodavanjem mase  $m_v$  vode ili vodene pare, specifične entalpije  $h_v$ , vlažnom zraku, mase suhoga zraka  $m_2$ , vlažnosti  $x_1$  i specifične entalpije  $h_1$ , dobivamo.

- vlažnost smjese	$x_2 = x_1 + m_v/m_2$
- specifičnu entalpiju smjese	$h_2 = h_1 + h_v \cdot m_v/m_2$

## STRUJANJE PLINOVA I PARA

Pri stacionarnom strujanju (pri kojem se na bilo kojem mjestu brzina ne mijenja s vremenom ni po veličini ni po smjeru) protok mase je  $q_m$  konstantan, dok su druge veličine promjenjive od mjesta do mjesta.

Jednadžha kontinuiteta stacionarnog strujanja povezuje presjek  $A$ , brzinu  $v$  i gustoću  $\rho$

$$q_m = A v \rho = \text{konst}$$

Pretvorha energije pri strujanju

Ako u prvom glavnom zakonu termodinamike (vidi str. 160) uzmemo u obzir i promjenu kinetičke energije  $W_k$ , vrijedi

$$dQ - dW = dH + dW_k$$

gdje je:  $Q$  - dovedena ili odvedena toplina,  $W$  - dobiveni ili utrošeni tehnički rad,  $H$  - entalpija.

Pri procesima strujanja, gdje ne dobivamo niti trošimo rad ( $dW = 0$ ), vrijedi  $dQ = dH + dW_k$ , a pri izentropskom procesu ( $dQ = 0$ ) još i  $-dH = dW_k$ , odnosno izraženo specifičnom entalpijom  $h$  i brzinama  $v$

$$-dh = v dv \quad h_1 + h_2 = (v_1^2 + v_2^2)/2$$

Bernoullijeva jednadžba za plinove i pare vrijedi za male razlike tlakova  $\Delta p = p_1 - p_2$ , u kojoj možemo računati sa zanemarljivo malom promjenom gustoće, tj. s prosječnom gustoćom  $\rho_{med} = \text{konst}$  (sličnosti s nestlačivim fluidom)

$$p_1 + \rho_{med}(v_1^2/2) = p_2 + \rho_{med}(v_2^2/2)$$

### Brzina istjecanja

Teoretska brzina istjecanja  $v_0$  (bez trenja) iznosi ( $2\alpha v_1 = 0$ )  $v_2 = v_0$ :

- a) pri svim razlikama tlakova  $v_0 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$   
 b) pri malim razlikama tlakova ( $\rho = \text{konst}$ )  $v_0 = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}$

Stvarna brzina istjecanja  $v$  je zbog trenja o stijenke i čestica fluida među sobom nešto manja

$$v = \varphi v_0$$

gdje je  $\varphi$  - koeficijent brzine ( $= 0,95 \dots 0,98$  u dobro zaobljenih sapnica).

Korisnost pri istjecanju s koeficijentom  $\varphi$  je  $\eta = \varphi^2$ .

Količina istjecanja

Količina istjecanja (protok) mase  $q_m = \alpha A_0 v_0 \rho$  iznosi

- a) pri svim razlikama tlakova  $q_m = \alpha A_0 \rho \sqrt{2(h_1 - h_2)}$   
 b) pri malim razlikama tlakova ( $\rho = \text{konst}$ )  $q_m = \alpha A_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)}$

$A_0$  je čisti presjek otvora sapnice,  $\alpha$  je produkt koeficijenta smanjenja presjeka (kontrakcije) mlaza  $\mu$  i koeficijenta brzine  $\varphi$ .

## Istjecanje iz sapnica

Brzina istjecanja  $v_2$  se povećava ako se povećava razlika tlakova  $p_1 - p_2$  i postiže najveću vrijednost  $v_2$  («Lavalova brzina») pri kritičkom omjeru tlakova

$$p_2/p_1 = [2/(x+1)]^{x/(x-1)}$$

Taj kritični omjer tlakova ovisi samo o fluidu ( $x$ ) i iznosi za različite fluide:

	$x$	$p_2/p_1$
dvoatomni plinovi	1,40	0,520
pregrijana vodena para	1,30	0,546
zasićeni vodena para	1,135	0,577

Pri kritičnom omjeru tlakova  $p_2/p_1$  postignuta brzina  $v_2$  jednaka je brzini zvuka i najveća je brzina koja se može pojaviti u najužem presjeku sapnice

$$v_2 = \sqrt{x p_2 / \rho_2}$$

S pomoću jednadžbe stanja plina možemo pisati još i

$$\rho_2/\rho_1 = [2x/(x+1)]^{x/(x-1)} \quad T_2/T_1 = 2/(x+1)$$

$$v_2 = \sqrt{2[x/(x+1)] \cdot (p_1/\rho_1)} = \sqrt{2[x/(x+1)] RT}$$

gdje su temperatura, tlak i gustoća ispred sapnice  $T_1, p_1, \rho_1$ , a u najužem presjeku sapnice  $T_2, p_2, \rho_2$ .

Najveći protok mase  $q_{max}$  koji protječe najužim presjekom  $A_{min}$  pri kritičnom omjeru tlakova  $p_2/p_1$  iznosi

$$q_{max} = \alpha A_{min} \sqrt{\rho_1 x [2/(x+1)]^{x/(x-1)}}$$

gdje je  $\alpha$  koeficijent istjecanja i iznosi:

- kod dobro izvedenih sapnica  $\alpha = 0,95 \dots 0,98$   
 pri ostrim rurovima  $\alpha = 0,64 \dots 0,65$

Prožirana sapnica (De Laval)

Stanje u najužem presjeku je određeno kritičnim omjerom tlakova  $p_2/p_1$  i Lavalovom brzinom  $v_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$ , a u konačnom presjeku tlakom  $p_2$  i brzinom  $v_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$ .

### Prigušivanje

Pri prigušivanju se suma energija ne mijenja

$$h_1 + v_1^2/2 = h_2 + v_2^2/2$$

Ako je brzina strujanja malena te je možemo zanemariti (pri običnom strujanju u cijevima, armaturama, statnim strojevima itd.), možemo pisati  $h = \text{konst}$ . U idealnim plinovima je tada  $T = \text{konst}$ , a u para  $T \neq \text{konst}$  (str. 192)

## IZGARANJE

Izgaranje je ekzotermni proces oksidacije goriva pri kojem se razvija ogrjevna toplina  $H_s$ .

Goriva su većinom organski spojevi sastavljeni uglavnom od ugljika C, vodika H, sumpora S, kisika O, dušika N te pepela (p) i vlage (v). Sastav goriva određujemo s obzirom na jedinicu količine

— za kruta i tekuća goriva s obzirom na jedinicu mase

$$C' + H' + S' + O' + N' + p' + v' = 1 \text{ (kg/kg goriva)}$$

— za plinovita goriva obično s obzirom na jedinicu volumena

$$H_2' + CO' + CO_2' + O_2' + N_2' + CH_4' + C_2H_4' + H_2O' = 1 \text{ (m}^3/\text{m}^3 \text{ goriva)}$$

Proces izgaranja osnovnih sastavnih krutih i tekućih goriva

ugljika — potpuno izgaranje  $C + O_2 = CO_2$

— nepotpuno izgaranje  $2C + O_2 = 2CO$

vodika  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

sumpora  $S + O_2 = SO_2$

### Potreba kisika odnosno zraka

a) U krutih i tekućih goriva iznosi najmanja potrebna količina kisika

$$O_{\min} = C'/12 \cdot \sigma \text{ kmol/kg goriva}$$

$\sigma$  = karakteristika goriva:  $\sigma = 1 + 3[H' - (O' - S')/8]/C'$

U krutih je goriva  $0 < \sigma < 1,2$  (u čistog ugljika:  $\sigma = 1$ ; u ugljena:  $\sigma = 1,1 \dots 1,2$ ); u tekućih goriva je  $\sigma > 1,2$  (u teških:  $\sigma = 1,2 \dots 1,3$ ; u lakih:  $\sigma < 1,6$ ).

b) U plinovitim goriva iznosi najmanja potrebna količina kisika

$$O_{\min} = H_2'/2 + CO'/2 + 2CH_4' + 3C_2H_4' - O_2' \text{ kmol/kmol goriva}$$

Najmanja količina zraka  $Z_{\min} = O_{\min}/0,21$

Stvarna količina zraka  $Z = \lambda Z_{\min}$

gdje  $\lambda$  faktor pretička zraka  $\lambda$  iznosi:

za ručna ložišta  $\lambda = 1,6 \dots 2,0$

za mehanizirana ložišta  $\lambda = 1,3 \dots 1,6$

za ložišta na ulje i ugljenu prašinu  $\lambda = 1,2 \dots 1,4$

za plinska ložišta  $\lambda = 1,05 \dots 1,2$

### Količina dimnih plinova

a) U krutih i tekućih goriva nastaje dimnih plinova (kmol/kg goriva)

$$D = \lambda/0,21 \cdot C'/12 \cdot \sigma + (H'/4 + O'/32 + N'/28 + v'/18)$$

b) U plinovitim goriva nastaje dimnih plinova (kmol/kmol goriva)

$$D = \lambda/0,21 \cdot O_{\min} + (H_2'/2 + CO'/2 + CO_2' + N_2' + CH_4' + C_2H_4' + O_2')$$

## Ogrjevne moći

a) Gornja ogrjevna moć  $H_g$  (gornja kalorična vrijednost) je sva toplina razvijena pri izgaranju.

b) Donja ogrjevna moć  $H_d$  (donja kalorična vrijednost) je onaj dio gornje ogrjevne moći koji dobivamo kad dimne plinove ohladimo samo do temperature iznad točista vodene pare (i para sumporne kiseline, ukoliko gorivo sadrži sumpor). Razlikuje se od gornje ogrjevne moći time što dimni plinovi sadrže i vodu ( $H_2O'$  — v. str. 204).

Ogrjevnu moć (kaloričnu vrijednost) mjerimo s obzirom na jedinicu količine goriva:

za kruta i tekuća goriva  $\text{kJ/kg}$   
za plinovita goriva  $\text{kJ/m}^3$  (0 °C; 1,01325 bar)

Donja je ogrjevna moć manja od gornje za toplinu isparivanja  $r$  vodene pare (pri 0 °C):

$$r = 45000 \text{ kJ/kmol} = 2500 \text{ kJ/kg} = 2000 \text{ kJ/m}^3 \text{ (0 °C; 1,01325 bar)}$$

Donje ogrjevne moći sastavnih goriva

Sastavina goriva	kJ/kmol	kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup> (0 °C; 1,01325 bar)
ugljik C potpuno izgaranje	406 900	33 910	
nepotpuno izgaranje	124 000	10 330	
sumpor S	296 600	9 260	
widk	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 286 200 \\ 241 700 \end{cases}$	$\begin{cases} 142 200 \\ 119 900 \end{cases}$   12 800 10 290
benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzol)	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 3 273 900 \\ 3 138 900 \end{cases}$	$\begin{cases} 41 900 \\ 40 200 \end{cases}$   -
naftalen C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> (naftalin)	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 5 160 500 \\ 4 980 500 \end{cases}$	$\begin{cases} 40 300 \\ 38 900 \end{cases}$   -
etanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (alkohol)	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 1 365 100 \\ 1 220 100 \end{cases}$	$\begin{cases} 29 600 \\ 26 700 \end{cases}$   -
ugljični monoksid CO		282 900	-   12 600
metan CH <sub>4</sub>	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 889 100 \\ 749 100 \end{cases}$	-   $\begin{cases} 39 700 \\ 35 700 \end{cases}$
eten C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (etilen)	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 1 449 200 \\ 1 359 200 \end{cases}$	-   $\begin{cases} 64 700 \\ 60 700 \end{cases}$
etin C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetilen)	$\begin{cases} H_g \\ H_d \end{cases}$	$\begin{cases} 1 302 700 \\ 1 257 300 \end{cases}$	-   $\begin{cases} 58 200 \\ 56 100 \end{cases}$

Donja ogrjevna moć fizikalnih smjesa gorivih spojeva (plinovitih goriva) (u kJ/m<sup>3</sup>)

$$H_d = 12600 CO' + 10800 H_2' + 35700 CH_4' + 60700 C_2H_2' - 20000 H_2O'$$

Donja ogrjevna moć složenih spojeva (npr. ugljena) može se točno odrediti samo pokusom. Za kruta i tekuća goriva služi približna formula (u kJ/kg)

$$H_d = 34000 C' + 101700 H' + 6300 N' + 19100 S' - 9800 O' - 2500 v'$$

### Sastav dimnih plinova

Sastav je dimnih plinova pri potpunom izgaranju s obzirom na jedinicu volumena

$$CO_2'' + H_2O'' + N_2'' + O_2'' = 1 \text{ (m}^3/\text{m}^3 \text{ dimnih plinova)}$$

Udjeli pojedinih sastavina (kmol/kmol dimnih plinova) iznose:

kod čvrstih i tekućih goriva

$$CO_2'' = C/12 : D$$

$$H_2O'' = (H/2 + v/18) : D$$

$$N_2'' = (N/28 + 79/21 \cdot \lambda O_{\text{min}}) : D$$

$$O_2'' = (\lambda - 1) O_{\text{min}} : D$$

– kod plinovitih goriva

$$CO_2'' = (CO' - CO_2' + CH_4' + 2C_2H_4') : D$$

$$H_2O'' = (H' - 2CH_4' + 2C_2H_4') : D$$

$$N_2'' = (N_2' + 79/21 \cdot \lambda O_{\text{min}}) : D$$

$$O_2'' = (\lambda - 1) O_{\text{min}} : D$$

Pri nepotpunom izgaranju sadrže dimni plinovi još: CO, CH<sub>4</sub> itd. Njihov sastav određujemo kemijskom analizom (npr. Orsatovim aparatom).

### Entalpija dimnih plinova

Molna se entalpija dimnih plinova  $h_{mD}$  (kJ/kmol) pri raznim temperaturama može proračunati uz poznavanje sastava dimnih plinova i molne entalpije njihovih sastavina pri tim temperaturama (vidi str. 164):

$$h_{mD} = CO_2'' \cdot h_{mCO_2} + H_2O'' \cdot h_{mH_2O} + N_2'' \cdot h_{mN_2} + O_2'' \cdot h_{mO_2}$$

\*

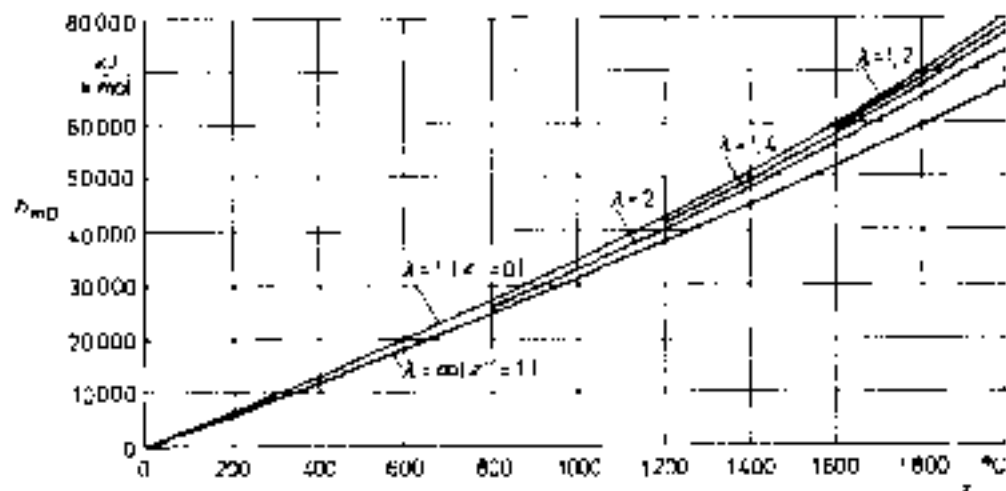
Molnu entalpiju dimnih plinova za tehnička goriva možemo odrediti također pomoću Rosinova i Fehlingova  $h_{mD}, T$  dijagrama (vidi str. 205), koji uzima u obzir i disocijaciju iznad 1500 °C. Iz tog dijagrama možemo za svaku izabranu temperaturu odrediti molnu entalpiju  $h_{mD}$  za  $\lambda = 1$  (molnu entalpiju  $h_{mD, \lambda=1}$  pri  $\lambda = \infty$  (čisti zrak).

Iz minimalne potrebne količine zraka  $Z_{\text{min}}$ , količine dimnih plinova  $D$  i poznatog faktora pretička zraka  $\lambda$  izračunavamo relativni udio zraka u dimnim plinovima  $Z'$

$$Z' = (\lambda - 1) Z_{\text{min}} : D$$

Otuda proizlazi molna entalpija dimnih plinova (kJ/kmol)

$$h_{mD} = h_{mD, \lambda=1} + Z' (h_{mD, \lambda=\infty} - h_{mD, \lambda=1})$$



Dijagram Rosina i Fehlinga

### Teoretska temperatura izgaranja

Molnu entalpiju dimnih plinova  $h_{mD}$  određujemo iz donje ogrjevne moći goriva  $H_i$ , specifične entalpije goriva  $h_g$  i molne entalpije zraka  $h_{mZ}$  prije izgaranja te količine zraka  $Z$  i dimnih plinova  $D$

$$h_{mD} = (H_i - h_g + Z h_{mZ}) : D$$

Veličine  $H_i$ ,  $h_g$ ,  $Z$  i  $D$  odnose se kod čvrstih i tekućih goriva na jedinicu mase 1 kg goriva, a kod plinovitih goriva na jedinicu tvari 1 kmol goriva.

Iz dobivene molne entalpije  $h_{mD}$  dimnih plinova određuje se za odgovarajući faktor pretička zraka  $\lambda$  teoretska temperatura izgaranja  $T$  pomoću Rosin-Fehlingova  $h_{mD}, T$  dijagrama. Stvarna temperatura izgaranja je niža zbog odvođenja topline.

### Kontrola izgaranja

1. Ni pepeo, ni dimni plinovi ne smiju sadržavati gorivih ostataka (neizgorjelog goriva, čađe, CO, CH<sub>4</sub> itd.)

2. Pretičak zraka  $\lambda$  ( $> 1$ ) mora biti što manji, ali ipak tolik da se osigura potpuno izgaranje. Pretičak zraka kontroliramo sadržajem  $CO_2''$  u dimnim plinovima. Što je veći faktor pretička zraka  $\lambda$ , to je manji udio  $CO_2''$ . Za čvrsta i tekuća goriva s karakteristikom  $\sigma$  pri potpunom izgaranju vrijedi

$$(CO_2'')_s = 1/[1 + \sigma(\lambda/0,21 - 1)]$$

gdje je  $(CO_2'')_s$  sadržaj  $CO_2$  u suhim dimnim plinovima (bez  $H_2O$ ).





*Domaći ugljeni*

Rudnik	Vrsta	Veličina zrna mm	Sastav u %			Količina sumpara %	Donja ogrjevna moć $H_1$ kJ/kg
			vлага	pepecu	goriva tvar		
Velenje	komad	> 120	43	8	49	0,6	11 300
	kočka	65...120	43	8	49	0,6	11 300
	orah	35...65	43	9	48	0,6	11 100
	grah	10...35	43	9	48	0,6	11 100
	sitni	0...1	43	12	45	0,6	10 300
	prah	65	43	5	52	0,6	12 000
Erbovlje	komad	> 60	20	12	68	1,9	18 000
	kočka	40...60	22	14	64	2,0	17 000
	orah	18...40	22	15	63	2,0	16 700
	grah	10...18	22	16	62	2,1	16 700
	sitni	3...10	24	17	59	2,1	15 700
	prah	0...3	34	19	47	1,8	12 500
Zagorje	komad	> 60	21	9	70	1,0	18 600
	kočka	35...60	22	10	68	1,0	18 000
	orah	16...35	22	12	66	1,0	17 500
	grah	10...16	24	13	63	1,0	16 700
	sitni	3...10	24	17	59	2,1	15 700
	prah	0...3	32	18	50	0,9	13 300
Laško	komad	> 60	19	7	74	0,3	19 800
	kočka	30...60	20	8	72	0,3	19 300
	orah	15...30	21	9	70	0,3	18 800
	grah	10...15	22	11	67	0,3	18 500
	sitni	3...10	26	13	61	0,3	16 400
	ksilit	0...5	36	25	39	0,3	10 500
Senovo	komad	> 60	19	13	68	2,3	18 000
	kočka	33...60	19	15	66	2,2	17 500
	orah	17...33	19	17	64	2,1	17 000
	grah	10...17	19	18	63	2,0	16 700
	sitni	3...10	20	21	59	2,4	15 700
	prah	0...3	20	21	59	2,4	15 700

Rudnik	Vrsta	Sastav u %			Količina sumpara %	Donja ogrjevna moć $H_1$ kJ/kg
		vлага	pepecu	goriva tvar		
Raša	— komad	2	12	86	9	28 100
	— kočka	2	13	85	8	27 800
	— orah	2	11	87	8	28 400
	— grah	3	10	87	8	28 400
	— sitni	3	15	82	8	26 800
Banovići	— komad	17	16	67	1,1	18 700
	— kočka	17	20	63	1,3	17 600
	— orah	18	21	61	0,6	16 600
	— sitni	20	22	58	0,4	16 200
Kakanj	— komad	8	21	71	1,3	21 100
	— kočka	8	22	70	1,4	20 800
	— orah	9	23	68	1,5	20 200
	— sitni	9	27	64	1,2	19 000
	— prah	9	28	63	0,5	18 700
Zenica	— komad	14	16	70	2,4	19 000
	— kočka	14	17	69	2,3	18 800
	— orah	15	18	67	2,8	18 200
	— sitni	16	20	64	2,2	17 400
	— prah	18	25	57	2,1	15 500
Kreka	— komad	33	9	58	0,5	14 100
	— kočka	32	15	53	0,4	15 100
	— orah	30	20	50	0,2	12 100
	— sitni	30	25	45	0,2	10 900
Senjsko-Resavski	— komad	20	16	64	0,8	17 400
	— sitni	19	23	58	0,9	15 800
Kolubara	— komad	48	10	42	0,4	9 600
	— sitni	49	12	39	0,4	9 300
Kostolac	— komad	43	14,5	42,5	0,7	9 700
	— sitni	36	34	30	0,6	6 800
Kosovo	— komad	45	10	45	0,7	9 800
	— sitni	41	21	38	0,6	8 200

## PRIJENOS TOPLINE:

### Toplinska vodljivost

Toplinski tok  $\Phi$  (tj. prolaz topline  $Q$  u vremenu  $t$ ) kroz tvar je po iskustvenim zakazima upravo razmjernan temperaturnoj razlici  $\Delta T = T_1 - T_2$  i površini  $A$ , a obrnuto razmjernan debljini ravne stijenke  $\delta$

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) A$$

$\lambda$  je koeficijent toplinske vodljivosti, a mjerimo ga jedinicom  $W/(m \cdot K)$ .

Toplinska se vodljivost mijenja s temperaturom, a kod plinova i para još i s tlakom. Brojčane vrijednosti  $\lambda$  za različite tvari sabrane su u tablicama na str. 212 do 217.

### Prijelaz topline

Toplinski tok  $\Phi$  koji prelazi s plinovite ili tekuće tvari na krutu stijenku, ili obratno, po iskustvu je upravo razmjernan temperaturnoj razlici  $\Delta T = T_1 - T_2$  i površini  $A$

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \alpha (T_1 - T_2) A$$

$\alpha$  je koeficijent prijelaza izražen jedinicom  $W/m^2 \cdot K$ .

Prijelaz topline na složen način ovisi o vrsti, temperaturi, tlaku i brzini plina, pare ili tekućine, koj toplinu predaju krutoj stijenci ili je od nje primaju. Nadalje, prijelaz topline ovisi o obliku i kvaliteti površine stijenke. Unatoč veoma opsežnom istraživačkom radu, toplinski je prijelaz općenito još i danas sasvim iskustvena vrijednost koja se može izračunati samo u nekim posebno jednostavnim slučajevima. *Nusseltova teorija sličnosti* omogućila je određivanje prijelaza topline pomoću bezdimenzijskih značajki (brojeva):

Reynoldsova značajka	$Re = v d/\nu$
Prandtlrova značajka	$Pr = \rho c \omega/\lambda$
Pécletova značajka	$Pe = v d \rho c/\lambda = Re \cdot Pr$
Grashofova značajka	$Gr = d^3 g(T_1 - T_2) \rho/\nu^2$
Nusseltova značajka	$Nu = \alpha d/\lambda$

gdje su:  $d$  – promjer (m),  $v$  – brzina ( $m/s$ ),  $g$  – ubrzanje sile teže ( $= 9,81 m/s^2$ ),  $(T_1 - T_2)$  – temperaturna razlika (K),  $\beta$  – volumenski koeficijent temperaturnog rastezanja ( $K^{-1}$ ),  $\rho$  – gustoća ( $kg/m^3$ ),  $c$  – specifični toplinski kapacitet (u plinova je  $c = c_p$ ) [ $J/(kg \cdot K)$ ],  $\lambda$  – koeficijent toplinske vodljivosti [ $W/(m \cdot K)$ ],  $\alpha$  – koeficijent prijelaza topline ( $W/m^2 \cdot K$ ),  $\nu$  – kinematička viskoznost ( $m^2/s$ ).

Ako cijev nije okrugla, treba za  $d$  uvrstiti odgovarajući hidraulički promjer  $d' = 4 A/O$  ( $A$  = površina,  $O$  = opseg). Za pravokutni je presjek cijevi  $d' = 2 ab/(a + b)$ .

Vrijednosti za  $\beta$  navedene su na str. 159, a vrijednosti za  $\rho$ ,  $c$ ,  $\lambda$  i  $\nu$  tekućina i plinova na str. 212 do 214

\*

Najjednostavniji primjeri proračuna prijelaza topline pomoću Nusseltove značajke  $Nu = \alpha d/\lambda$ :

a) Slobodno strujanje plinova i tekućina

Prijelaz topline s vodoravne cijevi promjera  $d$  na miran zrak ili viskoznu tekućinu vodljivosti  $\lambda$ :

- na zrak  $\alpha d/\lambda = 0,37 \cdot Gr^{0,25}$
- na tekućinu  $\alpha d/\lambda = 0,40 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$

b) Prisilno strujanje plinova

Strujanje duž ravne ploče duljine  $l$

- pri  $v > 5 m/s$  vrijedi  $\alpha d/\lambda = 0,075 \cdot Pe^{0,75}$

Strujanje okomito na os cijevi

- za osamljenu cijev  $\alpha d/\lambda = 0,092 \cdot Pe^{0,75}$
- za snop cijevi  $\alpha d/\lambda = \zeta \cdot 0,075 \cdot Pe^{0,75}$

gdje za cijevi u poretku šahovskog polja, koje su jedna iza druge, vrijedi:

broj redova cijevi	2	4	6	8	10
vrijednost za $\zeta$	1,00	1,23	1,36	1,43	1,47

Brzinu  $v$  treba uzeti na najužem mjestu između dviju cijevi!

Strujanje kroz ravnu cijev  $\alpha d/\lambda = 0,040 \cdot Pe^{0,75}$

c) Prisilno strujanje tekućina

Laminarno strujanje (koje se javlja u tekućina u uskim cijevima ako je  $Re < 2300$ ) kroz duge ravne cijevi

$$\alpha d/\lambda = 3,65$$

Turbulentno strujanje

$$\alpha d/\lambda = 0,0396 Pr \cdot Re^{0,75} [1 + 0,35 (Pr - 1)]$$

\*

Koeficijent prijelaza topline  $\alpha$  iznosi:

za plinove	14 ... 40 $W/m^2 \cdot K$
za tekućine	2000 ... 4000 $W/m^2 \cdot K$

Pri promjeni agregatnog stanja ima prijelaz topline općenito mnogo veće vrijednosti. Za vodu iznosi:

pri vrenju	3000 ... 16000 $W/m^2 \cdot K$
pri kondenzaciji	– filmskoj 6000 ... 12000 $W/m^2 \cdot K$
– kapljičastoj	30000 ... 46000 $W/m^2 \cdot K$

**Toplinska svojstva tvari**

*Toplinska svojstva plinova i para (pri tlaku 0,980 665 bar ≈ 1 bar)*

Plin (para)	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c_p$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)	Kinemat. viskoznost $\nu$ mm <sup>2</sup> /s
zrak	- 50	1,534	1,004	0,020 5	9,65
	- 20	1,365	1,004	0,022 6	12,0
	0	1,252	1,009	0,023 7	13,9
	20	1,164	1,013	0,025 1	15,7
	40	1,092	1,013	0,026 5	17,6
	60	1,025	1,017	0,027 9	19,4
	80	0,968	1,021	0,029 3	21,5
	100	0,916	1,021	0,030 7	23,6
	120	0,870	1,026	0,032 0	25,4
	160	0,789	1,030	0,034 4	30,6
	200	0,723	1,034	0,037 0	35,5
	250	0,653	1,042	0,040 0	42,2
	300	0,596	1,047	0,042 9	49,2
	400	0,508	1,059	0,048 5	64,6
	600	0,391	1,048	0,058 1	98,8
	800	0,318	1,113	0,066 9	137
	1 000	0,268	1,139	0,076 1	181
1 200	0,232	1,164	0,084 5	227	
1 400	0,204	1,189	0,091 0	278	
1 600	0,182	1,218	0,101 2	332	
vodik H <sub>2</sub>	- 50	0,106 4	—	0,147	64,1
	0	0,086 9	14,232	0,176	97,1
	50	0,073 4	14,358	0,202	128
	100	0,063 6	14,442	0,229	162
	200	0,050 2	14,525	0,276	240
ugljični dioksid CO <sub>2</sub>	- 50	2,373	—	0,010 9	4,76
	0	1,912	0,828	0,014 3	7,23
	50	1,616	0,875	0,017 8	10,0
	100	1,400	0,925	0,021 3	13,2
	sumporna dioksid SO <sub>2</sub>	0	2,83	0,624	0,008 4
50		—	0,649	—	—
100		—	0,674	—	—
200		—	0,720	—	—
amonijak NH <sub>3</sub>	0	0,746	2,168	0,022 0	12,5
	50	0,626	2,198	—	17,7
	100	0,540	2,231	0,030 0	24,2
	200	0,425	2,394	—	39,0

*Toplinska svojstva vodene pare*

Tlak $p$ bar	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c_p$ kJ/kg K	Koef. toplin. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)	Kinemat. viskoznost $\nu$ mm <sup>2</sup> /s
1	100	0,598	2,032	0,023 7	21,4
	120	0,557	1,999	0,025 1	23,9
	140	0,529	1,981	0,026 5	26,5
	160	0,504	1,973	0,028 0	29,4
	180	0,481	1,964	0,029 4	32,2
	200	0,460	1,964	0,030 9	35,5
	2	140	1,070	2,050	0,027 7
160		1,016	2,024	0,029 0	14,8
180		0,968	2,007	0,030 2	16,2
200		0,926	1,999	0,031 6	17,8
220		0,887	1,998	0,033 0	19,3
240		0,851	1,998	0,034 5	21,3
4		160	2,067	2,149	0,030 9
	180	1,963	2,106	0,031 8	8,13
	200	1,872	2,075	0,033 1	8,93
	220	1,789	2,058	0,034 3	9,70
	240	1,715	2,045	0,035 6	10,7
	260	1,647	2,041	0,037 0	11,5
	280	1,585	2,041	0,038 4	12,5
6	160	3,160	2,315	0,033 0	4,98
	180	2,989	2,226	0,033 7	5,48
	200	2,841	2,162	0,034 5	6,02
	220	2,710	2,123	0,035 6	6,58
	240	2,593	2,101	0,036 7	7,15
	260	2,487	2,088	0,038 0	7,72
	280	2,391	2,078	0,039 4	8,38
8	180	4,047	2,364	0,036 2	4,14
	200	3,834	2,265	0,036 8	4,58
	220	3,650	2,199	0,037 5	5,01
	240	3,486	2,161	0,038 5	5,44
	260	3,339	2,135	0,039 6	5,89
	280	3,206	2,118	0,040 8	6,35
	300	3,085	2,110	0,042 2	6,84
10	320	2,974	2,105	0,043 7	7,33
	180	5,144	2,569	0,040 9	3,43
	200	4,857	2,371	0,040 2	3,78
	220	4,610	2,268	0,040 3	4,13
	240	4,394	2,216	0,041 0	4,48
	260	4,203	2,186	0,042 0	4,88
	280	4,032	2,164	0,043 1	5,26
300	3,876	2,156	0,044 6	5,65	
320	3,734	2,147	0,046 0	6,03	

Tekućina	Temperatura <i>t</i> °C	Gustoća <i>ρ</i> kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet <i>c<sub>p</sub></i> kJ/kg K	Koef. topl. vodljivosti <i>λ</i> W/(m · K)	Kinemat. viskoznosti <i>ν</i> mm <sup>2</sup> /s
voda	0	1 000	4,219	0,555	1,79
	20	998	4,182	0,598	1,01
	40	992	4,178	0,627	0,658
	60	983	4,190	0,651	0,478
	80	972	4,199	0,669	0,364
	100	958	4,215	0,681	0,295
	120	944	4,232	0,685	0,249
	140	926	4,257	0,684	0,217
	160	908	4,282	0,680	0,189
	180	887	4,395	0,673	0,172
	200	861	4,500	0,665	0,162
	250	794	4,855	0,644	0,137
300	700	5,693	0,564	0,131	
mazivo ulje	20	871	1,850	0,144	15,0
	40	858	1,934	0,143	7,93
	60	845	2,018	0,142	4,94
	80	832	2,101	0,141	3,40
	100	820	2,185	0,140	2,44
	120	807	2,269	0,138	1,91
transformatorsko ulje	20	866	1,892	0,124	16,5
	40	852	1,993	0,123	16,7
	60	842	2,093	0,122	8,69
	80	830	2,198	0,120	5,20
	100	818	2,294	0,119	3,79
ugljični dioksid CO <sub>2</sub>	20	771	3,642	0,087	0,0624
	30	596	—	0,071	0,0543
sumporni dioksid SO <sub>2</sub>	20	1 485	—	0,223	0,321
	0	1 435	1,356	0,212	0,256
	20	1 383	1,390	0,199	0,220
amonijak NH <sub>3</sub>	-20	665	4,562	0,585	0,383
	0	639	4,646	0,540	0,376
	20	610	4,772	0,494	0,360
monokloracetan CH <sub>3</sub> Cl	-20	997	1,507	0,195	0,310
	0	960	1,570	0,179	0,304
	20	921	1,591	0,163	0,293
živa Hg	0	13 595	0,140	10,5	0,125
	20	13 546	0,139	9,3	0,115

Kovina	Temperatura <i>t</i> °C	Gustoća <i>ρ</i> kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet <i>c<sub>p</sub></i> kJ/kg K	Koef. topl. vodljivosti <i>λ</i> W/(m · K)
aluminij	20	2 700	0,896	229
bakar, čisti	20	8 930	0,383	395
trgovački	20	8 300	0,419	172
bronca, alumin. kositrena	20	7 800	0,419	—
	20	8 750	0,352	55
cink	20	7 130	0,385	113
crveni lijev	20	8 600	0,377	60
čelik, 0,1% C	0	7 850	0,465	59
	400	—	0,628	44
	600	—	—	37
— 0,2% C	20	7 850	0,460	50
— 0,6% C	20	7 840	0,460	47
— 13% Cr	20	7 750	0,460	29
Cr-Ni	20	7 900	0,477	14
	500	—	0,607	21
— 18Cr & Ni	20	7 880	0,502	20
— 36% Ni	20	8 130	0,502	16
duralumin	20	2 700	0,912	165
	100	—	—	181
elektron	20	1 800	—	116
kositar (kalaj)	20	7 280	0,226	65
magnezij, čisti	20	1 740	1,017	143
myšd (mesing)	20	≈ 8 600	0,381	≈ 93
monel	20	8 580	0,500	26
nikal, čisti	20	8 800	0,446	58
novosrebro	20	—	0,393	24
olovo, čisto	0	11 340	0,128	35
	100	—	0,134	34
platina	20	21 400	0,133	70
sijumini	20	2 600	0,900	159
sivi lijev	20	≈ 7 250	0,540	≈ 58
srebro	20	10 500	0,234	417
volfram	20	19 300	0,134	—
zlato	20	19 250	0,129	310
željezo, čisto	20	7 850	0,465	67

Toplinska svojstva anorganskih krutina

Materijal	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c$ kJ/kg K	Koef. topl. vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)
azbestne ploče	20	2000	—	0,7
azbestna vuna	20	300	—	0,09
	20	600	—	0,20
beton, suhi	20	≈ 2100	0,880	≈ 1,10
granit	20	2900	0,750	2,9
katlovac				
karbonatni	300	1000 ... 2500	—	0,15 ... 2,30
- silikatni	300	300 ... 1200	—	0,08 ... 0,23
- sulfatni	300	2000 ... 2700	0,840	0,7 ... 2,30
kremen	50	≈ 400	0,840	≈ 0,08
kremeno staklo	20	2210	0,710	1,36
led (H <sub>2</sub> O)	0	917	1,930	2,2
	-50	924	—	2,8
mramor	20	≈ 2600	0,800	2,8
opeka, suha	20	≈ 1700	0,840	≈ 0,46
pijesak, suhi	20	1520	—	0,33
peščanjak	20	≈ 2220	0,710	≈ 1,9
porculan	20	≈ 2360	0,800	≈ 1,2
silikatna opeka	100	≈ 1850	—	≈ 1,10
(silika)	1000	—	—	≈ 1,60
snijeg	0	200	—	0,15
staklena vuna	20	50	0,670	0,036
	20	300	—	0,043
staklo	20	2700	0,840	0,76
šamotna opeka	100	≈ 1850	0,840	≈ 0,8
	1000	—	1,130	≈ 1,0
tlo, ilovačasto	20	1450	0,880	1,28
vapnenac	20	2650	0,840	2,2
vuna od troske	20	200	0,750	0,04
	20	500	—	0,06
zid od opeke	20	—	—	≈ 0,75
žbuka, zidna	20	1690	0,840	0,80

Toplinska svojstva organskih krutina

Materijal	Temperatura $t$ °C	Gustoća $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Spec. topl. kapacitet $c$ kJ/kg K	Koef. toplinske vodljivosti $\lambda$ W/(m · K)
asfalt	20	2120	0,920	0,74
bakelit	20	1270	1,590	0,23
pamuk				
- češljani	20	81	—	0,059
- pleteni	—	245	1,300	0,077
- tkani	—	330	—	0,070
celulozid	20	1400	—	0,215
ebonit	20	1190	1,420	0,16
guma	20	1200	1,420	≈ 0,16
gumena spužva	20	224	—	0,055
koks	20	1400	0,920	—
drvo (prosušeno)				
- bor	20	≈ 550	2,790	0,14
	—	—	—	0,28
- bukva	20	≈ 700	—	0,35
- hrast	20	≈ 850	2,390	≈ 0,10
	—	—	—	0,37
drveni ugljen	20	200	0,840	0,06
papir	20	1000	1,340	0,14
pluto	20	200	1,380	0,05
ugljen	20	≈ 1200	1,300	≈ 0,21
ugljena prašina	30	730	1,300	0,12
šećer	0	1600	1,260	0,6
svila, tkana	0	147	—	0,045
	50	—	1,260	0,055
	100	—	—	0,060
koža	20	1000	1,510	≈ 0,16
vuna				
- češljana	20	9	—	0,036
- pletena	—	176	1,670	0,04
- tkana	—	380	—	0,050
pijevina (sitna)	20	190	—	0,06

### Toplinsko zračenje (isijavanje)

Zračenje topline jest odavanje energije elektromagnetskim valovima dužine 0,8 - 300 μm (toplinske — infracrvene zrake).

Apsorpcijski koeficijent  $a$  jest omjer energije  $W_a$  koju tijelo apsorbira (upija) i sve energije  $W$  koja dopijeva na površinu tijela

$$a = W_a / W < 1$$

$$W_a = W \quad a = 1 \quad \text{toplinski »crno« tijelo}$$

$$W_a = 0 \quad a = 0 \quad \text{»toplinski »bijelo« tijelo}$$

Stvarna tijela nisu ni toplinski »bijela« ni »crna«, već toplinski »siva«

$$0 < W_a < W \quad 0 < a < 1$$

Emisijski koeficijent  $\epsilon$  jest omjer energije  $W_e$  koju odaje površina »sivog« tijela i energije  $W_c$  koju odaje površina »apsolutno crnog« tijela:

$$\epsilon = W_e / W_c < 1$$

Po Kirchhoffovu zakonu vrijedi (pri jednakoj temperaturi),  $\epsilon = a$

Emisijski koeficijenti tehnički važnih tvari sabrani su na str. 219.

Stefan-Boltzmannov zakon

Toplinski tok  $\Phi$  koji pri zračenju odaštuje apsolutno crno tijelo upravo je razmjeran površini  $A$  i 4. potenciji apsolutne temperature  $T$

$$\Phi = \sigma_0 T^4 A$$

gdje je  $\sigma_0 = 5,66961 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

U tehnici se ta jednadžba upotrebljava u obliku

$$\Phi = \sigma (T/100)^4 A$$

gdje je  $\sigma$  »konstanta zračenja apsolutno crnog tijela«

$$\sigma = 5,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

Za »siva« tijela vrijedi  $\Phi_e = \epsilon \sigma (T/100)^4 A$

gdje je  $\epsilon$  emisijski koeficijent sivog tijela.

Izmjena topline zračenjem između dvaju tijela apsolutnih temperatura  $T_1$  i  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) i emisijskih koeficijenata  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_2$

gdje je  $\sigma'$ : 
$$\Phi = \sigma' [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] A$$

a) u veoma velikih, blizu smještenih, paralelnih i ravnih ploha ( $A = A_1 = A_2$ ) 
$$\sigma' = \sigma [1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1]$$

b) ako drugo tijelo (2) potpuno okružuje prvo tijelo (1)

$$\sigma' = \sigma [1/\epsilon_1 + \omega(1/\epsilon_2 - 1)]$$

Ako je ploha  $A_1$  znatno manja od plohe  $A_2$  ( $\omega \approx 0$ ), vrijedi:  $\sigma' = \epsilon_1 \sigma$ .

c) za proizvoljno smještene plohe  $A_1$  i  $A_2$  je  $\sigma' = \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma$ .

### Emisijski koeficijenti i površinskog zračenja

Površina		Temperatura $t$ °C	Emisijski koeficijent $\epsilon$
materijal	stanje		
<b>kovine:</b>			
aluminij	oksidiran	25	0,07
	poliran	230	0,05
alum. za brucetar.	namaz	100	0,30
bakar	tamno oksidiran	20	0,78
	oksidiran	130	0,76
	poliran	20	0,030
čink	oksidiran	20	0,25
	poliran	230	0,045
čelik	tamno zardao	20	0,85
	lijevana površina	100	0,80
	vajana površina	20	0,77
	crveno zardao	20	0,61
	brusen	20	0,24
	sjajan, jetkan	150	0,128
kobalt	sjajan	20	0,07
krom	poliran	150	0,058
mjed	oksidirana	338	0,22
	polirana	300	0,05
nikal	poliran	100	0,045
olovo	oksidirano	20	0,28
	polirano	130	0,06
sivi ljev	tokaren	20	0,43
srebro	polirano	20	0,025
zlat	polirano	20	0,025
<b>nekovine:</b>			
drvo	blanjano	20	0,90
krevna ljepenka		20	0,93
lak, emajl		20	0,90
lak za radiator		100	0,925
leđ	gladak	0	0,966
namot	poliran	20	0,93
opeka	gruba, crvena	20	0,91
papir		95	0,85
porculan		20	0,91
staklo		90	0,94
svilena tkanina		20	0,77
šamor		1200	0,60

## Prolaz topline

a) *Prolaz topline kroz stijenke pri dovodnju toplinskog toka dodirom*  
 Toplinski tok koji prelazi s neke tvari (temperature  $T_1$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_1$ ) na stijenku, kroz tu stijenku (debljine  $\delta$  i koeficijenta toplinske vodljivosti  $\lambda$ ) te sa stijenke na drugu tvar (temperature  $T_2$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_2$ ) iznosi za površinu stijenke  $A$

$$\Phi = Q/t = k(T_1 - T_2)A$$

$k$  je koeficijent prolaza topline koji se dobiva iz jednadžbe

$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$$

Koeficijent prolaza topline  $k$  mjerimo istim jedinicama kao i koeficijent prijelaza topline  $\alpha$ , tj. u  $W/m^2K$ .

Za višeslojne stijenke (npr. za stijenke od dva sloja, od kojih jedan ima debljinu  $\delta_1$  i vodljivost  $\lambda_1$ , a drugi debljinu  $\delta_2$  i vodljivost  $\lambda_2$ ) koeficijent prolaza topline  $k$  računamo po jednadžbi

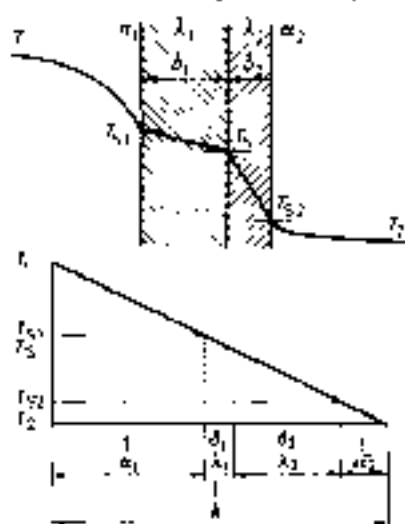
$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + 1/\alpha_2$$

Temperature na pojedinim mjestima stijenke možemo odrediti trenutnim dijagramom (lijevo) ili jednadžbama

$$T_{s1} = T_1 - k(1/\alpha_1)(T_1 - T_2)$$

$$T_s = T_1 - k(1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1)(T_1 - T_2)$$

$$T_{s2} = T_1 - k(1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2) \cdot (T_1 - T_2)$$



b) *Prolaz topline kroz stijenku pri dovodnju toplinskog toka zračenjem i dodirom*

Toplinski tok koji prelazi *dodirno* s neke tvari (temperature  $T_1$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_1$ ) i istodobno *zračenjem* s neke stijenke (temperature  $T$  i emisijskog koeficijenta  $\epsilon$ ) na drugu stijenku (emisijskog koeficijenta  $\epsilon_2$ ), te prolazi kroz tu stijenku (debljine  $\delta$  i vodljivosti  $\lambda$ ) i s nje prelazi na drugu tvar (temperature  $T_2$  i koeficijenta prijelaza  $\alpha_2$ ) iznosi

$$\Phi = k(T_1 - T_2)A$$

Koeficijent  $k$  računamo iz jednadžbe

$$1/k = 1/(\alpha_1 + \alpha_2) + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$$

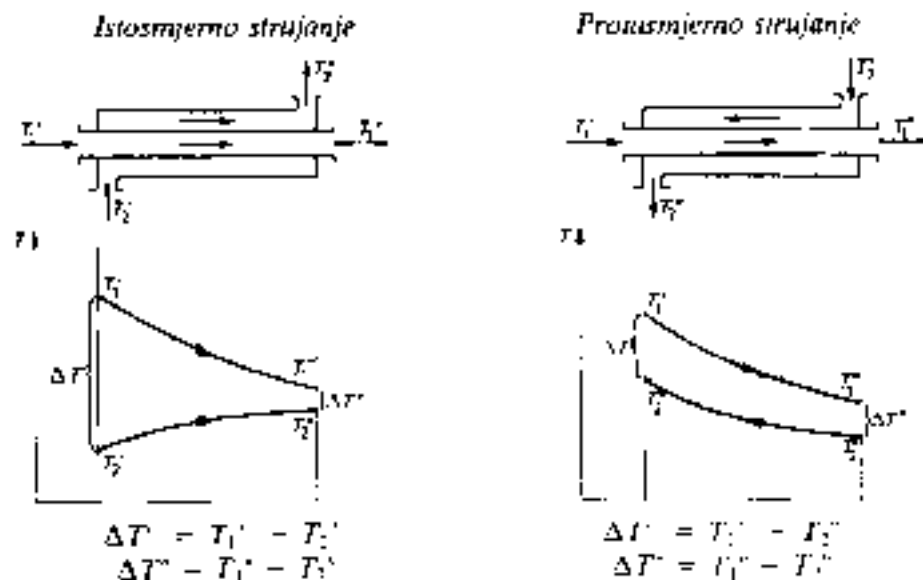
gdje je  $\alpha = \sigma'(T/100)^4 - (T_{s2}/100)^4 / (T_1 - T_{s1})$

Vrijednost  $\sigma'$  izračunavamo iz poznatih koeficijenata  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_2$  (vidi str. 219), a temperaturu  $T_{s1}$  iz jednadžbe  $T_{s1} = T_1 - k/\alpha_1 + \alpha_1(T_1 - T_2)$

## Tehnički izmjenjivači topline

Toplinski tok  $\Phi$  prelazi s tvari početne temperature  $T_1$  i konačne niže temperature  $T_1'$  na tvar početne temperature  $T_2$  i konačne više temperature  $T_2'$ . Temperaturna razlika između obje tvari na svakom je mjestu izmjenjivača drukčija.

S obzirom na međusobni smjer strujanja obje tvari u izmjenjivaču, razlikujemo istosmjerno, protusmjerno i unakrsno strujanje.



Toplinski tok u izmjenjivaču topline računamo pomoću prosječne temperaturne razlike  $\Delta T_{med}$   $\Phi = k \cdot \Delta T_{med} \cdot A$

gdje su:  $k$  – koeficijent prolaza topline (vidi str. 220),  $A$  – površina izmjenjivača.

Prosječna («logaritamska») temperaturna razlika iznosi

$$\Delta T_{med} = (\Delta T' - \Delta T'') / \ln(\Delta T' / \Delta T'')$$

Prosječna (logaritamska) temperaturna razlika  $\Delta T_{med}$  pri protusmjernom strujanju veća je nego pri istosmjernom.

Pri protusmjernom strujanju može biti konačna temperatura tvari koji toplinu prima (grijući se) viša od konačne temperature tvari koji toplinu predaje (hladeći se). Pri istosmjernom je strujanju, međutim, konačna temperatura tvari koji toplinu prima uvijek niža od konačne temperature tvari koji toplinu predaje.

Zato u izmjenjivačima topline protusmjerno strujanje ima uvijek prednost pred istosmjernim. Unakrsno se strujanje po svom efektu približuje protusmjernome.

Simboli

	čista sirova voda		kemijska priprema vode		turbina
	para		parni kotao		stapni pogonski stroj
	dimni plinovi		parni kotao s pregr- jačem		elektromotor
	gorivi plin ulju ugljen		isparivač (transforma- tor pare)		gonjeni stroj (općenito)
	ventil redukcijom ventil		plinski generator		turbo-pumpa
	odvodnik kondenzata		gorionik (za ulje)		stapna pumpa
	uljni rezervoar		izmjenjivač toplina miješanjem		turbo- kompresor ventilator
	površinski izmjenjivač toplina		ispuh		stapni kompresor
	površinski izmjenjivač toplina		kondenzator na miješanje		transportni stroj
	odvajач pare		površinski kondenzator		električni generator
	odvajач prašine (ciklon)		površinski kondenzator s površnom hladenom		mjerač
	efektor		rashladni toranj		regulator

Parni su kotlovi toplinski uređaji koji se sastoje od:

a) *uređaja za loženje*, tj. ložišta (prostora za izgaranje), u kojem se izgaranjem oslobođena kemijski vezana energija goriva da bi prešla na dimne plinove, i pomoćnih uređaja za loženje (roštilj, gorionik itd.).

b) *izmjenjivača toplina* (parnog kotta u užem smislu), u kojem toplina prelazi s dimnih plinova na vodu odnosno paru.

Toplinski tok  $\Phi$  koji s gorivom dolazi u ložište izražavamo potruškom goriva  $B$  ( $\text{kg/s}$ ) i njegovom donjom ognjevnom moći  $H_1$

$$\Phi = BH_1$$

Dovodimo li u ložište zagrijan zrak za izgaranje, dolazi s njime  $\mu\delta$  i toplinski tok

$$\Phi_2 = BZh_{mz}$$

gdje su:  $Z$  količina zraka za izgaranje na jedinici količine goriva ( $\text{kmol/kg}$ ) (str. 202),  $h_{mz}$  molna entalpija zraka ( $\text{kJ/kmol}$ ) (str. 164).

Ložišta su građena za:

- izgaranje u sloju, tj. roštilju (ravnom ručnom ili mehaničkom, stepeničastom i sl. za komadno gorivo).
- izgaranje u lebdanju, tj. u komori za izgaranje (za ugljenu prašinu, ulje ili plin)

Površinu roštilja  $R$  ( $\text{m}^2$ ) određujemo na temelju «površinskog toplinskog opterećenja ložišta»

$$\Phi/R = BH_1/R$$

koje iznosi za	ravni ručni roštilj	600 ... 1000 $\text{kW/m}^2$
	mehanički roštilj	900 ... 1600 $\text{kW/m}^2$
	stepenasti roštilj	700 ... 800 $\text{kW/m}^2$

Volumen ložišnog prostora  $V$  ( $\text{m}^3$ ) ocjenjujemo na temelju «prostornog toplinskog opterećenja ložišta»

$$(\Phi + \Phi_2)/V = B(H_1 + Zh_{mz})/V$$

koji iznosi:	za mehanički roštilj pri loženju	250 ... 400 $\text{kW/m}^3$
	- ugljenom prašinom	170 ... 330 $\text{kW/m}^3$
	- uljem	900 ... 2500 $\text{kW/m}^3$
	- plinom	1600 ... 2500 $\text{kW/m}^3$

Pri izgaranju pod tlakom (ulja ili plina) dostiže specifično opterećenje ložišta i do 8000  $\text{kW/m}^2$

Presjek ložišta  $S_k$  ( $\text{m}^2$ ) ocjenjujemo na osnovu «površinskog toplinskog opterećenja presjeka ložišta»

$$(\Phi + \Phi_2)/S_k = B(H_1 + Zh_{mz})/S_k$$

koji iznosi za ložišta na ugljenu prašinu 2300 ... 2800  $\text{kW/m}^2$



Izmjenjivač topline s dimnih plinova na vodu odnosno paru izveden je kao sistem cijevi.

Vodu odn. paru zagrijavamo pri konstantnom tlaku  $p$  koji održavamo regulacijom loženja, pri čemu napojne pumpe napajaju kotao protokom vode  $q$  (kg/s).

S obzirom na različite uvjete prijenosa topline na vodu odn. paru, razlikujemo sljedeće djelove izmjenjivača topline

a) *Zagrijač vode* (tekatornajzer) u kojem se napojna voda temperature  $T_v$  i specifične entalpije  $h_v$  zagrijava do temperature  $T_a$ , pri čemu joj naraste specifična entalpija na  $h_a$ . Da se voda ne bi isparavala već u zagrijaču, mora temperatura  $T_a$  biti niža od temperature zasićenja  $T_s$  (koja odgovara tlaku  $p$  u parnom kotlu),  $T_a < T_s$ . Zato je također  $h_a < h'$ . (Specifična entalpija  $h'$  određena je tlakom  $p$ .)

U zagrijaču vode dovodimo vodi toplinski tok  $\Phi_a$

$$\Phi_a = q(h_a - h_v)$$

b) *Isparivač* je namijenjen daljnjem zagrižavanju vode do temperature zasićenja  $T_s$  i njenom isparivanju. U isparivaču dobivamo mokru paru suhoće  $x = 0,95 \dots 0,96$  i entalpije  $h_b = h' + x(h'' - h')$ . (Specifične entalpije  $h'$  i  $h''$  određene su tlakom  $p$ .)

U isparivaču dovodimo vodi-paru toplinski tok  $\Phi_b$

$$\Phi_b = q(h_b - h_a)$$

c) *Pregrijač pare* služi za sušenje pare do potpune suhoće  $x = 1$  (suho zasićena para) i njenom pregrižavanju do temperature pregrižanja  $T$ , pri čemu se para poveća specifična entalpija na vrijednost  $h$  (koja je određena tlakom  $p$  i temperaturom  $T$ ).

V pregrijaču dovodimo pari toplinski tok  $\Phi_c$

$$\Phi_c = q(h - h_b)$$

Suprotno načelu protustrujnog izmjenjivača topline dimni plinovi predaju toplinu najprije isparivaču (budući da voda koja se isparava dovoljno hladi cijevne stijenke pa ih možemo smjestiti u područje najviših temperatura), zatim pregrijaču (u kojemu pregrižana para — plin slabo hladi cijevne stijenke pa ih stoga ne možemo smjestiti u područje najviših temperatura) i konačno zagrijaču vode. U parnih kotlova koji upotrebljavaju zagrižan zrak za izgaranje (ložišta na ugljenu prašinu, ulje ili plin) smješten je na kraju puta dimnih plinova *zagrijač zraka* (koji vraća toplinski tok  $\Phi_2$  u ložište).

Zbog odvođenja toplinskih tokova iz dimnih plinova na isparivač i pregrijač pare te na zagrijač vode i zraka, dimni se plinovi postupno ohlađuju. Konačna temperatura dimnih plinova, osobito ako sadrže mnogo vlage, ne smije biti manja od  $140^\circ\text{C}$  (jer bi se kondenzacijom vlage na hladnim cijevnim stijenkama stvarale kiseline koje bi ih najedale).

Proračun veličine ogrjevnih površina pojedinih dijelova izmjenjivača topline — vidi str. 221.

**Kapacitet (smaga) parnog kotla** određen je toplinskim tokom koji u svim dijelovima izmjenjivača topline dovodimo vodi pari

$$\Phi_k = \Phi_a + \Phi_b + \Phi_c = q(h - h_v)$$

Osim toplinskog toka  $\Phi_k$  upotrebljava se za oznaku kapaciteta parnih kotlova također

a) proizvodnja pare  $q$  (što nije tačno jer uz istu proizvodnju pare  $q$  toplinski tok  $\Phi_k$  ovisi još i o razlici entalpija  $h - h_v$ );

b) ogrjevna površina izmjenjivača  $A$  (što je netočno jer toplinski tok  $\Phi_k$  uz inače jednake ogrjevne površine ovisi i o koeficijentu prolaza topline  $k$  i o prosječnoj temperaturnoj razlici  $\Delta T$ , vidi str. 221).

#### Korisnost parnog kotla

Toplinski tok  $\Phi_k$ , koji prelazi na vodu-paru bit će manji od toplinskog toka  $\Phi$  koji dolazi u ložište s gorivom ( $\Phi_k < \Phi$ ), i to zbog gubitaka u parnom kotlu (ložištu i izmjenjivaču topline), tj. zbog

neizgorjelih ostataka goriva u pepelu	do 5%,
letećeg koksa i čađe	do 8%,
neizgorjelih plinova — CO, CH <sub>4</sub> itd.	do 1%,
toplina dimnih plinova	8 — 11%,
zračenja i prijenosa topline na okolinu	do 12%.

Korisnost parnog kotla  $\eta_k$  je omjer toplinskih tokova  $\Phi_k$  i  $\Phi$

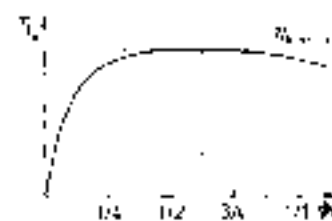
$$\eta_k = \Phi_k / \Phi = q(h - h_v) / BH_1$$

a iznosi za razne kotlove.

za manje (s ravnim roštiljem)	$\eta_k = 0,72 \dots 0,78$
za veće (s mehaničkim roštiljem)	$\eta_k = 0,77 \dots 0,84$
za najveće (pri loženju ugljenom prašinom, uljem ili plinom)	$\eta_k = 0,83 \dots 0,91$

Krivulja ovisnosti korisnosti o opterećenju teče u širokom pojasa opterećenja vrlo polužrto. (Ovdje nisu uračunati dodatni gubici zbog pogonskih prekida djelovanja kotla.)

Najveću korisnost  $\eta_{k, \text{opt}}$  postiže pri najčešćem opterećenju, tj. pri 2/3 — 3/4 nazivnog kapaciteta kotla.



**Energija pare** s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$  prostijeće — osim iz toplinskog toka  $\Phi_k$  — još i iz toplinskog toka  $\Phi_2$  što ga je napojna voda primila prije ulaza u parni kotao iz drugih izvora koji su joj povećali specifičnu entalpiju od  $h_0$  pri temperaturi  $T_0$  na  $h_v$  pri temperaturi  $T_v$

$$\Phi_2 = q(h_v - h_0)$$

Ukupna energija pare na izlazu iz kotla izražena je dakle toplinskim tokom

$$\Phi_k + \Phi_2 = q(h - h_0)$$

Svaki parni kotao mora imati najmanje dva uređaja za napajanje koji dobivaju pogonsku energiju iz međusobno nezavisnih izvora (npr. elektromotor i parni stroj, benzinski ili dizelski motor i sl.).

Za napajanje služe ponajviše stepne pumpe i turbopumpe.

Kapacitet napojnih pumpi odabire se tako da bi pri kvaru na najvećoj pumpi sve preostale dobavljale protok  $q_p$  koji je veći od najvećeg protoka  $q$  vode-pare kroz parni kotao, a to:

$$q_p = 1,6q \quad \text{ako je parni kotao bez automatske regulacije, a protok je } q \leq 30 \text{ t/h,}$$

$$q_p = 1,25q \quad \text{ako parni kotao ima automatsku regulaciju, a protok je } q > 30 \text{ t/h ili je pogon neposredno s glavnog parnog stroja.}$$

Putrebna snaga za pogon napojnih pumpi iznosi:

$$\text{- teoretska} \quad P_0 = q_p \left[ \frac{(p - p_n) + \Delta p}{\rho} + g h_g \right]$$

$$\text{- efektivna} \quad P = \frac{P_0}{\eta_p}$$

gdje znači:  $p$  – tlak u kotlu,  $p_n$  – tlak u napojnom spremniku,  $\Delta p$  – protučne gubitke,  $\rho$  – gustocina vode pri temperaturi napajanja  $T_v$ ,  $h_g$  – geodetsku visinu razine vode u kotlu nad razinom u napojnom rezervoaru,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $\eta_p$  – korisnost pumpe.

Protučne gubitke  $\Delta p$  ocjenjujemo s:

0,5 ... 1 bar – za zagrijač vode (ekonomajzeri),

2,5 bar – za napojni regulator,

2 ... 3 bar – za otpore u cjevovodima

Korisnost napojnih pumpi  $\eta_p$  iznosi:

$\eta_p = 0,9 \dots 0,97$  – kod stepnih pumpi s neposrednim djelovanjem pogonskog stroja na stepenicu pumpe,

$\eta_p = 0,8 \dots 0,9$  – kod normalnih stepnih pumpi,

$\eta_p = 0,6 \dots 0,9$  – kod turbopumpi.

\*

Za visokotlačne parne kotlove, kod kojih moramo uzeti u obzir povećanje gustoće vode pri napajanju, računamo teoretsku snagu pumpe pomoću entalpijske razlike vode

$$P_0 = q_p (h_s - h_r)$$

gdje znače:  $h_r$  – specifičnu entalpiju vode pri atmosferskom tlaku  $p_a$  i temperaturi ispred napojne pumpe,  $h_s$  – specifičnu entalpiju vode nakon izentropske kompresije u pumpi

Energija pare je upotrebljiva u cijelosti samo kao toplina koju možemo prenositi s jednog tijela na drugo (grijanje). Međutim, čitava energija pare nije na raspolaganju za pretvorbu u mehanički rad.

Eksergija pare je radna sposobnost pare (sposobnost za pretvorbu njezine unutarnje energije u mehanički rad) s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$ .

Specifična eksergija pare na izlazu iz parnog kotla iznosi

$$e = (h - h_0) - b \quad b = T_0(s - s_0)$$

gdje su:  $b$  – specifična energija pare;  $h, s$  – specifična entalpija odn. specifična entropija pregrijane pare;  $h_0, s_0$  – specifična entalpija odn. specifična entropija vode pri stanju okoline.

Specifična eksergija pare  $e$  pokazuje koji bi se dio energije pare mogao teoretski pretvoriti u mehanički rad s obzirom na temperaturu okoline  $T_0$ .

Raspoloživi pad entalpije  $\Delta h_d$

Eksergija pare međutim nije u cijelosti raspoloživa za pretvorbu u mehanički rad iz sljedećih razloga:

1. U cjevovodu od parnog kotla do parnog stroja para se ohlađuje s temperature  $T$  na  $T_1$  ( $T - T_1 = 5 \dots 10 \text{ K}$ ) i prigušuje s tlaka  $p$  na  $p_1$  (uz brzinu protjecanja 30 ... 50 m/s iznosi  $p - p_1$ ; pri srednjim tlakovima 2 ... 3 bar, pri najvišim tlakovima 10 ... 15 bar). Temperatura  $T_1$  i tlak  $p_1$  određuju specifičnu entalpiju  $h_1$  pare ispred parnog stroja;  $h_1 < h$ .

2. Na kraju izentropske ekspanzije pare ne postignemo temperaturu okoline  $T_0$  nego temperaturu  $T_2$  koja je viša  $T_2 > T_0$ , a to:

a) kod kondenzacionih je naprava temperaturna razlika  $T_2 - T_0$  malena ( $t_2 \approx 28 \dots 42^\circ\text{C}$ ) i služi samo za prijenos topline s pare na rashladnu vodu (temperaturi  $T_2$  odgovara u kondenzatoru tlak  $p_2$  od 0,04 ... 0,08 bar),

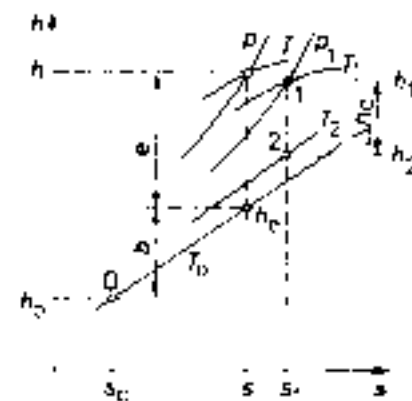
b) kod ispušnih je strojeva temperatura  $T_2$  znatno viša ( $t_2 = 102 \dots 104^\circ\text{C}$ ) i odgovara konačnom tlaku  $p_2$  koji je viši od atmosferskoga za otpore trenja u ispušnim vodovima ( $p_2 = 1,1 \dots 1,2 \text{ bar}$ ),

c) kod protuflućnih je strojeva temperatura  $T_2$  još viša ( $t_2 = 120 \dots 180^\circ\text{C}$ ) te joj odgovaraju i viši konačni tlakovi ( $p_2 = 2 \dots 10 \text{ bar}$ ).

Konačna je specifična entalpija pare  $h_2$  stoga viša.

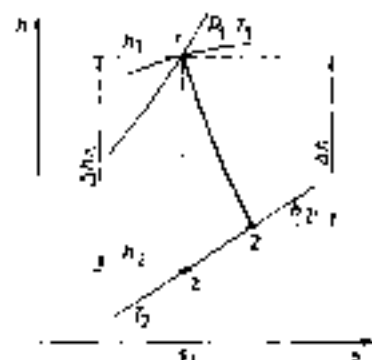
Raspoloživi pad entalpije  $\Delta h_d$  dan je razlikom specifične entalpije  $h_1$ , koja je određena početnim stanjem ( $p_1, T_1$ ), i konačne specifične entalpije  $h_2$ , koja je određena izentropom i temperaturom  $T_2$  (tlakom  $p_2$ ):

$$\Delta h_d = h_1 - h_2 < e$$



Parni strojevi su pogonski strojevi koji upotrebljavaju vodenu paru kao neposredno pogonsko sredstvo; to su stepni strojevi i parne turbine. (Iznimno su parni strojevi građeni i za pogon drugim parama, npr. živinim.)

**Snaga parnih strojeva** proizlazi iz protoka pare  $q$  i razpoloživog entalpijskog pada  $\Delta h_d$  (vidi str. 227).



*Teoretska snaga*  $P_0$  iznosi

$$P_0 = q \Delta h_d = q(h_1 - h_2)$$

Stvarni entalpijski pad  $\Delta h$  manji je od raspoloživoga zbog unutarnjih gubitaka u stroju (prigušivanje pare, toplinska razmjena između pare i stijenki stroja, nepotpuna ekspanzija itd.)

$$\Delta h = h_1 - h_2 < \Delta h_d$$

gdje je  $h_2$  stvarna specifična entalpija pare na izlazu iz stroja.

Unutarnja korisnost stroja

$$\eta_i = \Delta h / \Delta h_d$$

pokazuje koji dio raspoloživoga entalpijskog pada parni stroj stvarno iskorištava i time označuje stupanj valjanosti stroja.

*Unutarnja snaga* stroja  $P_i$  iznosi

$$P_i = q \Delta h = \eta_i q \Delta h_d = \eta_i P_0$$

*Efektivna snaga* stroja  $P$  (na pogonskoj osovini) manja je zbog vanjskih gubitaka stroja (mehaničkih gubitaka zbog trenja u ležajima i zglobovima stroja, pogona regulatora itd.) i iznosi

$$P = \eta_m P_i = \eta P_0 = \eta q \Delta h_d$$

gdje su  $\eta_m$  - mehanička korisnost stroja  $\eta$  - cjelokupna korisnost stroja

$$\eta = \eta_i \eta_m$$

Valjanost se stroja još gdjekada u praksi izražava - umjesto pravilno korisnošću - »jedinичnim potroškom pare«, i to s obzirom na unutarnju snagu

$$q P_i = 1 / (\eta_i \cdot \Delta h_d)$$

ili s obzirom na efektivnu snagu

$$q P = 1 / (\eta \cdot \Delta h_d)$$

Što međutim ne pokazuje stvarne valjanosti stroja. Jedinичni potrošak pare nije naimo ovisan samo o korisnosti  $\eta_i$  odnosno  $\eta$ , već i o raspoloživom entalpijskom padu  $\Delta h_d$ , a on ne ovisi o stroju

Stepni parni strojevi bili su prvi i stoga posebno značajni pogonski toplinski strojevi. Danas su stabilne parne strojeve potisnule parne turbine, dok su brodske i lokomotivske parne strojeve zamijenili naročito dizelovi motori, a na željeznici još i električna vuča. Iznimka su neke novije izvedbe brzih »parnih motora«

Indicirana snaga  $P_{ind}$  stroja iznosi

$$P_{ind} = (d^2 - d_h^2) \frac{\pi}{4} p_{med} s 2 \pi n$$

gdje znače:  $d$  - promjer parnog cilindra,  $d_h$  - promjer stapajice (u radnom prostoru cilindra),  $p_{med}$  - prosječni indicirani tlak u cilindru,  $s$  - stapaj,  $i$  - broj cilindara (dvostranih),  $n$  - brzina vrtnje.

Zanemarimo li gubitak topline cilindra na okolinu i gubitke pare zbog propustnosti stapa i razvodnika, indicirana snaga  $P_{ind}$  približno je jednaka unutarnjoj snazi  $P_i$

$$P_{ind} \approx P_i$$

*Prosječni indicirani tlak* u cilindru  $p_{med}$  određujemo iz indikatorskog dijagrama koji dobivamo indiciranjem. On ovisi u prvom redu o ulaznom tlaku pare  $p_1$ , punjenju  $\epsilon$  (dijelu stapaja za vrijeme kojega ulazi para u cilindar) i brzini vrtnje  $n$ .

Prosječni tlak u cilindru izražavamo kao dio ulaznog tlaka

$$p_{med} = \alpha p_1 \quad \alpha < 1$$

Koeficijent  $\alpha$  ovisi o punjenju  $\epsilon$  i brzini vrtnje  $n$  te raste s većim punjenjem ( $\epsilon = 0,1 \dots 0,8$ ) i manjom brzinom vrtnje  $n$ , a iznosi:

$$\alpha \approx 0,25 \dots 0,75$$

Trošenje stapnih prstenova smanjujemo ograničavanjem »prosječne stapne brzine  $v_{med} = 2 s n$ .

Brzina vrtnje  $n$  ograničena je inercijom masa mehanizama u translatornom gibanju, tj. stapa, stapajice, križne glave i dijela ojnice (oko 2/3).

**Korisnosti**

Indicirana korisnost  $\eta_{ind} = P_{ind} / P_0$  ovisi u prvom redu o punjenju  $\epsilon$  i brzini  $n$ , a približno je jednaka unutarnjoj korisnosti:  $\eta_{ind} \approx \eta_i$ .

Mehanička korisnost  $\eta_m$  također ovisi o brzini vrtnje  $n$ . Najbolje vrijednosti ukupne korisnosti  $\eta = \eta_i \eta_m$  ispušnih stapnih strojeva na pregrijanu paru iznose

$$\eta = 0,55 \dots 0,75$$

Manje se vrijednosti odnose na male, a veće na velike strojeve.

## Parne turbine

Parne su turbine brzi rotacijski strojevi koji rade povoljno pri konstantnoj brzini vrtnje. Stoga su idealni strojevi za pogon električnih generatora.

U usporedbi sa stapnim parnim strojevima parne turbine imaju stanovite prednosti, u prvom redu jednoličniji pogon i veću mogućnost izvedbe od najmanjih do najvećih jedinica (0,5 ... 200 000 kW i više). Izpušna je para u njih praktički bez ulja. Kod manjih izvedbi, npr. kao pomoćni strojevi, parne turbine imaju doduše manju korisnost nego stapni strojevi, ali za zato jednostavnije i lakše te i u tom slučaju dolaze u obzir. Parne turbine nisu prikladne za rad pri veoma promjenljivim brzinama vrtnje. Osim toga turbinu se može okretati samo u jednom smislu.

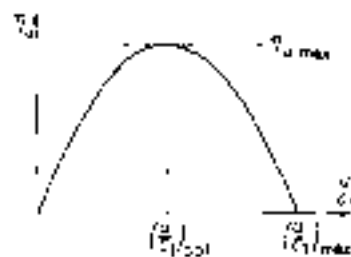
U parnim se turbinama toplinska energija pare (raspoloživi entalpijski pad  $\Delta h_0$ ) pretvara u kinetičku energiju parnog mlaza koji se – djelovanjem na pokretne lopatice rotora – pretvara u mehanički rad.

Apsolutne brzine mlaza –  $c_1$  na ulazu u rotorske lopatice i  $c_2$  na izlazu iz njih ovisne su od raspoloživog entalpijskog pada u statoru (stalnotlačno djelovanje – akcijsko) ili u statoru i rotoru (pretlačno djelovanje – reakcijsko).

Snaga turbine na obodu lopatičnog kola  $P_u$  je

$$P_u = q u (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2)$$

gdje znače:  $q$  – protok parne mase,  $u$  – obodnu brzinu kola (lopatice),  $\alpha_1$  – kut između apsolutne ulazne brzine i obodne brzine,  $\alpha_2$  – kut između apsolutne ulazne brzine i obodne brzine



Obodna brzina  $u$  određena je promjerom lopatičnog kola  $d$  i brzinom vrtnje  $n$

$$u = d \pi n$$

Korisnost na obodu lopatičnoga kola  $\eta_u$  jest omjer snage na obodu  $P_u$  i teoretske snage  $P_0$  (vidi str. 228); ona ovisi o omjeru obodne brzine i apsolutne ulazne brzine  $u/c_1$

$$\eta_u = P_u / P_0 = f(u/c_1)$$

Najveću korisnost  $\eta_{u, \text{opt}}$  dobivamo pri optimalnom omjeru  $(u/c_1)_{\text{opt}}$  koji iznosi:

kod akcijskih stupnjeva      0,4 ... 0,5  
 kod reakcijskih stupnjeva    0,6 ... 0,7

Turbina radi dakle s dobrom korisnošću samo u uskom području obodnih brzina  $u$  odnosno brzina vrtnje  $n$ . Pri naglom rasterećenju mogla bi da pohyegne do brzine koja odgovara omjeru  $(u/c_1)_{\text{max}} \approx 2(u/c_1)_{\text{opt}}$  (što regulator mora spriječiti).

S obzirom na čvrstoću turbinskog rotora brzine vrtnje  $n$  ograničene su maksimalnim obodnim brzinama u koje iznose 120 ... 400 m/s, no veće se vrijednosti mogu postići samo najboljim izvedbama (oblik kola, materijal!).

Obodnu brzinu smanjujemo stupnjevanjem brzine u više rotorskih vijenaca lopatica (Curtisovo kolo) ili izvedbom s više akcijskih ili reakcijskih stupnjeva. Izvedene turbine većinom su kombinacije osnovnih tipova.

Unutarnja snaga turbine  $P_i$  iznosi

$$P_i = q \Delta h$$

gdje je  $\Delta h$  – stvarni entalpijski pad (vidi str. 228).

Unutarnja snaga  $P_i$  manja je od obodne  $P_u$  za unutarnje gubitke trenja i ventilacije:  $P_i < P_u$ . Budući da su ti gubici neznatni, uzimamo da je unutarnja snaga  $P_i$  približno jednaka obodnoj snazi  $P_u$ :  $P_i \approx P_u$

Unutarnja korisnost  $\eta_i$  iznosi

$$\eta_i = P_i / P_u = \eta_u$$

Najveće vrijednosti unutarnje korisnosti  $\eta_i$ , mehaničke korisnosti  $\eta_m$  i cjelokupne korisnosti  $\eta = \eta_i \eta_m$  parnih turbina iznose:

Vrsta turbine	$\eta_i$	$\eta_m$	$\eta$
velike, mnogo stupnjeva	0,80 ... 0,86	0,985	0,79 ... 0,85
srednje	0,72 ... 0,78	0,98	0,70 ... 0,76
male, nekoliko stupnjeva	0,60 ... 0,70	0,97	0,58 ... 0,68
osebito male			< 0,50

Najuobičajenije vrijednosti tlaka  $p$  i temperature  $T$  pare ispred turbine:

snaga	malá	srednja	velika
$p$ (bar)	15 ... 30	40 ... 70	100 ... 200
$T$ (°C)	320 ... 450	450 ... 500	500 ... 600

Vrste turbine:

**Kondenzacijske** parne turbine iskorištavaju sav entalpijski pad (od tlaka svježe pare do kondenzacijskog tlaka). Imaju velik broj stupnjeva (visokotlačnih, srednjetačnih i niskotlačnih) koji mogu biti raspoređeni u nekoliko kućišta pa i na više osovina. Upotrebljavaju se u parnim termoelekttranama.

Pri regenerativnom zagrijavanju napojne vode (str. 236) upotrebljavaju se kondenzacijske parne turbine s odvojcima za paru.

**Industrijske** parne turbine su turbine prilagođene posebnim potrebama, npr.:

- protutlačne turbine koje iskorištavaju samo gornji dio entalpijskog pada, imaju manji broj stupnjeva (visokotlačnih i srednjetačnih) pa su razmjerno manje. (Upotrebljavaju se također za toplane.);
- turbine na otpadnu paru (iz drugih izvora) imaju samo niskotlačne stupnjeve.

## KONDEZACIJA

Iz parnog stroja objeđe protok  $q$  većinom već mokre pare ( $x > 0,9$ ) tlaka  $p_1$  i odgovarajuće temperature  $T_1$  te specifične entalpije  $h_1$ . U kondenzatoru predaje para pri konstantnom tlaku  $p_2$  toplinski tok  $\Phi$ , zbog čega se potpuno pretvara u kapljevino (kondenzira) i obično još nešto pothladi do temperature kondenzata  $T_3$  ( $< T_2$ ) i entalpije  $h_k$ . ( $T_2 - T_3 = 0 \dots 5$  K)

Zanemarimo li neznatan neposredni prijelaz topline s kondenzatora na okolinu, prelazi toplinski tok  $\Phi$  na rashladnu vodu, koja se pri protoku  $q_v$  ugrijava od temperature  $T_{v1}$  na  $T_{v2}$ . Ako je  $c$  specifični toplinski kapacitet vode, onda je

$$\Phi = q(h_1 - h_k) = q_v c (T_{v2} - T_{v1})$$

U površinskih kondenzatora toplina mora prolaziti kroz stijenke, zbog čega rashladna voda mora uvijek biti hladnija od pare:  $T_{v2} < T_k$ ; u kondenzatora na miješanje pare i rashladna voda su u neposrednom dodiru pa se konačne temperature izjednačuju:  $T_{v2} = T_3$ .

Ulazna temperatura rashladne vode  $T_{v1}$  iznosi:

- a) pri dovodenju vode neposredno iz okoline
  - iz rijeke, jezera ili mora  $0 \dots 25$  °C
  - iz bunara  $5 \dots 15$  °C
- b) pri dovodenju vode iz rashladnog tornja  $20 \dots 35$  °C

Da bismo postigli što veći podtlak u kondenzatoru, dopuštamo samo neznatno zagrijavanje rashladne vode u kondenzatoru:

$$\Delta T = T_{v2} - T_{v1} = 5 \dots 10 \text{ K}$$

Zbog toga je potrebna vrlo velika količina rashladne vode, a njezin protok  $q_v$  zavisi od protoka pare  $q$  i iznosi

- u površinskih kondenzatora  $q_v = (50 \dots 60)q$
- u kondenzatora na miješanje  $q_v = (25 \dots 30)q$

Ovisno o temperaturi rashladne vode postignemo u kondenzatoru tlak

- s vodom iz okoline  $0,04 \dots 0,05$  bar
- s vodom iz rashladnog tornja  $0,07 \dots 0,08$  bar

U površinskom kondenzatoru, iako je rashladna voda obične prirodne čistoće, dobivamo potpuno čist kondenzat (destilacija!) koji je vrlo prikladan za napajanje parnih kotlova. U kondenzatoru na miješanje kondenzat se miješa s rashladnom vodom pa čistoća takve mješavine zavisi od čistoće rashladne vode. Upotrebljavamo li tu mješavinu za napajanje parnih kotlova, mora rashladna voda biti u odgovarajućoj mjeri očišćena (kemijski onekšana).

Zrak u pari (koji se u kondenzatoru ne kondenzira) isisavamo iz kondenzatora posebnim zračnim pumpama ili ektorima (vodenim ili parnim mlazom).

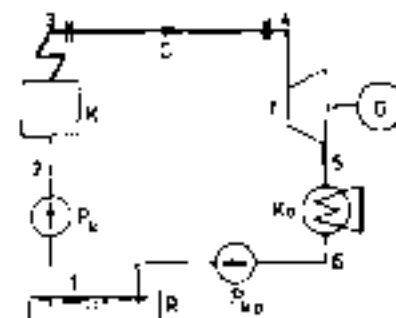
Proračun prolazne površine kondenzatora vidi na str. 22]. Pri brzini rashladne vode u cijevima  $v = 1,5 \dots 2,5$  m/s iznosi koeficijent prolaza topline  $k = 2900 \dots 4100$  W/m<sup>2</sup> K. (Prosječno možemo za protok pare  $q = 1$  kg/s računati s površinom od  $75 \dots 100$  m<sup>2</sup>.)

## PARNA POSTROJENJA

Kondenzacijska parna postrojenja namijenjena su isključivo za proizvodnju mehaničke energije, većinom za pogon električnih generatora u parnim termoelekttranama.

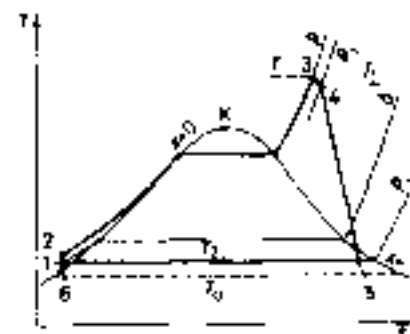
Jednostavno kondenzacijsko parno postrojenje s kružnim protokom vode-para  $q$  prikazano je u sljedećoj shemi:

- R - spremnik napojne vode
- P<sub>k</sub> - napojna pumpa
- K - parni kotao
- C - parni cjevovod
- T - parni stroj (turbina)
- G - električni generator
- Ko - kondenzator
- P<sub>ko</sub> - kondenzatna pumpa



Voda-para na kružnom putu mijenja svoje toplinsko stanje. Karakteristična mjesta različitih toplinskih stanja označena su u shemi brojevima od 1 do 6, a tako i u Ts-dijagramu:

Stanje na mjestu	Temperatura	Tlak	Specifična entalpija
1	$T_r$	$p_k$	$h_1$
2	$T_v$	$p$	$h_v$
3	$T$	$p$	$h$
4	$T_1$	$p_1$	$h_1$
5	$T_2$	$p_2$	$h_2$
6	$T_k$	$p_2$	$h_k$



Promjene specifične entalpije vode-para zbog promjene stanja:

1—2	u napojnoj pumpi	za $-(h_v - h_r)$
2—3	u parnom kotlu	za $+(h - h_v)$
3—4	u parnom vodu	za $(h - h_1)$
4—5	u parnom stroju (turbini)	za $-(h_1 - h_2)$
5—6	u kondenzatoru	za $-(h_2 - h_k)$
6—1	u kondenzatnoj pumpi	za $-(h_r - h_k)$

Za jednostavno kondenzacijsko parno postrojenje možemo obratno uzeti da je

$$T_k \approx T_r \approx T_v \quad \text{i} \quad h_k \approx h_r \approx h_v$$

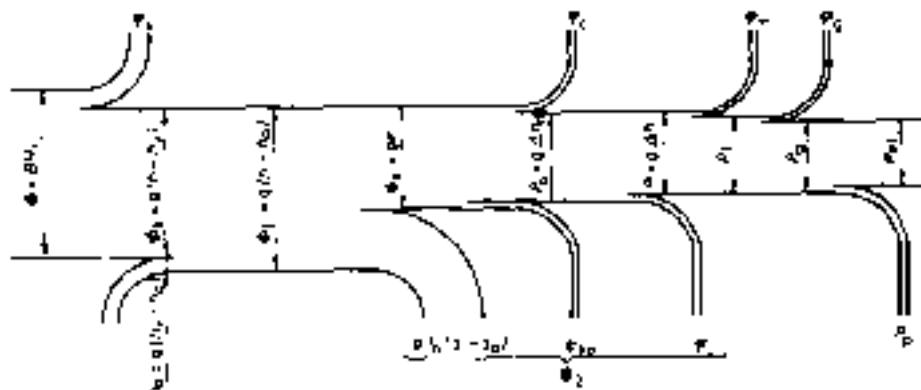
pa su u tom slučaju točke 6, 1 i 2 u Ts-dijagramu gotovo identične.

Kod kratkih parnih vodova između parnog kotla i parnog stroja (turbine) također je

$$T \approx T_1 \quad \text{i} \quad p \approx p_1 \quad \text{i} \quad \text{zato} \quad h \approx h_1$$

pa su točke 3 i 4 također gotovo identične.

Shema energetskog toka kroz parni postrojenje u termoelektrani



S ugljenom dovodimo u parni kotao toplinski tok  $\Phi$ . Zbog gubitaka u kotlu  $\Phi_k$  na napojnu vodu prelazi samo toplinski tok  $\Phi_k$ . Tome se pridružuje toplinski tok  $\Phi_3$  što ga dovodimo s toplom napojnom vodom, jer je njezina temperatura  $T_3$ , obično viša od temperature okoline  $T_0$  ( $T_3 > T_0$ ), i to stoga što je temperatura kondenzata koji protječe u spremnik napojne vode viša od temperature okoline (pogotovo pri hlađenju kondenzatora vidom iz rashladnog tornja). Osim toga često se iskorištava još i otpadna toplina ispušne pare iz pomoćnih parnih strojeva itd. za zagrijavanje napojne vode.

Para donosi iz parnog kotla toplinski tok

$$\Phi_1 = \Phi_k + \Phi_3 = q(h - h_0)$$

Od toga toplinskog toka za pretvorbu u rad sposoban je samo eksergijski tok

$$\Phi_r = qv = q(h - h_c) = \Phi_1 - qT_0(s - s_1)$$

Za pretvorbu u rad ostaje neiskorišten još i eksergijski gubitak zbog gubitaka u parnom vodu

$$q_c = q(h - h_1)$$

i gubitak zbog kondenzacije pare pri temperaturi  $T_2$ , koja je viša od temperature okoline  $T_0$  ( $T_2 > T_0$ )

$$\Phi_{ku} = q(h_2 - h_c)$$

Preostalom raspoloživom padu entalpije  $\Delta h_d = h_1 - h_2$  odgovarajući toplinski tok određuje teoretsku snagu stroja

$$\Phi_{t1} = \Phi_r - (\Phi_c + \Phi_{ku}) = q\Delta h_d = P_t$$

Unutarnji gubici u stroju

$$q_1 = q(h_2 - h_3)$$

smanjuju toplinski tok na  $\Phi_2$  i određuje unutarnju snagu stroja  $P_i$

$$\Phi_2 = \Phi_d - q_1 = \Phi_r - (q_c + \Phi_{ku} + q_1) = q\Delta h = P_i$$

Zbog dodatnih mehaničkih gubitaka u parnom stroju  $\Phi_m$  smanjuje se unutarnja snaga parnog stroja  $P_i$  na efektivnu (stvarnu) snagu na osovini stroja (turbine)  $P_e$ , a zbog gubitaka u električnom generatoru  $\Phi_g$  snaga generatora  $P_g$  još je manja ( $P_g < P_e$ ).

Vlastiti potrošak električne energije u centrali  $P_p$  služi za pogon elektromotora za dizalice i transportne naprave (transport ugljena i pepela), za ventilatore, pumpe itd., dalje za rasvjetu i grijanje te napajanje različitih električnih uređaja u centrali. Za taj potrošak, koji iznosi prosječno približno 8...10% snage generatora  $P_g$ , smanjuje se snaga  $P_e$  što je centrala predaje mreži.

### Korisnost

parnog kotla	$\eta_k = \Phi_k / \Phi = q(h - h_c) / BH$
termička	
— eksergije	$\eta_e = c / (h - h_0)$
— raspoloživog pada entalpije	$\eta_d = \Delta h_d / e$
— ukupna	$\eta_{th} = \eta_r \eta_d = \Delta h_d / (h - h_0)$
parnog stroja	
— unutarnja	$\eta_i = P_i / P_0 = \Delta h / \Delta h_d$
— mehanička	$\eta_m = P_e / P_i$
— ukupna (turbine)	$\eta_t = \eta_i \eta_m = P_e / q \Delta h_d$
električnoga generatora	$\eta_g = P_g / P_e$

### Cjelokupna korisnost parne centrale

$$\eta_{tot} = \left( \eta_k - \frac{\Phi_0}{\Phi} \right) \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \frac{P_{el}}{P_g} = \frac{P_{el}}{BH}$$

Kad je temperatura napojne vode  $T_3$  približno jednaka temperaturi okoline  $T_0$ , tako da njihovu razliku možemo zanemariti ( $T_3 \approx T_0$ ), onda vrijedi

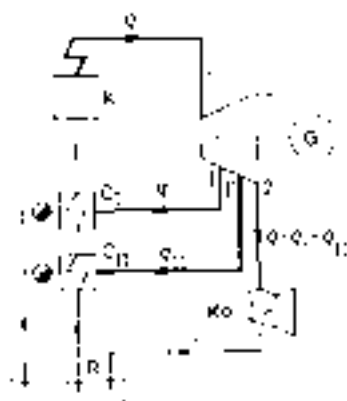
$$h_c \approx h_0 \quad \text{i} \quad \Phi_0 = 0$$

pa je

$$\eta_{tot} = \eta_k \cdot \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \frac{P_{el}}{P_g} = \frac{P_{el}}{BH}$$

Najlošija je korisnost eksergije  $\eta_e$ . Da bi je popravili, težimo što većoj eksergiji pare, koju postizemo što višom temperaturom pare i odgovarajućim visokim tlakom. Temperature su vrlo ograničene (otpornošću stijenki pregrijača) i iznose 360...560 (...650) °C, dok su tlakovi gotovo neograničeni i iznose 12...160 (...300 i više) bara.

## Regenerativno grijanje napojne vode



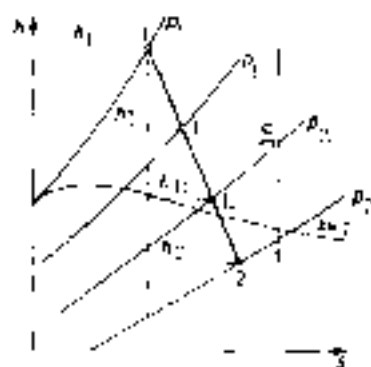
Iz parnog kotla dovodimo parni protok  $q$  u kondenzacijsku parnu turbinu s oduzimanjem, iz koje odvodimo kod prvog odvojka I (pri tlaku  $p_1$ ) protok  $q_1$ , kod drugog odvojka II (pri tlaku  $p_2$ ) protok  $q_2$  dok preostali protok  $q - q_1 - q_2$  prelazi nakon potpune ekspanzije u kondenzator. Oduzetim protocima zagrijavamo napojnu vodu u zagrijačima  $C_1$  in  $C_2$ .

U površinskim zagrijačima ogrijevna se para kondenzira, a kondenzat vodimo u spremnik napojne vode – vidi sliku; u zagrijačima s miješanjem ogrijevna se para miješa s napojnom vodom.

Unutarnja snaga turbine smanjila se zbog oduzimanja ogrijevne pare protoka  $q_1$  i  $q_2$  te iznosi

$$P_1 = q\Delta h - [q_1(h_1 - h_2) + q_2(h_2 - h_2)]$$

gdje su specifične entalpije pare:  $h_1$  – na odvojku I,  $h_2$  – na odvojku II,  $h_2$  – na izlazu iz turbine u kondenzator.



U zagrijačima  $C_1$  in  $C_2$  (te s kondenzatom što ga uvodimo u rezervoar napojne vode) prenosi ogrijevna para na napojnu vodu toplinski tok

$$\Phi_k = q_1(h_1 - h_r) + q_2(h_2 - h_r)$$

gdje je  $h_r$  – specifična entalpija napojne vode u spremniku R.

Toplinskom toku  $\Phi_{11}$ , što ga s već zagrijanom napojnom vodom dovodimo u parni kotao (vidi shemu energijskog toka na str. 234), pridonosi se još toplinski tok  $\Phi_g$ .

Budući da je  $h_r \ll h_2$ , bit će smanjenje unutarnje snage turbine znatno manje od povećanja topline koju regenerativno dovodimo napojnoj vodi. Zato se cjelokupna korisnost povećava i to prosječno za 6 do 12%.

Pri regenerativnom zagrijavanju napojne vode, voda se u jednom stupnju zagrijava za približno 40 K, za što se potroši oko 5... 10% pare, koja prilazi

turbini. (Pri peterostepenom regenerativnom zagrijavanju dolazi do kondenzatora samo još 75... 50% pare koja prilazi turbini.) Za jednaku snagu turbine je stoga potreban usjetno veći dotok svježeg pare ( $q$ ) nego pri turbini bez regenerativnog zagrijavanja.

## Medupregijavanje

Pri velikoj ekspanziji s visokoga početnog tlaka i temperature do vrlo niskog tlaka u kondenzatoru prešla bi para pri kraju ekspanzije u veoma vlažno područje ( $x < 0,9$ ), što bi u niskotlačnim stupnjevima parnih turbina izazvalo nedopuštenu eruziju lopatica. Da to spriječimo, pregrijavamo paru u međupregijaču (diznim plinovima parnog kotla ili svježom vrućom parom), tako da u svakom slučaju ustane njezina suhoća  $x \geq 0,9$ .

Za međupregijavanje treba nam dodatni toplinski tok

$$\Phi_{12} = q(h_1 - h_2)$$

pri čemu je  $q$  – protok pare pri ulazu u među-pregijač.

U obim turbina  $T_1$  in  $T_2$  dobivamo pri jednakom protoku pare  $q$  (tj. bez oduzicpa) unutarnju snagu

$$P_2 = q[(h_1 - h_{2,1}) + (h_2 - h_2)]$$

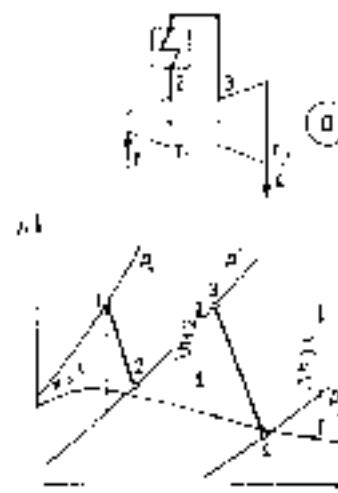
Medupregijavanje pare je uvijek združeno i s regenerativnim zagrijavanjem napojne vode. U tom je slučaju prvi odvod pare u točki stanja 2, a sljedeći se odvodi smještaju na drugu turbinu ( $T_2$ ).

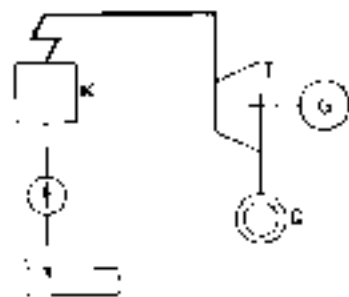
## Proizvodnja električne i toplinske energije (toplane)

U kondenzacijskom parnom postrojenju odvodimo s rashladnom vodom znatan toplinski tok

$$\Phi_2 = q(h_2 - h_0)$$

koji se sastoji od dijela toplinskog toka  $qT_0(s - s_0)$  koji se ne da pretvoriti u rad, od eksrgerijskih gubitaka  $q(e - \Delta h_d)$  i od unutarnjih gubitaka parnog stroja  $q(\Delta h_d - \Delta h)$ ; vidi str. 234. Taj se toplinski tok  $\Phi_2$  odvodi pri temperaturi  $T_0$ , koja je u kondenzacijskom parnom postrojenju samo nešto viša od temperature okoline  $T_0$ , pa zato, općenito, nije upotrebljiva za grijanje (osim za grijanje kupališnih bazena itd., gdje je dovoljna i mala temperatura razlika  $T_1 - T_0$ ).





Povišenjem protutlaka  $p_2$  povišujemo i temperaturu  $T_2$  pare iz parnog stroja, zbog čega para postaje prikladnom za grijanje. Zato takvu paru vodimo iz parnog stroja – umjesto u kondenzator – k potrošačima topli-  
ne  $Q$ .

Ukoliko se sav čisti kondenzat ne vraća od potrošača topli-  
ne u spremnik napojne vode, moramo manjak nadomjestiti očišćenom (umekšanom) vodom iz okoline.

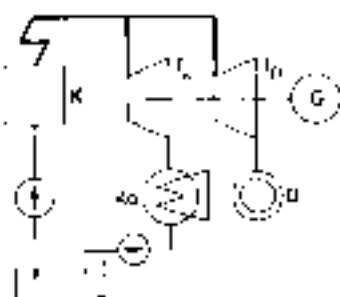
Pri različitim protutlakovima  $p_2$  postiže-  
mo sljedeće temperature  $T_2$  koje su prikla-  
dne za grijanje zgrada ili industrijskih naprava (usobito u papirnoj, tekstil-  
noj, kemijskoj i srednoj industriji itd.)

$p_2$ (bar)	1	2	4	6	8	10	12	16
$T_2$ (°C)	100	120	144	154	170	180	188	201

Povišenjem protutlaka  $p_2$  smanjuje se dodate entalpijski pad  $\Delta h$ , a time i unutarnja snaga stroja  $P_1 = q \Delta h$ , ali zato ostaje za grijanje upotrebljiv sav toplinski tok  $\Phi_2 = q(h_2 - h_1)$ . Stoga se znatno povećava ekonomičnost pri skupnoj proizvodnji mehaničkog rada za pogon generatora i topli-  
ne za grijanje.

Zbog povišenja protutlaka  $p_2$  postaje suvišan niskotlačni dio parnog stroja (turbine). Budući da se, osim toga, para iz stroja odvodi neposredno potro-  
šačima topli-  
ne, nije više potreban ni kondenzator sa svim uređajima za rashladnu vodu. Cjelokupno se postrojenje veoma pojednostavljuje.

Tamo gdje se ne može vremenski potpuno uskladiti potrošak električne energije i topli-  
ne za grijanje, prikladna je kombinacija dviju turbina – kondenzacijske  $T_k$  i protutlačne  $T_p$ . Protutlačna turbina daje toliko mehaničke energije koliko to odgovara potrošku topli-  
ne, dok kondenzacijska turbina dobavlja ostatak potrebne mehaničke energije. Dovod svježe pare objema turbinama izveden je automatskim regulatorima tako da protutlačnom turbinom upravlja tlačni regulator, a kondenzacijskom regulator brzine vrtnje.



## MOTORI S NUTARNJIM IZGARANJEM

Motori s nutarnjim izgaranjem su klipni strojevi kojima dovodimo pri-  
kladna goriva (koja ne ostavljaju pepela, smolastih ostataka itd.) zajedno sa zrakom za izgaranje neposredno u unutrašnjost cilindra, gdje izgaraju i osloba-  
đaju toplinu povišuju tlak koji djeluje na klip i obavlja mehanički rad.

### Sistemi Otto i Diesel

Sistem Otto Smjesu goriva i zraka za izgaranje, pripremljenu izvan cilindra, uvodimo u cilindar u kojem je klip komprimira (do 7... 13 bar). Pri svršetku kompresije smjesa se pali električnom iskreom, našto u cilindru poraste tlak (25... 40 bar) koji pri sljedećem – radnom – stapaju služi za vršenje rada.

U motorima sistema Otto upotrebljavamo:

a) plinovita goriva (rasvjetni, kokosni, generatorski, grotleni ili sličan plin), koja se miješaju sa zrakom u ventilu za miješanje prije usisavanja ih u posebno konstruiranom usisnom ventilu;

b) kapljevita goriva (benzin, benzen, alkohol itd.), koja se u rasplinjaču (karburatoru) raspršuju (ne rasplinjuju!) u zraku za izgaranje kao fina maglica, a zatim se gorivo tek u cilindru pretvara u paru (plin) zbog kompresije i dovođenja topli-  
ne sa stijenki.

Izgaranje u sistemu Otto zbiva se prilžno po izobari ( $V_k$  – vidi na str. 240).

– Sistem Diesel Čisti zrak za izgaranje uvodimo u unutrašnjost cilindra u kojem ga klip tako snažno komprimira (do 25... 40 bar) da se pri kraju kompresije postiže temperatura paljenja goriva (550... 700 °C), koje u tom trenutku ubrizgavamo u cilindar. Povećani tlak (60... 100 bar), prouzročen izgaranjem, služi pri sljedećem – radnom – stapaju za vršenje rada.

U dizelskim motorima upotrebljavamo jeftinija, poluteška i teška ulja (plinska i dizelska ulja). Posebnom visokotlačnom pumpom (350... 500 bar) štrcama gorivo kroz fine sapnice za raspršivanje u cilindar, tako da nastane uljna maglica koja u vrućem komprimiranom zraku odmah plane. Izgaranje se zbiva najprije približno po izobari ( $V_k$ ), a zatim po izobari ( $p_{max}$  – slika na str. 240).

Za motore s užarenom glavom (semidizelske motore) upotrebljavamo isto gorivo kao i za dizelske motore. Gorivo se za vrijeme kompresije zraka (koja nije tako velika kao u dizelskih motora) ubrizgava u posebnu komoru za izgaranje, koja se – radi lakšeg paljenja – ne hladi pa je zato užarena.

### 4-taktni i 2-taktni motori

4-taktni motori imaju na svakom cilindru po dva ventila – usisni i ispušni.

U prvom taktu (I) klip se giba od unutarnjeg (i – vidi sliku indikatorskog dijagrama na str. 240 lijevo) prema vanjskom mrtvom položaju (e) pri otvorenom usisnom i zatvorenom ispušnom ventilu. U cilindru se stvara podtlak, zbog čega u cilindar ulazi smjesa goriva i zraka (Otto), odnosno čisti zrak (Diesel). U drugom se taktu (II) – uz oba zatvorena ventila – smjesa odnosno čisti zrak



komprimira (od e do i). Slijedi paljenje smjese iskrom (Otto), odnosno paljenje goriva ubrizganoga u vrući zrak (Diesel), a zatim izgorjeli plinovi – uz još uvijek zatvorene ventile – potiskuju klip (od i do e) i vrše rad (treći takt – III). Konačno se otvara ispušni ventil, a pri ponovnom stapanju (od e do i) istiskuje klip izgorjele plinove iz cilindra (četvrti takt – IV).

2-taktni motori su većinom bez ventila. U njih se smjesa goriva sa zrakom (Otto) odnosno čist zrak (Diesel) tlačí (pod malim pretlakom) u cilindar kroz raspore (za ispiranje), a izgorjeli plinovi se istiskuju kroz ispušne raspore. Svi se raspore otvaraju u odgovarajućem položaju klipa. 2-taktni motori imaju samo kompresijski i radni takt; ulazanje smjese odnosno zraka i ispiranje cilindra te istiskivanje plinova zbiva se za kratko vrijeme dok su raspore između oba takta otvoreni.

U usporedbi sa 4-taktnim motorima imaju 2-taktni sljedeće prednosti: veću snagu uz iste dimenzije, ventile nadomještene rasporema i jednoličniji zakretni moment; nedostaci su pak: veće toplinsko opterećenje uz iste dimenzije, potrebna je posebna pumpa za ispiranje (u malih su motora pumpe nadomještene pumpnim djelovanjem kartera), a u sistemu Otto još su i gubici zbog ispiranja izgorjelih plinova gorivom smjesom. Stoga su laki motori sistema Otto većinom 4-taktni, a teški motori sistema Diesel obično 2-taktni.

## Ekonomičnost motora s unutarnjim izgaranjem

S gorivom dovodimo u motor toplinski tok  $\Phi_1 = BH_1$ , gdje su:  $H$  – potrošak goriva u jedinici vremena (kg/s),  $H_1$  – donja ogrjevna moć goriva.

Zbog gubitaka pri izgaranju (nepotpuno izgaranje) samo dio te topline prelazi na izgorjele plinove.

Budući da se u unutrašnjosti cilindra stvaraju veoma visoke temperature (maksimalno do 2000 °C, a prosječno znatno niže), moramo motor hladiti, pa se zbog toga temperatura stijenki cilindra ustala na 250... 350 °C. Hlađenje je u manjih motoru obično zračno, a u većih vodeno. Uпотреба zračnog hlađenja ograničena je zbog malog koeficijenta prijelaza topline  $\alpha$  sa stijenki motora na zrak. Pri brzini rashladnog zraka  $v$  možemo računati s koeficijentom prijelaza  $\alpha$ :

$v$ (m/s)	1	2	5	10	20	30	40	50	60	100	150	200
$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)	6	12	30	70	90	150	160	210	230	350	350	640

Pri hlađenju vodom najdjelotvornija je svježa rashladna voda okoline, koja se može ugrijati za 40... 70 K do konačne temperature 70... 80 °C. Pri hlađenju morskom vodom računamo s ugrijavanjem za 20... 40 K i konačnom temperaturom do 50 °C (iznimno i do 60 °C). Pri cirkulacijskom (optočnom) hlađenju vodom (vozila) ugrijavanje je 7... 10 K, do konačne temperature 80... 90 °C.

Mnogo topline odlazi iz stroja još uvijek s vrlo vrućim ispušnim plinovima. Daljnji gubici nastaju zbog prigušivanja i propusnosti klipova i ventila.

Zbog nepotpunog izgaranja, hlađenja struja, topline ispušnih plinova i ostalih gubitaka odvodimo iz stroja toplinski tok  $\Phi_2$ . On se sastoji od eksergijskog dijela (neiskorištene topline koja bi se teoretski još mogla pretvoriti u mehanički rad) i dijela koji nije iskoristiv za pretvorbu u rad.

Unutarnja snaga motora  $P_1$  proizlazi iz razlike među dovedenim i odvedenim toplinskim tokom  $P_2 = \Phi_1 - \Phi_2$ .

Unutarnju snagu  $P_1$  određujemo neposredno pomoću prosječnog indiciranog tlaka  $p_{med}$  u cilindru

$$P_1 = p_{med} d^2 \pi / 4 \cdot z \cdot n / \tau \cdot i = p_{med} V_1 \cdot z \cdot n / \tau$$

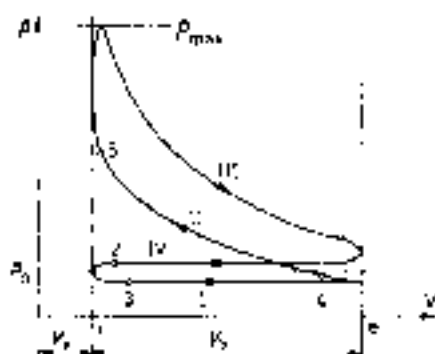
gdje su:  $d$  – promjer klipa,  $s$  – stapaj,  $n$  – brzina vrtnje,  $z$  – broj taktova (4 ili 2),  $i$  – broj cilindara (dvoradni cilindar vrijedi za dva),  $V_1$  – stapajni volumen svih cilindara.

Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  brzih motora ne možemo odrediti jednostavnim sredstvima. No možemo ga izračunati iz efektivne snage motora  $P$

$$p_{med} = P / (V_1 \cdot z \cdot n / \tau \cdot \eta_m)$$

pri čemu efektivnu snagu motora  $P$  odredimo kočenjem, a mehaničku korisnost  $\eta_m$  pogonom motora iz stranog izvora. Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  kreće se između 5... 9 bar

### Indikatorski dijagram



4-taktni motor sistema Otto

- 1 – otvaranje ispušnog ventila
- 2 – zatvaranje ispušnog ventila
- 3 – otvaranje usisnog ventila
- 4 – zatvaranje usisnog ventila
- 5 – paljenje električnom iskrom

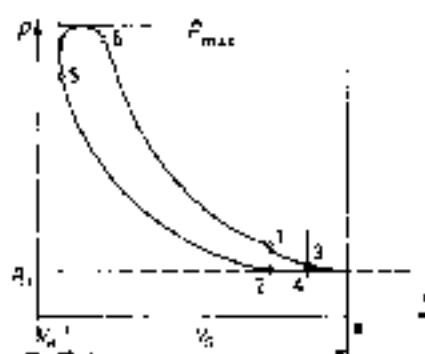
Barometarski tlak

Kompresijski omjer

Volumen kompresijskog prostora

Stapajni volumen

gdje znače:  $A$  – površinu klipa,  $d$  – promjer klipa,  $s$  – stapaj.



2-taktni motor sistema Diesel

- 1 – otvaranje ispušnog raspore
- 2 – zatvaranje ispušnog raspore
- 3 – otvaranje raspore za ispiranje
- 4 – zatvaranje raspore za ispiranje
- 5 – početak ubrizgavanja goriva
- 6 – svršetak ubrizgavanja goriva

$p_0$

$$\epsilon = V_2 / V_1 = (V_2 + V_3) / V_1$$

$V_1$

$$V_2 = A s = \pi d^2 / 4 \cdot s$$

Brzine vrtnje plinskih i dizelskih motora iznose 2 ... 40 okr./s (120 ... 2400 okr./min), lakih motora za vozila 50 ... 100 okr./s (3000 ... 6000 okr./min).

Prosječna brzina klipa  $v = 2$  str stabilnih motora ne premašuje vrijednost od 6 m/s, a motora za vozila dostiže do 12 m/s (iznimno i do 18 m/s).

Unutarnja korisnost  $\eta_i$  je omjer između unutarnje snage  $P_i$  i dovedenog toplinskog toka  $\Phi_1 = BH_i$ ; ovisi u prvom redu o kompresijskom omjeru  $\varepsilon$  (vidi str. 240):

$$\eta_i = P_i / BH_i = f(1 - k\varepsilon^{\kappa-1})$$

gdje znače:  $k$  – faktor, ovisan o načinu izgaranja (Otto:  $k = 1$ , Diesel:  $k > 1$ ),  $\kappa$  – omjer specifičnih toplinskih kapaciteta ( $= c_p/c_v$ ).

Unutarnja korisnost je dakle to veća što je veći kompresijski omjer  $\varepsilon$ . On je u motora sistema Otto vrlo ograničen zbog opasnosti od detonacije (kompresija gorive smjese!), dok u dizelskih motora taj omjer može biti znatno veći (kompresija zraka!):

motori sistema Otto	benzinski	$\varepsilon = 5 \dots 8$ (... 9)
	plinski	$\varepsilon = 6 \dots 10$
motori s užarenom glavom	dizelski motori	$\varepsilon = 12 \dots 25$ (... 35)

Effektivna snaga motora  $P$  iznosi

$$P = P_i \eta_m = BH_i \eta$$

gdje znače:  $\eta_m$  – mehaničku korisnost,  $\eta$  – cjelokupnu korisnost.

Mehanička korisnost  $\eta_m$  uzima u obzir gubitke zbog trenja u mehanizmu motora i pogon pomoćnih uređaja – električnog generatora za sistem paljenja (Otto) ili pumpe za ulje (Diesel), ventilatora za zračno hlađenje ili ventilatora i pumpe za vodu pri hlađenju vodom itd.

Cjelokupna korisnost  $\eta = \eta_i \eta_m = P / BH_i$

uzima u obzir sve gubitke u motoru koji su, u prosjeku, raspodijeljeni približno ovako:

gubici hlađenjem	28%	gubici zbog trenja itd.	10%
toplina ispušnih plinova	30%	efektivna snaga struja	30%
ostali unutarnji gubici	2%		

Cjelokupna korisnost zavisi od opterećenja motora  $P$  i brzine vrtnje  $n$ , a iznosi u najpovoljnijem području rada:

kod lakih benzinskih motora	$\eta = 0,22 \dots 0,25$
kod plinskih motora	$\eta = 0,27 \dots 0,35$
kod motora s užarenom glavom	$\eta = 0,22 \dots 0,26$
kod malih dizelskih motora	$\eta = 0,31 \dots 0,34$
kod velikih dizelskih motora	$\eta = 0,35 \dots 0,41$

Kompresori su strojevi koji komprimiraju plinove ili pare na određeni tlak. Pomoću njih dobivamo komprimirani zrak koji služi za pogon pneumatskog alata (6 ... 7 bar) ili metalurških peći itd. Daljnja upotreba kompresora su: daljinski transport plinova (36 bar), rashladni uređaji (12 bar), ukapljivanje zraka (200 bar), kemijski procesi (do 1000 bar i više).

**Promjene stanja plina pri kompresiji**

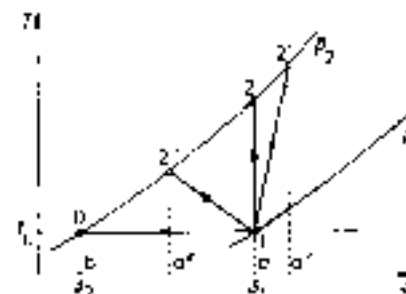
1. *Izotermna kompresija* ( $l = 0$ )

Potrebni rad (a 1 0 b a)

$$W_{1,0} = m R T_0 \ln \frac{p_2}{p_1} = m T_0 (s_2 - s_1)$$

Konačna je temperatura  $T_0 = T_1 = \text{konst.}$ . Za vrijeme kompresije treba odvoditi toplinu (a 1 0 b a)

$$Q_0 = m T_0 (s_2 - s_1)$$



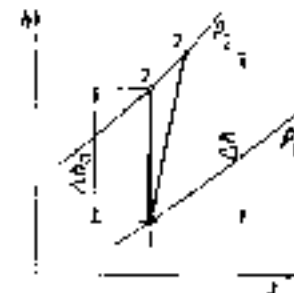
2. *Izotropska kompresija* ( $l = 2$ ) pri  $s = \text{konst.}$  (tj. bez izmjene topline s okolišem i bez unutarnjeg trenja).

Potrebni rad (a 2 0 b a)

$$W_{1,2} = m \Delta h_d = m c_p (T_2 - T_1) = - \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]$$

Konačna temperatura

$$T_2 = T_1 \frac{\Delta h_d}{c_p} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(\kappa-1)/\kappa}$$



$$\Delta h_d = h_2 - h_1$$

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

3. *Adijabatska kompresija* ( $l = 2'$ ) – politropska kompresija s eksponentom politrope  $n > \kappa$  (postiže se približno kod brzohodnih kompresora bez hlađenja).

Potrebni rad (a' 2' 0 b a')

$$W_{1,2'} = m \Delta h = m c_p (T_2' - T_1) = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \right]$$

Konačna temperatura

$$T_2' = T_1 \frac{\Delta h}{c_p} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n}$$

4. *Politropska kompresija* s eksponentom politrope  $n = \kappa$  (1 - 2'') (postu-  
je se približno kod hlađenih stepnih kompresora).

Potrebni rad (a l 2'' a' a)

$$W_{1,2} = n/p_1 V_1 [1 - (p_2/p_1)^{1/n}]$$

Odvedena toplina (a l 2'' a' a)

Konačna temperatura

$$Q = (n - 1) W_{1,2} / (n - 1)$$

$$T_2 = T_1 (p_2/p_1)^{1/n}$$

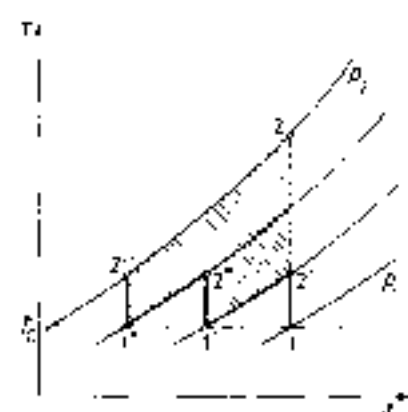
Uspoređivanjem različitih promjena stanja dobivamo:

$$W_{1,2} > W_{1,2} > W_{1,2} > W_{1,0} \quad T_3 > T_3 > T_2 > T_0$$

Najmanji je rad potreban za izotermnu kompresiju ( $W_{1,0}$ ), a najbliže smo joj pri običnom hlađenju ( $W_{1,2}$ ). Najveći je rad potreban kod nehladenih strojeva ( $W_{1,2}$ ).

### Višestepena kompresija

Višestepena kompresija omogućuje da se, bez obzira na vrstu kompresora (hladenoga ili nehladenoga) vrlo približno izotermno kompresiji.



Iza svakog stupnja kompresije hladi-  
mo ugrnani komprimirani plin po mogu-  
ćnosti do početne temperature  $T_0$ . Time  
štedimo rad koji je predložen u  $Ts$  dijagra-  
mu (desno) šrafliranom površinom 2' 1' 2''  
1'' 2'' 2 2'.

Višestepena kompresija s međuhlade-  
njem poskupljuje uređaj to više što je veći  
broj stupnjeva. Stoga se obično ograniču-  
jemo na 2 do 4 stupnja. Tlačni omjer sva-  
kog stupnja pri ukupno  $i$  stupnjeva je

$$x = \sqrt[i]{p_2/p_1}$$

Kompresija do visokih tlakova

Pri kompresiji na manje tlakove (do 30 bar) računamo s realnim plivo-  
vima kao da su idealni. Pri višim tlakovima moramo jednačbu stanja kori-  
girati faktorom  $k$

$$p v = k R T$$

Vrijednosti faktora  $k$  iznose:

$p$	bar :	0	100	300	600	1000
$Et_2$	0°C	1,0	1,07	1,20	1,42	1,71
	100°C	1,0	1,05	1,16	1,33	1,56
zrak*	0°C	1,0	0,97	1,09	1,46	1,98
	100°C	1,0	1,03	1,15	1,39	1,80

\* Za računanje sa zrakom kao pregrijanim parom vidi str. 169

### Stepni kompresori

Jednostepenim stepnim kompresorima postizemo tlak do 5 ( . 7) bar, u  
višestepenim postizemo u svakom stupnju tlačni omjer 3 . . 4.

Indikatorski dijagram

Stepajni volumen iznosi

$$V_s = A s = d^2 \pi / 4 \cdot s$$

gdje znače:  $A$  — presjek cilindra,  $d$  — promjer  
cilindra,  $s$  — stepaj.

Štetni prostor

$$V_0 \sim 0,04 \dots 0,08 (\dots 0,15) V_s$$

Duhavni volumen (pri tlaku  $p_1$ ):  $V'$

Dobava kompresora s obzirom na volumen plina pri početnom tlaku  $p_1$   
(ispred kompresora) iznosi kod jednoradnih kompresora

$$q_v = \lambda V_{s1} n_1 i_1$$

gdje znače:  $\lambda$  — stupanj dobave,  $V_{s1}$  — stepajni volumen u prvom stupnju  
(niskotlačnom),  $n_1$  — brzinu vrtnje u prvom stupnju,  $i_1$  — broj paralelna  
djelujućih cilindara u prvom stupnju (dvoradni cilindri računaju se dvostruko).

Stupanj dobave

$$\lambda = \lambda_0 \eta_v$$

određen je »volumetrijskom korisnošću«  $\eta_v = V'_1/V_2$  (koja se znatno smanjuje  
povećavanjem štetnog prostora) i faktorom  $\lambda_0$  ( . 1) koji uzima u obzir ugra-  
đivanje plina pri usisavanju te propusnost stapa i ventila.

Stupanj duhava iznosi:

kod malih kompresora	$\lambda > 0,70$
kod puhalo (npr. za visoke peći)	$\lambda = 0,82 \dots 0,90$
kod kompresora za tlak do 7 bar	$\lambda = 0,86 \dots 0,92$

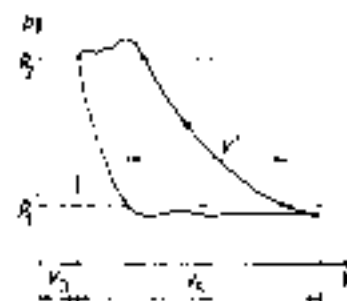
Pogonsku snagu za kompresor

Unutarnja snaga  $P_i$  stepnih kompresora s hlađenim cilindrima pri  
bližno je određena radom  $W_{1,2}''$ , potrebnim za politropsku kompresiju (vidi str  
244 pod 4), i to pri brzini vrtnje  $n$

$$P_i = W_{1,2}'' \cdot n$$

Pri tom zanemarujemo neznatni rad ekspanzije zaostalog plina iz štetnog  
prostora. (Rad  $W_{1,2}''$  računamo s eksponentom politrope  $n = 1,32 \dots 1,38$ .)

Zapravo se kompresija ne zbiva po politropi s konstantnim eksponentom  
 $n$ , već najprije približno po izentropi ( $n \approx \kappa$ ), a zatim uz znatno odvođenje  
toplina ( $1 < n < \kappa$ ).



Unutarnju snagu za svaki cilindar određujemo također pomoću prosječnog indiciranog tlaka  $p_{med}$  u cilindru presjeka  $A$  i stapaja  $s$  pri brzini vrtnje  $n$

$$P_i' = p_{med} A s n$$

Prosječni indicirani tlak  $p_{med}$  možemo izračunati iz rada  $W_{1,2}'$  tako uzmemo u obzir da je  $V_1 = V_0 + V_1'$

$$p_{med} = W_{1,2}' / V_0$$

Ukupna unutarnja snaga za više cilindara iznosi

$$P_i = \sum P_i'$$

Stvarno potrebna snaga za pogon kompresora iznosi

$$P = P_i / \eta_m$$

gdje je mehanička korisnost stupnih kompresora  $\eta_m = 0,78 \dots 0,95$ .

### Turbokompresori

Turbokompresori su *radijalni* (po konstrukciji su slični turbopumpama) ili *aksijalni* (slični parnim turbinama).

U jednom se stupnju postižu samo manji kompresijski omjeri do 1,7 (... 4). Za više su tlakove potrebni višestepeni kompresori.

Kompresija se u turbokompresorima zbiva po adijabati (slučaj 3 na str. 243). Pri kompresijskim omjerima preko 2,5 porast je temperature tolik da je potrebno međuhlađenje.

Snaga za pogon turbokompresora

Teoretsku snagu određuju izentropski rad  $W_{1,2}$  i brzina vrtnje  $n$

$$P_0 = W_{1,2} \cdot n = q \Delta h_0$$

Unutarnja snaga je veća zbog unutarnjih gubitaka

$$P_i = W_{1,2}' \cdot n = q \Delta h = P_0 / \eta_i$$

gdje je unutarnja korisnost

$$\eta_i = P_0 / P_i = \Delta h_0 / \Delta h$$

Stvarna snaga još je veća zbog vanjskih mehaničkih gubitaka (trenja)

$$P = P_i / \eta_m = P_0 / \eta = q \Delta h_0 / \eta$$

pri čemu je mehanička korisnost turbokompresora  $\eta_m = 0,95 \dots 0,98$ , a cjelokupna korisnost  $\eta = \eta_i \eta_m$ .

Dobavna količina (protok mase) turbokompresora dobiva se iz stvarne snage  $P$ , cjelokupne korisnosti  $\eta$  i izentropske razlike entalpija  $\Delta h_0$

$$q = \eta P / \Delta h_0$$

Dobavnu količinu možemo također izraziti početnim volumenskim protokom  $q_v$  i početnom gustoćom plina  $\rho$

$$q = q_v \rho$$

Plinske turbine u širem smislu su pogonska postrojenja koja se sastoje – pri otvorenom procesu – od kompresora, komore za izgaranje i turbine.

Kompresor  $K$  tlačí zrak iz atmosfere u komoru za izgaranje  $C$ , u kojoj izgara gorivo ubrizgano neposredno u komprimirani zrak (pri konstantnom tlaku). Izgorjeli (dimni) plinovi struje nato kroz turbinu  $T$  koja djelom svoje snage goni kompresor, a preostalim snagom generator  $G$ .

Kao gorivo možemo upotrijebiti jeftinija tekuća goriva, obično petrolej ili slično. Omjer potroška goriva  $B$  i protoka zraka  $q$  iznosi

$$B/q = 0,008 \dots 0,012 \quad (\text{kg/kg})$$

U komorama za izgaranje postižu se konačne temperature:

u stacionarnim strojevima  $650 \dots 700 \text{ }^\circ\text{C}$

u mlaznim strojevima  $700 \dots 850 \text{ }^\circ\text{C}$

Pri otvorenom procesu je  $q$  protok zraka kroz kompresor do komore za izgaranje, dok protok dimnih plinova koji nastaju u komori za izgaranje i struje kroz turbinu iznosi

$$q' = q + B = q$$

a ujedno se neznatna mijenja specifični toplinski kapacitet  $c_p'$  dimnih plinova, pomoću kojeg računamo toplinski tok u komori za izgaranje i snagu turbine.

Kružni proces plinske turbine možemo prikazati pojednostavljeno (bez veće greške) pomoću kružnog procesa zraka (vidi dijagram  $T, s$ ).

Promjene stanja zraka

1-2': adijabatska kompresija od tlaka  $p_0$  na tlak  $p_1$ .

2'-3: dovođenje topline u komori za izgaranje pri tlaku  $p_1$ .

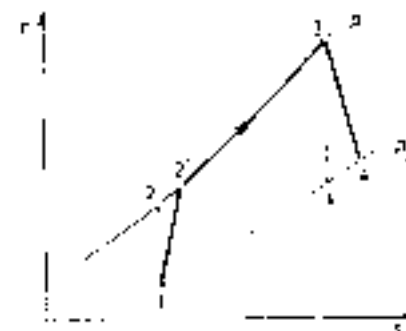
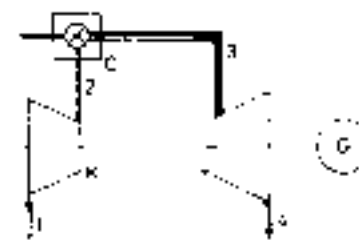
3-4': adijabatska ekspanzija (s trenjem) u turbini od tlaka  $p_1$  na tlak  $p_2$ .

4'-1: odvođenje topline u okoliš pri tlaku  $p_2$ .

Za adijabatsku kompresiju treba kompresoru snaga

$$P_{ik} = q c_p (T_2 - T_1) / \eta_{ik} = q c_p (T_2 - T_1)$$

gdje su:  $q$  – protok zraka,  $c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka,  $\eta_{ik}$  – unutarnja korisnost kompresora,  $T_1$  – početna temperatura zraka,  $T_2$  – konačna temperatura pri izentropskoj kompresiji,  $T_2'$  – stvarno postignuta konačna temperatura zraka (vidi str. 243).



Unutarnja korisnost kompresora iznosi

$$\eta_{ik} = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_2) = 11.80 \dots 0.87$$

Komori za izgaranje dovodimo toplinski tok

$$\Phi = BH_1 = q c_p (T_3 - T_2) \eta_{ik}$$

gdje znače  $B$  – potrošak goriva u jedinici vremena (kg/s),  $H_1$  – donju ogrjevnu moć goriva,  $T_3$  – najvišu temperaturu u procesu (pri završetku dovodenja topline),  $\eta_{ik}$  – korisnost gomolika.

Pri adijabatskoj ekspanziji dobivamo u turbini unutarnju snagu

$$P_u = q' c_p' (T_3 - T_4) \eta_{tt} = q' c_p' (T_3 - T_4)$$

gdje znače:  $q'$  – protok dimnih plinova ( $=q$ ),  $c_p'$  – specifični toplinski kapacitet dimnih plinova ( $=c_p$ ),  $T_4$  – konačnu temperaturu pri izentropskoj ekspanziji,  $T_3$  – temperatura zraka kod izlaza iz turbine,  $\eta_{tt}$  – unutarnju korisnost turbine.

Unutarnja korisnost turbine iznosi

$$\eta_{tt} = (T_3 - T_4) / (T_3 - T_4) = 0.85 \dots 0.88 \dots 0.90$$

Unutarnja korisna snaga cjelokupnog postrojenja plinske turbine iznosi

$$P_1 = P_u - P_{ik}$$

(pri čemu upotrijebljena snaga u kompresoru  $P_{ik}$  ima negativnu vrijednost).

Sivarna korisna snaga cjelokupnog postrojenja plinske turbine je zbog vanjskih gubitaka (trenja u ležajima, pogon regulatora itd.) manja

$$P = P_1 \eta_m$$

gdje je  $\eta_m$  mehanička korisnost postrojenja.

Cjelokupna korisnost postrojenja iznosi

$$\eta = P / BH_1 = (P_u - P_{ik}) / BH_1 = \eta_m$$

Cjelokupna korisnost  $\eta$  ovisi u prvom redu o omjeru obiju krajnjih temperatura  $T_3/T_1$  (i to tako da raste s porastom tog omjera) i o tlačnom omjeru  $p/p_0$ . Svakom omjeru temperatura pripada određeni optimalni tlačni omjer pri kojem je  $\eta$  maksimalan, npr.

$T_3/T_1$	2,5	3	3,5
$(p/p_0)_{opt}$	3,0	3,8	4,3
$\eta_{max}$	0,18	0,22	0,24

Da bi se postigao što veći omjer temperatura, mora biti

- temperatura  $T_3$  što viša, a ona je ograničena otpornošću materijala komore za izgaranje i turbine;
- temperatura  $T_1$  što niža, a ona ovisi o temperaturi okoline (stoga je korisnost veća zimu, u sjevernim zemljama ili na velikim visinama).

### Poboljšanje cjelokupne korisnosti

Cjelokupnu korisnost poboljšavaju:

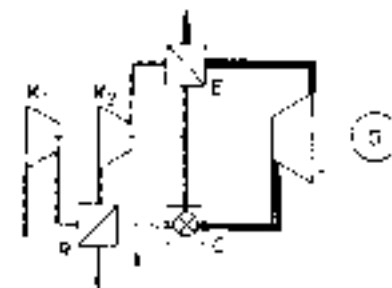
a) višestupna kompresija s međuhlađenjem, čime smanjujemo potrebnu ukupnu snagu za pogon kompresora  $P_{ik}$ ;

b) višestupna ekspanzija s međuzagrijavanjem, što povećava ukupnu snagu turbine  $P_{tt}$ ;

c) regeneracija toplote, tj. upotreba vrućih izlaznih plinova iz posljednje turbine, za zagrijavanje zraka za kompresora, što smanjuje toplinski tok  $\Phi$  koji moramo dovoditi.

Da bi postrojenje plinske turbine (s otvorenim procesom) postalo što jednostavnije (a uređaji što manji i jeftiniji) zadovoljavamo se često samo s dva stupnja kompresije i jednim stupnjem ekspanzije.

Na slici su:  $K_1, K_2$  – kompresori,  $R$  – hladnjak,  $E$  – izmjenjivač toplote,  $C$  – komora za izgaranje,  $T$  – turbina.



**Mlazni (reaktivni) motori** koji služe za pogon aviona imaju postrojenje s plinskom turbinom otvorenog procesa, a tjeu učit ne upotrebljava se samo za obavljanje vanjskoga mehaničkog rada na osovini turbine, već plinovi izgaranja stvaraju potisnu (reaktivnu) silu svojim mlazom na izlazu iz stroja kroz naročitu sapnicu.

Turbina mlaznog motora goni samo kompresor i troši

$$P_{ik} = P_{ik} / \eta_m$$

gdje je  $\eta_m$  mehanička korisnost stroja u cjeloti, a snage turbine i kompresora su:

$$P_{ik} = q c_p (T_1 - T_2)$$

$$P_{tt} = q' c_p' (T_3 - T_4)$$

Zbog toga iz turbine istječu plinovi koji imaju još znatan pretlak spram okoline,  $\Delta p = p_0 - p_2$  i zato imaju za ekspanziju do okolnog tlaka još uvijek na raspolaganju toplinski (izentropski) pad

$$\Delta h_0 = h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$$

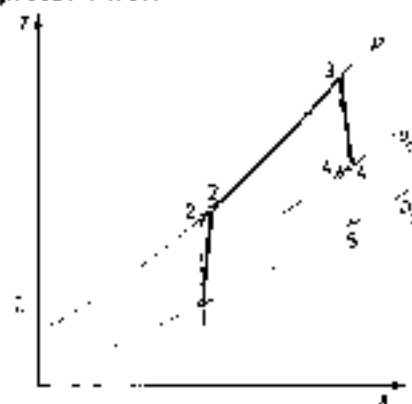
zbog kojega plinovi istječu kroz izlaznu sapnicu velikom brzinom  $v$

$$v = q \sqrt{2 \Delta h_0}$$

( $\varphi$  = koeficijent brzine, vidi str. 200), što daje potisnu silu

$$F = q' v = q' q \sqrt{2 \Delta h_0}$$

Za vrijeme leta ulazi u mlazni motor zrak pod velikim dinamičkim pritiskom što smanjuje potrebnu snagu kompresora: povećava potisnu silu mlaza.



## TOPLINSKE PUMPE

Toplinske su pumpe uređaji kojima erpimo uz dodavanje energije – toplinu s niže temperature na višu.

**Kompresijske toplinske pumpe** su strojevi za hlađenje i grijanje. Kružni proces u kompresijskim toplinskim pumpama obavljaju posebno odabrane pare, osobito razni freoni (tpr. R 12 – difluordiklormetan  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , R 22 = difluoromonoklormetan  $\text{CHF}_2\text{Cl}$  i td.), nadalje monoklormetan (metilklorid)  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , diklormetan (metilenklorid)  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , sumporni dioksid  $\text{SO}_2$ , ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ , amonijak  $\text{NH}_3$  i sl.

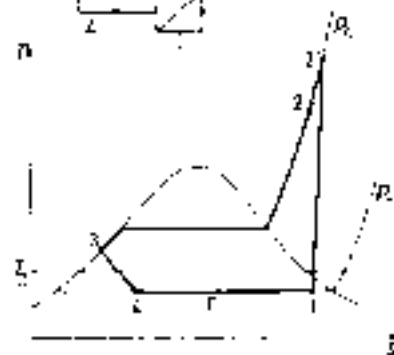
Jednostavna kompresijska toplinska pumpa:



K – kompresor, C – kondenzator (za okolinu: zagrijač), V – regulacijski (prigušni) ventil, R – isparivač, refrigerator (za okolinu: hladnjač), M – pogonski motor (električni ili drugi).

Promjene stanja pare:

- 1-2': adijabatska kompresija (s trenjem) od tlaka  $p_1$  na tlak  $p_2$
- 2'-3: kondenzacija pri  $p_2 = \text{konst}$  (odvođenje toplote pri višoj temperaturi u okolinu)
- 3-4: prigušivanje u regulacijskom ventilu od tlaka  $p_2$  na tlak  $p_1$  ( $h_3 = h_4$ )
- 4-1: isparivanje pri  $p_1 = \text{konst}$  (dovođenje toplote pri niskoj temperaturi iz okoline).



Snaga za pogon kompresora (stvarna)

$$P = q(h_2 - h_1)/\eta = q(h_2 - h_1)/\eta_m$$

gdje znače:  $q$  – protok pare,  $h_1$  – specifičnu entalpiju prije kompresije,  $h_2$  – specifičnu entalpiju na kraju izentropske kompresije,  $h_2$  – stvarnu specifičnu entalpiju iza kompresora,  $\eta_m$  – mehaničku korisnost,  $\eta$  – cjelokupnu korisnost.

Odovedeni toplinski tok  $\Phi_c = q(h_2 - h_1)$

Taj toplinski tok može poslužiti za grijanje okoline («grijevni stroj»).

Faktor grijanja  $\epsilon_g = \Phi_c/P$

pokazuje koliko «grijevnog toka»  $\Phi_c$  dobivamo upotrebljavajući snagu  $P$  za pogon kompresora. Pri malim tlačnim (i temperaturnim) razlikama taj je faktor znatno veći od 1, npr.  $\epsilon_g = 5 \dots 15$  (i više).

Dovedeni toplinski tok  $\Phi_c = q(h_2 - h_1)$

Taj toplinski tok služi za hlađenje okoline («rashladni stroj»).

Rashladni faktor  $\epsilon_r = \Phi_c/P$

pokazuje koliko «rashladnog toka»  $\Phi_c$  dobivamo upotrebljavajući snagu  $P$  za pogon kompresora. Pri malim tlačnim (i temperaturnim) razlikama i taj je faktor znatno veći od 1, npr.  $\epsilon_r = 3$  (i manje) do 12 (i više).

\*

**Apsorpcijske toplinske pumpe** služe za apsorpcijske rashladne uređaje. U tu se svrhu iskoristava promjenljiva topivost nekoga rashladnog sredstva u određenom apsorpcijskom sredstvu. Najčešće se upotrebljava amonijak ( $\text{NH}_3$ ) kao rashladno sredstvo, a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) kao apsorpcijsko sredstvo.

Jakost otopine izražavamo omjerom količine amonijaka i cjelokupne otopine

$$\xi = \text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O})$$

Najveću topivost (zasićenje) prikazuje maksimalni omjer  $\xi_{\text{max}}$ , koji ovisi o tlaku i temperaturi, a iznosi:

$\xi_{\text{max}}$ pri tlaku bar	pri temperaturi (°C)								
	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
0,2	0,364	0,306	0,253	0,202	0,155	0,068			
0,5	0,475	0,406	0,347	0,294	0,244	0,157	0,071		
1,0	0,615	0,517	0,434	0,378	0,325	0,228	0,140	0,062	
2,0		0,701	0,566	0,483	0,418	0,314	0,225	0,141	0,065

Za otapanje je potrebna toplina otapanja  $r_d$ , koja je gotovo neovisna o tlaku i temperaturi, ali je ovisna o omjeru  $\xi$ :

$\frac{r_d}{c_a}$ kJ/kg	0,00	0,25	0,50	0,75
	837	841	209	27

Toplina isparivanja  $\text{NH}_3$  (pri +20 °C) iznosi  $r = 1189$  kJ/kg.

Za otapanje (apsorpciju) amonijaka u vodi (odnosto u blagoj (nezasićenoj) otopini (malo  $\xi$ ) potrebna je znatna toplina  $r + r_d$  koju otopina oduzima okolini (te je «hladi»). Apsorpcijom nastaje jaka otopina (veliko  $\xi$ ) iz koje opet izlučujemo amonijak grijanjem (višoj temperaturi odgovara manje  $\xi_{\text{max}}$ ). Prije poslovnog otapanja moramo amonijak i preostalu blagu otopinu – svaku posebno – ohladiti najprije na temperaturu okoline, da bi nakon apsorpcije postigli temperaturu nižu od okoline.

Za grijanje u apsorpcijskom rashladnom uređaju trošimo znatno više energije nego – pri istom rashladnom učinku – za pogon kompresora u kompresijskoj toplinskoj pumpi.

Sastavine		Sasravnij dijelovi (težinski)	Temperatura	
			početna °C	konačna °C
voda	H <sub>2</sub> O	16		
amonijev klorid (salnitak)	NH <sub>4</sub> Cl	5	10	12
kalcijev nitrat (salitra)	KNO <sub>3</sub>	5		
voda	H <sub>2</sub> O	1		
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1	10	-15
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	2		
natrijev nitrat (šiška sol)	NaNO <sub>3</sub>	1	10	20
sumporna kiselina	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4		
natrijev sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	10	20
voda	H <sub>2</sub> O	1		
natrijev karbonat (soda)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1	10	22
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1		
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	4		
amonijev nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	5	10	40
natrijev sulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6		
snijeg	H <sub>2</sub> O	2	0	-20
natrijev klorid (kuh. sol)	NaCl	1		
snijeg	H <sub>2</sub> O	5		
kuh. sol	NaCl	2	0	-25
salnitak	NH <sub>4</sub> Cl	1		
snijeg	H <sub>2</sub> O	3	0	30
sumporna kiselina (razr.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2		
snijeg	H <sub>2</sub> O	8	0	-32
solna kiselina (razr.)	HCl	5		
snijeg	H <sub>2</sub> O	7	0	-35
dušična kiselina (razr.)	HNO <sub>3</sub>	4		
snijeg	H <sub>2</sub> O	4	0	40
kalcijev klorid	CaCl <sub>2</sub>	5		

Najniža ledvita vodena otopina (eutektičnih)

5,9% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,4 °C	36,9% NaNO <sub>3</sub>	-18,5 °C
10,9% KNO <sub>3</sub>	2,9 °C	22,4% NaCl*	-21,2 °C
19,7% KCl	11,1 °C	20,6% MgCl <sub>2</sub>	-33,6 °C
18,7% NH <sub>4</sub> Cl	-15,8 °C	35,5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	37,1 °C
41,2% NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	-17,4 °C	29,9% CaCl <sub>2</sub>	55,0 °C

\* Eutektična vodena otopina NaCl ima (pri 15 °C) gustoću  $\rho = 1170 \text{ kg/m}^3$  i specifični toplinski kapacitet  $c_p$  (pri temperaturi  $t$ ):

$t$	°C	20	0	120
$c_p$	J/kg K	3320	3341	3362

KLIMATIZACIJA I SUŠENJE

Klimatizacija

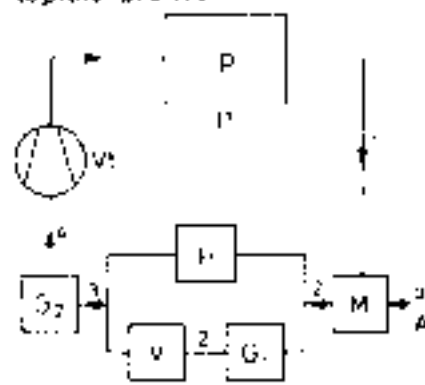
Svrha klimatizacije je održavanje temperature i vlage zraka u zatvorenoj prostoriji u granicama željenih vrijednosti.

Čovjek odaje toplinu i izlučuje vlagu koje (po VDI 2078 1977) iznose pri mirovanju i bez fizičkog rada:

Temperatura zraka °C	Odavanje topline W	Izlučivanje vlage g/h
18	125	35
20	120	35
22	120	40
24	115	60
26	115	65

— pri polučekskom radu iznosi odavanje topline 270 W.

Klimatizacija obuhvaća niz postupaka pri kojima se iz klimatizirane prostorije P izlazeći vlažni zrak (stanja 1) miješa u mješalu M sa svježim zrakom iz atmosfere A (stanja a) u smjesu stanja 2 (koja je ovisna o omjeru miješanja 3:1 ... 6:1); nakon čega će ta smjesa u hladnjaku H (ljetni rad) ili u zagrijaču G<sub>1</sub> i ovlaživaču V (zimski rad) promijeniti svoje stanje do stanja 3, da bi se u dogrijaču G<sub>2</sub> zagrijala do stanja 4, a tada je ventilator Vt tlači u prostoriju P.



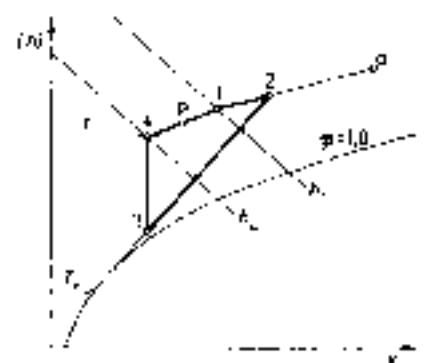
Stanje zraka u prostoriji P uzimamo kao točku miješanja p, dobivenu iz stanja ulaznog (4) i stanja izlaznog (1) zraka.

a) Ljetni poyon

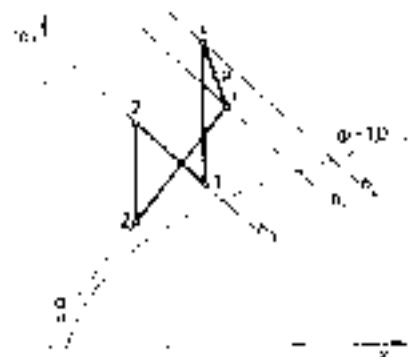
Vanjski zrak treba hladiti i sušiti. Stoga je uključen hladnjak H, dok su zagrijač G<sub>1</sub> i ovlaživač V isključeni.

U hladnjaku H prelazi toplina sa smjese (stanja 2) na rashladnu vodu (temperature pod točkom smjese), pri čemu se smjesa hladi i suši (od stanja 2 do stanja 3), a rashladna se voda zagrijava. Konačno stanje smjese na izlazu iz hladnjaka (stanje 3) ovisno je o njegovoj korisnosti. U dogrijaču G<sub>2</sub> osušena se smjesa zagrije do odgovarajuće temperature T (stanje 4), našto je ventilator Vt tlači u prostoriju P.

Pri prijelazu  $m$  (kg) smjese iz stanja 4 u stanje 1 smjesa preuzima iz prostorije toplinu  $Q = m \cdot \Delta h = m(h_1 - h_4)$  vlagu  $m_v = m \cdot \Delta x = m(x_1 - x_4)$



### b) Zimski pogon



Vanjski zrak valja zagrijavati i vlažiti. Stoga su uključeni zagrijač  $G_1$  i ovlaživač  $V$ , dok je hladnjak  $H$  isključen.

U zagrijaču  $G_1$  zagrijava se smjesa stanja 2 do stanja 2'. u ovlaživaču  $V$  se vlaži i hladi do stanja 3. Nakon toga se smjesa dogrijava u dogrijaču  $G_2$  do stanja 4, a tada je ventilator  $Vt$  ulaže u prostoriju  $P$ .

Pri prijelazu  $m$  (kg) smjese sa stanja 4 u stanje 1 smjesa predaje prostoriji toplinu

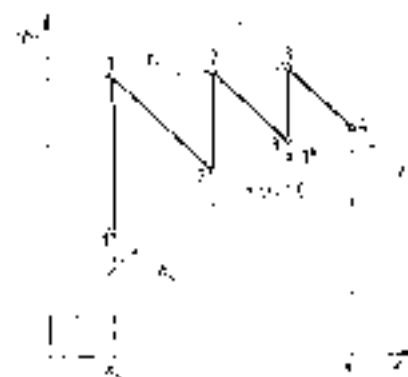
$$Q = m \cdot \Delta h = m(h_4 - h_1)$$

a preuzima od nje vlagu

$$m_v = m \cdot \Delta x = m(x_1 - x_4)$$

### Sušenje vlažne tvari zagrijanim zrakom

Vlažnoj tvari, koja sadrži stanovitu količinu vode, treba smanjiti tu količinu vode do željene vrijednosti.



Zrak za sušenje (vanjski) neka ima ulaznu vlažnost  $x_v$  i ulaznu specifičnu entalpiju  $h_v$  (stanje 1). Zagrijavajući ga po izohigri ( $x = \text{konst}$ ) do najviše dopuštene temperature  $T_{\text{max}}$  on prelazi u stanje 2'. Tako zagrijan zrak nato u sušionoj komori prima vlagu koja ishlapljuje iz vlažne tvari te se hladi po izentalpi ( $h = \text{konst}$ ) do stanja 2.

Taj se postupak više puta ponavlja (2 - 2' i 2' - 3 i 3' - 4) do izlazne specifične entalpije  $h_1$  i izlazne vlažnosti  $x_1$  koja treba biti što većom.

Za zagrijavanje  $m_2$  (kg) zraka potrebna je toplina

$$Q = m_2(h_1 - h_v)$$

a iz vlažne tvari je zrak preuzeo vlagu

$$m_v = m_2(x_1 - x_v)$$

Pri optočetnom postupku miješamo izlazni zrak (stanje 4) s ulaznim zrakom (stanje 1) u omjeru koji daje smjesu stanja npr. 3'. Ta se smjesa zagrijava do stanja 3' i može u sušari preuzeti vlagu do stanja 4. Optok treba ponavljati do zatražene suhoće tvari.

## ELEKTROTEHNIKA

### Simboli

	istosmjerna struja		vodič		tri paralelna vodiča
	izmjenična struja		križanje vodiča		trokutni spoj
	istosmjerna i izmjenična struja		čvrsti spoj vodiča		zvjezdasti spoj
	trofazni sistem		rastavljivi spoj vodiča		ispravljač, elekt. ventil
	voltmetar		sklopka		galvanski izvor struje
	ampermetar		otpor		istosmjerni generator
	vajmetar		promjenljivi otpor		izmjenični generator
	ohmometar		osigurač		istosmjerni motor
	mjerač frekvencije		namot		izmjenični motor
	cos $\varphi$ - mjerac		namot s odvojcima		trošilo struje, rasvjetno tijelo
	registrirajući vajmetar		kondenzator		uzemljenje
	brojilo		polarizirani kondenzator		spoj s masom



**Ohmov zakon**

definira otpor  $R$  kao omjer napona  $U$  i struje  $I$

$$R = U/I \quad U = IR \quad I = U/R$$

Djelatni (ohmski) otpor  $R$  upravo je razmjeran s duljinom  $l$  i obrnuto razmjeran s presjekom  $A$  vodiča

$$R = \rho l/A \quad \rho = Rl/A$$

$\rho$  – specifični otpor koji je karakterističan za svaki materijal.

Specifični otpor  $\rho$  i presjek vodiča  $A$  mjerimo koherentnim jedinicama međunarodnog sustava jedinica (SI):  $\Omega \cdot m$  (=  $\Omega/m \cdot m^2$ ) ili izvedenom jedinicom  $\Omega \cdot mm^2/m$  ( $A$  u  $mm^2$ ).

Specifični otpor  $\rho$  ovisi o temperaturi  $T$ . Specifični otpor  $\rho_1$  pri temperaturi  $T_1$  povećava se pri temperaturi  $T_2$  na  $\rho_2$  po formuli

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

$\alpha$  = je temperaturni koeficijent električnog otpora mjeran u  $K^{-1}$

Koeficijent  $\alpha$  također se mijenja s temperaturom, no te su promjene pri praktički važnim temperaturama tako neznatne da ga često možemo smatrati konstantnim. Specifični otpori  $\rho_1$  i temperaturni koeficijenti  $\alpha$  određuju se obično pri temperaturi  $T_1 = 20^\circ C = 293 K$ , a sabrani su za najvažnije materijale na str. 257.

Djelatna (omska) vodljivost  $G$  je recipročna veličina omakom otporu  $R$

$$G = 1/R = A/\rho l$$

Specifična vodljivost je  $\gamma = 1/\rho$ .

**Kirchhoffovi zakoni**

I Zbroj struja koje dolaze u neku točku električne mreže jednak je zbroju struja koje iz te točke odlaze, tj. zbroj svih struja jednak je nuli

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

II U svakom je zatvorenom krugu zbroj namnutih napona jednak zbroju umnožaka struja i pripadnih otpora (tj. zbroju padova napona)

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n (I_i R_i)$$

**Snaga i rad istosmjerne struje**

Snaga  $P$  istosmjerne struje jednaka je umnošku napona  $U$  i struje  $I$

$$P = UI = I^2 R = U^2/R$$

Rad  $W$  istosmjerne struje jednak je umnošku snage  $P$  i vremena  $t$

$$W = Pt = UIt = I^2 Rt$$

Specifični otpori  $\rho$ , specifične vodljivosti  $\gamma$  i temperaturni koeficijenti električnog otpora  $\alpha$  različitih materijala (pri  $20^\circ C$ )

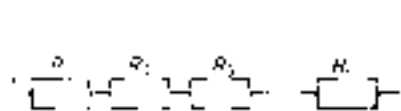
Materijal	Specifični otpor $\rho$ $\Omega \cdot mm^2/m$	Specifična vodljivost $\gamma$ $S/m$	Temperaturni koeficijent otpora $\alpha$ $K^{-1}$
aluminij – lijevani	0,040	25	0,0036
– meki	0,028	36	0,0040
– tvrdo vučeni	0,029	34,5	0,0041
bakar – meki	0,0175	57	0,00393
– tvrdo vučeni	0,0178	56	0,00392
brona – aluminijska	0,13 ... 0,29	7,7 ... 3,4	0,006 ... 0,007
– kosatrena	0,0278	36	0,0040
cekas	1,12	0,894	0,00014
cekas I	0,97	1,03	0,00052
cekas II	1,08	0,925	0,00008
cink	0,060	16,8	0,0041
čelik	0,1 ... 0,25	10 ... 4	0,0045 ... 0,0055
– lijevani	0,142	7	-
– lim	0,13	7,7	0,0045
– vudunamo- lim	0,27 ... 0,67	3,7 ... 1,5	-
– žica	0,17	5,9	0,0052
kaolital	1,35	0,74	0,00006
konstantan	0,5	2,0	-0,00008
kositar	0,12	8,3	0,0045
magnezij	0,043	23	0,0041
manganin	0,43	2,32	0,00007
mjed – lijevani	0,071	14	-
– vučena	0,07 ... 0,08	14 ... 12,5	0,0015 ... 0,0019
nikal	0,42	2,38	0,0007
nikelin	0,09	11	0,0055
novo srebro	0,28	3,6	0,00007
olovo	0,21	4,8	0,0041
platina	0,10	10	0,00392
silumin – lijevani	0,059	17	0,004
svi lijevi	0,6 ... 1,6	1,7 ... 0,3	-
srebro	0,0165	61	0,0040
volfram	0,055	18,1	0,0048
zlatn	0,023	43,5	0,0040
željezo (čisto)	0,10	10	0,006
živa	0,958	1,04	0,00099

Za destiliranu vodu iznosi  $\rho \approx 10^{10} \Omega \cdot mm^2/m$ ,

a za morsku je vodu  $\rho = 3 \cdot 10^5 \Omega \cdot mm^2/m$ .

## Spajanje djelatah (omskih) otpora

- a) Serijski spojeni otpornici pojedinačnih otpora  $R_i$  imaju ukupan otpor  $R$  jednak sumi pojedinačnih otpora (koji je veći od najvećeg otpora)

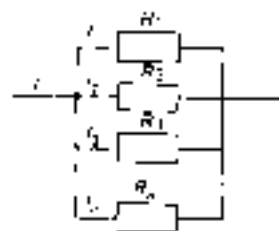


$$R = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

se propuštaju struja  $I$ , koja je u svim otpornicima jednaka

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

- b) Paralelno spojeni otpornici pojedinačnih otpora  $R_i$  imaju ukupan otpor  $R$  koji je recipročna vrijednost zbroja recipročnih vrijednosti svih otpora (te je manji od najmanjega otpora), a dobiva se iz jednačbe



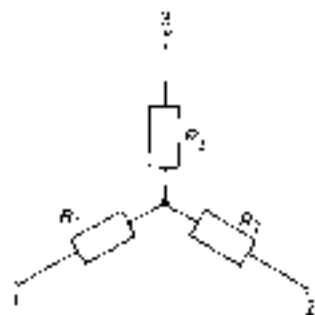
$$1/R = \sum_{i=1}^n 1/R_i = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Ukupna struja  $I$  koju propuštaju jednaka je sumi struja  $I_i$  kroz pojedine otpornike

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

- c) Elektni spoj triju otpora

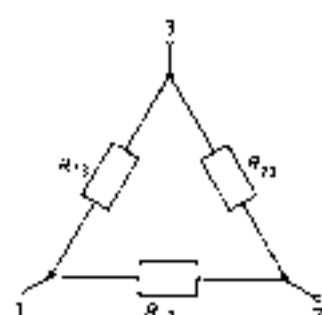
Spoj u zvijezdi (Y-spoj)



Otpor među stezaljkama 1 i 2

$$R = R_1 + R_2$$

Spoj u trokutu (II-spoj)

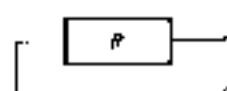


Otpor među stezaljkama 1 i 2

$$R = \frac{R_2(R_{21} + R_{31})}{R_1 + R_2 + R_3}$$

## Mjerenje temperature otporom

Termometri na otpor iskorišćuju ovisnost djelatnog otpora  $\rho_T$  o temperaturi  $T$  (vidi str. 256)



$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

gdje su:  $\rho_0$  – specifični otpor pri temperaturi  $T_0 = 273 \text{ K}$ ,  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $(T - T_0)$  je dakle temperatura  $t$  u  $^\circ\text{C}$ .

Naročito je pogodna za termometre na otpor platina, čiji je temperaturni koeficijent elektnog otpora  $\alpha$  linearno ovisan o temperaturi.

$$\alpha = (3917,841 + 0,578 t) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$t$ $^\circ\text{C}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$t$ $^\circ\text{C}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$t$ $^\circ\text{C}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
-220	4035,091	150	3871,080	550	3589,716
-200	4023,523	200	3792,159	600	3560,796
-150	3994,602	250	3763,239	650	3531,876
-100	3965,682	300	3734,318	700	3502,955
- 50	3936,761	350	3705,398	750	3474,035
0	3907,841	400	3676,478	800	3445,114
50	3878,921	450	3647,557	850	3416,194
100	3850,000	500	3618,637		

## Termonaponi



Termički se naponi pojavljuju na lemljenim mjestima dviju kovina ili slitina. Oni rastu s porastom temperature, što se iskorištava za mjerenje temperature.

Termoelektrični naponski niz (s obzirom na platinu) za temperaturnu razliku među lemljenim mjestima  $100 \text{ K}$  ( $100 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) iznosi:

Kovina (zlatna)	Termonapon mV	Kovina (silitna)	Termonapon mV
Ir	-7,7	Ir	+0,67
konstantan	-3,47 ... -3,04	Ag	+0,67 ... +0,79
Ni	-1,94 ... -1,20	Cu	+0,72 ... +0,77
Pt	0	Au	+0,56 ... +0,80
platinrodij (10% Rh)	+0,65	Fe	+1,88
W	+0,65 ... +0,90	kromnikal	+2,20

Termoelektrični naponi pri temperaturi  $T$

za različite kovinske parove s obzirom na baždarne temperature 0 i 20°C

Temperatura $t$ °C	Željezo - konstantan		Kromikal - nikal		Platinodij - platina	
	0°C	20°C	0°C	20°C	0°C	20°C
-200	-8,15	-9,20				
-150	-6,60	-7,65				
-100	-4,75	-5,80				
-50	2,31	-3,56				
0	0,00	-1,05	0,00	-0,80	0,000	0,113
50	2,65	1,61	2,02	1,22	0,299	0,186
100	5,37	4,32	4,10	3,30	0,643	0,530
150	8,15	7,10	6,13	5,33	1,025	0,912
200	10,95	9,90	8,13	7,33	1,436	1,323
250	13,75	12,70	10,16	9,36	1,868	1,755
300	16,56	15,51	12,21	11,41	2,316	2,203
350	19,36	18,31	14,29	13,49	2,778	2,665
400	22,16	21,11	16,40	15,60	3,251	3,138
450	25,00	23,95	18,51	17,71	3,732	3,619
500	27,85	26,80	20,65	19,85	4,221	4,108
550	30,75	29,70	22,78	21,98	4,718	4,605
600	33,67	32,62	24,91	24,11	5,224	5,111
650	36,64	35,59	27,03	26,23	5,738	5,625
700	39,72	38,67	29,14	28,34	6,260	6,147
750	42,92	41,87	31,23	30,43	6,790	6,677
800	46,22	45,17	33,30	32,50	7,329	7,216
850	49,63	48,58	35,34	34,54	7,876	7,763
900	53,14	52,09	37,36	36,56	8,432	8,319
950			39,35	38,55	8,997	8,884
1000			41,31	40,51	9,570	9,457
1050			43,25	42,45	10,152	10,039
1100			45,16	44,36	10,741	10,628
1150			47,04	46,24	11,336	11,223
1200			48,89	48,09	11,935	11,822
1250			50,69	49,89	12,536	12,423
1300			52,46	51,66	13,138	13,025
1350					13,738	13,625
1400					14,337	14,224
1450					14,935	14,822
1500					15,534	15,421

Faradayevi zakoni

Faradayeva konstanta  $F$  je umnožak —

— Avogadrove konstante  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  i

— elementarnoga naboja  $e = 0,160 \cdot 10^{-18} \text{ A s}$

$$F = N_A e = 96353 \text{ A s/mol}$$

Elektrokemijski ekvivalent  $a$  određen je molskom masom  $m_m$  i valencijom  $v$  elementa te Faradayevom konstantom  $F$

$$a = m_m / Fv \quad \text{kg/A s}$$

Vrijednosti elektrokemijskog ekvivalenta  $a$  (u  $\text{mg/A s} = 10^{-6} \text{ kg/A s}$ )  
nekih materijala

Materijal*	$a$ mg/A s	Materijal*	$a$ mg/A s
aluminij	0,091 2	olovo	1,073 5
bakar — jednovalentni	0,658 8	platina	0,505 7
— dvovalentni	0,329 4	srebro	1,118 0
čink	0,338 7	zlato	0,681 2
kalij	0,405 2	željezo — dvovalentno	0,289 3
kositar — dvovalentni	0,615 1	— trovalentni	0,192 9
— četverovalentni	0,307 5	živa — jednovalentna	2,078 9
magnezij	0,126 0	— dvovalentna	1,039 5
načij	0,238 4		
nikal — dvovalentni	0,304 1	kisik (anion)	0,082 9
— trovalentni	0,202 7	vodik (kation)	0,010 44

\* Valencija se odnosi na vezu kovine u kemijskom spoju.

Prvi Faradayev zakon

Struja  $I$  koja protječe elektrolitom izlučit će na elektrodi u vremenu  $t$  masu  $m$

$$m = aIt$$

gdje je  $a$  — elektrokemijski ekvivalent.

Drugi Faradayev zakon

Mase  $m_1$  i  $m_2$  različitih tvari, izlučene istom strujom u istom vremenu, odnose se međusobno kao kvocijenti relativnih atomskih masa  $A$  i kemijskih valencija  $v$  tih tvari

$$m_1 : a_1 = A_1/v_1$$

$$m_2 : a_2 = A_2/v_2$$

## MAGNETSKO I ELEKTRIČNO POLJE

**Magnetsko polje** nastaje oko polova permanentnih magneta ili oko vodiča električne struje

**Jakost magnetskog polja**  $H$  (A/m), koju najlakše određujemo mjerenjem električne struje  $I$ , iznosi

- na okomitoj udaljenosti  $r$  od beskonačno dugog vodiča  $H = I/2\pi r$
- u sredini kružnog vodiča ( $= 1$  zavoja) promjera  $d$   $H = I/d$
- u sredini svitka sa  $w$  zavoja na cilindru promjera  $d$   $H = Iw/d$
- u sredini svitka sa  $w$  zavoja na zatvorenom (npr. kružnom) prstenu (obodne) duljine  $l$   $H = Iw/l$



Smjer magnetskog polja određuje se »pravilom desnog vijka« podudara li se smjer aksijalnog pomicanja vijka sa smjerom struje u vodiču, magnetsko će polje imati smjer okretanja vijka (Znak  $\odot$  znači da promatrač gleda u smjeru struje, a znak  $\ominus$  znači da gleda suprotno smjeru struje. Na slici struja ulazi okomito u ravninu crteža.)

**Gustoća magnetskog toka** (magnetska indukcija)  $B$  ( $T = Vs/m^2$ ) je magnetski tok  $\Phi$  (Vs) na jedinicu površine, što ga u različitim materijalima izaziva magnetsko polje jakosti  $H$

$$B = \Phi/A \quad \mu H = \mu_0 \mu_r H$$

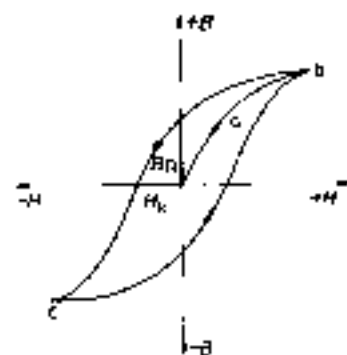
gdje su:  $A$  — presjek,  $\mu$  — permeabilnost,  $\mu_0$  — permeabilnost praznog prostora (vakuuma),  $\mu_r$  — relativna permeabilnost.

**Permeabilnost praznog prostora**  $\mu_0$  je konstanta

$$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/A m.}$$

**Relativna permeabilnost**  $\mu_r$  (bezdimenzijski broj) ovisi o materijalu i jakosti magnetskog polja  $H$ .

U vakuumu (a to vrijedi praktički i za zrak) relativna je permeabilnost  $\mu_r = 1$ . Za feromagnetske materijale prikazujemo ovisnost gustoće magnetskog toka o jakosti magnetskog polja »krivuljom magnetiziranja«  $B = f(H)$ .



Prvo magnetiziranje čelika prikazuje početna (»ljevičanska«) krivulja (a). Smanjimo li zatim jakost magnetskog polja do nule, ostat će u čeliku remanentni magnetizam  $B_R$ , koji možemo poništiti samo suprotnim magnetskim poljem jakosti  $H_K$  (»koercitivna sila«).

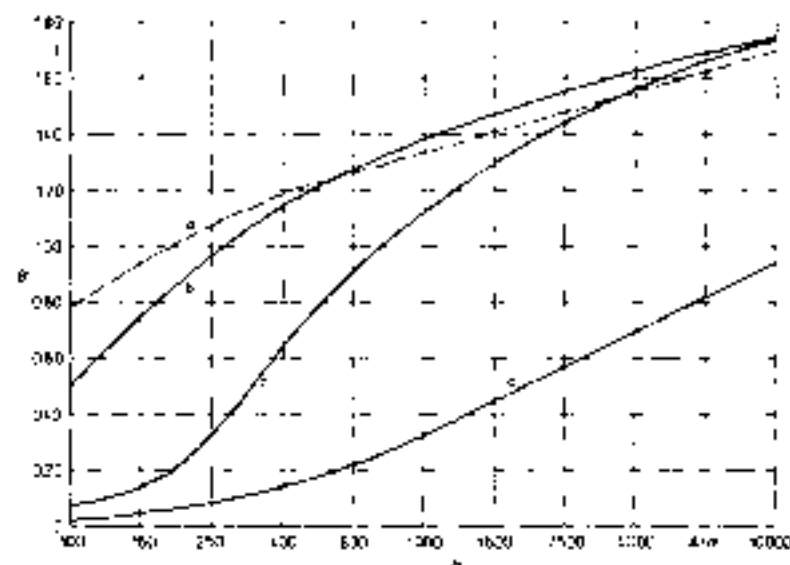
Magnetiziranjem čelika do zasićenja u jednom (b) i drugom smjeru (c) krivulja magnetiziranja opisuje petlju (»histereza«).

Magnetiziranjem čelika do zasićenja u jednom (b) i drugom smjeru (c) krivulja magnetiziranja opisuje petlju (»histereza«).

Čelici za permanentne magnete (magnetski tvrdi čelici) imaju vrlo široku histereznu petlju. Čelici pogodni za izmjenične magnete (magnetski meki čelici) imaju vrlo (praktički zanemarivo) usku histereznu petlju.

*Krivulja magnetiziranja  $B = f(H)$  za meki čelik i sivi lijev*

*Krivulja magnetiziranja  $B = f(H)$  za meki čelik (I) i sivi lijev (II)*



a — transformatorski lim  
b — dinamo-lim

c — željezni lijev  
d — sivi lijev

### Nosivost magneta

Na nosivim polovima magneta magnetske indukcije  $B$  i površine  $A$  iznosi nosivost magneta  $F$

$$F = B^2 A / 2 \mu_0$$

### Induktivitet

Induktivitet  $L$  nekog svitka sa  $w$  zavoja može se prikazati kvocijentom promjene magnetskog toka  $\Phi$  i struje  $I$  koja ga stvara

$$L = w d\Phi/dI$$

Svitak sa  $w$  zavoja kojemu je presjek  $A$  i duljina  $l$  ima induktivitet  $L$ .

$$L = \mu_0 \mu_r w^2 A / l$$

Induktivitet svitka bez željezne jezgre (za zrak,  $\mu_r = 1$ ) je dakle konstantan. Induktivitet svitka sa željeznom jezgrom zavisi od nagiba krivulje magnetiziranja ( $\mu_0 \mu_r = B/H$ ).

*Energija svitka iznosi*

$$W_L = LI^2/2$$

**Električno polje** nastaje između međusobno izoliranih vodiča pod naponom (i općenito: oko svakog statičkog naboja).

**Jakost električnog polja**  $E$  (V/m) između dviju paralelnih ploča među kojima je napon  $U$ , a njihova udaljenost  $a$ , iznosi

$$E = \frac{U}{a}$$

Na ploči koja ima naboj  $Q$  (C) na površini  $A$  (m<sup>2</sup>), iznosi **gustoća naboja**  $D$  (C/m<sup>2</sup>)

$$D = \frac{Q}{A} = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

gdje su:  $\epsilon$  - dielektričnost,  $\epsilon_0$  - dielektrična konstanta (dielektričnost vakuum),  $\epsilon_r$  - relativna dielektričnost izolatora.

**Dielektrična konstanta** praznog prostora  $\epsilon_0$  iznosi

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A s/V m}$$

**Dielektričnost izolatora**  $\epsilon_r$  zavisi od materijala (između ploča) i iznosi za vakuum  $\epsilon_r = 1$ , za zrak  $\epsilon_r = 1,006$ . Vrijednosti za različite izolatore sahrane su u sljedećoj tablici.

*Specifični električni otpori, relativna dielektričnost i probojna čvrstoća električnih izolatora*

Materijal	Specifični otpor $\rho$ Ωm	Relativna dielektričnosti $\epsilon_r$	Probojna čvrstoća kV/mm	Dopuštena maksimalna temperatura °C
asfalt		2,7	1,8 ... 15,8	100
bakelit	$10^{10}$	2,8	20	55 ... 100
guma - meka		2,7 ... 7	10 ... 30	-30 ... +60
— tvrda	$10^{16}$	3 ... 3,5	10 ... 30	-40 ... +80
kremen	$5 \cdot 10^{16}$	4 ... 4,8	35 ... 40	1050
mikanit	—	4,5 ... 5,5	20 ... 30	—
mramor	—	7 ... 9	1,4 ... 2,8	650
parafin	$10^{14} \dots 10^{16}$	2 ... 2,3	8 ... 20	—
poliviniloklorid	—	—	—	—
— elastični	$10^{11}$	3 ... 4	50	65
— tvrdi	$10^{14}$	3 ... 4	50	60 ... 70
posudim	$10^8 \dots 10^{12}$	5 ... 6,3	30 ... 38	—
staklo	$5 \cdot 10^7$	4 ... 17	12 ... 20	—
šlak	$10^{14}$	2,9 ... 3,7	—	75
škriljevac	$10^6 \dots 10^2$	6 ... 10	0,2 ... 0,4	—
tečaj	$10^{11} \dots 10^{13}$	6 ... 8	20 ... 60	—
tvrdi ljepenka	$10^9 \dots 10^{10}$	5 ... 6	10 ... 30	130
ulje (transformatorsko)	$10^{10}$	2 ... 2,5	8 ... 12	85

**Kapacitet**

**Kapacitetom**  $C$  definiramo omjer električnog naboja  $Q$  sabranog na dvjema elektrodama kondenzatora i napona  $U$  među njima

$$C = Q/U$$

Kondenzator kojemu je površina paralelnih ploča  $A$ , a razmak među njima  $a$  ima kapacitet  $C$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A/a$$

Kapacitet kondenzatora ovisi dakle o relativnoj dielektričnosti  $\epsilon_r$  materijala među pločama (izolatora).

**Spoj više kondenzatora**

a) u paralelnom spoju (povećava se površina ploča); daje ukupni kapacitet  $C$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

b) u serijskom spoju (povećava se razmak ploča) daje ukupni kapacitet  $C$  prema jednadžbi

$$1/C = \sum_{i=1}^n 1/C_i = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

**Energija kondenzatora**

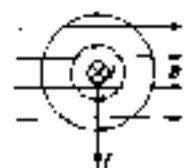
$$W_C = CU^2/2$$

**Vodič električne struje u magnetskom polju**

1. Sila  $F$  (N) koja djeluje na vodič električne struje jakosti  $I$  (A), u magnetskom polju gustoće  $B$  (T), na duljinu  $l$  (m), iznosi

$$F = BIl$$

Sila  $F$  je usmjerena prema manjoj gustoći magnetskog polja koje rezultira iz magnetskog polja gustoće  $B$  i magnetskog polja što nastaje oko vodiča struje jakosti  $I$ .

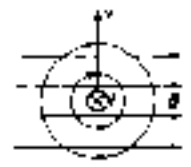


Ta se sila  $F$  iskoristava u elektromotorima.

2. U vodiču duljine  $l$  (m) koji se giba brzinom  $v$  (m/s) kroz magnetsko polje gustoće  $B$  (T) inducira se napon  $U_i$  (V)

$$U_i = Bvl$$

Inducirani napon  $U_i$  uzrokuje struju takvog smjera da se vodič giba brzinom  $v$  prema većoj gustoći magnetskog polja koje rezultira iz magnetskog polja gustoće  $B$  i magnetskog polja nastalog oko vodiča struje jakosti  $I$ .



Ako se magnetski tok  $\Phi$  mijenja u vremenu  $t$ , u svitku sa  $w$  zavoja koji minuje inducira se napon

$$U_i = -w(d\Phi/dt)$$

Na tome se induciranom naponu  $U_i$  osniva djelovanje električnih generatora.

## IZMIJENIČNA STRUJA

Izmjenični napon što nastaje u vodičima električnih generatora izazva u zatvorenom strujnom krugu izmjeničnu struju određene frekvencije.

Frekvencija  $f$  izmjenične struje ovisi o broju pari polova  $p$  i brzini vrtanje  $n$  generatora

$$f = pn$$

Normalna frekvencija izmjenične struje u Evropi je  $f = 50$  Hz. Njoj odgovaraju sljedeći brojevi pari polova  $p$  i brzine vrtanje  $n$  koje se najviše upotrebljavaju:

Broj pari polova $p$	Broj polova $2p$	Brzina vrtanje $n$		Broj pari polova $p$	Broj polova $2p$	Brzina vrtanje $n$	
		okr./s	okr./min			okr./s	okr./min
1	2	50	3000	8	16	6,25	375
2	4	25	1500	10	20	5	300
3	6	16,7	1000	12	24	4,2	250
4	8	12,5	750	16	32	3,125	187,5
5	10	10	600	20	40	2,5	150
6	12	8,3	500	24	48	2,1	125

Kružna frekvencija (pulzacija):  $\omega = 2\pi f$

### Otpor za izmjeničnu struju

Cjelokupni (prividni) otpor  $Z$  (impedancija) iznosi:  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ , gdje su  $R$  – djelatni (omski) otpor,  $X$  – jalovi otpor (reaktancija).

Djelatni otpor za izmjeničnu struju – zbog potiskivanja (skin-efekta) – nije jednak djelatnom otporu za istosmjernu struju (vidi str. 256). Pri niskim frekvencijama, međutim, ta je razlika neznatna.

Jalovi je otpor  $X = \omega L - 1/\omega C = X_L - X_C$

gdje su: induktivni otpor (induktancija)  $X_L = \omega L$

kapacitivni otpor (kapacitancija)  $X_C = 1/\omega C$

Spoj više jalovih otpora:

a) u serijskom spoju  $X = \sum_{i=1}^n X_i$

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + \dots + X_{Ln} \quad X_C = X_{C1} + X_{C2} + \dots + X_{Cn}$$

b) u paralelnom spoju  $1/X = \sum_{i=1}^n 1/X_i$

$$1/X = 1/X_{L1} + 1/X_{L2} + \dots + 1/X_{Ln} \quad 1/X_C = 1/X_{C1} + 1/X_{C2} + \dots + 1/X_{Cn}$$

Kut faznog pomaka  $\varphi$  između struje  $i$  i napona

$$\tan \varphi = X/R = (X_L - X_C)/R$$

Ako je  $X_L > X_C$ , struja vremenski zaostaje za naponom, ako je  $X_L < X_C$ , struja prethodi naponu za kut  $\varphi$ .

### Jednofazni sistem

Struja  $I$   $I = U/Z = U/\sqrt{R^2 + X^2}$

Snaga  $P$  – prividna snaga  $P_2 = UI$

djelatna snaga  $P = UI \cos \varphi$

jalova snaga  $P_1 = UI \sin \varphi$

faktor snage  $\cos \varphi = P/P_2 = P/UI$

Rad  $W$   $W = Pt = UI t \cos \varphi$

### Trofazni sistem

Trofazni sistem izmjenične struje ima 3 napona kojima su faze međusobno pomaknute za kut  $2\pi/3 (= 120^\circ)$ .

Linjski napon  $U$

Linjska struja  $I$

Spoj u zvijezdi

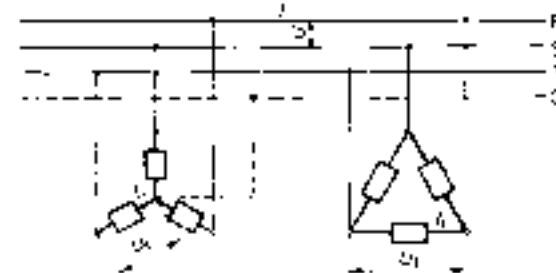
fazni napon  $U_f = U/\sqrt{3}$

fazna struja  $I_f = I$

Spoj u trokutu

fazni napon  $U_f = U$

fazna struja  $I_f = I/\sqrt{3}$



Spoj u zvijezdi

Spoj u trokutu

Snaga  $P$  – prividna snaga  $P_2 = 3 U_f I_f = \sqrt{3} \cdot UI$

djelatna snaga  $P = \sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi$

jalova snaga  $P_1 = \sqrt{3} \cdot UI \sin \varphi$

Rad  $W$   $W = Pt = \sqrt{3} \cdot UI t \cos \varphi$

Pri računanju snage  $P$  i rada  $W$  faktor snage  $\cos \varphi$  odnosi se na fazne vrijednosti  $U_f$  i  $I_f$ .

### Transformacija izmjenične struje

Inducirani naponi  $U_1$  u primarnom i sekundarnom namotu transformatora odnose se kao njihovi brojevi zavoja  $w$

$$U_1/U_2 = w_1/w_2$$

Napon  $U_2$  na stezaljkama sekundarnog namota je zbog gubitaka manji

$$U_2 < U_1 (w_2/w_1)$$

Koristosn transformatora  $\eta$ , (j. omjer snage  $P_2 = U_2 I_2$  (VA) sekundarne strane i snage  $P_1 = U_1 I_1$  (VA) primarne strane, razmjerno je dobita (transformatori nemaju gibljivih dijelova):

za male snage (npr. 1 kVA)  $\eta = 0,92$

za velike snage (npr. 1000 kVA)  $\eta = 0,985$

## ELEKTRIČNO GRIJANJE

Jouleova toplina  $Q$  (J) je toplina koja se razvija u vodiču otpora  $R$  ( $\Omega$ ) kojim teče struja  $I$  (A) u vremenu  $t$  (s)

$$Q = I^2 R t$$

Za električno se grijanje upotrebljavaju ponajviše sljedeći materijali:

- za radne temperature 800...1100 °C  
slitine željeza, nikla i kroma (cekas, nikrom itd.)  
— za kuhala, peći, industrijske peći;
- za radne temperature do 1350 °C  
slitine željeza, kroma, aluminija i kobalta (cekas ekstra, kantaf itd.)  
za peći za žarenje, taljenje i temperovanje te peći u atmosferi sumornih i drugih plinova;
- za radne temperature do 1450 °C  
karborundni štapovi (silic, sitikarbon do 1400 °C, kvarcilit do 1450 °C drugi)  
za peći keramičke industrije, peći za taljenje, laboratorijske peći itd.;
- za radne temperature do 1700 °C  
ruthij, molibden, volfram (Mo i W u redukciojskoj atmosferi)  
— za laboratorijske peći;
- za radne temperature do 2300 °C  
elektrografit  
— za elektrode električnih peći itd.

Osnovni podaci češće upotrebljivanih otporničkih materijala za grijanje

Materijal	Specifični otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Temperaturni koeficijent otpora $K^{-1}$	Maksimalna radna temperatura $^{\circ}\text{C}$	Talište $^{\circ}\text{C}$
cekas	1,08	0,000 25	930	1370
cekas I	0,97	0,000 52	—	—
cekas II	1,06	—	1100	1400
cekas ekstra	1,40	0,000 05	1300	1500
nikrom	1,12	0,000 17	930	1350
nikrom V	1,08	0,000 09	1100	1400
kantaf A	1,35	0,000 08	1300	1530
kantaf A <sub>1</sub>	1,43	0,000 06	1350	1530
omaks	1,66	0,000 033	—	1500

Toplina  $q$  (J/s mm<sup>2</sup>) što je otpornička žica za grijanje predaje u jedinici vremena s jedinice površine pri različitim temperaturama žice iznosi približno:

Temperatura žice $^{\circ}\text{C}$	Toplina $q$ J/s mm <sup>2</sup>	Temperatura žice $^{\circ}\text{C}$	Toplina $q$ J/s mm <sup>2</sup>
700 ... 800	0,02	1000	0,006 ... 0,008
900	0,01	1100	0,004 ... 0,006

Dopuštena opterećenja okrugle žice cekas II na samotnoj podlozi pri temperaturi žice oko 800 °C.

Struja $I^*$ A	Promjer žice mm	Otpor $R_1^*$ $\Omega/\text{m}$	Dulj. masa g/m	Struja $I^*$ A	Promjer žice mm	Otpor $R_1^*$ $\Omega/\text{m}$	Dulj. masa g/m
1,58	0,25	21,60	0,4	8,46	0,90	1,82	5,3
1,95	0,30	16,50	0,6	10,09	1,00	1,48	6,5
2,35	0,35	12,00	0,8	12,10	1,10	1,22	7,8
2,80	0,40	9,25	1,0	13,81	1,20	1,02	9,3
3,44	0,45	7,30	1,3	15,51	1,30	0,87	11,0
3,99	0,50	5,90	1,6	17,21	1,40	0,76	12,8
4,52	0,55	4,88	2,0	18,90	1,50	0,65	14,7
5,06	0,60	4,10	2,3	21,08	1,60	0,58	16,7
5,60	0,65	3,50	2,7	23,08	1,80	0,45	21,0
6,16	0,70	3,10	3,2	25,21	2,00	0,37	26,1
6,76	0,75	2,62	3,7				
7,29	0,80	2,31	4,2				

\* Pri 800 °C.

### Proračun peći

Za traženu snagu električnih grijalica  $P$  uz napon  $U$  određuje se struja

$$I = \frac{P}{U}$$

Za struju  $I$  odabere se iz tablice odgovarajući promjer žice i njezin otpor  $R_1$  za duljinu žice  $l$  m ( $\Omega/\text{m}$ ).

Iz ukupno potrebnog otpora  $R$  ( $\Omega$ )

$$R = \frac{U^2}{P}$$

proračuna se potrebna duljina odabrane žice  $l$  (m)

$$l = \frac{R}{R_1}$$

## ELEKTRIČNA RASVJETA

**Svjetlosni tok  $\Phi$  (lm)** je ukupna količina svjetlosti koju rasvjetno tijelo emitira u svim pravcima

**Svjetlosna jakost  $I$  (cd)** je svjetlosni tok  $\Phi$  na jedinicu prostornog kuta  $\omega$

$$I = \Phi / \omega$$

Prostorni kut  $\omega$  je dio prostora koji obuhvaća plašt isječka kugle polumjera  $r$  ako je  $A$  osnovica isječka

$$\omega = A / r^2$$

**Rasvjetljenost (osvjetljenost)  $E$  (lx)** je gustoća svjetlostnog toka  $\Phi$  kojom izvor svjetlosti osvjetljuje površinu  $A$

$$E = \Phi / A = I / r^2$$

Rasvjetljenost opada dakle s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti.

**Luminanctja (sjajnost)  $B$  (cd/m<sup>2</sup>)** je svjetlosna jakost koju izvor svjetlosti zrači s jedinice svoje površine

\*

**Potrebna rasvjetljenost  $E$  (lx) prostorija**

Vrsta rada	Opća rasvjeta		Lokalna i opća rasvjeta		
	osrednja	na najnepovoljnijem mjestu	radnog mjesta	opća	
				osrednja	na najnepovoljnijem mjestu
grubi	20 ... 40	10	50 ... 100	20	10
osrednji	40 ... 80	20	100 ... 300	30	15
fini	75 ... 150	50	300 ... 1000	40	20
vrlo fini	150 ... 300	100	1000 ... 5000	50	30

Pod pojedinim se vrstama rada razumijevaju:

grubi rad lijevanje, kovanje, zemljani radovi i sl.  
 osrednji rad normalni rad na alatnim strojevima, zidanje i sl.  
 fini rad precizni rad na strojevima, montaža, čitanje, pisanje i sl.  
 vrlo fini rad fina mehanika, graviranje, crtanje i sl.

Potrebna svjetlosni tok  $\Phi$  za osvjetljenje površine  $A$  rasvjetljenošću  $E$

$$\Phi = EA / \eta$$

gdje korisnost rasvjete  $\eta$  ovisi o naravi i načinu postavljanja rasvjetnog tijela te o obliku i boji zidova i stropa (veća je pri svjetlijim zidovima).

direktna rasvjeta  $\eta = 0,40 \dots 0,55$

indirektna rasvjeta  $\eta = 0,15 \dots 0,35$

Svjetlosni tok  $\Phi$  žarulje s kovinskom niti snage  $P$  (kod 220 V)

$P$ (W)	15	25	40	60	100	200	300	500	1000	1500	2000
$\Phi$ (lm)	112	194	322	555	1070	2500	4070	7550	17100	27500	42000
$\Phi/P$ (lm/W)	7,5	7,8	8,1	9,3	10,7	12,5	13,6	15,1	17,1	18,3	21,0

## ELEKTROMOTORI

**Motori istosmjerne struje**

1. **Serijski motori** (imaju uzбудni namot vezan u seriji s rotorskim namotom).

Serijski motori imaju »meku karakteristiku«. Pri porastu opterećenja raste moment  $M$  na osovini, a brzina vrtnje  $n$  pada. Obrnuto: rasterećeni motor teži da »pobjegne«.

Pokretni je moment  $M_n$  znatno veći od nazivnoga (300% i više).

Upotreba: električna vuča (električne željeznice, tramvaj, trolejbus), dizala itd.

2. **Paralelni (poredni) motori** (imaju uzbudni namot vezan paralelno s rotorskim namotom).

Paralelni motori imaju »tvrdi karakteristiku«. Pri opterećenju — tj. pri povećanju momenta  $M$  — brzina se vrtnje  $n$  mijenja samo neznatno.

Pokretni je moment  $M_n$  također veći od nazivnoga.

3. **Kompaundni motori** su kombinacija serijskog i paralelnog motora.

Upotreba: za veće snage (npr. za pogon u valjaonicama)

\*

Promjenu smjera vrtnje motora istosmjerne struje postizemo zamjenom stezaljki uzbudnog ili rotorskog namota.

Brzinu vrtnje istosmjernih motora reguliramo mijenjanjem uzbuđe (ekonomično) ili otpornikom u seriji s rotorskim namotom (neekonomično) ili mijenjanjem priključenog napona.

**Motori izmjenične struje**

1. **Trofazni asinhroni motori** djeluju na principu okretnog magnetskog polja. Statorski i rotorski namoti međusobno su odvojeni; statorski je vezan na trofaznu mrežu, a rotorski je zatvoren u svom krugu, i to:

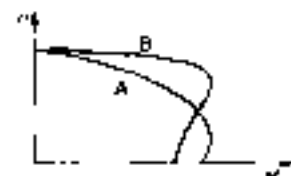
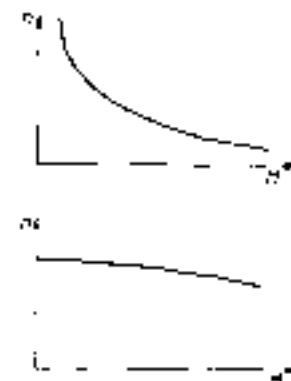
a) **kelatni asinhroni motor** ima rotorski namot spojen — preko kliznih kotura — na otpore pokretača;

b) **kavezni asinhroni motor** ima rotorski namot — u obliku kaveza kratko spojen. To je najjednostavniji motor i zato u velikoj upotrebi.

Trofazni asinhroni motor ima tvrdi karakteristiku.

Krivulja A vrijedi za uključene otpore pokretača, B za kratko spojeni rotor (otpori isključeni).

Pokretni je moment znatan (120 ... 250% nazivnoga).



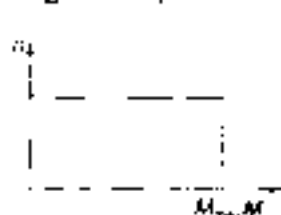


Struja pokretanja trofaznih asinhronih motora je vrlo velika. Kod kratko spojenih rotora (kavezni motori) može postići osmerostruku vrijednost nazivne struje. Zato se za iole veće jedinice upotrebljava kolutni motor, koji pokrećemo uz uključene otpore (manja struja pokretanja!), a zatim otpore postupno isključujemo. Kod kaveznih motora veće snage struju pokretanja smanjujemo posebnom preklapkom «zvijezda-trokut».

Brzinu vrtnje možemo regulirati otporima u rotorskom krugu (samo kod kolutnih motora, redovno neekonomično). Gruha regulacija brzine vrtnje moguća je, međutim, mijenjanjem broja statorskih polova preklapanjem (kod kolutnih i kaveznih motora).

Snijer vrtnje možemo promijeniti međusobnom zamjenom bilo kojih dviju faza na stezaljkama statora.

2. *Trofazni sinhroni motor* ima stator s trofaznim namotom, priključenim na mrežu, i rotor s nizom polova permanentnih magneta (za manje snage) ili elektromagneta napajanih preko kliznih kolata istosmjernom strujom iz posebnog izvora (za veće snage).



Brzina vrtnje  $n$  je konstantna – sinhrona, ovisna samo o frekvenciji mreže, a neovisna o opterećenju (momentu  $M$ ).

Pri opterećenjima većim od graničnoga ( $M_{max}$ ) sinhroni motor ispada iz koraka te se zaustavlja.

Sinhroni motor ne može sam krenuti (osim u specijalnoj izvedbi). Treba ga dovesti na sinhronu brzinu (npr. posebnim motorom).

Upotreba: tamo gdje je potrebna potpuno konstantna brzina vrtnje, pri znatnijim opterećenjima i za korekciju faznog pomaka.

3. *Jednofazni asinhroni motor* stvara okretno magnetno polje radnim i posebnim pomoćnim namotom statora. Jednofazni motor ima također tvrdu karakteristiku, a pokretni moment iznosi 30 ... 200% nazivnoga.

Upotreba: kao mali motori u industriji i kućanstvu.

4. *Kolektorski motor* ima kolektor (komutator) (poput istosmjernih motora) koji omogućuju regulaciju brzine vrtnje u širokim granicama (ali je skuplji od asinhronih motora). Brzina se vrtnje regulira.

- regulacijskim transformatorom priključenim između motora i mreže,
- odvojkama na statorskim namotima,
- pomicanjem četkica

Karakteristike kolektorskih motora slične su karakteristikama motora istosmjerne struje: serijski kolektorski motor ima meku karakteristiku, paralelni kolektorski motor ima tvrdu karakteristiku.

Upotreba: gdje god je potrebna regulacija brzine vrtnje kod motora izmjenične struje (papirna i tekstilna industrija, dizala, električne željeznice itd.).

## Snaga elektromotora

Snaga elektromotora koji iz mreže troši struju jakosti  $I$  pri naponu  $U$  (linijske vrijednosti, v. str. 267), iznosi:

$$\begin{aligned} \text{za istosmjernu struju} & P = \eta_{\text{mot}} UI \\ \text{za jednofazni sistem} & P = \eta_{\text{mot}} UI \cos \varphi \\ \text{za trofazni sistem} & P = \eta_{\text{mot}} \sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi \end{aligned}$$

Koristnost elektromotora  $\eta_{\text{mot}}$  iznose:

Vrsta struje	Za snagu motora $P$ kW			
	do 1	2 ... 10	10 ... 50	50 ... 100
istosmjerna	0,65 ... 0,78	0,78 ... 0,86	0,86 ... 0,90	0,90 ... 0,93
jednofaz. sist.	0,80	0,85 ... 0,88	0,88 ... 0,91	0,91 ... 0,92
trofaz. sistem	0,80	0,85 ... 0,88	0,88 ... 0,91	0,91 ... 0,92

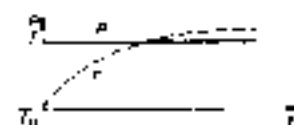
## Izbor elektromotora

Pri izboru snage motora za određeni pogon odlučno je zagrijavanje motora. Zbog toga možemo motor kratkotrajno opteretiti znatno više nego je njegova nazivna snaga u trajnom pogonu.

Razlikujemo razne vrste pogona motora, od kojih su najkarakterističnije slijedeće (prikazane dijagramima u kojima su:  $P$  – snaga,  $T_0$  – temperatura okoline,  $t$  – temperatura,  $t$  – vrijeme):

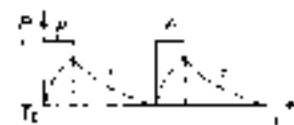
### 1. Trajni pogon

Motor radi bez prekida i postiže konačnu stacionarnu temperaturu koja ne smije premašiti dopuštenu maksimalnu temperaturu.



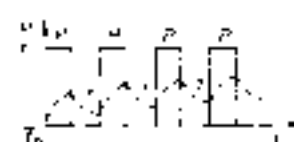
### 2. Kratkotrajni pogon

Motor radi kratkotrajno (npr. 10, 30 ili 60 min), tako da za vrijeme rada smije postići dopuštenu maksimalnu temperaturu, a za vrijeme mirovanja potpuno se ohladi na temperaturu okoline.



### 3. Prekidni pogon

Motor radi u kraćim periodima rada i mirovanja, tako da smije za vrijeme rada postići dopuštenu maksimalnu temperaturu, ali se za vrijeme prekida ne ohladi na temperaturu okoline.



S obzirom na klasu izolacije motora može temperatura dostići vrijednosti: 90, 105, 120, 130, 155, 180 °C (ili i više).

Pri izboru snage motora za neki pogon vrijedi približno

$$M = \sqrt{\sum (\bar{M}_n^2 t_n)} / t$$



gdje su:  $M$  za izbor motora odlučan jednoliki moment vrtnje u vremenu  $t$ ,  $\bar{M}_n$  - pojedini momenti vrtnje u pojedinim vremenima  $t_n$ .

Uz približno iste brzine vrtnje vrijedi to i za snagu  $P$

$$P = \sqrt{\sum (P_n^2 t_n)} / t$$

## ELEKTRIČNI VODOVI NISKOG NAPONA

Pad napona  $u$  u vodui je razlika između napona  $U_0$  na izvoru električne struje i napona  $U$  kod potrošača

$$u = U_0 - U$$

Lizmemo li presjek žice  $A$  ( $\text{mm}^2$ ), dužinu voda (ne žice!)  $l$  ( $\text{m}$ ), specifični otpor materijala  $\rho$  ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) te jakost struje  $I$  ( $\text{A}$ ), odn. snagu el. struje  $P$  ( $\text{W}$ ), napon  $U$  ( $\text{V}$ ) i fazni pomak  $\varphi$  na mjestu potrošnje (za trofazni je sistem  $U$  linjski napon, vidi str. 267!), iznositi će pad napona  $u$  ( $\text{V}$ ) u vodui niskog napona položenoj u cijevi ili kahlui:

$$\text{za istosmjernu struju} \quad u = (2l/A)\rho I^2 = (2l/A)\rho P/U$$

$$\text{za jednofazni sistem} \quad u = (2l/A)\rho I^2 \cos \varphi = (2l/A)\rho P/U$$

$$\text{za trofazni sistem} \quad u = (l/A)\rho \sqrt{3} \cdot I^2 \cos \varphi = (l/A)\rho P/U$$

Iz tih jednadžbi možemo izračunati presjek žice  $A$  za određeni dopušteni pad napona  $u$ .

Kod niskonaponskih je zračnih vodova za izmjeničnu struju pad napona  $u$  nešto veći zbog dodatnog induktivnog otpora. U tom slučaju valja proračunate vrijednosti za pad napona  $u$  pomnožiti faktorom iz tablice:

$\cos \varphi$	Presjek žice $\text{mm}^2$						
	10	16	25	35	50	70	95
0,9	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
0,8	1,15	1,24	1,36	1,5	1,7	1,9	2,2
0,7	1,2	1,32	1,5	1,7	1,9	2,2	2,6

Dopušteni pad napona izražen u postocima nazivnog napona mreže iznosi:

- za skupni dovod od uvođa do električnog brojila < 1%
- za rasvjetne instalacije od brojila do koje god svjetiljke < 2%
- za motorne instalacije od brojila do motora < 3%

## Zaštita vodova

Vodovi moraju biti zaštićeni od preopterećenja osiguračima (ili rasklop-kama) da se ne bi prekomjerno grijali.

Najveća dopuštena trajna struja u vodičima (= nazivna struja osigurača)

Presjek vodiča $\text{mm}^2$		Nazivna struja rastalnih osigurača A			Presjek vodiča $\text{mm}^2$		Nazivna struja rastalnih osigurača A		
Cu	Al	I	II	III	Cu	Al	I	II	III
0,75	—	—	10	16	25	35	80	100	125
1	—	10	16	20	35	50	100	125	160
1,5	2,5	16	20	25	50	70	125	160	200
2,5	4	20	25	35	70	95	—	200	225
4	6	25	35	50	95	120	—	225	260
6	10	35	50	63	120	150	—	260	300
10	16	50	63	80	150	185	—	300	350
16	25	63	80	100	185	240	—	350	430
					240	—	—	430	500

- I: izolirani vodiči istoga strujnog kruga, položeni u izolacione cijevi;
- II: cijevni (oklopljeni) vodiči, kabelski ili višezilni vodiči koji nisu položeni u cijevima, višezilni savitljivi priključni vodovi;
- III: jednožilni izolirani vodiči, slobodno položeni u zraku, jednožilni spojni vodovi u rasklopnim postrojenjima, guli vodovi presjeka do  $50 \text{ mm}^2$  Cu ili  $70 \text{ mm}^2$  Al.

Sve vrijednosti navedene u tablici vrijede za temperaturu okoliša do  $25^\circ\text{C}$ . Pri višim temperaturama valja ove vrijednosti pri vodovima, izoliranim gumom ili termoplastom, odgovarajuće sniziti (pri  $40^\circ\text{C}$  za 25 odn. 18%, pri  $55^\circ\text{C}$  za 62 odn. 42%).

## Zaštitne mjere u niskonaponskim postrojenjima

Oštećenjem električnih strojeva i naprava mogu vanjski dijelovi postrojenja doći pod napon i time u slučaju dodira dovesti u opasnost osoblje koje njima rukuje. Po propisima JUS o postrojenjima s naponom do  $65 \text{ V}$  prema zemlji nisu zaštitne mjere potrebne, izuzev kod ručnih svjetiljki i drugih električnih naprava u kotlovima i sličnim tijesnim prostorima. U postrojenjima s naponom od  $65$  do  $250 \text{ V}$  prema zemlji zaštitne su mjere potrebne tamo gdje je prelazni otpor čovjeka prema zemlji smanjen zbog vlage, topline i kemijskih utjecaja, u prostorijama s kamenim ili betonskim podom, kod metalnih konstrukcija itd. Za napone preko  $250 \text{ V}$  potrebne su zaštitne mjere u svakom slučaju.

U niskonaponskim postrojenjima (do 1 kV) primjenjujemo slijedeće zaštitne mjere:

1. **Zaštitno izoliranje.** Da bi se u slučaju kvara na električnim postrojenjima izbjegla opasnost od dodira onih metalnih dijelova koji bi tom prilikom mogli doći pod napon (kućišta sklopki, ručice polužnih prekidača itd.), prevlaštimo ih izolacijskim materijalom ili položimo po tlu prostirače od gume ili plastičnih masa. Treba onemogućiti istovremeni dodir eventualno bliske vodovodne instalacije.

2. **Primjena malog napona.** U vlažnim prostorijama, kotlovnica, garažama i sl., a osobito za prenosiva trošila (ručne svjetiljke, male motore i dr.) upotrebljavamo napon najviše do 42 V, tzv. «mali napon». Običajno ga dobivamo transformatorom (s odijeljenim namotima!), a kod istosmjernje struje akumulatorom. Važno je da strana malog napona bude galvanski potpuno odvojena od primarne strane i da ne bude uzemljena.



3. **Uzemljenje.** Uzemljenje (u) ima zadatak da se u slučaju kvara na trošilu, kad vanjski dijelovi dođu pod napon, strujni krug zatvori kroz zemlju i da ta struja izbacivanjem osigurača (b) sama prekine napajanje defektnog trošila. Da bi se to osiguralo, otpor uzemljenja moraju biti dovoljno mali. Zato se uzemljenje većih trošila iz ekonomskih razloga izbjegava.



4. **Nulovanje.** Nulovanje je spajanje dijelova postrojenja koje želimo zaštititi na uzemljeni neutralni vodič. Time se postiže da svaki spoj sa zaštićenim dijelom ostane kratak spoj i da struja kratkog spoja izazove isklapanje defektnog trošila. Valja paziti da vodovi budu dimenzionirani tako da pri kratkom spoju između faznog vodiča i nulvoda uistinu teče

struja koja će sigurno isklapati.

5. **Primjena sistema zaštitnih vodova.** U prostorno ugrađenim mrežama (vornice, rudnici) s vlastitim generatorima ili transformatorima (s odijeljenim namotima) gdje je važno održavati pogon i u slučaju dozemnog spoja jedne faze, vežu se trošila na «sistem zaštitnih vodova» (metalne konstrukcije zgrada, vodovod, tračnice i sl.) koji je uzemljen.

6. **Zaštitne sklopke.** Kod strujne zaštitne sklopke, pri kojoj je trošilo uzemljeno, struja defekta kroz uzemljivač prouzrokuje aktiviranje sklopke. Kod naponske sklopke, pri kojoj je trošilo uzemljeno kroz samu sklopku, dolazi do isklapa kad se na kućištu trošila zbog defekta pojavi određeni napon.

## ELEKTRIČNA OPREMA MOTORNIH VOZILA

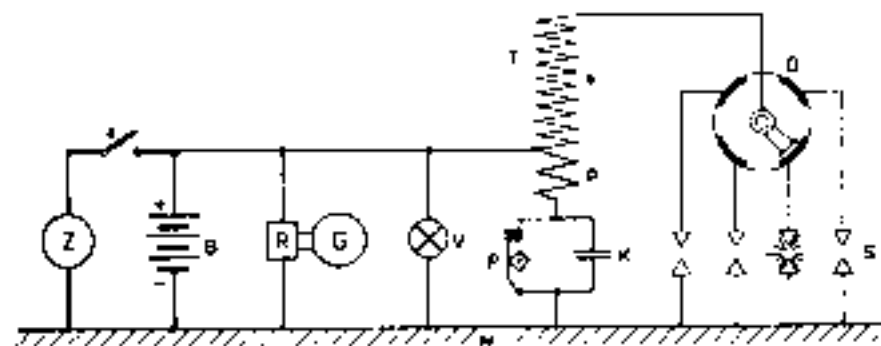
Motorna vozila gone gotovo isključivo motori s unutarnjim izgaranjem sistema Otto ili Diesel (str. 255). Za njihovo djelovanje i za dodatne svrhe vozilu je potrebna električna oprema koja se sastoji u prvom redu iz:

- akumulatorske baterije (B)
- pokretača (Z)
- generatora (G) s regulatorom (R)
- potrošača u vozilu (V),

a pri motorima sistema Otto još i iz

- uređaja za paljenje: induktivnog svitka (T), prekidača (P) s kondenzatorom (K), razvodnika (D) i svjećica (S).

Nazivni napon instalacije je 6, 12, 24 V.



### Pokretač

Motori s unutarnjim izgaranjem ne mogu krenuti sami od sebe. Valja ih pokrenuti posebnim pokretačem, tj. elektromotorom ili pomoću komprimiranog zraka i sl.

Pri motornim vozilima je pokretač redovno istosmjerni serijski elektromotor kojega napaja akumulator. Uklapanje pokretačke sklopke (tzv. «brave») (z) redovno je na elektromagnetski način.

Potrebna pokretna struja je veoma velika (nekoliko stotina A, iznimno i 1000 A). Posebno je ziti opterećenje najveće kako za akumulatorsku bateriju (u kojoj niske temperature smanjuju brzinu reakcije elektrokemijskoga procesa), tako i za motor (u kojem niske temperature povećavaju trenje u ležajima zbog viskozijega maziva i koče rasplinjavanje i paljenje goriva). Zbog velike pokretne struje smije pokretač biti u pogonu samo kratko vrijeme.

Pokretač je u spoju s motorom vozila samo za vrijeme pokretanja. Kad motor samostalno krene, pokretač se od njega odvoji, o čem se brine posebni rasklopni uređaj.

## Generator i regulator

Generator motornog vozila služi za punjenje akumulatorske baterije u kojoj se skuplja za pokretanje potrebna električna energija, a njom se napajaju i ostali potrošači u vozilu (signalne svjetiljke, zvučni signali, farovi itd.). Pri Otto-motorima generator dobavlja i struju za uređaj za paljenje.

Generator je vezan neposredno s motorom vozila. Stoga je njegova brzina vrtnje isto tako promjenljiva kao i brzina motora, što znači, da generator proizvodi vrlo promjenljivi napon. Da bi se dobio potreban jednoliki napon, generatoru je priključen *generatorski regulator* koji upravlja njegovim pravilnim djelovanjem.

Generator može biti istosmjerni (dinamo) ili izmjenični (alternator). Izmjenični generator mora imati još i ispravljač.

## Uređaj za paljenje

Motorni s unutarnjim izgaranjem sistema Otto trebaju još i uređaj za paljenje kojim se stvaraju iskre na svjećicama motora. U tu je svrhu potrebna struja visokog napona koju proizvodi indukcijski svitak.

*Indukcijski svitak* je u stvari transformator s primarnim (p) i sekundarnim (s) namotajem. Kroz primarni namotaj teče istosmjerna struja (nazivnog napona instalacije), koja sama ne može inducirati napon u sekundarnom krugu. Za to je potreban *prekidni* struje tako vezan s motorom, da prekine primarnu struju u trenutku potrebne iskre na svjećici. Trenutak nastanka iskre (pretpaljenje!) udešava se relativnim pomakom prekidnog batiča s obzirom na njegov pogon s osovine. Za vrijeme pogona motora nastajanje iskre prilagođava se brzini vrtnje motora centrifugalnom regulacijom, a u ovisnosti od podrijetla u usisnoj cijevi motora. Povećanje brzine vrtnje smanjuje *prekidni* (na »platainama«, koje su od volframa ili slične kovinske slitine) smanjuje *kondenzator* koji uz to inducira viši napon.

Prekinućem primarne struje smanjuje se u svitku za paljenje magnetsko polje, što izazove u sekundarnom krugu inducirani napon koji je zbog velikog broja sekundarnih zavoja veoma visok (do 30 kV). Struja visokog napona vodi se naton u razvodnik koji je prenosi na svjećice. Elektrode na svjećicama su razmaknute za 0,5 ... 0,7 mm, što je prilagođeno mogućnosti preskoka jake iskre. Razvodnik je vezan s motorom tako da iskrenje na svjećicama odgovara potrebnom rasporedu djelovanja pojedinih cilindara motora.

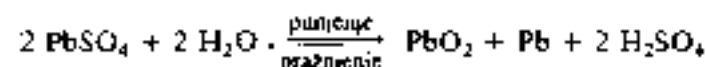
Pri savremenijim motorima s unutarnjim izgaranjem izveden je uređaj za paljenje na principu elektronike.

## Akumulatori

Električni akumulatori su sabirači električne energije u kemijskom obliku. Osim posebnih izvedbi akumulatora (kao npr. alkalnih sa čeličnom odn. kadmijevom i nikalnom elektrodom i dr.) najrašireniji je olovni akumulator.

Olovni akumulator ima – u svakoj akumulatorskoj ćeliji – po dvije elektrode od olova u razrijeđenoj sumpornoj kiselini kao elektrolitu. Obje se elektrode u elektrolitu oblože olovnim sulfatom  $PbSO_4$ .

Pri punjenju akumulatora (dovodenjem istosmjerne struje) nastaju na pozitivnoj elektrodi (kao anodi) olovni dioksid  $PbO_2$  (smeđi), na negativnoj elektrodi (kao katodi) čisto olovo  $Pb$  (sivo), dok se u elektrolitu povećava koncentracija sumporne kiseline  $H_2SO_4$ . Pri pražnjenju (kad pozitivna elektroda djeluje kao katoda, a negativna elektroda kao anoda) proces je suprotan.



Za vrijeme punjenja i pražnjenja mijenja se gustoća  $\rho$  elektrolita:

stanje akumulatora	prazan	normalan	pun
gustoća $\rho$ $\frac{kg}{dm^3}$	1,12 ... 1,14 15,5 ... 17,7	1,20 ... 1,24 24,1 ... 27,9	1,26 ... 1,285 29,8 ... 32,0

Priključni napon akumulatorske ćelije je  $2,1$  V. Pri kraju punjenja dostiže napon do  $2,4$  V, ali pri početku pražnjenja mjesta padne na  $2,15$  V, da bi se potom ustalio za  $2,0$  V. Napon padne do  $1,8$  V, valja pražnjenje prekinuti.

Kapacitet akumulatora je određen količinom elektriciteta (A h) koju akumulator može dati pri pražnjenju. On je ovisan o veličini i kakvoći aktivnih površina olovnih ploča i njihovom broju u svakoj akumulatorskoj ćeliji.

Kapacitet akumulatora se smanjuje s porastom struje tokom pražnjenja. Nazivni je kapacitet određen strujom pri kojoj se napunjeni akumulator prazni 20 sati.

Nikal-kadmijski akumulator djeluje po elektrokemijskom sistemu Ni-hidroksid-Cd te može biti hermetiski zatvoren. Nazivni je napon  $1,2$  V, a pražnjenje valja prekinuti pri napon  $1$  V. Kao elektrolit služi kalijeva lužina (KOH).

Električni ventili

Električni ventili posjeduju svojstvo da provode struju u jednom smjeru (pri malom otporu), dok je u suprotnom smjeru sprečavaju (pri velikom otporu). Prema izradi možemo ih podijeliti na glavne skupine: elektronke, živine ventile i poluvodičke ventile.

Elektronke su zrakoprazne (evakuirane) cijevi u kojima su ugrađene anoda A i katoda K, a pri upravljanju elektronkama još i mrežica za upravljanje M.

Iz užarene katode giblju se u praznom prostoru elektroni prema anodi, što znači da elektronka propušta struju u smjeru od anode (+) prema katodi (-), dok je u suprotnom smjeru ne propušta.

Napon na mrežici za upravljanje vrlo jako utječe na tok elektrona. Već i mala promjena napona  $U_M$  na mrežici izaziva veliku promjenu struje  $I$  kroz elektronku.

S obzirom na razne izvedbe elektronki može teći među anodom i katodom struja  $I = 10^{-2} \dots 10^2$  A pri znatnom naponu  $U = 10 \dots 0,5 \cdot 10^6$  V.

Živini ventili su zrakoprazne cijevi u kojima je katoda živa, dok su u prostoru cijevi ioni živinib para. «Paljenje» (električni spoj među katodom i anodom) treba izvesti posebnom napravom.

I u živinim ventilima teče struja samo u smjeru od anode ka katodi.

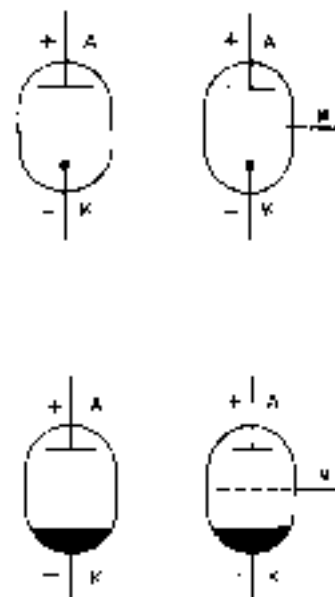
Struja u živinim ventilima znatno je veća nego u elektronkama:  $I = 10 \dots 10^5$  A, i to pri naponu  $U$  do  $10^6$  V.

Poluvodički ventili

Poluvodiči su tvari koje se po vodljivosti nalaze među vodičima (kovinama) i izolatorima.

Primjeri specifičnog otpora  $\rho$  u  $\Omega \text{ cm}^2/\text{cm}$ :

Vodiči	srebro Ag	$\approx 10^{-2}$	Poluvodiči	silicij Si	$10^2 \dots 10^{11}$
	željezo Fe	$\approx 10^{-1}$		germanij Ge	$10^2 \dots 10^6$
Izolatori	porculan	$\approx 10^{16}$	Pod različitim utjecajima imaju poluvodički svojstva vodiča ili su bliže izolatorima.		
	tinjac	$\approx 10^{20}$			



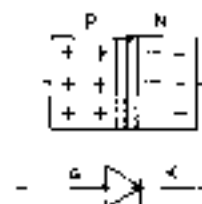
Poluvodički ventili (dioda, tranzistori, tiristori) su zbog svojih dobrih fizikalnih svojstava i razmjerno niske cijene nadomjestiti druge vrste ventila na praktično svim područjima.

Dioda

Dioda su neupravljani ventili, sastavljeni od dvaju slojeva poluvodiča - zone P i zone N;

- zona P nastaje, ako je u monokristalu 4-valentnoga poluvodiča (npr. Ge) prisutan 3-valentni element (npr. In). Time nastaju u kristalnoj rešetki elektronske praznine, koje daju kristalu pozitivan naboj;

- zona N nastaje, ako je u monokristalu 4-valentnoga poluvodiča prisutan 5-valentni element (npr. Sb). Tada uzrokuju slobodni elektroni u kristalnoj rešetki negativan naboj.



Pri neposrednom dodiru zona P i N u jednostrukom kristalu nastaje na granici obiju zona »zaporni sloj«.

Na strani zone P ima dioda anodu A, a na strani zone N katodu K

Smjer provodnosti

Priključi li se na anodu prema katodi pozitivni napon  $U_A$ , smanjit će se zaporni sloj.

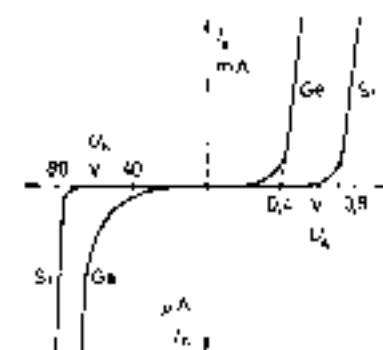
Pri difuzijskom naponu (pri Ge diodi: 0,2 ... 0,4 V, pri Si diodi: 0,6 ... 0,8 V) pojavit će se struja  $I_A$ , koja s daljnjim povišenjem napona  $U_A$  raste vrlo brzo. (Plosnata izvedba dioda omogućuje struju: pri Ge diodi do 100 A, pri Si diodi do 500 A i više.)

Zaporni smjer

Priključi li se na anodu prema katodi negativni napon  $U_K$ , zaporni sloj će se raširiti i propustiti samo malu struju (pri Ge u  $\mu\text{A}$ , pri Si u nA). Pri visokom (»probajnom«) naponu poraste struja  $I_K$  skokomice (te može uništiti diodu).

Porast temperature zapornog sloja smanjuje napon  $U_A$  i povećava struju  $I_K$ .

Zbog karakterističnog svojstva dioda, da uzrazito provode struju samo u jednom smjeru, upotrebljavaju se u prvom redu za ispravljače.



## Ispravljači

Izmjeničnu struju ispravljamo u istosmjernu pomoću motor-generatora, kontaktnih ili elektroničkih ispravljača.

Kontaktjni ispravljači su elektroničke sklopke, koje su sklopljene samo a vrijeme jedne polovine perioda izmjenične struje. Sklopkama upravlja bregasti osovina koja se vrti sinhrono s frekvencijom ulaznog napona. Brzo istrošenje dijelova smanjuje ekonomičnost tih ispravljača koja ograničuje njihovu upotrebu jedino na područje jačih struja ( $I = 10^3 \dots 10^5$  A pri naponu od  $U = 50 \dots 10^3$  V).

Za elektronske ispravljače se upotrebljavaju pretežno poluvodički ventili napose diode (za struje do 2000 A pri naponu do 4000 V).

### Spojevi ispravljača

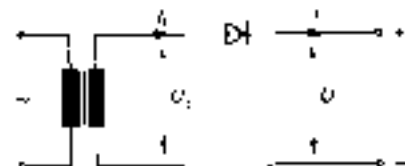
Ispred ispravljača gotovo redovno je najprije transformator koji transformira struju i napon na vrijednost, prikladnu za ispravljač i ujedno izolira izlaz ispravljača od mreže.

Nepoželjne vremenske oscilacije ispravljene struje smanjuju se ispravljačkim filterima koji se sastoje iz otpora, kondenzatora i prigušnice (induktiviteta). Još veća stabilnost struje postiže se pomoću dodatnih elektroničkih stabilizatora napona ili struje.

U sljedećim shemama znače:

- $U_1$  — izlazni napon transformatora (V)
- $I_1$  — izlaznu struju transformatora (A)
- $P_1$  — snagu transformatora (VA)
- $U$  — istosmjerni napon (V)
- $I$  — istosmjernu struju (A)
- $R, L$  — otporno i induktivno opterećenje
- $U_c$  — opterećenje suprotnim naponom (kondenzatorima, akumulatorima i istosmjernim motorima).

#### 1. Jednosmjerni spoj



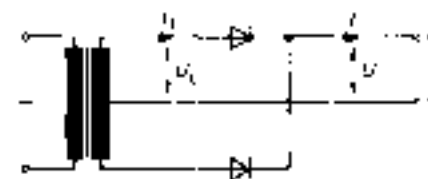
$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 1,22 U$	$0,85 U$
$I_1 \approx 1,57 I$	$2,1 I$
$P_1 > 3,1 U I$	$1,73 U I$

(Poluvalno ispravljanje)

#### 2. Središnji spoj

$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 1,11 U$	$0,8 U$
$I_1 \approx 0,78 I$	$1,11 I$
$P_1 > 1,48 U I$	$1,48 U I$

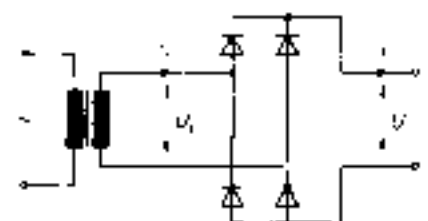
(Punovalno ispravljanje)



#### 3. Mostni spoj

$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 1,11 U$	$0,8 U$
$I_1 \approx 1,11 I$	$1,57 I$
$P_1 > 1,24 U I$	$1,24 U I$

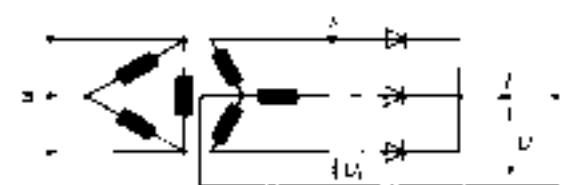
(Punovalno ispravljanje)



#### 4. Središnji zvjezdasti spoj

$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 0,86 U$	$0,77 U$
$I_1 \approx 0,58 I$	$0,75 I$
$P_1 > 1,35 U I$	$1,57 U I$

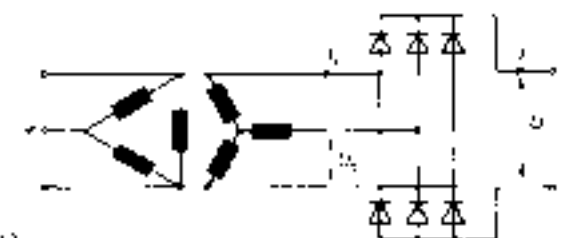
(Trofazno poluvalno ispravljanje)



#### 5. Mostni zvjezdasti spoj

$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 0,74 U$	$0,74 U$
$I_1 \approx 0,82 I$	$0,82 I$
$P_1 > 1,05 U I$	$1,05 U I$

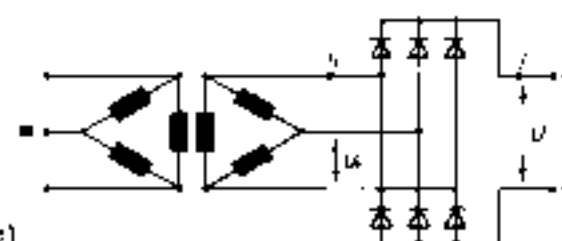
(Trofazno punovalno ispravljanje)



#### 6. Mostni trokutni spoj

$R, L$	$U_c$
$U_1 \approx 0,74 U$	$0,74 U$
$I_1 \approx 0,82 I$	$0,82 I$
$P_1 > 1,05 U I$	$1,05 U I$

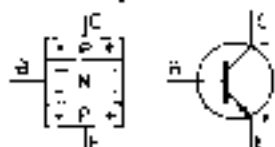
(Trofazno punovalno ispravljanje)



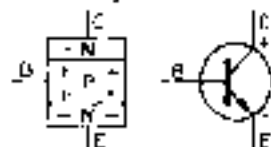
## Tranzistori

**Bipolarni tranzistor** (ukratko: tranzistor) je monokristalni germanij ili silicijev poluprovodni element s tri zone, različitog tipa vodljivosti, k sljedeće jedna drugu. Razlikujemo dva tipa tranzistora:

Tip PNP



Tip NPN



Poluprovodne elektrode

- središnja zona: baza (B)
- vanjske zone: emiter (E)  
kolektor (C)

Baza je elektroda koja služi za upravljanje. Njenom strujom  $I_B$  upravlja kolektorska struja  $I_C$ . (Pri tom može struja  $I_B$  biti 100 ili više puta manji od struje  $I_C$ .)

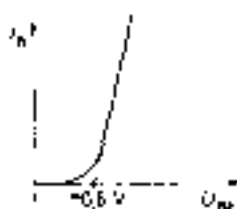
Emiterska je struja  $I_E$  zbroj bazne i kolektorske struje

$$I_E = I_B + I_C$$

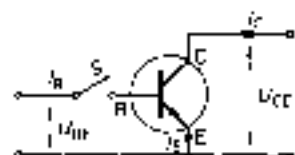
Bazna struja  $I_B$  ovisna je od napona između baze i emitera  $U_{BE}$ , kolektorska struja  $I_C$  je ovisna od bazne struje  $I_B$  i napona između kolektora i emitera  $U_{CE}$

$$I_B = f_1(U_{BE})$$

$$I_C = f_2(I_B, U_{CE})$$



Tranzistori se upotrebljavaju za pojačala i kao sklopke.



Tranzistor kao pojačalo (sklopka S uključena):  $I_C = f(I_B)$ .

Tranzistor kao sklopka (sklopka S isključena):  $I_C = 0, I_E = 0$ .

(Lijeva shema je pojednostavljena i samo načelna.)

Niskofrekventni tranzistori pojačavaju niskofrekventne (kao i istosmjernu) struje ( $U < 100$  V,  $I < 500$  mA) uz faktore pojačanja  $\beta (= \Delta I_C / \Delta I_B) = 30 \dots 300$ .

Tranzistori snage pojačavaju (ili preklapaju) struje do 100 A pri naponu od više stotina V.

## Osnovni tranzistorni spoji

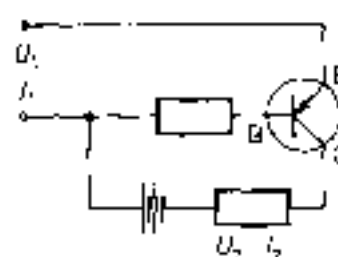
- $U_1$  – ulazni izmjenični signal
- $U_2$  – izlazni izmjenični signal
- $R_E$  – otpor emitera

- $R_C$  – otpor kolektora
- $U_B$  – istosmjerni napojni napon

	Emiterski spoj	Kolektorski spoj	Bazni spoj
<b>Pojačanje</b>			
– napona	100 ... 10000	< 1	100 ... 10000
– struje	10 ... 500	10 ... 500	< 1
– snage	1000 ... 100000	10 ... 500	100 ... 10000
<b>Otpor</b>			
– ulazni	10 $\Omega$ ... 5 k $\Omega$	500 $\Omega$ ... 5 M $\Omega$	< 1 $\Omega$ ... 1 k $\Omega$
– izlazni	10 $\Omega$ ... 500 k $\Omega$	10 $\Omega$ ... 1 k $\Omega$	100 k $\Omega$ ... 10 M $\Omega$
<b>Fazni pomak</b>	180°	0°	0°

### Jednostavni stupanj pojačanja

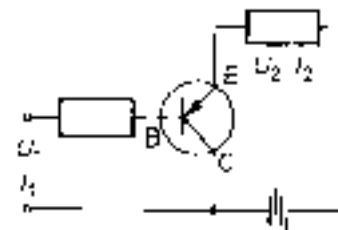
Pojačanje napona



$$U_2 > U_1$$

$$I_2 \approx I_1$$

Pojačanje struje



$$U_2 \approx U_1$$

$$I_2 > I_1$$

## Tiristori

**Tiristori** (upravljane diode) su četveruslojni poluprovodni elementi, opremljeni elektrodom za upravljanje, a po djelovanju slični sklopkama (sa stanjem »isključeno« i »uključeno«). Upotrebljavaju se za regulaciju pri upravljanim ispravljačima i za isklapanje velikih snaga (svaka jedinica po više desetina kW).

## MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA

S obzirom na vremenski promjenljive pojave pri mjerenju električnih veličina valja razlikovati pojmove:

**Trenutna vrijednost**  $u_i$  je vrijednost izmjenične veličine u taktu kojem promatramo trenutku.

**Prosječna vrijednost**  $u_p$  je aritmetička prosječna vrijednost apsolutnih iznosa trenutnih vrijednosti.

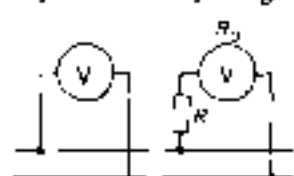
**Efektivna vrijednost**  $u$  je kvadratni korijen iz sume kvadrata trenutnih vrijednosti

$$u_i = f(t) \quad u_p = \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)| dt \quad u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

### Električna mjericila

1. **Mjerilo s okretim svitkom** mjeri linearnu prosječnu vrijednost istosmjernje struje. Kod njega je otklon kazaljke  $\alpha$  upravo razmjeran s istosmjernom strujom  $I$  kroz mjerilo:  $\alpha = cI$  ( $c = \text{konst}$ ). Upotrebljava se kao mjerilo napona i struje.

Mjerilo istosmjernog napona (voltmetar)

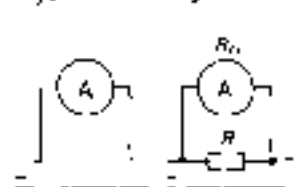


Mjerno područje mjerila napona (45 mV ... 1500 V) može se povećati  $n$ -puta dodavanjem predotpora  $R$

$$R = R_0(n - 1)$$

$R_0$  – unutarnji otpor mjerila.

Mjerilo istosmjernje struje (ampermetar)

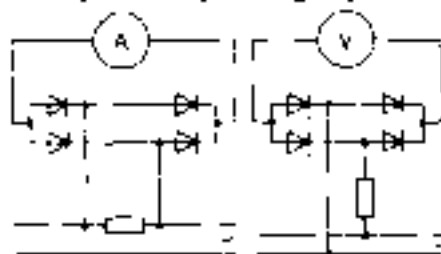


Mjerno područje mjerila struje (1 mA ... 1000 A) može povećati  $n$ -puta uključivanjem porednog otpora (sbunt)  $R$

$$R = R_0(n - 1)$$

$R_0$  – unutarnji otpor mjerila.

Mjerilo izmjeničnog napona ili struje mora biti opremljeno ispravljačem.



Mjerilo pokazuje prosječnu vrijednost koja je jednaka efektivnoj samo u slučaju čistih sinusnih veličina.

Pri mjerenju izmjenične struje upotrebljavaju se pri velikim strujama ili visokim naponima strujni odn. naponski reduktori (transformatori).

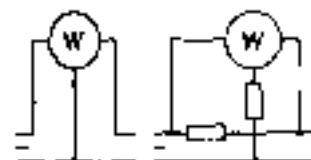
Točnost mjerila

Mjerna greška %	±0,1	±0,2	±0,5	-1,0	+1,5	-2,5	±5,0
Klasa točnosti	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0

2. **Mjerilo s okretim željezom** mjeri kvadratnu prosječnu vrijednost odnosno efektivnu vrijednost mjerene veličine. Otklon kazaljke  $\alpha$  upravo je razmjeran s kvadratom struje  $I$  kroz mjerilo:  $\alpha = cI^2$  ( $c = \text{konst}$ ). Skala za efektivnu vrijednost je kvadratna.

Mjerilo s okretim željezom upotrebljivo je za istosmjernu i izmjeničnu struju. Pri mjerenju napona (voltmetar) može se mjerno područje povećati predotporima, dok se pri mjerenju struje (ampermetar) ne upotrebljavaju poredni otpori već se umjesto toga podijeli magnetski namotaj na više odsjeka za više mjernih područja)

### 3. Elektrodinamička mjerila

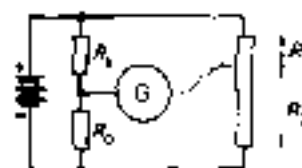


a) Elektrodinamičko mjerilo mjeri umnožak dviju veličina. Otklon kazaljke  $\alpha = cI_1 I_2$  ( $c = \text{konst}$ ). Upotrebljava se za mjerenje snage (vatmetar).

b) Ferrarisovo mjerilo koristi se vrtložnim strujama za mjerenje energije izmjenične struje (električna brojila).

### 4. Mjerenje električnog otpora

Električni otpor  $R$  određuje se mjerenjem struje  $I$  i pada napona  $\Delta U$  kroz otpor:  $R = \Delta U / I$ .



Električni otpor  $R$  može se mjeriti pomoću Wheatstoneovog mosta

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$$

$R_0$  – poznati otpor,  $R_1/R_2$  se izmjeri.  
 $G$  – galvanometar (može pokazivati 0).

### 5. Elektronska mjerila

Najpoznatija elektronska mjerila su:

a) Oscilograf je brzo pisalo linija za registriranje trenutnih vrijednosti veličina pri frekvencijama do nekoliko kHz.

b) Osciloskop (katodni osciloskop) je katodna cijev u kojoj se otklanjanjem elektronske zrake dobiva na zaslonu s fluorescentnim slojem dvodimenzionalni prikaz trenutnih vrijednosti mjenjenih veličina. Kod prikazivanja periodičkih pojava uz vremenski pomak, usklađen s frekvencijom pojave, dobiva se njegova mirujuća slika.

c) Brojila impulsa su uređaji pomoću kojih se može prebrojiti broj periodičkih pojava (ako ih je moguće prikazati električnim impulsima). Upotrebljavaju se u prvom redu za mjerenje frekvencije. Točnost brojenja iznosi  $10^{-7}$  ...  $10^{-8}$ .



## OPTIKA I AKUSTIKA

### Svjetlost

Vidljiva svjetlost je dio *elektromagnetskih valova* koji se – prema valnim dužinama  $\lambda$  – dijeli na:

kozmičke zrake	$\lambda = 0,1 \dots 10$ fm
gama zrake	$\lambda = 10 \dots 1000$ fm
rendgenske zrake	$\lambda = 1 \dots 1000$ pm
ultravioletno zračenje	$\lambda = 1 \dots 390$ nm
vidna svjetlost	$\lambda = 390 \dots 770$ nm
infracrveno zračenje	$\lambda = 0,77 \dots 1000$ $\mu$ m
mikrovalove (televizija)	$\lambda = 1 \dots 1000$ mm
radiovalove	$\lambda = 1 \dots 10000$ m

*Osvjetljivost na svjetlo oka* (najveća = 1 pri  $\lambda = 555$  nm) i raspoznavanje boja (koje se prelijevaju jedna u drugu):

$\lambda$ nm	Boja	Relativna osjetljivost na svjetlost	$\lambda$ nm	Boja	Relativna osjetljivost na svjetlost
400	violetna	0,0004	560	žuta	0,995
450	modra	0,035	580	narandžasta	0,870
480	modra	0,139	600	narandžasto-crvena	0,631
500	modro-zelena	0,323	620	narandžasto-crvena	0,381
520	zelena	0,710	640	crvena	0,175
540	zelena	0,954	660	crvena	0,061
550	zeleno-žuta	0,995	700	tamno crvena	0,0041
555	zeleno-žuta	1,000	750	crvena	0,00012

*Brzina svjetlosti:*

- u praznom prostoru (vakuumu)  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s
- u vodi  $c = 224 \cdot 10^6$  m/s
- u staklu  $c = (1,76 \dots 1,95) \cdot 10^8$  m/s
- u dijamantu  $c = 122 \cdot 10^6$  m/s

*Lom svjetlosti*



Indeks loma  $n$  je omjer sinusa upadnog kuta  $\alpha_1$  i kuta loma  $\alpha_2$ ; te je jednak omjeru brzina svjetlosti

$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

S obzirom na zrak iznosi indeks loma:

- za vodu  $n = 1,333$
- za staklo  $n \approx 1,520 \dots 1,740$
- za dijamant  $n = 2,417$

*Brzina valovnog gibanja  $c$*  je umnožak frekvencije  $f$  i dužine vala  $\lambda$

$$c = f\lambda$$

*Refleksija*



Pri refleksiji valova od ravne plohe je kut refleksije  $\beta$  jednak upadnom kutu  $\alpha$

$$\beta = \alpha$$

Na konkavnoj kugloj plohi s polumjerom  $r$  upadni se valovi reflektiraju kroz žarište (fokus)  $F$ , koje je udaljeno od ljemena plohe za razmak  $f$

$$f = \frac{r}{2} \left( 2 - \frac{1}{\cos \alpha} \right)$$

Pri malim upadnim kutovima  $\alpha$  je

$$\cos \alpha \approx 1 \quad f \approx r/2$$



**Zvuk**

Zvučni valovi dijele se po frekvenciji  $f$  na:

- infrazvuk  $f < 16$  Hz
- čujni (fiziološki) zvuk  $f = 16$  Hz  $\dots$  20 kHz
- ultrazvuk  $f > 20$  kHz

*Brzina zvuka*

Brzina zvuka u plinovima iznosi  $c = \sqrt{\gamma RT}$  (vidi str. 201).

Brzina zvuka u zraku iznosi 332 m/s pri 0 °C; 341 m/s pri 15 °C.

Brzina zvuka u kapljevinama i krutinama (pri 20 °C):

Tvar	$c$ m/s	Tvar	$c$ m/s
voda	1485	Al	5110
led (-4 °C)	3200	Cu	3800
drvo – meko	4500	Fe	5200
– tvrdo	3400	Hg	1430
pluto	500	Ni	4900
guma	50	Pb	1300
opeka	3600	Sn	2600
staklo	5000	Zn	3700

Osnovna frekvencija  $f$  titrajuće strune od materijala gustoće  $\rho$ , prereza  $A$ , dužine  $l$ , a napete silom  $F$ , iznosi

$$f = 1/2l \cdot \sqrt{F/A\rho}$$

## Zvučni tlak

Efektivna vrijednost zvučnoga tlaka (pri  $f = 1$  kHz):

gramca čujnosti 0,00002 Pa

šapat	0,0002 Pa	klavir	0,2 Pa
razgovor	0,002 Pa	orgulje	2 Pa
glasni razgovor	0,02 Pa	sirena	> 20 Pa

Jakost zvuka  $L$  određena je izrazom

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

gdje je  $P$  zvučni tlak, a  $P_0$  zvučni tlak na granici čujnosti ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pa). Je li za jakost zvuka je  $L$  decibel (dB).

Jakost zvuka  $L$  u raznim okolnostima:

Šum, buka	$L$ dB	Dozvoljena granica buke u prostorijama	$L$ dB
šapat	10 ... 30	koncertna dvorana	30
razgovor	40 ... 50	bolesnička soba	30 ... 35
glasni govor	70	čitaonica	35
vika	80	učionica	40
automobilska sirena	90	studijska soba	40
pneumatski bat	100	soba za sjednice	50 ... 60
zakivanje kotlova	110	kongresna dvorana	55
reaktivni avion	120	ured (sa strojevima)	70 ... 75
granica bola	130		

## Tonska skala

Oktava je područje tonova od početne frekvencije  $f$  do konačne frekvencije  $2f$ . Stupnjevanje frekvencije tonova u oktavi po 12-stupanjskoj skali (stupnjem  $2^{1/12} = 1,059463$ ):

Ton	c	cis des	d	djs es	e	f	fis ges	g	gis as	a	ais b	b	c
Stupanj	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33	1,41	1,50	1,59	1,68	1,78	1,89	2,00

Ishodište tonske skale je oktava na granici čujnoga zvuka frekvencije  $f_0$ :  $f_0 = 16,35$  Hz. Frekvencije  $f_n$  tonova  $a$  u  $n$ -toj oktavi su  $2^n f_0$ :

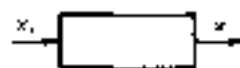
$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_n$	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	7040

## UPRAVLJANJE – REGULACIJA – AUTOMATIZACIJA

Regulacijska tehnika obrađuje odnose među uzrokom i posljedicom u tehničkim sistemima. Njen je zadatak utjecanje na ulazne veličine na taj način, da se dobiju željene izlazne veličine.

### REGULACIJSKI ČLANOVI

Regulacijski članovi su prelazni članovi regulacijskog sistema u kojima se dobivaju iz danih ulaznih veličina  $x_0$  određene izlazne veličine  $x_1$ .

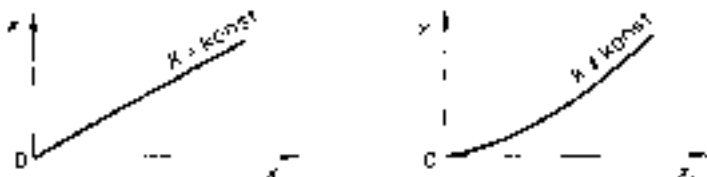


Statička karakteristika regulacijskog člana

U svakom su regulacijskom članu ulazna i izlazna veličina međusobno ovisne:

$$x_1 = f(x_0) \quad x_1 = K x_0$$

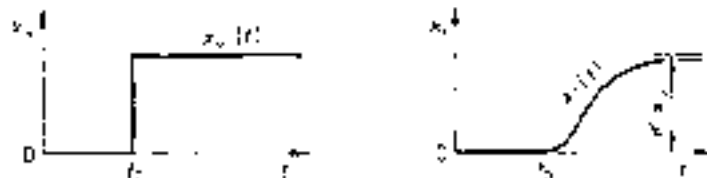
Koeficijent (statičkog) pojačanja  $K = x_1/x_0$  je odnos izlazne i ulazne veličine u stacionarnom stanju, a može biti linearan ( $K = konst$ ) ili nelinearan ( $K \neq konst$ ):



U regulacijskoj tehnici obrađuju se linearni odnosi. Nelinearni odnosi traže posebne postupke, a u užim se područjima često uzimaju približno linearnima.

Dinamička karakteristika regulacijskog člana

Promjene ulaznih i izlaznih veličina vauđu su ovisne o vremenu  $t$ .



Ovisnost izlazne veličine od ulazne nazivamo vremenski odziv

$$x_1(t) = f\{x_0(t)\}$$

Vremenski je odziv za pojedinu vrstu regulacijskog člana karakterističan. U većini slučajeva izražen je diferencijalnom jednačbom koju jednostavnije rješavamo u obliku prenosne funkcije  $P$ .

Prenosna funkcija  $P$  je odnos među vremenski promjenljivom izlaznom i ulaznom veličinom. Proračunava se pomoću Laplaceove transformacije

$$P(s) = \frac{X_1(s)}{X_0(s)} = \int_0^{\infty} e^{-st} x_1(t) dt \int_0^{\infty} e^{-st} x_0(t) dt$$

gdje je  $s$  Laplaceova varijabla. Laplaceovim transformacijom prikazane veličine označuju se velikim slovima.

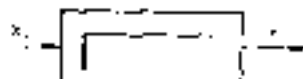
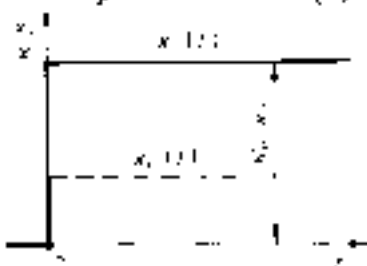
Prenosna se funkcija  $P$  postupno približava koeficijentu pojačanja  $K$ .

## Vremenski odzivi

Vremenski odzivi prikazuju vremenski tok izlazne veličine u ovisnosti u nekom vremenskom toku ulazne veličine.

Vremenske odzive kod kojih je vremenski tok ulazne veličine udarna funkcija («step»-funkcija) (kao funkcija  $x_v(t)$  na str. 201) nazivamo *prelaznim funkcijama*. Njihovi su najznačajniji primjeri:

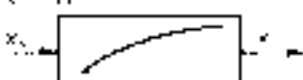
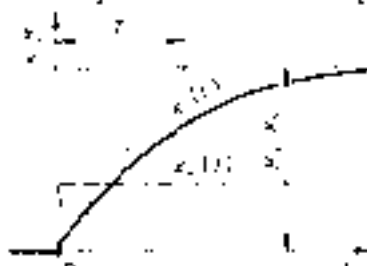
### 1. Proporcionalni član (P)



$$x_i = K_p x_v$$

Primjeri: poluga, tlak i protok kapljevine u cijevima

### 2. Proporcionalni član s usporenjem - 1. stupnja (PT<sub>1</sub>)

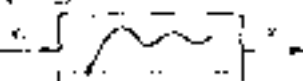


$$T \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p x_v$$

$$x_i = K_p x_v (1 - e^{-t/T})$$

Primjeri: temperaturno rastezanje, tlak i protok plina u plinskim cijevnim sistemima

### 3. Proporcionalni član s usporenjem - 2. stupnja (PT<sub>2</sub>)



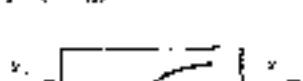
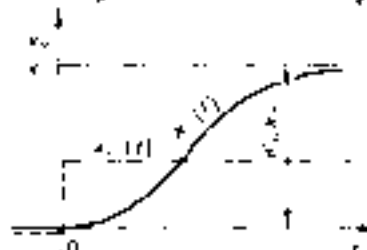
$$T_p^2 \frac{d^2 x_i}{dt^2} + 2dT_p \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p x_v$$

$T_p$  - nepriгушено trajno vrijeme

$d$  - faktor prigušivanja (npr.  $d_{opt} = 0,7$ )

Primjer: pneumatski bat s povratnom uprugom

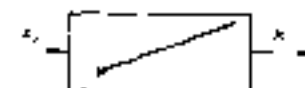
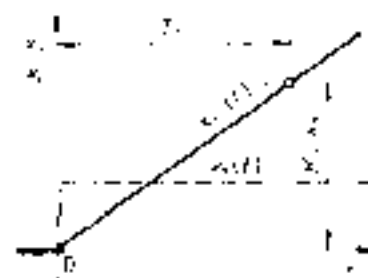
### 4. Proporcionalni član s usporenjem - višeg stupnja (PT<sub>n</sub>)



$$T_n^n (d^n + \dots + T_1 \dot{x}_i) + x_i = K_p x_v$$

Primjer: regulacija temperature

### 5. Integralni član (I)

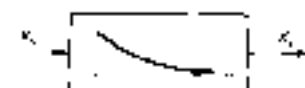
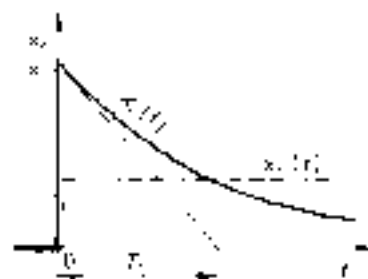


$$x_i = K_I \int x_v dt$$

$$K_I = K_p / T_n$$

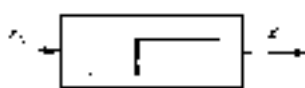
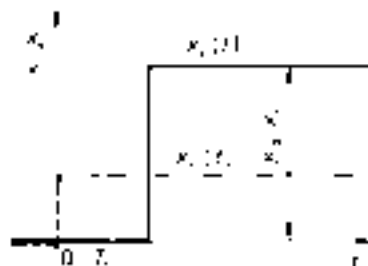
Primjer: razina kapljevine u posudi

### 6. Derivativni član s usporenjem (DT)



$$T \frac{dx_i}{dt} + x_i = K_p T_D \frac{dx_v}{dt}$$

### 7. Član s mrtvim vremenom bez usporenja



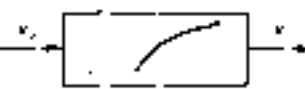
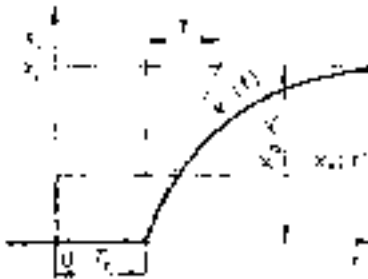
$$t < T_z \quad x_i = 0$$

$$t > T_z \quad x_i = K_p x_v$$

$T_z$  - mrtvo vrijeme

Primjer: transportna traka

### 8. Član s mrtvim vremenom i usporenjem

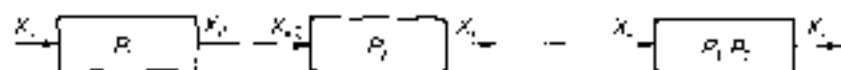


Primjer: miješanje u posudi, zagrijavanje

## Spajanje regulatorijskih članova

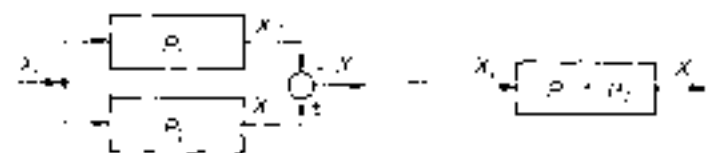
Spoj članova u regulatorijskim sistemima najlakše se prikazuju prenosnim funkcijama regulatorijskih članova ( $P$ ), koje su omjer, po Laplaceu transformiranih, izlaznih signala  $x_i(s)$  i ulaznih signala  $x_v(s)$

### 1. Serijski spoj



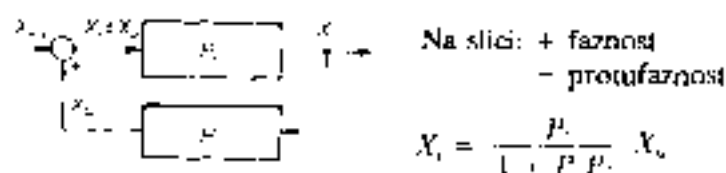
$$\begin{aligned} X_{v1} &= X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_{v2} \quad X_{v2} = P_2 X_{v1} \\ X_{v2} &= P_1 P_2 X_{v1} \end{aligned} \quad \begin{aligned} X &= P X_v \\ P &= P_1 P_2 \end{aligned}$$

### 2. Paralelni spoj



$$\begin{aligned} X_{v1} &= X_{v1} \pm X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_v \quad X_{v2} = P_2 X_v \\ X_{v1} &= (P_1 \pm P_2) X_v \end{aligned} \quad \begin{aligned} X_{v1} &= P X_v \\ P &= P_1 \pm P_2 \end{aligned}$$

### 3. Povratna veza – osnovni spoj regulatorijskih petlji

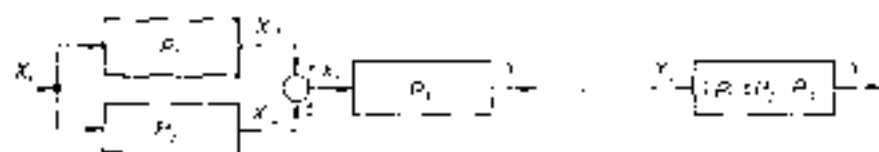


Na slici: + faznost  
- protufaznost

$$X_{v1} = \frac{P_1}{1 + P_1 P_2} X_v$$

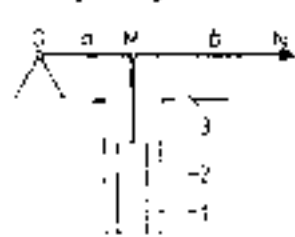
$$\begin{aligned} X_{v1} &= P_1 (X_v \pm X_{v2}) \\ X_{v2} &= P_2 X_{v1} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{U jednadžbi: } &- \text{ faznost} \\ &+ \text{ protufaznost} \end{aligned}$$

### 4. Sastavljeni paralelno-serijski spoj



$$\begin{aligned} X_{v1} &= X_{v1} \pm X_{v2} \\ X_{v1} &= P_1 X_v \quad X_{v2} = P_2 X_v \\ X_{v3} &= (P_1 \pm P_2) X_v \end{aligned} \quad \begin{aligned} X_{v3} &= P_3 X_{v2} \\ X_{v3} &= (P_1 \pm P_2) P_3 X_v \end{aligned}$$

Primjer: mjerni davač temperature



- 1 - rastezni štap  
duljina  $l_1$   
temperaturna rastezljivost  $\alpha_1$
- 2 - plašt  
duljina  $l_2$   
temperaturna rastezljivost  $\alpha_2$
- 3 - poluga  
krakovi  $a, b$

Promjena temperature

$$\Delta T = X_v$$

Temperaturno rastezanje – rasteznog štapa  
plašta (2)

$$\Delta l_1 = X_{v1}$$

$$\Delta l_2 = X_{v2}$$

Pomak poluge (3)

– u točki M

$\Delta l$

$$\Delta l = X_{v1} - X_{v2} = X_{v3}$$

– u točki N

$$\Delta s = X_{v3}$$

Prenosne funkcije

$$P_1 = X_{v1}/X_v = \Delta l_1/\Delta T = l_1 \alpha_1$$

$$P_2 = X_{v2}/X_v = \Delta l_2/\Delta T = l_2 \alpha_2$$

$$P_3 = X_{v3}/X_{v2} = \Delta s/(\Delta l_1 - \Delta l_2) = (a + b)/a$$

Pomak poluge u točki N – prikaz promjene temperature

$$\Delta s = X_{v3} = (P_1 - P_2) P_3 X_v = (l_1 \alpha_1 - l_2 \alpha_2) \frac{a + b}{a} \Delta T$$

### Zamjećivanje veličina

Veličine i njihove vrijednosti zamjećuju se osjetnicima (senzovima) koji djeluju neposredno, a to su:

- *učala* (za duljine i neke druge veličine)
- *mjerni davači* (za većinu veličina).

Regulatorne veličine su većinom samo posredno mjerljive (npr. temperatura iz temperaturnog rastezanja; brzina vrtnje iz centrifugalne sile itd.). Odgovarajući mjerni davači djeluju na raznim principima: mehaničkom, toplinskom, kontaktnom, kapacitivnom, induktivnom itd.

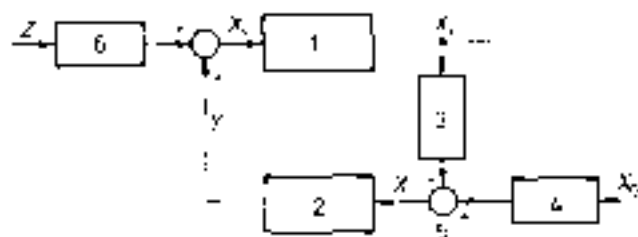
Podaci se dobivaju posredno proračunavanjem iz odgovarajućih izmjerenih veličina (npr. duljinu puta određujemo iz izmjerenog vremena i brzine; učin iz izmjerenog izvršenog rada i utrošenog vremena; specifični toplinski kapacitet iz izmjerene topline i temperaturne razlike itd.).

Za daljnju obradu su naročito podesni signali slijedećih veličina: puta, vremena, sile, tlaka, protoka, električnog napona, električne struje, frekvencije i sl.

Mjerenje mora biti veoma točno, jer regulatori obrađuju vrlo mala odstupanja veličina. 1) razlike između stvarne i željene (poredbene, referentne) veličine.

## Regulacijska petlja

Povratnu vezu kod regulacije prikazuje regulacijska petlja.



- 1 - objekti regulacije (staza, proces)
- 2 - regulacijski uređaj
- 3 - pretvarač regulirane veličine
- 4 - pretvarač željene veličine
- 5 - diskriminator
- 6 - pretvarač poremećajne veličine

Regulirana veličina je izlazna veličina objekta regulacije  $X_1$ .

Željena veličina je  $X_0$ .

Regulirana i željena veličina sistema mogu biti fizikalno i dimenzijski različite. Da bi se omogućila međusobna komparacija, moraju se signal osjetnika promijeniti u jedinstveni – obično električni – oblik, a to se postiže pretvaračima.

U diskriminatoru se mora signal regulirane veličine  $X_1$  komparirati promijenjenom željenom veličinom  $X_0$ . Njihova je razlika *regulacijsko odstupanje*

$$X = P_d X_0 - P_v X_1$$

Regulacijsko odstupanje  $X$  je ulazna veličina regulatora; on ga pretvara u izlaznu veličinu  $Y$ , a tu je *izvršna naredba*

$$Y = P_R X$$

pri čemu je  $P_R$  prelazna funkcija regulacijskog uređaja

Na sve članove regulacijske petlje mogu uticati vanjski uplivi, a uzimaju se u obzir kao *smetnje* (poremećajne veličine)  $Z$ .

Izvršna naredba  $Y$  i smetnje  $Z$  daju ulaznu veličinu objekta regulacije  $X_v$

$$X_v = Y + P_d Z$$

U objektu regulacije se ulazna veličina  $X_v$  pretvara u izlaznu veličinu  $X_1$

$$X_1 = P_0 X_v$$

gdje je  $P_0$  prelazna funkcija objekta regulacije. Karakteristične veličine objekta regulacije mogu se u većini slučajeva odrediti jedino ispitivanjem.

Regulirana veličina  $X_1$  mora postići ili održavati određenu vrijednost željene veličine  $X_0$ , a ta može biti:

- konstantna,
- da se nakon određenog vremena promijeni,
- da slijedi određenu promjenu. (npr. puta ili kuta i sl.)

Pri upravljanju i regulaciji, koje su (općenito) postupak kojim utičemo na ulaznu veličinu  $X_0$  na taj način, da imaju izlazne veličine  $X_1$  željene vrijednosti, razlikujemo – s obzirom na povratnu vezu:

1. upravljanje nema povratne veze (npr. upravljanje stroja za pranje koje je programom unapred obrađeno);
2. regulaciju koja ima povratnu vezu, pri čemu izlazna veličina može biti:
  - vremenski nepromjenljiva (npr. alatni stroj koji radi po modelu – šabloni),
  - vremenski ustaljena (npr. regulacija stalne brzine vrtnje turbine).

Automatizacija je združivanje niza regulacijskih postupaka s automatskim djelovanjem, tako da pri određenoj ulaznoj veličini dobivamo željenu izlaznu veličinu nekog postupka, koja je upet ulazna veličina slijedećeg postupka.

## Regulacijski uređaj

Osim zamjećivanja i mjerenja stvarne vrijednosti regulirane veličine (tj. izlazne veličine iz regulacijskog objekta)  $X_1$ , određivanja vrijednosti željene veličine  $X_0$ , pretvaranje regulirane i željene veličine u fizikalno i dimenzijski jednaku veličinu, određivanje regulacijskog odstupanja  $X$  s komparacijom regulirane i željene veličine, regulacijski uređaj mora obavljati, u najmanju ruku, još i slijedeće funkcije:

1. popravak regulacijskog odstupanja  $X$  odgovarajućim regulatorom.
2. pojačanje signala – posebno pri regulaciji koja traži velike sile i brzine – pojačalom, pri čemu je pomoćna energija električna, hidraulička ili pneumatska,
3. namještanje vrijednosti izvršne naredbe  $Y$  postavnim članom.



1 – regulator, 2 – pojačalo, 3 – postavni član

Granične regulacijske naprave sprečavaju – kao sigurnosni uređaj – premašivanje donje i gornje granične vrijednosti regulirane veličine.

Oznake za način djelovanja regulacijske naprave su (po DIN 2481):

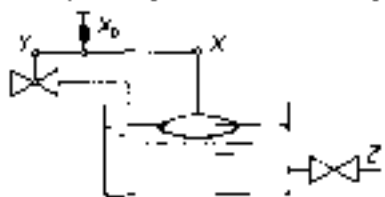
- ⊕ – otvaranje pri porastu regulirane veličine
- ⊖ – otvaranje pri padu regulirane veličine
- ⊕ – otvaranje pri doseg gornje granične vrijednosti
- ⊖ – otvaranje pri doseg donje granične vrijednosti
- ⊕ – zatvaranje pri doseg gornje granične vrijednosti
- ⊖ – zatvaranje pri doseg donje granične vrijednosti

## Regulatori

Regulatori su dijelovi regulacijskih naprava koji prerađuju signale regulacijskih odstupanja  $X$  kao svoje ulazne veličine.

Regulatori bez pomoćne energije su jeftine naprave, prikladne pri malim izvršnim silama i brzinama. Kod njih utječe regulacijsko odstupanje neposredno na izvršnu naredbu.

Primjer: regulacija razine kapljevine



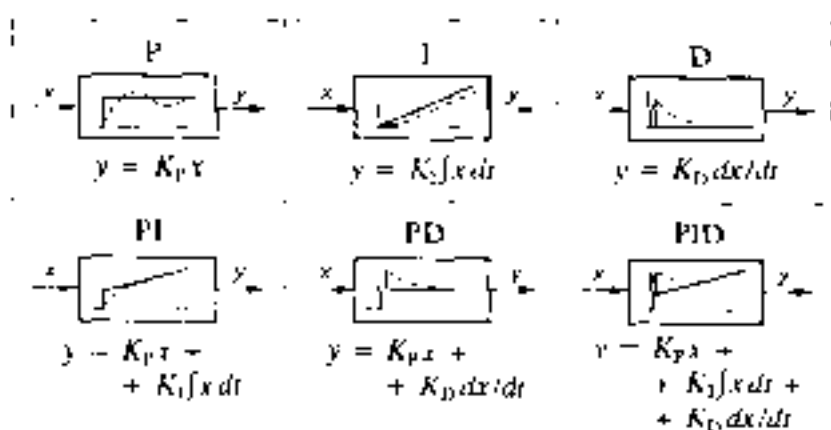
$X_0$  – udešavanje razine (željena veličina)  
 $X$  – pad razine (regulacijsko odstupanje)  
 $Y$  – zaporni ventil (izvršna naredba)  
 $Z$  – otjecanje (poremećajna veličina)

Regulatori s pomoćnom energijom (električnom, hidrauličkom, pneumatskom) djeluju kontinuirano ili diskontinuirano.

Regulatori s kontinuiranim djelovanjem

Kod njih je izlazna veličina  $Y$  ovisna o ulaznoj veličini  $X$ . Za takve regulatore vrijede zakonitosti regulacijskih članova.

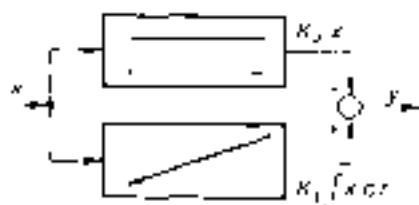
Vrste kontinuirano djelujućih regulatora:



Prelazna funkcija: idealnih regulatora —  
 realnih regulatora - -

Navedene diferencijalne jednačbe vrijede za idealne regulatore.

Primjer spoja regulator PI:

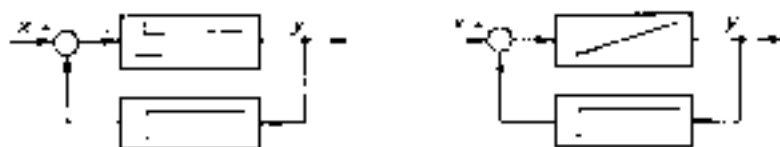


## Povratne vezi regulatora

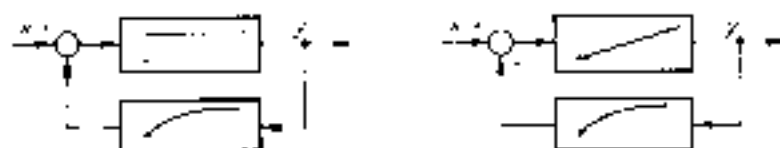
Proizvoljno vremensko ponašanje gotovo svih vrsta regulatora postizava se prikladnom povratnom vezom. Na rad regulatora utječe vrsta regulacijskog člana u povratnoj vezi, a to su:

- čvrsta povratna veza: s regulacijskim članom  $P$ ,
- povratna veza s pojačanjem: s regulacijskim članom  $PT_1$ ,
- povratna veza sa slabljenjem (derivaciona): s regulacijskim članom  $D$ ,
- povratna veza s pojačanjem i slabljenjem: s regulacijskim članovima  $PT_1$  i  $D$  u serijskom spoju.

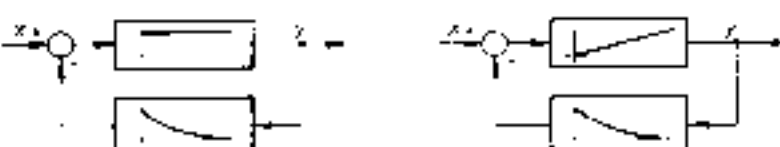
Čvrsta povratna veza



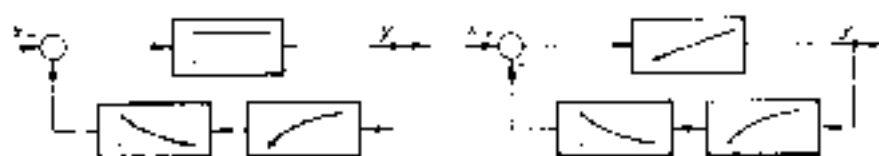
Povratna veza s pojačanjem



Povratna veza sa slabljenjem



Povratna veza s pojačanjem i slabljenjem



Na sličan se način mogu stvarati najrazličitije kombinacije regulacijskih članova u regulatorima.

### Diskontinuirano djelujući regulatori

Kod tih regulatora nema kontinuirane ovisnosti među izlaznom i ulaznom veličinom, već je moguć samo ograničen broj izlaznih veličina koje odgovaraju ulaznim veličinama.

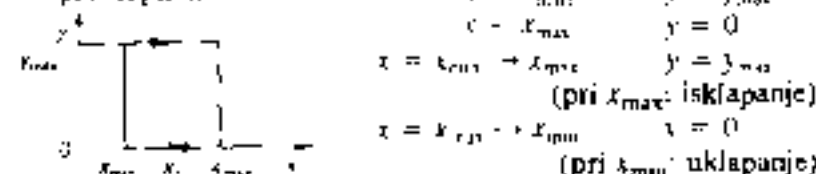
Primjer: relejni regulator (npr. bimetalni)

- bez preklopnog razlike



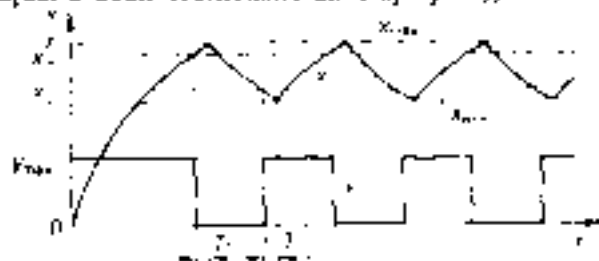
$$\begin{aligned} x < x_0 & \quad y = y_{max} \\ x > x_0 & \quad y = 0 \end{aligned}$$

s preklopnim razlikom



$$\begin{aligned} x < x_{min} & \quad y = y_{max} \\ x > x_{max} & \quad y = 0 \\ x = x_{min} \rightarrow x_{max} & \quad y = y_{max} \quad (\text{pri } x_{max} \text{ isklapanje}) \\ x = x_{max} \rightarrow x_{min} & \quad y = 0 \quad (\text{pri } x_{min} \text{ uklapanje}) \end{aligned}$$

Vremensko ponašanje diskontinuirano djelujućih regulatora s preklopnim razlikom (uzimajući u obzir vremensko zaostajanje  $T_z$ )



Izvršna naredba  $y$  izaziva pri vrijednosti  $y_{max}$  potast regulirane veličine  $x$ . Čim ona dosegne vrijednost  $x_0$ , izvršna se naredba isključuje do vrijednosti 0; regulirana veličina  $x$  raste - uz vremensko zaostajanje  $T_z$  - dalje do vrijednosti  $x_{max}$ , a tek tada počinje opadati. Pri vrijednosti  $x_0$ , izvršna se naredba ponovo uklapa do vrijednosti  $y_{max}$ , regulirana veličina  $x$  i dalje upada te počinje rasti tek nakon vremenskog zaostajanja  $T_z$ .

### Područja primjene nekih regulacijskih naprava

Veličina	Vrsta regulatora			
	P	I	PI	PID
temperatura	-		+	+
tlak	-	+		
protok	-		+	
razina kapljevica	-		+	
brzina vrtnje	+	+	++	++
električni napon	+			

\* Znakom + označeno je prikladno, a znakom - - neprikladno područje primjene

### ELEKTRONIČKA OBRADA PODATAKA

Informacija je vijest o zbivanjima u okolišu promatranog sustava i u sustavu samom. Vijesti primamo u obliku podataka o mjerenjima pojedinih veličina, vezanih na zbivanja, dakle o mjerenjima njihovih vrijednosti i promjena, a u obliku prikladnosti za obradu. Stoga podaci sažre u prvom redu brojčane vrijednosti zbivanja, procesa i tokova. U tu su svrhu označeni znakovima (brojkama, slovima ili posebnim znakovima) ili funkcijama kao matematičkim propisima o vrijednostima.

Informatika je grana znanosti i tehnike koja obuhvaća metode i postupke obrade podataka (dobivenih u prvom redu automatski).

Prenos podataka označujemo kao signal, koji je nosilac informacija. Signali su kontinuirani ili diskretni:

- kontinuirani signali teku vremenski neprekidno
- u skladu s vremenskim tokom veličine o kojoj donose podatke;
- diskretni signali nižu se vremenski prekidno (pojedinačno) i množinom impulsa daju podatke u opažanoj veličini.



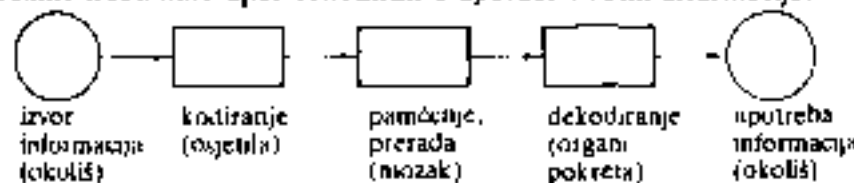
Za signale se većinom upotrebljava električna struja i napon (ali i put, tlak, toplina, svjetlost itd.). Podaci se prikazuju u ovisnosti o njihovim vremenskim promjenama  $I(t)$  i  $U(t)$ .

Prerada podataka je proces pri kojem se iz ulaznih podataka po određenom prerađbenom propisu dobivaju izlazni podaci.

Prosti oblik signala je harmonijsko titranje (opisano kružnom frekvencijom i amplitudom)

Podatke obrađujemo elektroničkim računarima koji mogu biti analogni, digitalni ili hibridni. Potonji se sastoje od analognih i digitalnih sastavnih dijelova

Elektronički računari mogu prerađivati samo one signale podataka koji su izraženi u prikladnom obliku, tj. u prikladnom kodu. Stoga valja signale najprije kodirati. Kodirane podatke možemo spremiti (u memorijama). Obradene podatke treba nato opet dekodirati u uporabivi oblik informacije.



Tehnika automatizacije bavi se oblikovanjem automatski reguliranih procesa u fizikalno-tehničkim sistemima. To postiže u prvom redu računarskom tehnikom. U velikom opsegu upotrebljava također opće priznate metode i način opažnja, karakterističan za kibernetiku (koju je - po općem priznanju - započeo i utemeljio N. Wiener, 1894-1964)

### Princip analogne tehnike

Analognim računarima, nazvanim po analognom načelu djelovanja, prikazuju se kontinuirano dva različita fizikalna sustava veličina jednakim matematičkim odnosima. Takva je npr. sličnost među mehaničkim i električnim titrajnim sistemom:

$$\begin{array}{ll} \text{mehaničko titranje} & m\ddot{y} + D\dot{y} + ky = F(t) \\ \text{električno titranje} & L\ddot{q} + R\dot{q} + 1/C \cdot q = U(t) \end{array}$$

Primjeri analognih veličina:

Količine		Pretoci	
put	$s$	brzina	$v = \frac{ds}{dt}$
kut (analog.)	$\theta$	kutna brzina	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$
volumen	$V$	volumenski protok	$q_v = \frac{dV}{dt}$
masa	$m$	maseći protok	$q_m = \frac{dm}{dt}$
toplina	$Q$	toplinski tok	$\Phi = \frac{dQ}{dt}$
el. naboj	$Q_{el}$	el. struja	$I = \frac{dQ_{el}}{dt}$
Pritjecajne razlike		Otpori	
sila	$F$	konstanta prigušivanja	$d = \frac{F}{v}$
okret. moment	$M$		$d_t = \frac{M}{\omega}$
dužina razlika	$\Delta p$	protočni otpor	$\eta = \frac{\Delta p \cdot d_t}{q_v}$
temper. razlika	$\Delta T$	toplinski otpor	$1/K = \frac{\Delta T}{\Phi}$
el. napon	$U$	el. otpor	$R = \frac{U}{I}$
Kapaciteti		Inercije	
konstanta opruge	$k = \frac{F}{s}$ $C = \frac{M}{d}$	masa	$m = \frac{F}{\frac{dv}{dt}}$
		moment tromosti	$J = \frac{M}{\frac{d\omega}{dt}}$
el. kapacitet	$C = \frac{Q_{el}}{U}$	el. induktivitet	$L = \frac{U}{\frac{dI}{dt}}$

Analogni računari služe u prvom redu za simulaciju tehničkih problema.

Bit programiranja analognog računara sastoji se u postavljanju analognog fizikalnog modela kojega treba preoblikovati u matematički model te ga pretvoriti u radni sistem računara.

Za rješavanje posebnih i zapletenih zadataka moraju biti pojedini sastavni dijelovi analognog računara međusobno vezani odgovarajućim redom – analogno fizikalnom procesu.

Analogni računari djeluju kontinuirano (pa se i računane veličine mogu kontinuirano mijenjati). Njihovo je djelovanje brzo pa se stoga mnogo upotrebljavaju u tehnici regulacije.

\*

Najjednostavniji analogni računar je opće poznati logaritamski računar pri kojem brojeve množimo i dijelimo zbrajanjem i oduzimanjem njihovih logaritama (predočenih dužinama)

### Princip digitalne tehnike

U digitalnom su računar informacije prikazane konačnim nizom brojevi (*digitus*) kojima zapisujemo brojeve.

U broju ima svaka brojka svoju vlastitu i svoju mjesnu vrijednost s obzirom na izabrani brojački sustav. Općenito vrijedi za svaki broj  $X$ :

$$X = \sum_{i=-n}^n N_i B^i$$

gdje je  $B$  - osnova brojačkog sustava,  $N_i$  - brojka u sustavu.

Primjeri:

*Decimalni sustav*

$B = 10, N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$

$$X = 1987_{10} = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 8 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0$$

- *Binarni (dualni) sustav*

$B = 2, N = 0, 1$

$$X = 10110_{10} = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} = 22,5_{10}$$

*Oktaalni sustav*

$B = 8, N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

$$X = 1204_8 = 1 \cdot 8^3 + 2 \cdot 8^2 + 0 \cdot 8^1 + 4 \cdot 8^0 = 804_{10}$$

- *Heksadecimalni sustav*

$B = 16, N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A (10), B (11), C (12), D (13), E (14), F (15)$

$$X = 20C4_{16} = 2 \cdot 16^3 + 0 \cdot 16^2 + C \cdot 16^1 + 4 \cdot 16^0 = 8388_{10}$$

U općoj je upotrebi decimalni sustav. Kod digitalnih računara je naročito prikladan binarni sustav, jer tehnički potpuno odgovara dvjema stanjima s oznakama:

- 0 - »prolaz otvoren«
- 1 - »prolaz zatvoren«

Svaki od tih dvaju stanja znači 1 *bit* (*binary digit*).

Oktaalni i heksadecimalni sustav su namijenjeni lakšoj predodžbi brojeva.

4-bitni binarni zapis (kod) decimalnih brojevi 0...9:

Brojka	Zapis	Brojka	Zapis	Brojka	Zapis
0	0000	4	0100	8	1000
1	0001	5	0101	9	1001
2	0010	6	0110		
3	0011	7	0111		

Primjer zapisa broja 1988: 0001 1001 1000 2000

Matematske operacije tako zapisanih brojeva uređuje program računara.

Sadajni digitalni računari mogu obaviti više od  $10^7$  operacija u sekundi.

Prerađuju prvenstveno brojačkih podataka upotrebljavamo pri regulaciji računarom (*NC - numeric control*).



### Kodiranje digitalnih podataka

Digitalni računari prerađuju digitalne podatke, tj. takve podatke koje možemo označiti samim znakovima. Znakovi proizlaze iz dogovorne skupine znakova, a raspoređeni su u znakovnim nizovima, npr.:

- niz decimalnih brojeva (cifara) 0, 1, 2, ...
- niz velikih latiničnih slova A, B, C, ...
- niz malih latiničnih slova a, b, c, ...
- niz posebnih znakova ., !, #, ...

Tako razlikujemo:

- brojeve (numeričke) podatke koji se sastoje iz brojeva,
- slovno-brojeve (alfanumeričke) podatke koji se sastoje iz slova, brojeva i posebnih znakova.

Osim ovih znakova postoje i regulacijski znakovi (NUL... DEL).

Znakovi za (ASCII) 7-bitne kode (JUS 1 B1.002 - 1982) sastavljeni su iz bitova  $b_7 \dots b_0$

					$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$b_0$	
					redak				stupac X				
$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	Y	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DEL	SP	0	Z	P	z	p	
0	0	0	1	0	SOH	DC1			A	O	a	q	
0	0	1	0	0	STX	DC2			B	R	b	r	
0	0	1	1	0	ETX	DC3			C	S	c	s	
0	1	0	0	0	EOI	DC4			D	T	d	t	
0	1	0	1	0	ENO	NAK			E	U	e	u	
0	1	1	0	0	ACK	SYN			F	V	f	v	
0	1	1	1	0	BEL	ETB			G	W	g	w	
1	0	0	0	0	BS	CAN			H	X	h	x	
1	0	0	1	0	HT	EM			I	Y	i	y	
1	0	1	0	0	LF	SUB			J	Z	j	z	
1	0	1	1	0	VT	ESC			K	S	k	s	
1	1	0	0	0	FF	FS			L	D	l	d	
1	1	0	1	0	CR	GS			M	C	m	c	
1	1	1	0	0	SO	RS			N	G	n	g	
1	1	1	1	0	SI	LS			O		o	DEL	

U 7-bitnom binarnom zapisu je znak »K« određeni nizom bitova: 100 1011, podatak »Srijeda 19.30« zapisom: 101 0011 111 0010 110 0101 110 0100 110 0001 010 0100 011 0011 011 1001 010 1110 011 0011 011 0000

### Znakovi upravljanja u 7-bitnom kodu znače:

ACK	ACKNOWLEDGE	- potvrda ispravnog primitka
BEL	BELL	- znak alarma
BS	BACKSPACE	- pomak nazrag
CAN	CANCEL	- poništi
CR	CARRIAGE RETURN	- pomak nosaca nazrag
DC	DEVICE CONTROL	- znaci za kontrolu uređaja
DEL	DELETE	- izostaviti
DLF	DATA LINK ESCAPE	- slijedi znak posebnog značenja
EM	END OF MEDIUM	- kraj medija
ENO	ENQUIRY	- upit
EOI	END OF TRANSMISSION	- svršetak prenosa
ESC	ESCAPE	- prelaz
ETB	END OF TRANSMISSION BLOCK	- svršetak prenosa bloka
ETX	END OF TEXT	- svršetak teksta
FF	FORMAT FEED	- određivanje pozicije
FS	FILE SEPARATOR	- znak za odvajanje datoteke
GS	GROUP SEPARATOR	- znak za odvajanje blokova
HT	HORIZONTAL TABULATION	- horizontalno tabuliranje
LF	LINE FEED	- određivanje pozicije na sljedeću liniju
NAK	NEGATIVE ACKNOWLEDGE	- potvrda neispravnog primitka
NUL	NUL	- prazan znak
RS	RECORD SEPARATOR	- znak za odvajanje slogova
SI	SHIFT IN	- povratak na standardno značenje
SO	SHIFT OUT	- nalazak znakova s promijenjenim značenjem
SOH	START OF HEADING	- početak zaglavlja
SP	SPACE	- razmak
STX	START OF TEXT	- početak teksta
SUB	SUBSTITUTE CHARACTER	- zamijeniti
SYN	SYNCHRONOUS IDLE	- znak za sinkronizaciju
US	UNIT SEPARATOR	- znak za odvajanje polja
VI	VERTICAL TABULATION	- vertikalno tabuliranje

### Logičko zaključivanje

Booleova logička algebra služi se skupom od dva elementa, 0 (krivo) i 1 (pravilno).

#### Elementarne funkcije Booleove algebre

Funkcija	Simbol	Funkcija	Simbol	Funkcija	Simbol
NE (NO)				implikacija	$\supset$
ILI (OR)	$\vee$	NE-ILI (NOR)	$\nabla$	ekvivalencija	$=$
I (AND)	$\wedge$	NE-I (NAND)	$\nabla$	antivalencija	$\neq$

Pomoću elementarnih funkcija Booleove algebre možemo u načelu prikazati svaku logičku kombinaciju.

#### Booleove funkcije

a	b	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$a \vee b$	$a \wedge b$	$a \nabla b$	$a \supset b$	$a = b$	$a \neq b$
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	1	1	0

## Pohranjivanje podataka

Kodirane podatke možemo pohraniti u memorijama i to za stalno (za što su prikladne bušene kartice i trake) ili s mogućnošću mijenjanja (što omogućuju magnetske memorije).

**Bušene kartice i trake** upotrebljavaju se za jednokratnu snimku podataka. Na nje bušenjem zapisujemo dva stanja: 0 – nebušeno i 1 – bušeno.

Bušena kartica (od kartona bez električki vodljivih dijelova, veličine 187,32 × 82,55 mm) obično je podijeljena: po visini na 10 normalnih redaka (0...9) i na dva dodatna retka; po duljini pa npr. na 45, 80 ili 90 stupaca. Svaki stupac pripada jednom kodiranom znaku, a svaki redak u stupcu jednom bitu (0 ili 1).

Bušene trake su na veliku duljinu razvučene kartice sa stupcima u razmaku po 2,5 mm i recima, razvučenima u nizove, a njihov broj mora odgovarati upotrebljenom kodu. Na presjecištima stupaca i redaka su mjesta za rupice. Između redaka je niz manjih rupica za transport trake.

**Magnetske memorije** iskorišćuju magnetska svojstva vrlo tankih ( $\approx 11\mu\text{m}$ ) feromagnetskih slojeva (NiFe, NiCo itd.), nanesenih na nosivu podlogu. Te slojeve možemo lokalno (točkasto) magnetizirati i to u dva suprotna magnetska stanja, što odgovara – nalik na bušenje – stanjima 0 i 1.

Magnetske memorije razlikujemo po nosivoj podlozi:

- Magnetske kartice su od plastične umjetne tvari, veličine npr. 80 × 350 mm.
- Magnetske trake su također od plastičnih umjetnih tvari (debljine  $\approx 50\mu\text{m}$ ), mnogo su uže od kartica (npr. 3...12 mm), ali znatno duže (npr. 750 m). Brzina odvijanja je npr. 1,7 m/s.
- Magnetski bubnjevi su od slitina lakih kovina (promjera 500...1000 mm), sadrže i do  $10^7$  znakova. Njihova prenosna brzina iznosi  $10^6$  bit/s.
- Magnetski koluti (diskovi) (promjera 500...1500 mm) iskorištavaju za smještaj znakova obje strane i stoga zauzimaju – uz isti kapacitet – znatno manji prostor od bubnjeva. Obično je 6...12 koluta skupljeno u izmjenjivi kolutni slog. Mali magnetski koluti (diskete) (promjera 80...250 mm) imaju kapacitet do  $1,6 \cdot 10^6$  bit/s.

Druge izvedbe magnetskih memorija su:

- Keramičke ploče s magnetskim slojem (NiFe) koji je u vakuumu parom nanesen u debljini od samo  $(2...20) \cdot 10^{-2}\mu\text{m}$
- Magnetske obručne jezgre, prešane od feromagnetskog materijala (u obruče pravokutnog presjeka). Strujnim ulazom preklapaju se iz jednog u drugi magnetski smjer.

U magnetskim memorijama spremljeni podaci mogu se – po potrebi – brzo i odnosno zamjenjivati.

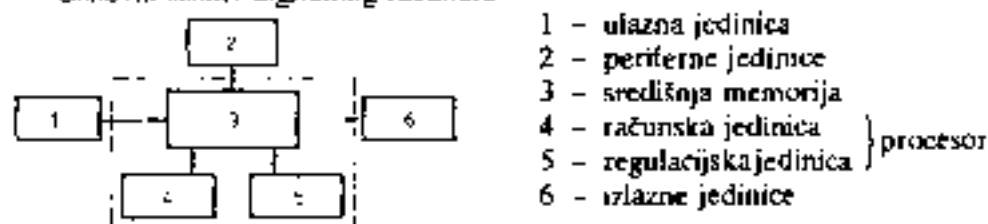
## Aparatna oprema

Aparatnu opremu čine električni (elektronički) i mehanički sklopovi. Pri obradi podataka u njima se redaju određene operacije serijski.

Podatke i naredbe predstavljaju u digitalnim računarima binarni znakovi koji su obično združeni u nječima stalne duljine (4, 6, 8 = 1 bajt (byte), 12, 16, 32, 48, 60, 64 i više bitova). Podaci i naredbe prerađuju se u pojedinim jedinicama računara u električnim spojevima koji su sastavljeni od logičkih (poluprovodničkih) elemenata, funkcionalno vezanih (u velikoj gustoći) na malim pločicama – čipovima (chip). Broj u čipu združenih elemenata označuje se »integracijskim brojem«.

Broj elemenata	Vezivanje		
10...100	SSI ( <i>Small Scale Integration</i> )	rijetka	gustoća
50...500	MSI ( <i>Medium Scale Integration</i> )	osrednja	
> 1000	LSI ( <i>Large Scale Integration</i> )	velika	
> 10000	VLSI ( <i>Very Large Scale Integration</i> )	vrlo velika	

Osnovni sastav digitalnog računara



**Ulazna jedinica** prima podatke i naredbe korisnika (čitač, tastatura...).

**Periferne jedinice** obuhvataju procesne jedinice (procesnu periferiju, periferne memorijske jedinice: memorijske kartice, trake, kolute, bubnjeve).

**Središnja memorija** sprema informacije-podatke i naredbe. Karakterističan je za nju kapacitet za spremanje informacija (jedinica kapaciteta središnje memorije je 1 kibajbajt =  $2^{10}$  = 1024 riječi) te brzina za njihovo unošenje i erpljenje.

**Računska jedinica** obavlja sve zahtijevane operacije:

- aritmetičke operacije (zbrajanje, oduzimanje, množenje, dijeljenje),
- logičke operacije – uspoređivanje ( $>$ ,  $\geq$ ,  $=$ ,  $\leq$ ,  $<$ ,  $\neq$ ) i odlučivanje,
- organizacijske operacije (prenos podataka i naredbi među funkcijskim jedinicama računara).

**Regulacijska jedinica** dirigira izvođenje naredbi po programu. Računska i regulacijska jedinica zajedno sačinjavaju procesor.

**Izlazne jedinice** (štampač, »plotter«, ekran...) predavaju korisniku rezultate računara.

Digitalni računari upotrebljavaju se za rješavanje svih zadataka koji se mogu oblikovati u programima.

## Programska oprema

Digitalni računar je automat u kojem teku informacijski procesi po točno određenim uputama.

Program je potpuni niz uputa za rješavanje danog zadatka. Te upute sadrže računске naredbe za aritmetičke operacije, usporedbene naredbe za logičke operacije itd.

Programi za korijene i eksponente, trigonometrijske i druge funkcije koje se javljaju u praksi veoma često, mogu se – posebno izrađeni – spremati i po potrebi uključiti u drugi program kao potprogram.

Izrada programa ovisna je o strukturi i izvedbi elektroničke naprave za preradu podataka (računala).

Algoritam je temelj programa te je takav popis svih uputa kojima se omogućuje rješenje određenog zadatka po koracima. U njemu su pojedini koraci određeni tako, da ih računar može «razumjeti» i izvesti, tj.

- svaki algoritam sastoji se iz više pojedinih koraka, a svaki korak iz računskih propisa koji predstavljaju neku funkciju; svaki korak sadrži isto upute za slijedeći korak;
- svaki je korak algoritma izvedljiv jednoznačno, a isto tako jednoznačan je i nastavak;
- funkcija svakoga koraka mora biti izvodljiva, čime je osigurano, da je s konačnim brojem elementarnih operacija ostvarljiva svaka funkcija.

Programski jezik oblikuje skup svih uputa za opis algoritama.

Programski su jezici:

- strojno orijentirani, tj. sastoje se iz uputa koje imaju jednaki ili slični sastav kao i naredbe određenog računala;
- problemsko orijentirani, tj. po svojoj su sastavu prirojeni problemima koje treba rješavati, a nisu ovisni o uređaju računara.

Nalik na materijalne proizvode, nastaje i programski izradak u više faza od kojih su najznačajnije:

- specifikacija, tj. određivanje uporabnih funkcija ulaznih i izlaznih podataka;
- planiranje: program se dijeli na programske module (pojedine komponente većih programa);
- izvedba: moduli se dalje detaljiraju i kodiraju (zapisuju u određenom programskom jeziku).

S porastom kompliciranosti zadataka rastu i troškovi za programsku opremu.

Naprave za elektroničku obradu podataka mogu obaviti samo osnovne računске operacije i određene usporedbe po kojima moraju biti izgrađeni algoritmi.

Jednostavni zadaci rješavaju se jednostavnom jednačbom. Za zadatke iz prirodoslovlja i tehnike često su potrebni sistemi diferencijalnih jednačbi. Za

























algoritme je karakteristično stoga, da se komplicirani zadaci rješavaju korakom, putem jednostavnih operacija.

Dijagram toka programa je računska shema kojom je dan cjelokupan tok algoritma (programskog niza). Pojedine korake upisujemo u odgovarajuće okvire (blokove), međusobno ih povežemo i ucrtaemo smjer toka. Dijagram toka račva se samo pri odluci da – ne

Simboli za dijagrame odvijanja operacija programa (ZUS A. PU.004 - 1971)

	Operacija općenito		Modifikacija programa		Linija odvijanja programa
	Odluka		Ručna operacija		Priključna točka
	Potprogram		Ulaz/izlaz		Granično mjesto

Simboli za dijagrame protoka podataka i dokumenata

	Obrata općenito		Ulaz/izlaz		Magnetni disk
	Pomoćna funkcija		Memorija ovisna od postrojenja		Matrična memorija
	Ručna operacija		Memorija odvojena od sistema		Ilustrirani izlaz
	Ručno unošenje		Dokument		Linija protoka podataka
	Združivanje		Bušena kartica		Transport nosača podataka
	Razlučivanje		Bušena traka		Telekomunikacijska veza
	Združivanje/razlučivanje		Magnetna traka		Povezivanje
	Sortiranje		Magnetni bubanj		Napomena

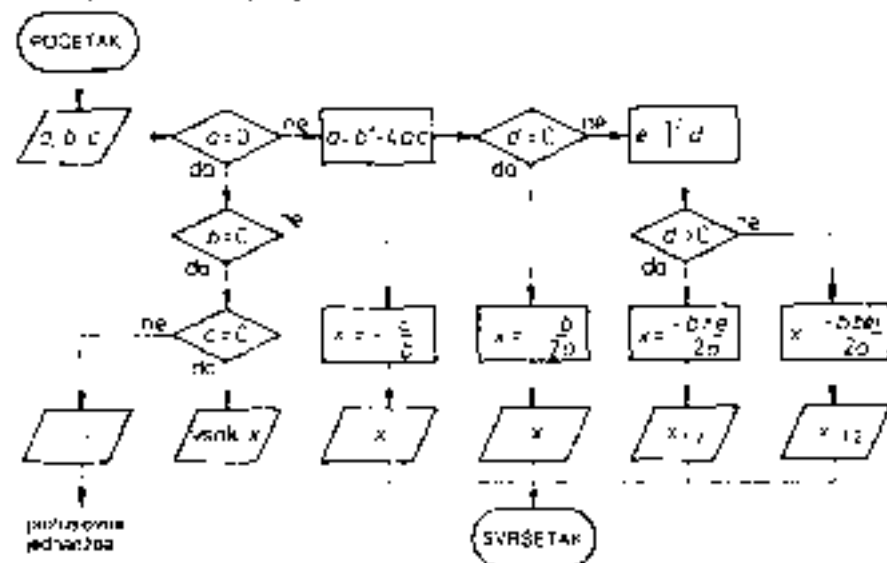
Primer: kvadratna jednačina  $ax^2 + bx + c = 0$

$$\text{Analitičko rješenje: } x_{1,2} = -\frac{b}{2a} \pm \frac{1}{2a} \sqrt{b^2 - 4ac}$$

Algoritam:

- |          |  |   |
|----------|--|---|
| Korak 1  | $[a = 0?]$   | da: prelaz na korak 2<br>ne: prelaz na korak 5                    |
| Korak 2  | $[b = 0?]$   | da: prelaz na korak 3<br>ne: prelaz na korak 4                    |
| Korak 3  | $[c = 0?]$   | da: jednačnu zadovoljava svaki $x$<br>ne: jednačna je protuslovna |
| Korak 4: | Izračunati $x = -c/b$ ; svršetak računa.                 |   |
| Korak 5  | Izračunati $d = b^2 - 4ac$ ; prelaz na korak 6           |   |
| Korak 6  | $[d = 0?]$   | da: prelaz na korak 7<br>ne: prelaz na korak 8                    |
| Korak 7  | Izračunati $x = b/2a$ ; svršetak računa                  |   |
| Korak 8  | Izračunati $e = \sqrt{ d }$ ; prelaz na korak 9          |   |
| Korak 9  | $[d > 0?]$   | da: prelaz na korak 10<br>ne: prelaz na korak 11                  |
| Korak 10 | Izračunati $x_{1,2} = (-b \pm e)/2a$ ; svršetak računa   |   |
| Korak 11 | Izračunati $x_{1,2} = (-b \pm e)i/2a$ ; svršetak računa. |   |

Dijagram toka programa.



## Programski jezici

Svaki je programski jezik (tj. skup uputa za opis algoritma) jednoznačno sastavljen po određenoj »gramatici«. Znakovi – kao elementi jezika – određeni su odabranim nazovima (brojkama, slovima, posebnim znakovima, simbolima za riječi).

Programskih jezika ima vrlo mnogo. Posebno važni su naredni:

ADA (*nazvan po -prvoj programerki- Augusti Adi Byron*) je jezik za programiranje u prirodoslovlju i tehnici. (Standardiziran u SAD g. 1983.)

ALGOL (*ALGOrithmic Language*) upotrebljava se za prikaz računskih propisa, a naročito za rješavanje numeričko-matematičkih, prirodoslovnih i tehničkih problema

(Početak razvoj: 1958 – ALGOL 58; nato ALGOL 60–68. Standardiziran je u: ISO/R 1538 i DIN 66026.)

APL (*A Programming Language*) služi za opis algoritama.

(Početak razvoja: 1957. Prvi puta upotrebljen za računare IBM 360.)

APT (*Automatically Programed Tools*) namijenjen tehnologiji obrade. Iz njega su se razvili specijalni jezici: EXAPT 1 – za obradu bušenjem, EXAPT 2 – za obradu tokarenjem, EXAPT 3 – za obradu glodanjem.

(Nastao je 1957. Standardiziran je po DIN 66025 – za sastavljanje programa za računarnom regulirane alatne strojeve za odvajanje čestica.)

BASIC (*Beginner's All purpose Symbolic Instruction Code*) prirojen je u prvom redu za probleme prirodoslovlja i tehnike. Veoma je rasprostranjen pri malim osobnim računarnama. (Standardiziran u SAD 1978.)

COBOL (*COmmon Business Oriented Language*) služi za potrebe trgovine i računovodstva. (Standardiziran po ISO/R 1989 i DIN 66028.)

FORTAN (*FORmular TRANslating system*) upotrebljava se u prvom redu za programiranje problema iz prirodoslovlja i tehnike, a upotrebljiv je i na komercijalnom području.

(Početak: 1954., daljnji razvoj: FORTRAN 77. Standardiziran po ISO/R 1539, DIN 66027.)

PASCAL (*imenovan po francuskom matematičaru*) služi za rješavanje numeričkih i penumeričkih problema (Postanak: g. 1969. na ETH, Zurich.)

PL 1 (*Programming Language 1*) upotrebljiv za višenamjensku primjenu. (Standardiziran po ISO/R 6160 i DIN 66225.)

PROLOG (*PROgramming in Logic*) razvijen je za potrebe umjetne inteligencije

(Početak: 1972, Marseille.)

Ostali su programski jezici:

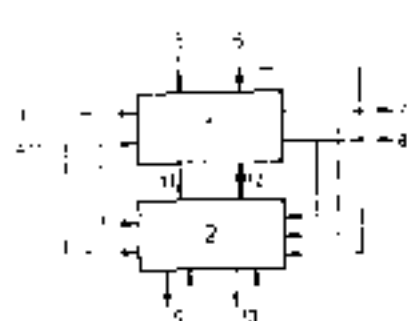
CORAL, FORMAC, GPSS, LISP, LTR, PEARL, REDUCE, RPG, RTI, SNOBOL, SYMAP itd.

## Procesni računari

Procesni računari (procesori) su naprave za elektroničku obradu podataka pri raznim tehničkim procesima.

Razvoj tehnologije poluvodiča omogućio je izradu računara znatno manjeg volumena (i cijene) – računara i mikroracunar. U njima je na vrlo maloj površini skupljeno mnogo tisuća sastavnih elemenata (npr. 20 000 jednopolnih tranzistora na čipu površine od 35 mm<sup>2</sup>).

Mikroprocesori – procesni mikroracunari – većim su dijelom sastavljeni i programirani za određenu svrhu.



- 1 – proces
- 2 – procesor
- 3 – sirovina
- 4 – energija
- 5 – nemjerljive smetnje
- 6 – mjerljive smetnje
- 7 – proizvod
- 8 – sporedni i otpadni materijal
- 9 – tražene informacije
- 10 – informacije s drugoga računara
- 11 – informacije iz procesa
- 12 – izvrsna naredba

Procesor dobiva (stalno ili u određenim vremenskim razmacima) informacije o ulaznim veličinama (sirovinama i energiji), o toku proizvodnoga procesa (i mjerljivim smetnjama) te o izlaznim veličinama (proizvodu te o sporednom i otpadnom materijalu). To su analogni signali koji se u pretvaračima pretvaraju u digitalne signale. U procesoru se uspoređuju mjerni podaci sa željama u skladu s ustanovljenim odstupanjima procesor nato utiče neposredno na proces.

## Pomoć računaru

Brzina, točnost i preglednost rada s računatom su uzroci za sve opsežniji rad u tehnici pomoću računara. Tako su se razvili značajni radni sistemi, vođeni računatom:

- CAD (Computer Aided Design) za konstruiranje (planiranje)
- CAM (Computer Aided Manufacturing) za izradu (produkciju)
- CAE (Computer Aided Engineering) za optimiranje izradaka (produkta)
- CIM (Computer Integrated Manufacturing) za sastavljenu (integriranu) izradu
- CAP (Computer Aided Programming) za programiranje (planiranje rada)
- CAQ (Computer Aided Quality Insurance) za osiguranje kvaliteta
- itd.

## DRUGI DIO

### ISPITIVANJE MATERIJALA

#### DIJAGRAM $\sigma, \epsilon$

U ispitnom uzorku (pokusnom štupu) materijala, opterećenom silom  $F$ , nastupaju naprezanja  $\sigma$  koja izazivaju rastezanje.

Naprežanje  $\sigma$  je odnos sile  $F$  i presjeka ispitnog uzorka  $S$  (okomito na smjer sile)

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Zbog djelovanja sile  $F$  (i time nastalim naprežanjem  $\sigma$ ) ispitni će se uzorak s prvotne duljine  $L_0$  rastegnuti na duljinu  $L_1$ .

Produljenje epruvete iznosi

$$\Delta L = L_1 - L_0$$

Postotno produljenje epruvete je produljenje s obzirom na prvotnu duljinu  $L_0$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

Dijagram  $\sigma, \epsilon$  pokazuje međusobnu ovisnost naprežanja i postotnog produljenja.

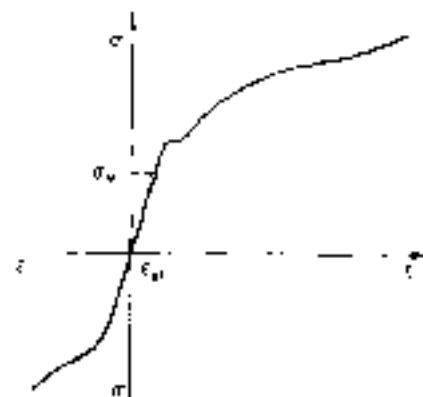
Početno je rastezanje linearno (tj. postotno je produljenje upravo razmjerno naprežanju). U području linearnoga rastezanja materijal je *elastičan* (tj. nakon prestanka djelovanja sile odn. naprežanja vraća se na prvotnu dimenziju)

Modul elastičnosti  $E$  je odnos naprežanja i postotnog produljenja (u području elastičnosti)

$$E = \frac{\sigma_{el}}{\epsilon_{el}}$$

«Granica elastičnosti» je naprežanje pri kojem osjetljiva mjerila osjete prvo primjetno, trajno, postotno produljenje materijala (pri još nepromijenjenom presjeku  $S = S_0$ ).<sup>\*</sup> Povrh te granice (obično na koncu linearnoga rastezanja) materijal se rasteže *plastično* (tj. nakon prestanka djelovanja sile ne vraća se više na prvotnu dimenziju, već ostaje stanovito, trajno, postotno produljenje, a presjek se sužuje:  $S < S_0$ ).

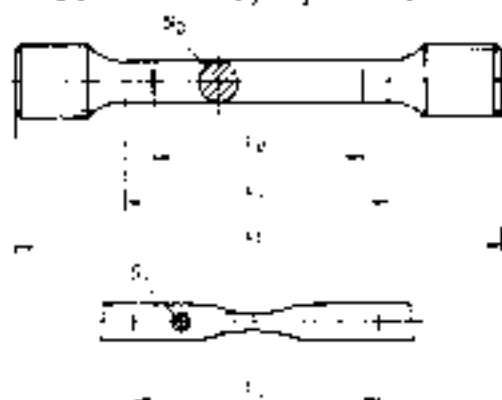
Dijagram  $\sigma, \epsilon$  nastavlja se u smislu tlačnih naprežanja, kad tlačno naprežanje  $-\sigma$  izaziva relativno skraćenje  $-\epsilon$ .



\*  $T_1$  naprežanje tečenja  $R_{p0.2}$  (vrljstr. 11b).

Za vlačno ispitivanje služe ispitni uzorci koji imaju razne oblike s obzirom na veličinu i oblik raspoloživog materijala i s obzirom na zahvatne čeljusti stroja za kidanje.

1. Oznake dimenzija ispitnih uzoraka



- $L_1$  - ukupna duljina ispitnog uzorka
- $L_2$  - duljina ispitnog dijela ispit. uzorka
- $l$  - mjerna duljina\*
- $L_0$  - početna mjerna duljina\*
- $L_k$  - konačna mjerna duljina (nakon kidanja)\*
- $S$  - površina poprečnog presjeka ispitnog uzorka
- $S_0$  - početna površina presjeka
- $S_1$  - najmanja površina presjeka (nakon kidanja)

- \* Pri upotrebi ekstenzometra:
- $L_c$  - mjerna duljina mjerača produljenja (ekstenzora)
- $L_{c0}$  - početna mjerna duljina mjerača
- $L_{ck}$  - mjerna duljina mjerača nakon kidanja

2. Dimenzije ispitnih uzoraka

Pri proporcionalnom ispitnom uzorku je početna mjerna duljina  $L_0$  razmjerna s korijenom početnog presjeka  $S_0$ ;  $L_0 = k \sqrt{S_0}$  pa je kod ispitnih uzoraka kružnog presjeka proporcionalna promjeru:

$$L_0 = k \sqrt{S_0} = k \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot d_0^2}$$

Uobičajene početne duljine  $L_0$  su:

	za proporcionalni ispitni uzorak		za presjek ispit. uzorka proizvoljni		kružni
	$k$	$k \sqrt{\pi}/4$			
kratki (normalni)	5,65	5	$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$	$L_0 = 5 d_0$	
dugi	11,3	10	$L_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$	$L_0 = 10 d_0$	

Primjeri kratkih ispitnih uzoraka:

$d_0$ mm	$S_0$ mm <sup>2</sup>	$L_0$ mm	$L_c$ mm
$20 \pm 0,150$	314	$100 \pm 1,0$	110
$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	55
$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	28

Pri neproporcionalnim uzorcima početna mjerna duljina  $L_0$  nije ovisna od presjeka  $S_0$  (odn. promjera  $d_0$ ).

Ispitni uzorci za žice i štapove, promjera  $d_0$  4 mm moraju imati početnu mjernu duljinu  $L_0 = 200 \pm 2$  mm ili  $L_0 = 100 \pm 1$  mm.

Ispitni uzorci za limove i trake, debljine 0,1 ... 3 mm izrezuju se na širine  $b$  (12,5 odn. 20 mm), s početnom mjernom duljinom  $L_0$  (50 ... 80 mm) i ispitnim duljinama  $L_c$  (75 odn. 120 mm).

3. Oznake veličina pri rastezanju i suživanju

Pri rastezanju vrijede oznake:

- $\Delta L = L - L_0$  mm - produljenje
- $\Delta L_k = L_k - L_0$  mm - produljenje nakon kidanja
- $\epsilon = (\Delta L/L_0) \cdot 100$  % - postotno produljenje
- $A = (\Delta L_k/L_0) \cdot 100$  % - postotno produljenje nakon kidanja

Oznaka  $A$  vrijedi za postotno produljenje nakon kidanja u slučaju upotrebe proporcionalnog ispitnog uzorka s vrijednošću koeficijenta  $k = 5,65$ . Pri upotrebi proporcionalnih uzoraka s drugim koeficijentom  $k$  (npr. 11,3), valja oznaki  $A$  dodati tu vrijednost kao indeks (npr.  $A_{11,3}$ ). Pri proporcionalnim uzorcima kružnog presjeka označujemo postotno produljenje nakon kidanja.

- pri kratkim ispitnim uzorcima  $A_5$
- pri dugim ispitnim uzorcima  $A_{10}$ .

Pri upotrebi neproporcionalnog ispitnog uzorka, početne mjerne duljine  $L_0$  (npr.  $L_0 = 80$  mm), treba oznaki  $A$  dodati kao indeks vrijednost početne mjerne vrijednosti (npr.  $A_{80}$ ).

Pri suživanju presjeka vrijede oznake:

- $\Delta S = S_1 - S$  mm<sup>2</sup> - suženje poprečnog presjeka
- $\Delta S_k = S_1 - S_k$  mm<sup>2</sup> - najveće suženje (nakon kidanja)
- $\psi = (\Delta S/S_0) \cdot 100$  % - postotno suženje
- $Z = (\Delta S_k/S_0) \cdot 100$  % - postotno suženje nakon kidanja (kontrakcija)

4. Oznake sile i nazivnih naprezanja

Dijagram sile  $F$  u ovisnosti od produljenja  $\Delta l$  snimamo neposredno na stroju za kidanje



Dijagram  $F, \Delta L$

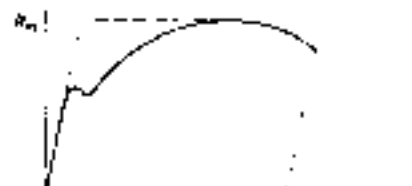
- $F$  - (vlačna) sila
- $F_m$  - najveća sila

Pri određivanju najveće sile  $F_m$  mora brzina razmicanja čeljusti stroja za kidanje iznositi  $\leq L_c$  mm/min ( $L_c$  v mm).

\*

Nazivna naprezanja  $R$  uzružena su silom  $F$ , dijeljenom s početnim presjekom  $S_0$

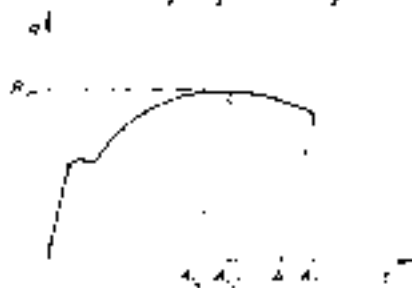
V dijagramu  $R, \epsilon$  dana su nazivna naprezanja  $R$  u ovisnosti o postotnom produljenju  $\epsilon$ , sukladno s dijagramom sile  $F$  u ovisnosti od produljenja  $\Delta L$ .



Dijagram  $R, \epsilon$

- $R = F/S_0$  - (vlačno) nazivno naprezanje
- $R_m = F_m/S_0$  - (vlačna) čvrstoća

### 5. Značajna postotna produljenja

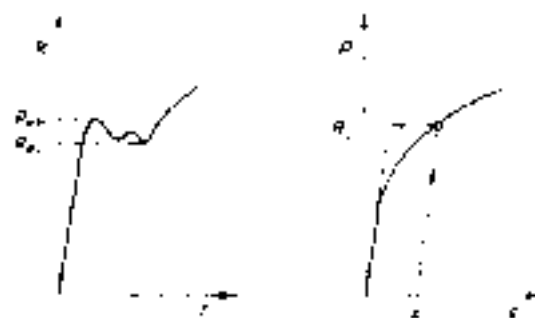


- $A_{2.1}$  - ukupno postotno produljenje pri najvećoj sili
- $A_g$  - neproporcionalno postotno produljenje pri najvećoj sili
- $A_1$  - ukupno postotno produljenje u trenutku kidanja
- $A$  - postotno produljenje nakon kidanja

### b. Naprezanja tečenja

Naprezanja prirednog tečenja  $R_{eH}$

gornje  $R_{eH}$   
donje  $R_{eL}$   
(npr. kod mekih čelika)



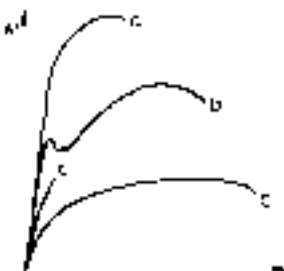
Konvencionalno naprezanje tečenja  $R_p$  (za materijale s kontinuiranim rastezanjem)

U dijagramu  $R, \epsilon$  povučemo iz (odabrane) točke  $x$  na apscisi paralelu s početnim (linearnim) dijelom krivulje rastezanja. Presjek paralele s krivuljom rastezanja određuje konvencionalno naprezanje tečenja pri postotnom produljenju  $\epsilon = x\%$ , npr.:

- $R_{p0.01}$  pri  $\epsilon = 0.01\%$
- $R_{p0.2}$  pri  $\epsilon = 0.2\%$
- $R_{p1}$  pri  $\epsilon = 1\%$

- 1 To je »tehnička granica elastičnosti«
- 2 Dosada zvana »granica plastičnosti«

Tok rastezanja u ovisnosti od naprezanja je za razne materijale različit i za njih karakterističan. Tako po obliku dijagrama  $R, \epsilon$  možemo razlikovati materijale:



- a - tvrdi čelik
- b - mekši čelik
- c - sivi lijev
- d - bakar

Žilavi materijali se nakon početnog elastičnog (linearnog) rastezanja rastežu do prekida vrlo plastično, i to kontinuirano (npr. bakar) ili u diskontinuitetu s pojavom tečenja pri stalnom naprezanju (npr. meki čelik).

Krčki materijali se po početnom elastičnom rastezanju kidaju bez (značajnijeg) plastičnog rastezanja (npr. sivi lijev).

Plastični materijali se rastežu samo neznatno elastično (npr. oluvo) ili su gotovo neelastični (npr. asfalt).

### Ispitivanje savijanjem (JUS C.A4.005 - 1985)

Ispitni uzorci imaju pravokutni, kvadratni ili okrugli presjek, a ispituju se i čitavi profili. Debljina  $a$  neka bude veća od 30 mm. Širina pravokutnih uzoraka iznosi 25 do 50 mm. Preporučuje se da duljina  $l$  ispitnog uzorka bude

$$l = (D + 3a) \pm \frac{a}{2}$$



Za savijanje služe dva oslonca s polunjerima  $R$ :

- za  $a \leq 12$  mm  $R = 25$  mm
- za  $a > 12$  mm  $R = 50$  mm

Promjer  $D$  valjka kojim savijamo uzorak uzima se prema posebnim propisima za materijal koji se ispituje

Savijanje mora biti polagano i neprekidno do određenog kuta savijanja  $\alpha$ , odnosno do pojave prvih pukotina na vanjskoj strani uzorka.

\*

Sivi lijev ispituje se u pogledu čvrstoće na savijanje sirovim ili obrađenim uzorcima u obliku posebno odličenih ravnih okruglih štapova promjera  $d_0$ , koje oslanjamo o dva valjkasta oslonca s razmakom  $l$  (između osi oslonaca promjera  $D$ ), a u sredini ih opterećujemo silom  $F$  do prekida. Čvrstoća sivog lijeva na savijanje  $\sigma_{sm}$  slijedi iz najveće sile  $F_{sm}$  pri lomu

$$\sigma_{sm} = F_{sm} / 4W \quad W = \pi d_0^3 / 32 = 0.1 d_0^3$$

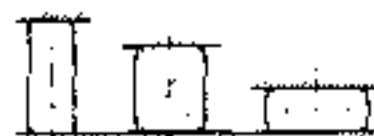
Mjere uzoraka i uređaja (prema JUS C.A4.014 - 1973) u mm

Promjer ispit. uzorka $d_0$	Duljina ispit. uzorka	Oslonci		Polunjer pritiskavača $r$
		promjer $D$	razmak $l$	
13	300	20 . . . 30	260	10 . . . 15
20	450		400	
30	650	50 . . . 60	600	25 . . . 30
45	1060		900	

### Tlačno ispitivanje (JUS C.A4.006 - 1954)

Za tlačni pokus služi ispitni uzorak koji je za kovine redovito okruglog presjeka, promjera  $d_0$  i visine  $h_0 = 2d_0$  (izuzetno je  $h_0 = d_0 \dots 3d_0$ ). Za nekovine uzorak je obično kocka.

Uzorak se tlači lakim i čestim udarcima čekićem ili prešom. Pri tome se pojavljuje (tlačni stožac) po kojem se materijal širi u stranu. Uzorak se tlači do određene visine (u hladnom stanju do  $h_0/2$ , u vrućem stanju do  $h_0/3$ ), odnosno dok se na boku ne pojave pukotine.



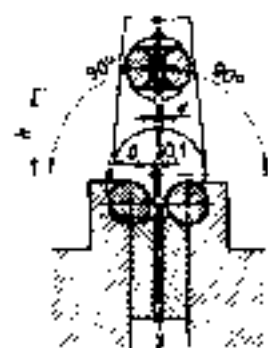
### Ispitivanje žica torzijom (JUS C.A4.016 - 1986)

U posebnom uređaju sučemo žicu oko vlastite osi do loma. Da bi žica pri tom ostala ravna, opterećujemo je vlačnom silom koja u žici ne smije izazvati naprezanja većeg od 2% čvrstoće čelične žice, odn. 5% čvrstoće žice od neželjeznih kovina. Slobodna duljina žice  $l$  i najveća brzina sukanta  $n$  iznose:

prečnik žice $d$ (mm)	0,3...1	1...1,5	1,5...3	3...5	5...7
slobodna duljina $l$	$200d$	$100d$	$100d$	$100d$	$50d$
brzina sukanta $n$ (okret/s)					
- pri čeliku	3	1	1	1	0,5
pri Cu i Cu legurama	5	2	1,5	1	0,5

Broj okretaja žice do loma mjera je njene sposobnosti pri ispitivanju torzijom.

### Ispitivanje žica izmjeničnim pregibanjem (JUS C.A4.018 - 1986)



Ispitivan komad žice stegnemo u pokusnu napravu u kojoj pregibamo žicu naizmjenice u jednu i drugu stranu do njezina loma.

Karakteristične su mjere pokusne naprave (u mm)

$d$	$D$	$h$	$d$	$D$	$h$
0,3...0,5	2,5	15	2,0...3,0	15,0	25
0,5...0,7	3,5	15	3,0...4,0	20,0	35
0,7...1,0	5,0	15	4,0...6,0	30,0	50
1,0...1,5	7,5	20	6,0...8,0	40,0	75
1,5...2,0	10,0	20	8,0...10,0	50,0	100

Žicu pregibamo preko valjaka od kaljenog čelika. Jednim pregibom smatramo savijanje iz početnog (srednjeg) položaja za  $90^\circ$  u jednu stranu i natrag do početnog položaja (a obavljamo ga u 1 s). Broj pregiba do prekida žice mjera je sposobnosti žice za izmjenično pregibanje.

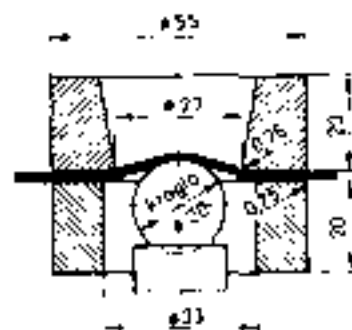
### Ispitivanje žica navijanjem (JUS C.A4.019 - 1986)

#### Ispitivanje sposobnosti za izvlačenje (JUS C.A4.021 - 1962)

Sposobnost materijala za izvlačenje ispituje se utiskivanjem čelične kuglice u limeni ispitni uzorak.

Za limove i trake debljine do 2 mm služi naprava po Enchsenu, koja se sastoji od kaljene čelične kuglice za utiskivanje, matrice i držača limenog uzorka.

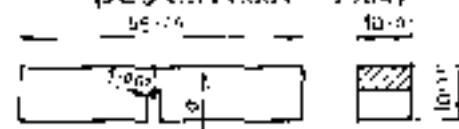
Kuglica se polagano i jednoliko (brzinom oko 0,1 mm/s) utiskuje u uzorak do pojave prvih pukotina. Kao mjera sposobnosti materijala za izvlačenje navodi se postignuta dubina



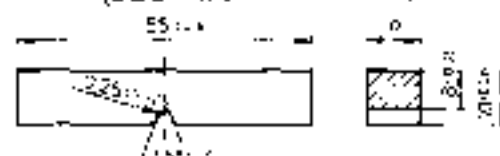
### Ispitivanjem udarom po Charpyju

Za ispitivanjem udarom na savijanje po metodi Charpyja upotrebljavaju se ispitni uzorci sa zarezom. Tim se postupkom određuje žilavost materijala pri udaru (s obzirom na utjecaj zareza).

#### Ispitni uzorak s U-zarezom (JUS C.A4.004 - 1984)



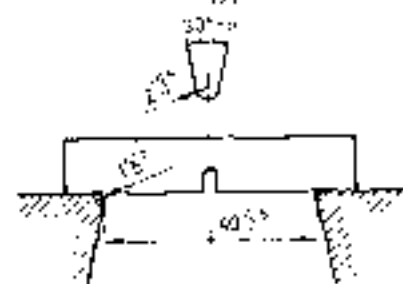
#### Ispitni uzorak s V-zarezom (JUS C.A4.025 - 1984)



$r = 5$  mm - standardno  
 $r = 3$  (2) mm - plitki zarez }  $+0,09$  mm  
 $h = 10$  mm - standardno  
 $h = 7,5$  (5) mm - uski uzorak }  $10,11$  mm

Ispitni se uzorak prelama batom (njihalom) koji pri padu udara u sredinu uzorka, poduprtoga na ostonce.

Udarana energija bata  $Gh = 300$  (150, 100) J.



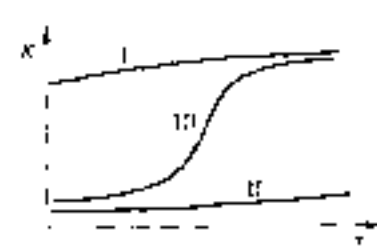
Udarani rad njihalnog bata težine  $G$ , koji pada s visine  $h_1$ , te doprije pri lomu na visinu  $h_2$  iznosi

$$K = G(h_1 - h_2)$$

Oznaka udarnog rada pri nazivnoj energiji 300 J i pri standardnom ispitnom uzorku je:

- pri uzorku s U-zarezom: **KU**
- pri uzorku s V-zarezom: **KV**

Udarana žilavost u općem slučaju raste s temperaturom. U širokom su temperaturnom području udarno vrlo žilave kovine koje možemo gnječiti: Al, Cu, Ni, austenitni čelik (I); neznatno žilave su krhke materije: staklo, keramika, vrlo tvrdi čelici (II). Za obične čelike - nelegirane i malo legirane (III) značajna je velika ovisnost udarne žilavosti od temp.: pri visokoj su vrlo žilavi, pri niskoj veoma krhki.





## ISPITIVANJE TRAJNE ČVRSTOĆE

### Ispitivanje trajne statičke čvrstoće

Konstantnom (statičkom) silom dugotrajno opterećeni materijal početi će se pod određenim opterećenjem, u ovisnosti od temperature, postupno rastezati. Ova se pojava, koju nazivamo puženje, zaustavlja, ako se materijal pri rastezanju učvrsti, dok se u protivnom nastavlja do loma.

Temperatura pri kojoj se pojavljuje puženje ovisna je o materijalu (npr. pri čeliku od 200 °C naviše; pri olovu ili plastici već kod okolišnje temperature).

Najveće naprezanje kod kojega se pri određenoj temperaturi konstantnom silom opterećeni materijal više trajno ne rasteže (ne puže) nazivamo *trajnom statičkom čvrstoćom materijala*.

Dugotrajnim je pokusima (100 000 h) ustanovljeno, da stvarnu trajnu statičku čvrstoću ni nakon tako dugog vremena ne možemo odrediti. Odrediti možemo u svakom slučaju samo vremenska statička svojstva čvrstoće koja vrijede za određeno ograničeno trajanje opterećenja.

Rezultati kratkotrajnih ispitivanja ne mogu se jednostavno upotrijebiti pri dugotrajnim opterećenjima. Stoga je preporučljivo trajanje statičkog ispitivanja

- za kovine  $t = 100\ 000\ \text{h}$
- za plastične materijale  $t = 10\ 000\ \text{h}$ .

*Vremensko naprezanje tečenja*  $R_{p,0.2}$  je naprezanje pri kojem se materijal rastegne do određenog postotnog produženja  $\epsilon$  (npr. 1%) za određeno vrijeme  $t$  (npr. 100 000 h) pri određenoj temperaturi  $T$  (npr. 400 °C), što bi se za navedeni slučaj napisalo  $R_{p,0.2(100000h,400^\circ\text{C})}$ .

*Vremenska statična čvrstoća*  $R_{m,t}$  je najveće naprezanje koje materijal podnosi određeno vrijeme  $t$  (npr. 100 000 h) pri određenoj temperaturi  $T$  (npr. 600 °C). U navedenom slučaju označujemo to  $R_{m,100000h,600^\circ\text{C}}$ .

### Ispitivanje dinamičke čvrstoće (JUS C.A4.035 - 1966)

Čvrstoća je materijala znatno manja ako materijal u toku vremena  $t$  nije jednoliko opterećen (primjer «a» na donjoj slici), već nejednoliko (primjer «b»).



Potpuno nejednolika opterećenja nisu prikladna za uspoređivanje ispitnih rezultata. Zato određujemo dinamička svojstva čvrstoće materijala za sinusoidna opterećenja, kod kojih naprezanje koleba za otklon (amplitudu)  $\sigma_a$  ( $\tau_a$ ) od srednjeg naprezanja  $\sigma_{med}$  ( $\tau_{med}$ ) (primjer «c»). Ta naprezanja mogu biti:

- a) istosmjerna (primjeri «c» i «d»)
- b) izmjenična (primjeri «e» i «f»).

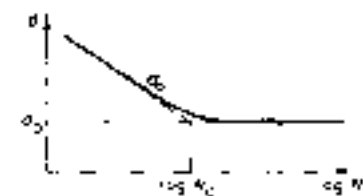
Od raznih sinusoidnih opterećenja posebno su značajna:

1. *pulzirajuće ili trajno dinamičko opterećenje* (primjer «d» na slici na str. 320), pri kojem naprezanje  $\sigma$  titra (pulzira) za amplitudu  $\sigma_a$  između vrijednosti  $0$  i  $\sigma_{max}$  oko srednjeg naprezanja  $\sigma_{med}$ ;  $\sigma_a = \sigma_{med} = \sigma_{max}/2$ ;

2. *nihajuće ili kolebljivo dinamičko opterećenje* (primjer «f»), pri kojem naprezanje  $\sigma$  koleba za amplitudu  $\sigma_a$  između vrijednosti  $-\sigma_{max}$  i  $+\sigma_{max}$ ;  $\sigma_a = \sigma_{max}$ , pri čemu je srednje naprezanje  $\sigma_{med} = 0$ .

Trajnost materijala ovisi o broju titraja opterećenja. Smanjivanjem amplitude naprezanja  $\sigma_a$  pri dinamičkom opterećenju povećava se broj titraja  $N$ , koje materijal podnosi bez loma.

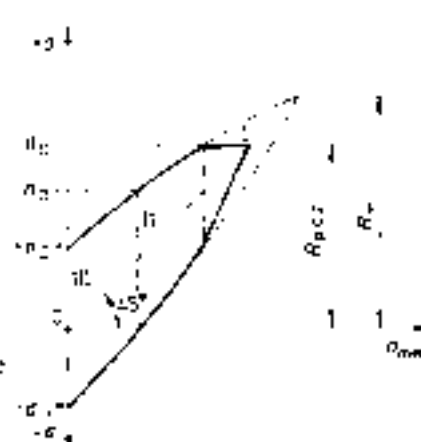
Ovisnost  $\sigma_a = f(N)$  prikazuje «Wöhlerova krivulja» (na slici desno). Wöhlerova se krivulja pri određenom broju titraja  $N_D$  ( $10^7$  za čelik,  $10^8$  za lake kovine) približava stalnoj vrijednosti  $\sigma_D$ , kojom definiramo «dinamičku čvrstoću».



*Dinamička čvrstoća*  $\sigma_D$  je najveće naprezanje  $\sigma_{max}$  pri kojem se materijal ni pri bilo kakvom povećanju broja titraja opterećenja ne bi više slomio.

*Dijagram dinamičke čvrstoće* (Smithov dijagram) prikazuje dinamičku čvrstoću  $\sigma_D$  u ovisnosti o srednjem naprezanju  $\sigma_{med}$  za razna dinamička opterećenja:

- I  $\sigma_D' = R_{p,0.2}$  - za mirno opterećenje
- II  $0 \dots \sigma_D''$  - za pulzirajuće opterećenje
- III  $-\sigma_D''' \dots + \sigma_D''''$  - za nihajuće opterećenje.



Crta koja u dijagramu ide iz ishodišta pod kutom od 45° prikazuje srednje opterećenje. Udaljenosti od nje prema gore ili dolje do gornjega odnosno donjega graničnog naprezanja jesu otkloni naprezanja.

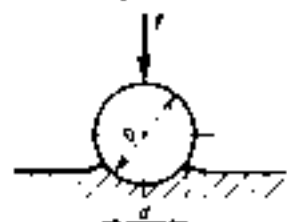
Budući da materijal u konstrukcijama po pravilu ne smijemo opterećivati iznad naprezanja tečenja  $R_{p,0.2}$  je tom granicom u dijagramu dinamičke čvrstoće ograničeno područje dopuštenog opterećenja.

Na dinamičku čvrstoću veoma jako utječe djelovanje zarezaka (nejednolika razdioba naprezanja), što može čvrstoću znatno sniziti ispod vrijednosti koju materijal ima bez zarezaka. Zato je dinamička čvrstoća zavarenih spojeva (zbog zavarnog «zarezaka») ili predmeta s grubo obrađenom površinom (koja se zapravo sastoji od mnogih sitnih «zarezaka») mnogo manja.

## ISPITIVANJE TVRDOĆE

Mjera za tvrdoću ovisi o postupku ispitivanja.

### 1. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu HB (JUS C.A4.003 - 1985 i 032 - 1986)



U čistu se i ravnu površinu pokusnog materijala (kovine) utiskuje određenom silom  $F(N)$  kuglica promjera  $D(mm)$ . Mjeri se promjer otiska  $d(mm)$ . Mjera Brinellove tvrdoće iznosi

$$HB = \frac{0,102 F}{A} = 0,102 F \frac{2}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

gdje je  $A$  površina otiska (kalote).

Vrijednosti Brinellove tvrdoće HB za pojedine promjere otiska  $d$  sabrane su u tablicama na str. 324 i 325. Odlučujuća je prosječna vrijednost koja je rezultat barem dvaju mjerenja.

Kuglica je: do tvrdoće 450 HB od zakaljenog čelika, do tvrdoće 650 HB od tvrdog metala. (Tvrdoća iznad 650 HB ispituje se po Vickersu - str. 326).

Sila pritiska  $F$  mora rasti do nazivne 2... 8 s, a djelovanje nazivne sile mora trajati 10... 15 s.

Upotrebljavaju se slijedeće sile pritiska  $F(N)$  odn. odgovarajuće vrijednosti  $0,102 F$  (u zagradi) i promjeri kuglica  $D(mm)$  - raspoređene u skupine po vrijednostima  $0,102 F/D^2$ :

$\frac{0,102 F}{D^2}$	$F(N)$		$F(N)$		
	$(0,102 F)$		za $D(mm)$		
	10	5	2,5	2	1
30	29420 (3000)	7355	1839 (187,5)	1177 (120)	394,2 (10)
15	14710 (1500)	-	-	-	-
10	9807 (1000)	2452 (250)	612,9 (62,5)	393,3 (40)	98,07 (10)
5	4903 (500)	1226 (125)	306,5 (31,25)	196,1 (20)	49,03 (5)
2,5	2452 (250)	612,9 (62,5)	153,2 (15,625)	98,07 (10)	24,52 (2,5)
1,25	1226 (125)	306,5 (31,25)	76,61 (7,8125)	49,03 (5)	12,26 (1,25)
1	980,7 (100)	245,2 (25)	61,29 (6,25)	39,23 (4)	9,807 (1)

Primjeri oznaka tvrdoće po Brinellu:

350 HBS 5/750 - znači tvrdoću 350 HB pri upotrebi čelične kuglice promjera  $D = 5 mm$  i pri vrijednosti  $0,102 F = 750$  (tj. pri sili pritiska  $F = 7355 N$ ).

Vrijednosti  $0,102 F/D^2$  odabiremo s obzirom na vrstu materijala ispitnog uzorka i njegovoj tvrdoći:

Materijal	Tvrdoća HB	$0,102 F/D^2$
čelik		30
lijevano željezo	< 140	10
	> 140	30
bakar i bakrene slitine	< 35	5
	35...200	10
	> 200	30
lake kovine i slitine	< 35	1,25 - 2,5
	35...60	5 - 10 - 15
	> 60	10 - 15
olovo i kositar		1,25

Najmanja debljina uzorka (u mm) u ovisnosti od promjera kuglice  $D$  i promjera otiska  $d$ :

$d$ mm	$D(mm)$				$d$ mm	$D(mm)$	
	1	2	2,5	5		5	20
0,2	0,08				2,4	2,46	1,77
0,3	0,18				2,6	2,92	1,38
0,4	0,37				2,8	2,43	1,60
0,5	0,54	0,25			3,0	4,00	1,84
0,6	0,89	0,37	0,29		3,2		2,10
0,7		0,51	0,40		3,4		2,38
0,8		0,67	0,53		3,6		2,69
0,9		0,86	0,67		3,8		3,00
1,0		1,07	0,81		4,0		3,34
1,1		1,37	1,02		4,2		3,70
1,2		1,60	1,23	0,58	4,4		4,08
1,3			1,46	0,69	4,6		4,48
1,4			1,72	0,80	4,8		4,91
1,5			2,00	0,92	5,0		5,36
1,6				1,05	5,2		5,83
1,7				1,19	5,4		6,33
1,8				1,34	5,6		6,86
1,9				1,50	5,8		7,42
2,0				1,67	6,0		8,00
2,2				2,04			

Za čelik možemo iz poznate Brinellove tvrdoće HB približno odrediti njegovu čvrstoću  $R_m(N/mm^2)$

za ugljični čelik  $R_m = 3,6 HB$

za legirani čelik - Cr  $R_m = 3,5 HB$

- Cr-Ni  $R_m = 3,4 HB$

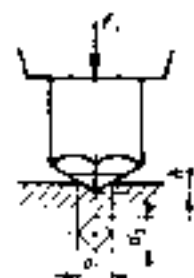
Usporedbena tablica (približna) između čvrstoće i tvrdoće čelika nalazi se na str. 322 i 323.

Promjer otiska $d$ mm					Tvrdoća po Brinell HB						
pri promjeru kuglice $D$ mm					za vrijednost $0,102 F/D^2$						
10	5	2,5	2	1	30	15	10	5	2,5	1,25	1
2,40	1,20	0,60	0,48	0,24	653	327	218	109	54,5	27,2	21,8
2,45			0,49		627	313	209	104	52,2	26,1	20,8
2,50	1,25		0,50	0,25	601	301	200	100	50,1	25,1	20,0
2,55			0,51		578	289	193	96,5	48,1	24,1	19,3
2,60	1,30	0,65	0,52	0,26	555	278	185	92,6	46,3	23,1	18,5
2,65			0,53		534	267	178	89,0	44,5	22,3	17,8
2,70	1,35		0,54	0,27	514	257	171	85,7	42,9	21,4	17,1
2,75			0,55		495	248	165	82,6	41,3	20,6	16,5
2,80	1,40	0,70	0,56	0,28	477	239	159	79,6	39,8	19,9	15,9
2,85			0,57		461	230	154	76,8	38,3	19,2	15,4
2,90	1,45		0,58	0,29	444	222	148	74,1	37,0	18,5	14,8
2,95			0,59		429	215	143	71,5	35,8	17,8	14,3
3,00	1,50	0,75	0,60	0,30	415	207	138	69,1	34,6	17,3	13,8
3,05			0,61		401	200	134	66,8	33,4	16,7	13,4
3,10	1,55		0,62	0,31	388	194	129	64,6	32,3	16,2	12,9
3,15			0,63		375	188	125	62,5	31,3	15,6	12,5
3,20	1,60	0,80	0,64	0,32	363	182	121	60,5	30,3	15,1	12,1
3,25			0,65		352	176	117	58,6	29,3	14,7	11,7
3,30	1,65		0,66	0,33	341	170	114	56,8	28,4	14,2	11,4
3,35			0,67		331	165	110	55,1	27,5	13,8	11,0
3,40	1,70	0,85	0,68	0,34	321	160	107	53,4	26,7	13,4	10,7
3,45			0,69		311	156	104	51,8	25,9	13,0	10,4
3,50	1,75		0,70	0,35	302	151	101	50,3	25,2	12,6	10,1
3,55			0,71		293	147	97,7	48,9	24,4	12,2	9,77
3,60	1,80	0,90	0,72	0,36	285	143	95,0	47,5	23,7	11,9	9,50
3,65			0,73		277	138	92,3	46,1	23,1	11,5	9,23
3,70	1,85		0,74	0,37	269	135	89,7	44,9	22,4	11,2	8,97
3,75			0,75		262	131	87,2	43,6	21,8	10,9	8,72
3,80	1,90	0,95	0,76	0,38	255	127	84,9	42,4	21,2	10,6	8,49
3,85			0,77		248	124	82,6	41,3	20,6	10,3	8,26
3,90	1,95		0,78	0,39	241	121	80,4	40,2	20,1	10,0	8,04
3,95			0,79		235	117	78,3	39,1	19,6	9,79	7,81
4,00	2,00	1,00	0,80	0,40	229	114	76,3	38,1	19,1	9,53	7,61
4,05			0,81		223	111	74,3	37,1	18,6	9,29	7,43
4,10	2,05		0,82	0,41	217	108	72,4	36,2	18,1	9,05	7,26
4,15			0,83		212	105	70,6	35,3	17,6	8,82	7,09
4,20	2,10	1,05	0,84	0,42	207	103	68,8	34,4	17,2	8,61	6,93
4,25			0,85		201	101	67,1	33,6	16,8	8,39	6,76

Promjer otiska $d$ mm					Tvrdoća po Brinell HB						
pri promjeru kuglice $D$ mm					za vrijednost $0,102 F/D^2$						
10	5	2,5	2	1	30	15	10	5	2,5	1,25	1
4,30	2,15		0,86	0,43	197	98,5	65,5	32,8	16,4	8,19	6,58
4,35			0,87		192	95,9	63,6	32,0	16,0	7,99	6,39
4,40	2,20	1,10	0,88	0,44	187	93,6	61,4	31,2	15,6	7,80	6,24
4,45			0,89		183	91,4	60,3	30,5	15,2	7,62	6,09
4,50	2,25		0,90	0,45	179	89,3	59,5	29,8	14,9	7,44	5,95
4,55			0,91		174	87,2	58,7	29,1	14,5	7,27	5,81
4,60	2,30	1,15	0,92	0,46	170	85,2	56,8	28,4	14,2	7,10	5,68
4,65			0,93		167	83,3	55,5	27,8	13,9	6,94	5,55
4,70	2,35		0,94	0,47	163	81,4	54,3	27,1	13,6	6,78	5,43
4,75			0,95		159	79,6	53,0	26,5	13,3	6,63	5,30
4,80	2,40	1,20	0,96	0,48	156	77,8	51,9	25,9	13,0	6,48	5,19
4,85			0,97		152	76,1	50,7	25,4	12,7	6,34	5,07
4,90	2,45		0,98	0,49	149	74,4	49,6	24,8	12,4	6,20	4,96
4,95			0,99		146	72,8	48,6	24,3	12,1	6,07	4,86
5,00	2,50	1,25	1,00	0,50	143	71,3	47,5	23,8	11,9	5,94	4,75
5,05			1,01		140	69,8	46,5	23,3	11,6	5,81	4,65
5,10	2,55		1,02	0,51	137	68,3	45,5	22,8	11,4	5,69	4,55
5,15			1,03		134	66,9	44,6	22,3	11,1	5,57	4,46
5,20	2,60	1,30	1,04	0,52	131	65,5	43,7	21,8	10,9	5,46	4,37
5,25			1,05		128	64,1	42,8	21,4	10,7	5,34	4,28
5,30	2,65		1,06	0,53	126	62,8	41,9	20,9	10,5	5,24	4,19
5,35			1,07		123	61,5	41,0	20,5	10,3	5,13	4,10
5,40	2,70	1,35	1,08	0,54	121	60,3	40,2	20,1	10,1	5,03	4,02
5,45			1,09		118	59,1	39,4	19,7	9,85	4,93	3,94
5,50	2,75		1,10	0,55	116	57,9	38,6	19,3	9,66	4,83	3,86
5,55			1,11		114	56,8	37,9	18,9	9,47	4,73	3,79
5,60	2,80	1,40	1,12	0,56	111	55,7	37,1	18,6	9,28	4,64	3,71
5,65			1,13		109	54,6	36,4	18,2	9,10	4,55	3,64
5,70	2,85		1,14	0,57	107	53,5	35,7	17,8	8,92	4,46	3,57
5,75			1,15		105	52,5	35,0	17,5	8,75	4,38	3,50
5,80	2,90	1,45	1,16	0,58	103	51,5	34,3	17,2	8,59	4,29	3,43
5,85			1,17		101	50,5	33,7	16,8	8,42	4,21	3,37
5,90	2,95		1,18	0,59	99,2	49,6	33,1	16,5	8,26	4,13	3,31
5,95			1,19		97,3	48,7	32,4	16,2	8,11	4,05	3,24
6,00	3,00	1,50	1,20	0,60	95,5	47,7	31,8	15,8	7,96	3,98	3,18

## 2. Ispitivanje tvrdoće po Vickersu HV (JUS C.A4.033 - 1984)

U površinu ispitivanog materijala utisnemo dijamantni šiljak u obliku piramide (s kutom 136°) proizvoljnom silom  $F$ .



Vickersova tvrdoća HV se računa iz sile pritiska  $F$  (N) i površine utisnutog plašta piramide  $A$  (mm<sup>2</sup>), koju određujemo mjerenjem dijagonala  $d_1$  i  $d_2$  (mm)

$$HV = 0,102 \frac{F}{A} \quad A = \frac{d^2}{2 \sin(136/2)} \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$HV \approx 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

Dijagonale  $d_1$  i  $d_2$  mjerimo točnošću od  $\pm 0,001$  mm.

Debljina ispitnog uzorka mora iznositi najmanje  $1,5 d$ .

Po pravilu upotrebljavamo sljedeće sile pritiska  $F$ , koje su raspoređene po zaokruženim vrijednostima  $0,102 F$  dodajući ih (za prikaz upotrebjene sile pritiska) oznaci tvrdoće po Vickersu HV:

$F$ N	49,03	98,07	196,1	294,2	490,3	980,7
$0,102 F$	5	10	20	30	50	100
HV	HV 5	HV 10	HV 20	HV 30	HV 50	HV 100

Pri mjerenju tvrdoće veoma tankih slojeva upotrebljavamo sile pritiska od 2...50 N; pri mjerenju mikrotvrdoće (tvrdoće sastavina zmatih materijala) i manje sile od 2 N.

Vrijednosti Vickersove tvrdoće HV (HV 5, HV 10, HV 100) sahrane su u tablicama na str. 326 do 329

Za jednake otiske nekom drugom silom  $F'$  iznosi Vickersova tvrdoća

$$HV = HV' \cdot \frac{F'}{F}$$

Tvrdoća po Vickersu HV je do vrijednosti 250 HV brojčano jednaka tvrdoći po Brinellu HB

$$250 HV \approx 250 HB$$

povrh ove vrijednosti raste Vickersova tvrdoća brže nego Brinellova, tako da je

$$420 HV \approx 400 HB$$

### Tvrdoća po Vickersu HV 5

pri sili pritiska  $F = 49,03$  N ( $0,102 F = 5$ )

za promjere otisaka  $d = 0,056 \dots 0,099$  mm

$d$ mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,056						2 957	2 854	2 756	2 664	
0,06	2 576	2 492	2 412	2 336	2 264	2 195	2 129	2 065	2 005	2 948
0,07	892	1 859	1 789	1 720	1 653	1 648	1 605	1 564	1 524	1 486
0,08	1 449	1 413	1 379	1 346	1 314	1 283	1 254	1 225	1 197	1 171
0,09	1 145	1 121	1 098	1 076	1 054	1 033	1 013	995	978	962

### Tvrdoća po Vickersu HV 10

pri sili pritiska  $F = 98,07$  N ( $0,102 F = 10$ )

za promjere otisaka  $d = 0,100 \dots 0,549$  mm

$d$ mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,10	1 855	1 818	1 782	1 748	1 715	1 682	1 651	1 620	1 590	1 561
0,11	533	1 505	1 478	1 452	1 427	1 402	1 378	1 355	1 332	1 310
0,12	1 288	1 267	1 246	1 226	1 206	1 187	1 168	1 150	1 132	1 114
0,13	1 097	1 081	1 064	1 048	1 033	1 018	1 003	988	974	960
0,14	946	933	920	907	894	882	870	858	847	835
0,15	834	819	803	789	782	772	762	752	743	734
0,16	724	715	705	696	690	681	673	665	657	649
0,17	642	634	627	620	613	606	599	593	585	579
0,18	572	566	560	554	548	542	536	530	525	519
0,19	514	508	503	498	493	488	483	478	473	468
0,20	464	459	454	450	446	441	437	433	429	425
0,21	421	417	413	409	405	401	397	394	390	387
0,22	383	380	376	373	370	366	363	360	357	354
0,23	351	348	345	342	339	336	333	330	327	325
0,24	327	325	323	321	319	316	314	312	310	308
0,25	297	294	292	290	287	285	283	281	279	276
0,26	274	272	270	268	266	264	262	260	258	256
0,27	254	253	251	249	247	245	243	242	240	238
0,28	237	235	233	232	230	228	227	225	224	222
0,29	221	219	218	216	215	213	212	210	209	207
0,30	206	205	203	202	201	199	198	197	195	194
0,31	193	192	191	189	188	187	186	185	183	182
0,32	181	180	179	178	177	176	174	173	172	171
0,33	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161
0,34	160	159	159	158	157	156	155	154	153	152
0,35	151	151	150	149	148	147	146	145	144	144
0,36	143	142	142	141	140	139	138	138	137	136
0,37	135	135	134	133	133	132	131	130	130	129
0,38	128	128	127	126	126	125	124	124	123	123
0,39	122	121	121	120	119	119	118	118	117	116
0,40	116	115	115	114	114	113	113	112	111	111
0,41	110	110	109	108	108	108	107	107	106	106
0,42	105	105	104	104	103	103	102	102	101	101
0,43	100	99,8	99,4	98,9	98,5	98,0	97,6	97,1	96,7	96,2
0,44	95,8	95,4	94,9	94,5	94,1	93,6	93,2	92,8	92,4	92,0
0,45	91,6	91,2	90,8	90,4	90,0	89,5	89,2	88,8	88,4	88,0
0,46	87,6	87,3	86,9	86,5	86,1	85,8	85,4	85,0	84,7	84,3
0,47	84,0	83,6	83,2	82,9	82,5	82,2	81,8	81,5	81,2	80,8
0,48	80,5	80,2	79,8	79,5	79,2	78,8	78,5	78,2	77,9	77,6
0,49	77,2	76,9	76,6	76,3	76,0	75,7	75,4	75,1	74,8	74,5
0,50	74,2	73,9	73,6	73,3	73,0	72,7	72,4	72,1	71,9	71,6
0,51	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,7	69,4	69,1	68,8
0,52	68,6	68,3	68,1	67,8	67,5	67,3	67,0	66,8	66,5	66,3
0,53	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64,8	64,6	64,3	64,1	63,8
0,54	63,6	63,4	63,1	62,9	62,7	62,4	62,2	62,0	61,8	61,5

**Tvrdoća po Vickersu HV 10**

pri sili pritiska  $F = 98,07 \text{ N}$  ( $0,102 \text{ F} = 10$ )  
za promjere otisaka  $d = 0,550 \dots 0,999 \text{ mm}$

d mm	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
0,55	61,3	61,1	60,9	60,6	60,4	60,2	60,0	59,8	59,6	59,3
0,56	59,1	58,9	58,7	58,5	58,3	58,1	57,9	57,7	57,5	57,3
0,57	57,1	56,9	56,7	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	55,5	55,3
0,58	55,1	54,9	54,7	54,6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,6	53,5
0,59	53,3	53,1	52,9	52,7	52,6	52,4	52,2	52,0	51,9	51,7
0,60	51,5	51,3	51,2	51,0	50,8	50,7	50,5	50,3	50,2	50,0
0,61	49,8	49,7	49,5	49,4	49,2	49,0	48,9	48,7	48,6	48,4
0,62	48,2	48,1	47,9	47,8	47,6	47,5	47,3	47,2	47,0	46,9
0,63	46,7	46,6	46,4	46,3	46,1	46,0	45,8	45,7	45,6	45,4
0,64	45,3	45,1	45,0	44,9	44,7	44,6	44,4	44,3	44,2	44,0
0,65	43,9	43,8	43,6	43,5	43,4	43,2	43,1	43,0	42,8	42,7
0,66	42,6	42,4	42,3	42,2	42,1	41,9	41,8	41,7	41,6	41,4
0,67	41,3	41,2	41,1	40,9	40,8	40,7	40,6	40,5	40,3	40,2
0,68	40,1	40,0	39,9	39,8	39,6	39,5	39,4	39,3	39,2	39,1
0,69	39,0	38,8	38,7	38,6	38,5	38,4	38,3	38,2	38,1	38,0
0,70	37,8	37,7	37,6	37,5	37,4	37,3	37,2	37,1	37,0	36,9
0,71	36,8	36,7	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,1	36,0	35,9
0,72	35,8	35,7	35,6	35,5	35,4	35,3	35,2	35,1	35,0	34,9
0,73	34,8	34,7	34,6	34,5	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0
0,74	33,9	33,8	33,7	33,6	33,5	33,4	33,3	33,2	33,1	33,1
0,75	33,0	32,9	32,8	32,7	32,6	32,5	32,4	32,3	32,2	32,2
0,76	32,1	32,0	31,9	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4
0,77	31,3	31,2	31,1	31,0	31,0	30,9	30,8	30,6	30,6	30,6
0,78	30,5	30,4	30,3	30,2	30,2	30,1	30,0	29,9	29,9	29,8
0,79	29,7	29,6	29,6	29,5	29,4	29,3	29,3	29,2	29,1	29,0
0,80	29,0	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,5	28,4	28,3	28,3
0,81	28,3	28,2	28,1	28,1	28,0	27,9	27,9	27,8	27,7	27,6
0,82	27,6	27,5	27,4	27,4	27,3	27,2	27,2	27,1	27,0	27,0
0,83	26,9	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4	26,3
0,84	26,3	26,2	26,2	26,1	26,0	26,0	25,9	25,8	25,8	25,7
0,85	25,7	25,6	25,5	25,5	25,4	25,4	25,3	25,2	25,1	25,1
0,86	25,1	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,7	24,6	24,6	24,6
0,87	24,5	24,4	24,4	24,3	24,3	24,2	24,2	24,1	24,0	24,0
0,88	23,9	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	23,6	23,5	23,5
0,89	23,4	23,4	23,3	23,3	23,2	23,2	23,1	23,0	23,0	22,9
0,90	22,9	22,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4
0,91	22,4	22,3	22,3	22,2	22,2	22,1	22,1	22,0	22,0	22,0
0,92	21,9	21,9	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5
0,93	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,1	21,0
0,94	21,0	20,9	20,9	20,9	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6
0,95	20,5	20,5	20,5	20,4	20,4	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2
0,96	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8
0,97	19,7	19,7	19,6	19,6	19,5	19,5	19,5	19,4	19,4	19,3
0,98	19,3	19,3	19,2	19,2	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
0,99	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,6	18,6	18,6

**Tvrdoća po Vickersu HV 100**

pri sili pritiska  $F = 980,7 \text{ N}$  ( $0,102 \text{ F} = 100$ )  
za promjere otisaka  $d = 1,00 \dots 1,99 \text{ mm}$

d mm	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
1,0	185	182	178	175	171	168	165	162	159	156
1,1	153	151	148	145	143	140	138	135	131	131
1,2	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
1,3	110	108	106	105	103	102	100	98,8	97,4	96,0
1,4	94,6	93,5	92,6	90,7	89,4	88,2	87,5	85,8	84,7	83,5
1,5	82,4	81,3	80,5	79,2	78,2	77,2	76,7	75,2	74,3	73,4
1,6	72,4	71,5	70,7	69,8	69,0	68,1	67,5	66,5	65,7	64,9
1,7	64,2	63,4	62,7	62,0	61,3	60,6	59,9	59,2	58,5	57,9
1,8	57,2	56,6	56,0	55,4	54,8	54,2	53,6	53,0	52,5	51,9
1,9	51,4	50,8	50,3	49,8	49,3	48,8	48,3	47,8	47,3	46,8

**Korekturni faktori**

$d$  – srednja dijagonala otiska,  $D$  – promjer ispitnog uzorka

d/D	Kuglasta površina		Valjkasta površina*			
	kružna	konkavna	kružna	kružna	kružna	konkavna
0,005	0,994	1,006	-	-	-	-
0,01	0,989	1,013	0,994	1,006	0,995	1,006
0,015	0,983	1,019	0,991	1,009	0,992	1,009
0,02	0,978	1,025	0,988	1,012	0,990	1,013
0,025	0,973	1,031	0,986	1,015	0,987	1,016
0,03	0,968	1,038	0,982	1,018	0,985	1,020
0,035	0,963	1,045	0,980	1,021	0,982	1,024
0,04	0,958	1,053	0,977	1,024	0,980	1,028
0,045	0,953	1,060	0,974	1,027	0,978	1,031
0,05	0,949	1,068	0,971	1,030	0,977	1,037
0,06	0,941	1,085	0,966	1,036	0,973	1,047
0,07	0,931	1,103	0,961	1,043	0,969	1,059
0,08	0,924	1,122	0,956	1,049	0,966	1,071
0,09	0,917	1,143	0,950	1,056	0,964	1,085
0,10	0,910	-	0,945	1,062	0,961	1,100
0,11	0,903	-	0,940	1,069	0,959	1,118
0,12	0,896	-	0,935	1,076	0,956	1,140
0,13	0,890	-	0,930	1,082	0,954	-
0,14	0,884	-	0,925	1,089	0,952	-
0,15	0,878	-	0,920	1,096	0,951	-
0,16	0,873	-	0,915	1,105	0,949	-
0,17	0,868	-	0,910	1,111	0,948	-
0,18	0,863	-	0,905	1,118	0,946	-
0,19	0,858	-	0,900	1,126	0,945	-
0,20	0,851	-	0,895	1,135	0,944	-
0,21	-	-	-	1,141	0,943	-
0,22	-	-	-	1,148	0,941	-

\* × dijagonale otiska pod 45° s osi uzorka

+ jednu dijagonala otiska paralelna s osi uzorka

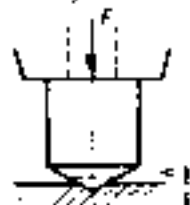
### 3. Ispitivanje tvrdoće kovina po Rockwellu (ISO, JUS C.A4.031-1980)

Pri Rockwellovoj metodi utiskuje se određenom silom u površinu ispitivana materijala posebnim utiskivačem, pri čemu se ne mjeri površina otiska, već njegova dubina. Utiskivač je dijamantni stožac vršnoga kuta  $120^\circ$  (i polupjera zaokružnja 0,2 mm) ili čelična kuglica promjera 1,5875 mm.

Utiskivač se pritisne na površinu ispitivanoga materijala početnom silom  $F_0$ , pri čemu se dobiva otisak dubine  $h_0$ . To je ishodišni položaj za koji valja mjerilo za dubinu namjestiti na ishodišnu vrijednost »0«. Nato se poveća pritisak utiskivača (u vremenu od 4 do 8 s) dodatnom silom  $F_1$  na ukupnu silu  $F$ . Vrijeme opterećenja ukupnom silom  $F$  ovisno je o naklonosti ispitivanoga materijala puženju i traje od 2 s (za materijal bez pojave puženja) do više od 30 s (za materijal s pojavama puženja). Potom se ukloni dodatna sila  $F_1$  te se pri opterećenju početnom silom  $F_0$  očita na mjerilu dubina otiska  $e$  (mm).

Debljina ispitnog uzorka mora iznositi najmanje 8  $e$ .

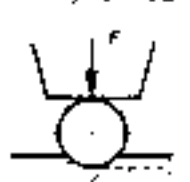
#### a) Određivanje tvrdoće stožcem



Najviše se upotrebljava postupak HRC (za kaljeni čelik i slitine), u posebnim slučajevima još i postupci HRA (za tvrde metale) i HR15N, HR30N i HR45N (za tanke uzorke ili male ispitne plohe). Pritisna sila i odgovarajuća tvrdoća su:

Postupak	HRC	HRA	HR15N	HR30N	HR45N
$F_0$ N	98,07	98,07	29,42	29,42	29,42
Sila $F_1$ N	1471	490,3	117,7	264,8	411,9
$F$ N	1471	588,4	147,1	294,2	441,3
HR	100-500 $e$		100-1000 $e$		

#### b) Određivanje tvrdoće kuglicom



Najviše se upotrebljava postupak HRB (za nekaljeni čelik, mjed, bronce), za posebne svrhe još i postupci HRF (za hladno valjani tanki lim, bakar), HRG (za slitine bakra s fosforom) te HR15T, HR30T i HR45T (za vrlo tanke uzorke ili male ispitne plohe). Pritisna sila i tvrdoća su:

Postupak	HRB	HRF	HRG	HR15T	HR30T	HR45T
$F_0$ N	98,07	98,07	98,7	29,42	29,42	29,42
Sila $F_1$ N	887,6	490,3	1373	117,7	264,8	411,9
$F$ N	980,7	588,4	1471	147,1	294,2	441,3
HR	100-500 $e$			100-1000 $e$		

### Područja upotrebljivosti postupka za ispitivanje tvrdoće po Rockwellu pri različitim dubinama otiska $e$

$e$ mm	HRC	HRA	HR 15N	HR 30N	HR 45N	HRB	HRF	HRG	HR 15T	HR 30T	HR 45T
0,010			90						90		
0,020		90	80	80					80	90	
0,030		85	70	70	70				70	70	70
0,040		80		60	60				60	60	60
0,050		75		50	50				50	50	50
0,060	70	70		40	40	100	100	100		40	40
0,070	65	65			30	95	95	95		30	30
0,080	60	60			20	90	90	90		20	20
0,090	55					85	85	85		10	10
0,100	50					80	80	80			
0,110	45					75	75	75			
0,120	40					70	70	70			
0,130	35					65	65				
0,140	30					60	60				
0,150	25					55					
0,160	20					50					
0,170						45					
0,180						40					
0,190						35					

### Ispitane vrijednosti tvrdoće po Rockwellu pri ispitivanju tvrdoće na valjkastim (konveksnim) ploham promjera $d$

HR	$d$ (mm)			HR	$d$ (mm)		
	10	16	25		10	16	25
HRB				HRB			
HRA				HRF			
				HRG			
20		21,5	21,5	30	-	34,0	32,0
30		27,0	27,0	40	-	44,0	42,0
40	42,5	41,5	41,0	50	-	53,5	52,0
50	52,0	51,0	50,5	60	65,0	63,0	62,0
60	61,5	60,5	60,5	70	74,0	72,5	71,5
70	71,0	70,5	70,5	80	83,5	82,0	81,5
80	80,5	80,5	80,0	90	93,0	91,5	91,0
90	90,0	90,0	90,0	100	102,5	101,5	100,5
HRN				HR15T			
20	22,0	21,5	21,5	20	-	-	22,0
30	32,0	31,5	31,0	30	-	-	32,0
40	41,5	41,0	41,0	40	-	43,0	42,0
50	51,5	51,0	50,5	50	-	52,5	51,5
60	61,0	61,0	60,5	60	63,0	62,0	61,5
70	71,0	70,5	70,5	70	72,5	71,5	71,0
80	80,5	80,5	80,0	80	81,5	81,0	80,5
90	90,0	90,0	90,0	90	91,0	90,5	90,5

Približan odnos različitih mjera

Brinella HB	Tvrdća po		Čvrstoća želika u N/mm <sup>2</sup>			
	Vickersa HV	Rockwellu		C	Cr	Cr-Ni
		HRB	HRC			
	1175		70	1720	2640	2500
	1085		68	1680	2610	2530
	1000		66	1600	2490	2470
	940		64	1460	2390	2320
	845		62	1350	2290	2220
	790		60	1260	2200	2130
	735		58	1160	2100	2040
	692		57	1080	2020	1970
	645		55	1000	1940	1880
	608		53	1920	1870	1820
	575		52	1850	1800	1750
	546		50	1780	1730	1680
	520		49	1720	1670	1620
	496		47	1660	1610	1570
	473		46	1600	1550	1510
	454		45	1550	1510	1460
	427	112	44	1490	1450	1410
400	420	114	42	1430	1400	1360
385	404	114	41	1400	1360	1320
375	389	113	40	1350	1310	1280
363	375	113	38	1310	1270	1240
352	364	112	37	1270	1230	1200
341	350	111	36	1220	1190	1160
330	339	111	35	1190	1160	1130
321	327	110	34	1160	1120	1090
311	316	109	33	1120	1090	1060
302	305	108	32	1090	1060	1030
293	296	107	31	1040	1020	990
285	287	107	30	1020	1000	970
277	279	106	29	1000	970	940
269	270	105	28	970	940	920
262	263	104	26	940	920	890
255	256	103	25	920	890	870
248	248	102	24	890	870	840
241	241	101	23	870	840	820
235	235	100	22	850	820	800
229	229	99	21	820	800	780
223	223	98	20	800	780	760
217	217	97	19	780	760	740
212	212	96	18	760	740	720

tvrdće i čvrstoće želika

Tvrdća po				Čvrstoća želika u N/mm <sup>2</sup>		
Brinella HB	Vickersa HV	Rockwellu		C	Cr	Cr-Ni
		HRB	HRC			
207	207	95	17	750	730	700
201	201	94	16	720	700	680
197	197	93	15	710	690	670
192	192	92	14	690	670	650
187	187	91		670	660	640
183	183	90		660	640	620
179	179	89		640	630	610
174	174	88		630	610	590
170	170	87		610	600	580
167	167	86		600	580	560
163	163	85		590	570	550
159	159	84		570	560	540
156	156	83		560	550	530
152	152	82		550	530	520
149	149	81		540	520	510
146	146	80		520	510	500
143	143	79		520	500	490
140	140	78		500	490	480
137	137	77		490	480	470
133	133	76		480	470	460
131	131	75		470	460	450
129	129	74		460	450	440
126	126	73		450	440	430
123	123	72		440	430	420
121	121	71		440	420	410
118	118	69		430	410	400
116	116	68		420	410	390
114	114	67		410	400	390
111	111	65		400	390	380
109	109	64		390	380	370
107	107	62		390	380	360
105	105	61		380	370	360
103	103	60		370		
101	101	58		360		
99	99	56		360		
97	97	54		350		
95	95	52		340		
92				330		
89				320		
86				310		

#### 4. Ispitivanje tvrdoće plastičnih tvari

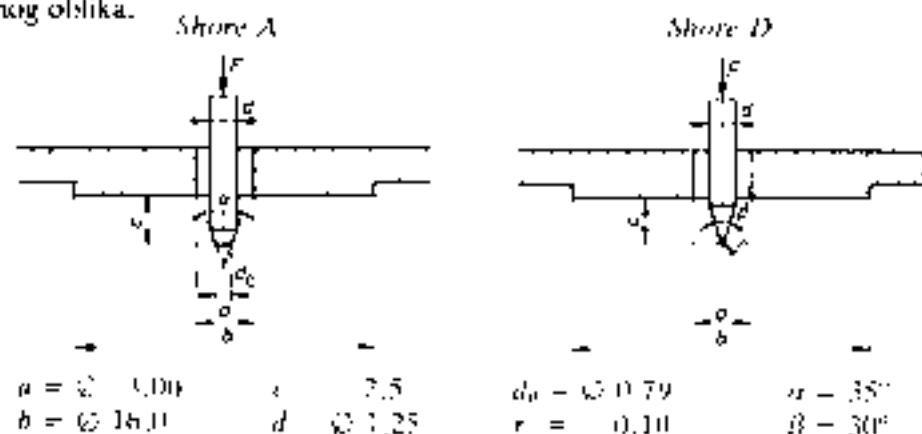
Za ispitivanje tvrdoće termoplasta i gume upotrebljavaju se postupci:

- za meke ispitne uzorke - postupak Shore A
- za tvrde ispitne uzorke - postupak Shore D.

Za točnija ispitivanja upotrebljava se postupak IRHD.

a) Postupci Shore A i Shore B (JUS G.S2.12S - 1986 i G.S2.52S - 1984)

Ispitni uzorak (debljine  $\geq 6$  mm, promjera  $\geq 30$  mm) pritisnemo na podlogu pritisnom pločom s rupom, kroz koja utiskujemo utisnu iglu određene oblika.



Pritisnom pločom pritisnemo epruvetu na podlogu silom 12,5 N (Shore A) odnosno 50 N (Shore D).

Utisnu iglu utiskujemo u uzorke oprugom, čija se opružna sila  $F$  (N) mijenja s dubinom otiska  $h$  (mm) prema jednadžbama:

- za postupak Shore A:  $F = 8,065 - 3,006 h$
- za postupak Shore D:  $F = 44,50 - 17,8 h$

Tvrdoća  $H$  po postupcima Shore A i D određena je dubinom otiska  $h$ :

$$H = 100 - 40 h$$

tako da je:

- $H = 0 \text{ Sh}$  pri  $h = 2,5$  mm
- $H = 100 \text{ Sh}$  pri  $h = 0$  mm

Primjer oznake tvrdoće po postupku Shore A pri nastaloj dubini otiska  $h = 0,8$  mm  $H = 68 \text{ Sh A}$ .

Temperatura ispitivanja je  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Jedinice tvrdoće po Shore	Dubina otiska $F$ (N)	Opružna sila $F$ (N)	
		Shore A	Shore D
0	2,5	0,55	0
10	2,25	1,30	4,45
20	2,0	2,05	8,90
30	1,75	2,805	13,35
40	1,5	3,555	17,80
50	1,25	4,305	22,25
60	1,0	5,06	26,70
70	0,75	5,81	31,15
80	0,5	6,56	35,60
90	0,25	7,31	40,05
100	0	8,065	44,50

b) Postupak po međunarodnoj skali za tvrdoću za gumu IRHD (International Rubber Hardness Degree) (JUS G.S2.143 - 1986)

Po tom se postupku ispituje u prvom redu tvrdoća (meke) gume i to utisnom dubinom  $h$  (mm) čelične kuglice, određenog promjera  $D$ , pri određenoj sili pritiska.

Ispitne uzorke pritišćemo na podlogu pritisnom pločom silom 8,3 N.

Početna sila pritiska na kuglicu iznosi 0,3 N, dodatna 5,4 N, a ukupna 5,7 N. Mjeri se dubina otiska  $h$  koji određuje tvrdoću IRHD po sljedećoj tablici, a za ispitivanje kuglicom promjera  $D$ :

- za manju tvrdoću  $D = 5$  mm
- za osrednju tvrdoću  $D = 2,5$  mm
- za veliku tvrdoću  $D = 1$  mm

$D = 5$ mm		$D = 2,5$ mm		$D = 1$ mm	
$h$ mm	IRHD	$h$ mm	IRHD	$h$ mm	IRHD
1,10	34,9	2,10	17,8	0,00	100
1,15	33,6	2,15	17,3	0,05	99,3
1,20	32,4	2,20	16,8	0,10	97,1
1,25	31,2	2,25	16,3	0,15	94,0
1,30	30,0	2,30	15,8	0,20	90,6
1,35	29,0	2,35	15,3	0,25	87,1
1,40	28,0	2,40	14,9	0,30	83,6
1,45	27,0	2,45	14,5	0,35	80,2
1,50	26,1	2,50	14,1	0,40	77,0
1,55	25,2	2,55	13,7	0,45	73,9
1,60	24,4	2,60	13,4	0,50	71,0
1,65	23,6	2,65	13,0	0,55	68,2
1,70	22,8	2,70	12,7	0,60	65,5
1,75	22,0	2,75	12,4	0,65	63,0
1,80	21,3	2,80	12,1	0,70	60,6
1,85	20,7	2,85	11,8	0,75	58,3
1,90	20,1	2,90	11,5	0,80	56,2
1,95	19,5	2,95	11,2	0,85	54,2
2,00	18,9	3,00	11,0	0,90	52,3
2,05	18,4	3,05	10,7	0,95	50,5

Primjer oznake tvrdoće po postupku IRHD:  $H = 70 \text{ IRHD}$

**Određivanje temperature smekčavanja termoplasta - po Vicatu**  
(JUS G.S2.641 - 1970)

Upotrebljavamo ispitni uzorak oblika kvadratne pločice, bridova 10 mm i debljine 3...6,4 mm.

Određujemo temperaturu pri kojoj se utisna igla, promjera kružnog presjeka  $1,000 \pm 0,015$  mm utisne 1 mm duboko u uzorak pri opterećenju koje iznosi 9,81 N po metodi A ili 49,03 N po metodi B.

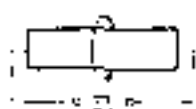
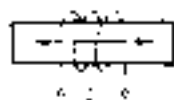
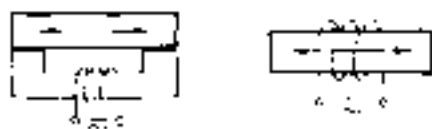
Ispitni uzorak zagrijavamo u tekućini (npr. u parafinu, glicerinu, transformatorskom ili silikonskom ulju i sl.).



**Magnetsko ispitivanje**

Predmete koji se mogu magnetizirati (sivi lijev, čelik) premažemo slojem njetkog ulja (petroleja) kojemu smo dodali željeznog praha te ih magnetiziramo. U homogenom materijalu nastaje jednoliko magnetsko polje, pri čemu se i željezni prah raspodijeli jednoliko. Svaka nehomogenost u materijalu (šupljine, strana tijela) ili sitne, za oko nevidljive pukotine, uzrokuju otklon magnetskog polja, što se očituje u nejednolikoj raspodjeli željeznog praha na površini i time se otkrivaju pogreške. One će se pokazati iako su pod površinom.

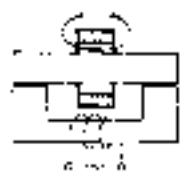
Otklon magnetskog polja osobito je jak ako su pogreške okomite na smjer magnetskog polja, dok pogreške u smjeru polja na nj bitno ne utječu. Zato predmet treba ispitivati u magnetskim poljima koja su međusobno okomita, kako bismo mogli otkriti sve pogreške.



a) Za poprečno smještene pogreške magnetiziramo predmet pomoću magneta ili električnog svitka. Magnetsko je polje usmjereno uzduž predmeta te otkriva poprečne pogreške.

b) Za uzdužne pogreške uključujemo predmet kao otpornik u električni vod kojim teče jaka struja (200...1500 A). Ta struja izaziva

okomito na svoj smjer (tj. poprečno) magnetsko polje, koje otkriva uzdužne pogreške. Ako je predmet šupalj, provlačimo električni vodič kroz šupljinu.



šuplji predmet možemo upotrijebiti i kao sekundarni namot transformatora pa time u njemu otkrivamo poprečne pogreške (lijeva slika).

Kombinirani uređaji omogućuju pregled na oba načina (desna slika).

**Ispitivanje ultrazvukom**

Ultrazvuk je mehaničko titranje frekvencijom  $f > 20$  kHz. U biti on ima ista svojstva kao i čujni zvuk ( $f = 16...20000$  Hz), ali se ultrazvukom može prenositi mnogo veća energija, koju iskoristavamo za ispitivanje materijala.

Ultrazvuk dobivamo na različite načine. Za ispitivanje materijala najčešće upotrebljavamo piezoelektrični efekt kremenog kristala, tj. njegovu deformaciju zbog djelovanja električnog polja. Izložimo li takav kristal djelovanju izmjeničnog električnog napona, on će se rastezati i stezati s frekvencijom napona. Nastat će mehaničko titranje – ultrazvuk.

Ultrazvuk prenosimo na okolinu prisnim dotirom kremenog kristala s površinom predmeta. Kroz homogeni materijal prodire ultrazvuk veoma dobro. Dubina prodiranja ultrazvuka ovisna je o njegovoj frekvenciji i o materijalu. Ako je dovoljno jak, prodire do suprotne plohe predmeta (stijenke) i od nje se odbija. Na taj način možemo – pomoću reflektiranog zvuka – odrediti debljinu predmeta. Najmanji prekidi u materijalu (već i zračni raspor širine od samo  $10^{-3}$  mm) za ultrazvuk su skoro nepremostiva zapreka, to veća, što je frekvencija zvuka viša. Na tim se zaprekama ultrazvuk odbija, a reflektirani ultrazvuk ih otkriva.

Ispitivanje sivog lijeva ultrazvukom gotovo da ne dolazi u obzir zbog prevelike apsorpcije zvuka u njemu.

**Ispitivanja rendgenskim zrakama**

Rendgenske su zrake elektromagnetski titraji valne duljine 0,2 do 0,0112 nm. Zrake veće valne duljine (oko 0,1 nm) nazivamo «mekim», a one manje valne duljine «tvrdim». Što su rendgenske zrake tvrđe, to lakše prodire kroz tvar – ona ih manje apsorbira. Energija rendgenskih zraka mora biti to veća, što je deblji materijal kroz koji treba da prodru.

Rendgenske zrake, koje dobivamo rendgenskim cijevima, upotrebljavamo za ispitivanje materijala, i to za:

a) finostrukturno ispitivanje, koje se zasniva na svojstvu rendgenskih zraka, da se u kristalima ogibaju i odbijaju. Time nam otkrivaju razmještaj atoma u kristalima i smjer osi kristala;

b) grubostrukturno ispitivanje, koje se zasniva na svojstvu rendgenskih zraka, da ih tvrdi manje gustoće slabije apsorbiraju nego gušće tvari. Rendgenske zrake, koje izviru gotovo iz točke i šire se pravocrtno, bacaju na fluorescentni zaslon ili na fotografsku ploču sjene različite jakosti, prema tome je li tvar gušća ili rjeđa, i tako otkrivaju njihove oblike. Na taj način opažamo – bez oštećivanja materijala – pogreške u nutrini materijala (šupljine, pukotine, trosku itd.) Najfinije pak pukotine (koje ustanovljujemo ultrazvukom) ne možemo zapaziti rendgenskim zrakama.

Pri ispitivanju rendgenskim zrakama služimo se uređajem u kojemu je rendgenska cijev pod naponom od 80...300 kV (iznimno i do 600 kV). Probajna moć iznosi:

pri 80 kV — 40 mm Al	pri 200 kV — 60 mm Fe
pri 110 kV — 100 mm Al	pri 230 kV — 60 mm Cu

**Ispitivanje  $\gamma$ -zrakama**

$\gamma$ -zrake su elektromagnetski valovi duljine oko 0,0005 nm ( $= 0,5$  pm). Te su zrake tvrđe od rendgenskih i stoga dublje prodire u materijal.  $\gamma$ -zrake dobivamo iz radija ili mezotorija, te – u novije vrijeme – osobito iz izotopa kobalta 60. Pomoću tih zraka možemo ispitivati materijal do debljine 250 mm. Sliku što je daju  $\gamma$ -zrake dobivamo na fotografskoj ploči, a osvetljavanje traje i po nekoliko dana.

**Kemijska analiza**

Kemijskom analizom određujemo kvalitativni i kvantitativni sastav materijala. Za određivanje glavnih sastavina dovoljno je nekoliko grama materijala; za određivanje primjesa i nečistoća potrebno je 10 do 50 grama, a iznimnim slučajevima pri analizi male količine nečistoća i do 1 kg.

Za brzo ustanovljivanje pojedinih elemenata u materijalu služimo se različitim postupcima karakterističnih površinskih reakcija, koje međutim otkrivaju samo sastav površinskog sloja.

**Spektralna analiza**

U užarenom stanju atomi emitiraju svjetlosne zrake koje imaju za svaki element karakteristične valne duljine. Odgovarajuće spektralne crte ovise samo o kemijskom sastavu, dok njihov intenzitet ovisi o udjelu pojedinih elemenata u ispitivanoj tvari. Osjetljivost je toga postupka veoma velika i na taj se način mogu ustanoviti elementi kojih količina iznosi 0,01 % i manje. Zato je taj postupak osobito prikladan kod manjih koncentracija.

Spektralna je analiza ograničena na veoma usko područje užarenog mjesta na površini materijala. To, međutim, omogućuje i analizu sitnih stranah primjesa u materijalu.

Spektralnom analizom možemo nadomjestiti kvalitativnu, a u ograničenom opsegu i kvantitativnu kemijsku analizu. Za nju dostaju veoma mali djelići materijala; možemo je primijeniti i na gotovim predmetima, a da ih time ne oštetimo. Ako pak za spektralnu analizu izradujemo posebne ispitne uzorke, njihove su prikladne dimenzije 30 × 5 × 1 mm.

**Ispitivanje iskretnjem pri brušenju**

Za brzo, a grubo, razlikovanje pojedinih vrsta čelika, sivoga i temperovanog lijeva te tvrdih metala služe nam slike i boje pri brušenju, koje su karakteristične za pojedini materijal (vidi str. 339).

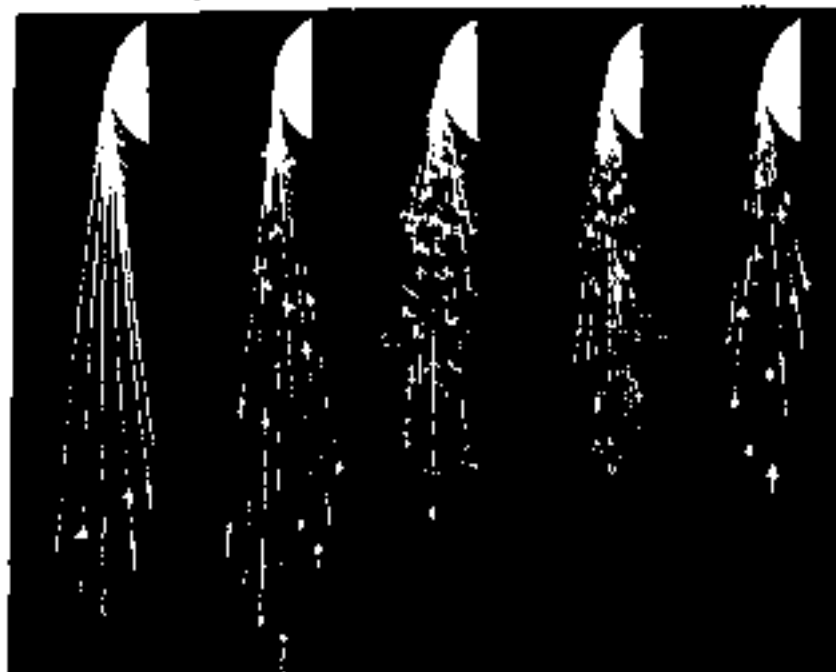
Ugljени konstrukcijski čelici se mogu po iskrama razlikovati za svakih 0,1 % C. Meke čelici daju snop iskara u obliku buzdovana s rijetkim zvjezdicama. S porastom količine C množe se i za nj karakteristične zvjezdice. Cr, Ni i W u čeliku smanjuju broj zvjezdica unatoč prisutnosti C. Cr se u čeliku razaznaje po žuto-crvenim iskrama, W po njihovoj tamno-crvenoj boji (brzorezni čelici). Tvrdi metali imaju vrlo kratke iskre tamno-sivene boje, bez zvjezdica.

Raspознаvanje čelika i srodnih kovina po brusnim iskrama zahtjeva veliko iskustvo. Za olakšanje raspoznavanja služe komadi za uspoređivanje tačno poznate vrste čelika.

Ispitivanje iskretnjem ne možemo primijeniti na neželjezne kovine i slitine.

Za ispitivanje iskretnjem upotrebljavamo polutvrdu brusnu ploču veličine zrna 60...80 pri brzini brušenja 20...35 m/s.

Ugljени čelici      Manganski      Nerđajući  
meki      polutvrđi      tvrdi      čelici      čelici



Cr-W-alatni      Brzorezni      Tvrdi      Sivi      Temperovani  
čelici      čelici      metali      lijev      lijev



## Metaloografski pregledi

**Makroskopski pregled** (pri povećanju do npr. 20 puta) otkiva šupljine, mjehure, pukotine, trosku, pogreške u valjanju itd.

**Mikroskopski pregled** (pri povećanju do 1000 puta i više) otkiva strukturu (raspored, oblik i veličinu kristalnih zrna), koja je ovisna o kemijskom sastavu i uvjetima skrućivanja te o naknadnoj obradi materijala (toploj i hladnoj).

Da bi struktura postala vidljivom, moramo površinu pokusnog predmeta izbrusiti smirkom, i to uvijek finijim, te konačno najfinije polirati. Za otkrivanje pojedinih sastavnih struktura mora se polirana površina jetkati. Sredstva za jetkanje ovise o vrsti materijala i svrsi pregleda.

Najuobičajenija sredstva za jetkanje pri metalografskim ispitivanjima su za čelik

— za nelegirane i legirane čelike: 2% -tna (za posebne slučajeve 4% -tna) alkoholna dušična kiselina;

— za nerđajuće kromne čelike: alkoholna solna kiselina;

— za austenitne čelike: alkoholna zlatotopka (carska vodica) sastava: 8 cm<sup>3</sup> dušične kiseline (1,40), 12 cm<sup>3</sup> solne kiseline (1,19) i 1000 cm<sup>3</sup> alkohola ili pak američko sredstvo: 7...8 cm<sup>3</sup> koncentrirane dušične kiseline, 2...3 cm<sup>3</sup> koncentrirane solne kiseline i 0,5 g bakrenog klorida CuCl<sub>2</sub> (to se sredstvo može samo kratkotrajno održati);

— za otkrivanje fosfornih segregata: Oberhofferovo sredstvo – 0,5 g kositrenog klorida SnCl<sub>2</sub>, 1,0 g bakrenog klorida CuCl<sub>2</sub>, 30 g željeznog klorida FeCl<sub>3</sub>, 30 cm<sup>3</sup> solne kiseline (1,19), 500 cm<sup>3</sup> destilirane vode i 500 cm<sup>3</sup> alkohola;

— za otkrivanje sumpornih segregata – Baumannov postupak: fotografski se papir (srebrni bromid) stavi kratko vrijeme u 5% -tnu sumpornu kiselinu, i zatim na staklenu ploču sa slojem prema gore. Na sloj pritiskujemo porčno-obišćenu brušenu plohu ispitivanog dijela 1 do 10 min, a potom papir kratko isperemo vodom i konačno fiksiramo u normalnoj fiksnoj kupelji (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

za bakar i bakrene slitine

— za bakar i α-mjedi: 10 g amonijeva persulfata otopljenog u 100 cm<sup>3</sup> vode (otopina mora biti uvijek svježe pripremljena);

— za bakar, α-β-mjedi i broncu: amonijačna otopina bakrenog klorida (10 g bakrenog amonijeva klorida otopi se u 120 cm<sup>3</sup> destilirane vode i doda toliko otopine amonijača da se prije nastali talog upravo otopi);

za plavo i olovne slitine

— otopina od 16 (ili 8) cm<sup>3</sup> dušične kiseline (1,40), 16 (ili 8) cm<sup>3</sup> octene kiseline i 68 (ili 84) cm<sup>3</sup> glicerina;

za aluminij i aluminijske slitine

— najprije 1 g natrijeve lužine u 100 cm<sup>3</sup> vode, zatim 5% -tna dušična kiselina

za magnezij i magnezijske slitine

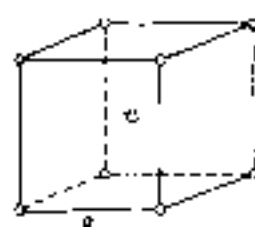
— razrijeđena alkoholna dušična kiselina.

## KOVINSKI MATERIJALI

### Kristalna struktura kovina

Sve kovine u krutom stanju imaju kristalnu strukturu. Njeni najčešći oblici su (mjere u nm):

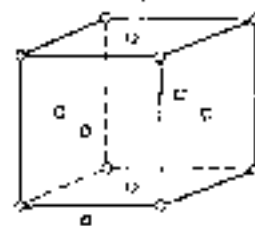
#### Kubna prostorna centrirana rešetka



Kovina	Dimenzija <i>a</i>	Promjer atoma <i>d</i>
Fe <sub>γ</sub>	0,286	0,248
Cr	0,288	0,250
V	0,303	0,262
Mo	0,314	0,272
W	0,316	0,274

Također: Fe<sub>α</sub>, Ti<sub>β</sub>, Nb, Ni, Ba, Ta

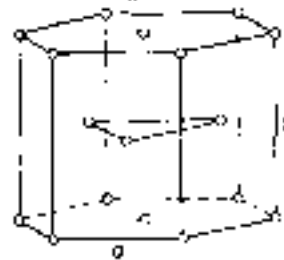
#### Kubna plošno centrirana rešetka



Kovina	Dimenzija <i>a</i>	Promjer atoma <i>d</i>
Fe <sub>γ</sub>	0,356	0,252
Ni	0,357	0,248
Cu	0,362	0,256
Al	0,405	0,286
Pb	0,496	0,350

Također: Co<sub>γ</sub>, Sr, Rh, Pd, Ce, Ag, Au, Pt, Ir

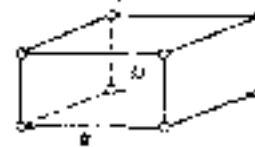
#### Heksagonalna rešetka



Kovina	Dimenzija <i>a</i>	Dimenzija <i>c</i>	Promjer atoma <i>d</i>
Co <sub>α</sub>	0,251	0,407	0,250
Ti <sub>α</sub>	0,295	0,473	0,292
Zn	0,266	0,294	0,260
Mg	0,320	0,520	0,320

Također: Zr, Te, Ru, Cd, Gd, Be, Os, Tl

#### Tetragonalna rešetka



Kovina	Dimenzija <i>a</i>	Dimenzija <i>c</i>	Promjer atoma <i>d</i>
Sn	0,583	0,318	0,302

As, Sb, Te i Bi imaju kompleksnu kristalnu strukturu.

Neke se kovine mogu pojaviti u više kristalnih oblika – *modifikaciju* (polimorfizam). Promjena modifikacije – *pretruba* – javlja se pri određenoj temperaturi, npr.

Fe <sub>α</sub> – Fe <sub>γ</sub> : 910 °C	Co <sub>α</sub> – Co <sub>β</sub> : 420 °C
Fe <sub>γ</sub> – Fe <sub>δ</sub> : 1390 °C	Ti <sub>α</sub> – Ti <sub>β</sub> : 882 °C

Mn i In kristaliziraju kubna i ortorombna.

Slitine su sastavljene od najmanje dviju komponenta od kojih je barem jedna kovina, dok je druga kovina, nekovina ili spoj. Legiranjem postizemo mnoga mehanička i druga fizikalna svojstva koja čiste kovine nemaju.

*Slitinama* nazivamo samo takve kovinske materijale kod kojih nekoj kovini namjerno dodajemo druge (kovinske ili nekovinske) komponente.

Kovinske materijale koji sadrže nenamjerno dodane (npr. pri dobivanju) druge komponente, uglavnom u malim količinama, ubrajamo u nečistoće.

Slitine nastaju od komponenta koje se u tekućem stanju — taljevi — međusobno otapaju. Komponente koje se međusobno otapaju i u krutom stanju stvaraju *kristale mješance*, i to u slučaju potpune topivosti u svim omjerima (koncentracijama) sastavina, a u slučaju djelomične topivosti samo do određenog sastava — zasićenja. Slitine takva sastava koji prelazi granicu zasićenja (otopinska praznina) mogu se sastojati samo od smjese kristala mješanaca. Mnoge slitine tvore (pri najnižoj temperaturi skrućivanja) osobito sitnozrnatu smjesu kristala mješanaca — *eutektik*.

*Binarni sistemi slitina* (sistemi slitina s dvjema komponentama)

Binarne (dvojne) sisteme slitina prikazujemo faznim dijagramima temperatura—sustav. U sljedećim dijagramima osnovnih binarnih sistema znače:  $t$  — taljevinu,  $A$  i  $B$  — komponente slitine,  $\alpha$  i  $\beta$  — kristale mješance (otopine  $B$  u kristalnoj rešetki  $A$ , odn.  $A$  u rešetki  $B$ ),  $E$  — eutektik.

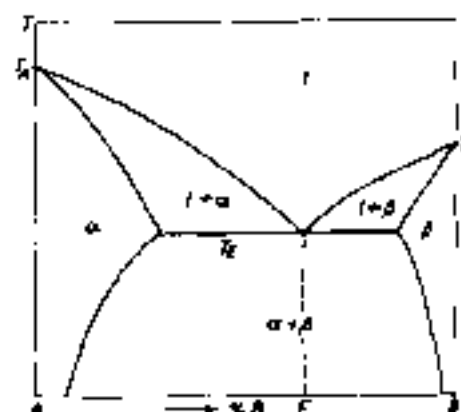
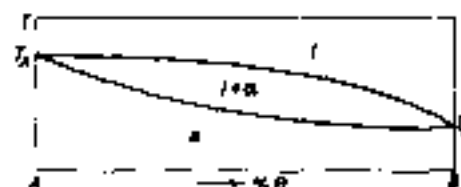
*Sistem potpune topivosti*

Komponente  $A$  i  $B$  otapaju se međusobno u krutom stanju u svim mogućim omjerima sastavina. Slitina je sastavljena od samih homogenih kristala mješanaca ( $\alpha$ )

*Sistem djelomične topivosti*

Komponente  $A$  i  $B$  otapaju se jedna u drugoj samo do određenog sastava (zasićenja). Slitina se do tog sastava sastoji od homogenih kristala mješanaca ( $\alpha$  i  $\beta$ ), a inače od heterogene smjese kristala ( $\alpha$ ,  $\beta$  i  $E$ ). Eutektik  $E$  je sitnozrnata smjesa kristala  $\alpha$  i  $\beta$  u tačno određenom omjeru.

*Potpune netopivosti* nema, ali područja kristala mješanaca ( $\alpha$  i  $\beta$ ) mogu biti tako neznatna (sastav kristala mješanaca pri zasićenju gotovo je jednak čistoj kovini) da djelomičnu topivost možemo u tom slučaju zanemariti.



### Čisto željezo

Pri zagrijavanju čistog željeza primjećujemo tri temperature (stojne) točke, u kojima određeno vrijeme zastaje porast temperature (zbog unutarnjih kristalnih promjena):

Stojište  $A_2 = 768^\circ\text{C}$  (=Curiejeva temperatura-) označuje temperaturnu granicu do koje je željezo magnetično. Modifikaciju željeza do te granice nazivamo  $\alpha$  (magnetično), a iznad te granice  $\beta$  (nemagnetično). Kristalna je struktura za obje modifikacije ista — kubna prostorno centrirana kristalna rešetka.

Točka pretvorbe  $A_1 = 910^\circ\text{C}$  — označuje promjenu kristalne strukture  $\beta$  u kubnu plošno centriranu rešetku, koju nazivamo modifikacijom  $\gamma$  (nemagnetična).

Točka pretvorbe  $A_4 = 1390^\circ\text{C}$  — označuje promjenu kristalne strukture  $\gamma$  u modifikaciju  $\delta$ , strukturno identičnu modifikaciji  $\beta$  (nemagnetična).

Talšte je čisto željezo na  $1534^\circ\text{C}$ .

Čisto željezo u čvrstom stanju kristalizira prema tome u dva oblika.

a) kao željezo  $\alpha - \text{Fe}_\alpha$  (koje obuhvaća kristalno jednake modifikacije  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\delta$ ), koje je magnetično do  $768^\circ\text{C}$ , nemagnetično između  $768$  i  $910^\circ\text{C}$  te između  $1390$  i  $1534^\circ\text{C}$ ,

b) kao  $\gamma$ -željezo —  $\text{Fe}_\gamma$  između  $910$  i  $1390^\circ\text{C}$ , nemagnetično.

U  $\alpha$ -željezu otapa se samo vrlo malo ugljika, a u  $\gamma$ -željezu može se otopiti do  $2,06\%$  (pri  $1147^\circ\text{C}$ ).

Čisto je željezo pri temperaturi okoline ( $\text{Fe}_0$ ) razmjerno veoma otporno prema koroziji, prilično je mekano ( $45 \dots 55 \text{ HB}$ ), male je čvrstoće ( $180 \dots 250 \text{ N/mm}^2$ ) i vrlo rastezljivo ( $50 \dots 40\%$ ). Zbog male čvrstoće i skupog dobivanja (elektrolizom) njegova je primjena u tehnici neznatna. Najviše iskorištujemo njegovu izvanrednu sposobnost za magnetiziranje.

### Tehničko željezo

Tehničko željezo sadrži uvijek ugljik  $C$  i neznatne primjese, preostale u procesu proizvodnje — stalne pratioce mangan ( $Mn$ ) i silicij ( $Si$ ) te nečistoće fosfor ( $P$ ) i sumpor ( $S$ ).

Ugljik ima najveći utjecaj na nelegirano tehničko željezo; već u dijelovima postotka snažno utječe na njegova svojstva.

Pri ugrijavanju željeza, koje sadrži ma i neznatnu količinu ugljika, opažamo još i (stojnu) točku  $A_1 = 723^\circ\text{C}$ .

Prema sadržaju ugljika tehničko željezo dijelimo na:

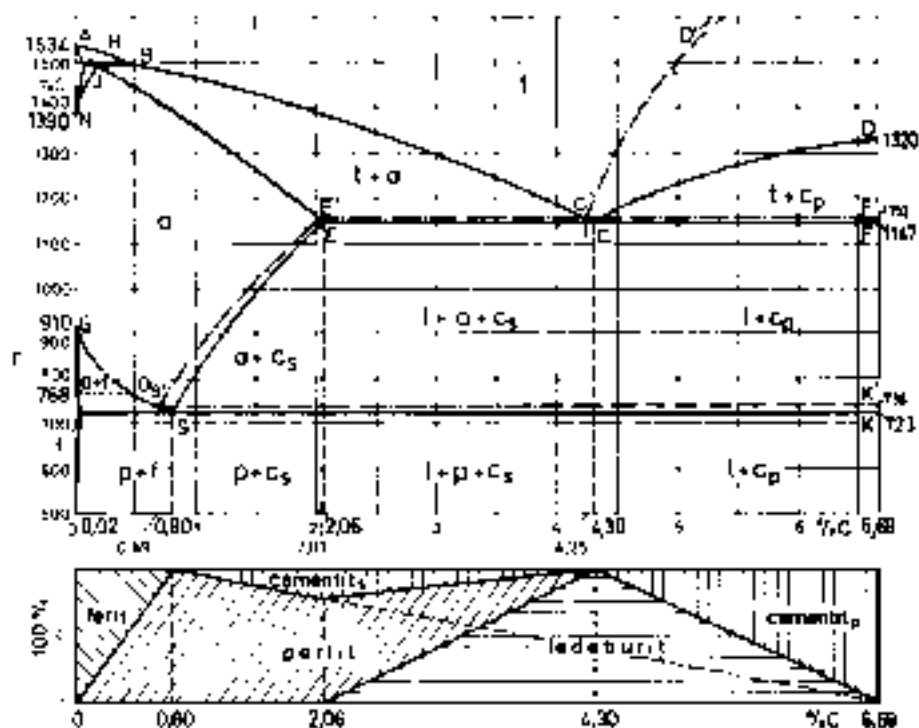
- čelik sa  $C < 2,06\%$ ,
- ljevano željezo sa  $C > 2,06\%$ .

Legirane vrste tehničkog željeza sadrže još i druge elemente, koji su namjerno dodani radi postizanja određenih svojstava.

## Sistem željezo-ugljik

Pune linije: metastabilni sistem Fe — Fe<sub>3</sub>C (željezo-cementit)

Isprekidane linije: stabilni sistem Fe — C (željezo-grafit)



t - taljevina, a — austenit, f — ferit, c<sub>1</sub> i c<sub>2</sub> — primarni i sekundarni cementit, l — ledeburit, p — perlit

Strukturalni sastojci u sistemu željezo-ugljik:

*ferit* je kristalni oblik α-željeza,

*austenit* je rastopinski kristal γ-željeza i ugljika (0...2,06% C)

*cementit* je kristalni oblik željeznog karbida Fe<sub>3</sub>C (6,69% C)

*ledeburit* je eutektik u sistemu željezo-cementit (4,30% C)

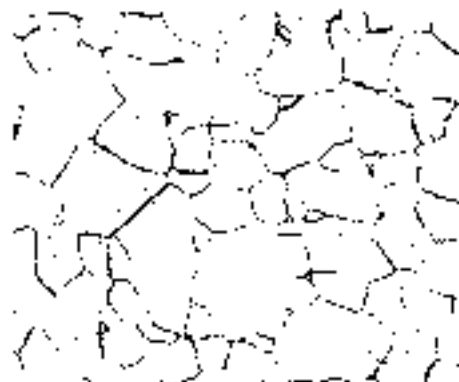
*perlit* je eutektoid željeza i cementita (0,80% C)

*grafit* je kristalni oblik ugljika C.

Mehanička svojstva strukturalnih sastavina (prosječne vrijednosti)

Sastavina	Čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Tvrdoća HV	Postot produlj. (%)
ferit	250 ... 300	90	35
austenit	750	210	60
cementit, ledeburit	—	850	—
perlit	700 ... 900	220	10
grafit	20	—	—

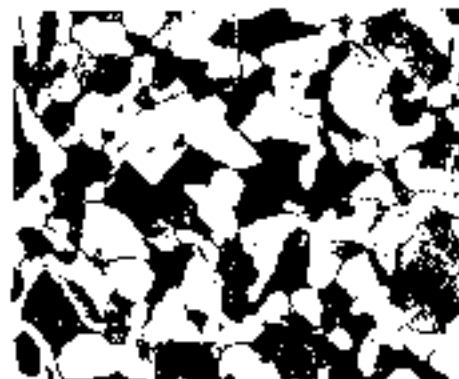
## Strukture čelika



Ferit (500 : 1)



Perlit (500 : 1)



Ferit i perlit 0,35% C (500 : 1)



Perlit i cementit 1,1% C (500 : 1)



Martenzit (500 : 1)

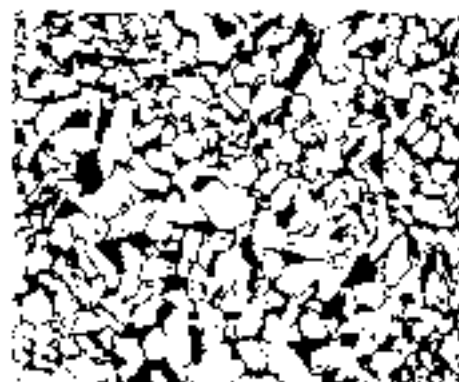


Zrnati cementit (500 : 1)

## Strukture lijeva



Čelčni ljev nakon lijevanja (100:1)



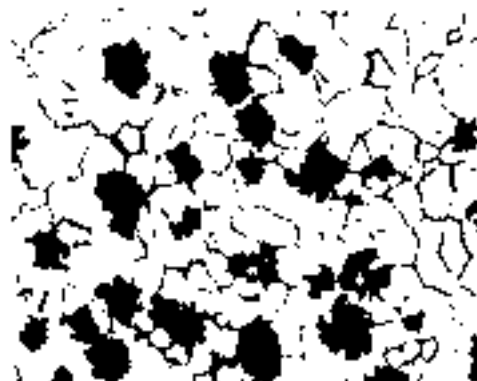
Čelčni ljev normaliziran (100:1)



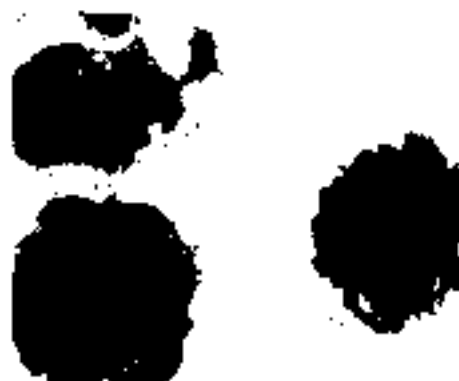
Bijeli ljev (200:1)



Sivi ljev (500:1)



Temperovani ljev - - crni (100:1)



Sivi ljev — nodularni (500:1)

## Skrucivanje po metastabilnom ili stabilnom sistemu željezo-ugljik

Čelici se sastoje od strukturnih sastavina metastabilnog sistema.

Lijevano se željezo sastoji od strukturnih sastavina obaju sistema metastabilnog i stabilnog. Željezni karbid  $Fe_3C$  (cementit) u željeznom lijevu ima metastabilan karakter. On nastaje (bijeli ljev) pri skrucivanju taljevine sirovog željeza u okolnostima koje sprječavaju njegovo raspadanje, tj. pri razmjerno brzom ohlađivanju i u prisutnosti izvjesnih elemenata, osobito Mn (te Mo, V, Cr, S). Pri polaganom ohlađivanju (ili dužem žarenju) željezni se karbid raspada, a ugljik se izlučuje u obliku kristalnih zrna (listića) grafitu. Taj raspad olakšava prisutnost nekih elemenata, osobito Si (te Al, Ni, Cu, P).

Pri potpunom izlučivanju ugljika osnovna se masa sastoji od ferita, u kojem zrna grafitu sadrže sav ugljik (feritni sivi ljev). Pri djelomičnom izlučivanju ugljika osnovna se masa sastoji od perlita, koji sadrži dio ugljika, a samo se ostatak ugljika izlučuje kao grafit (perlitni sivi ljev)

## Utjecaj brzine ohlađivanja austenita na strukturu čelika

$\alpha$ -željezo nema gotovo nikakvih sposobnosti za otapanje ugljika, dok  $\gamma$ -željezo može prilično dobro otapati, i to u obliku rastopinskih kristala austenita. Pri polaganom ohlađivanju raspada austenit pri perlitnoj temperaturi ( $723^\circ C$ ) u perlit, a ugljik otprije otopljen u austenitu, izlučit će se i pojaviti u perlitnom cementitu. Sliku raspada pothlađenog austenita prikazuje Bainov dijagram (\*TTT-dijagram\*)

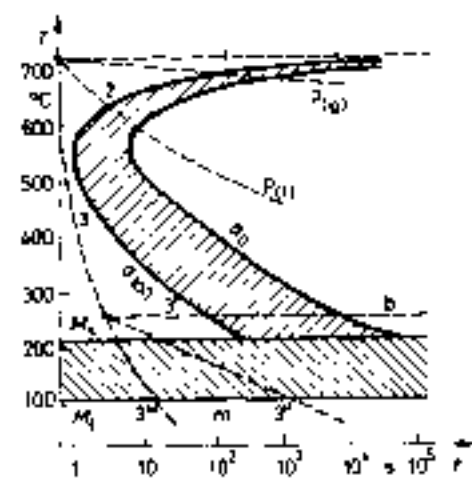
$P_{100}$  — početak | raspada austenita  
 $a_0$  — svršetak |  
 $M_s$  — početak | martenizme pretvorbe  
 $M_f$  — svršetak |

Austenit raspada pri polaganom ohlađivanju (1) u grubu perlit  $p_g$ , a pri brzom (2) u fini perlit  $p_f$ . Ohlađivanje velikom brzinom (3) sprječava u kritičnom temperaturnom području ( $\approx 550^\circ C$ ) raspad austenita pa se pomiče područje nešto stabilnijeg pothlađenog austenita ( $\approx 250^\circ C$ ), što omogućava izotermni raspad (3') u bainit (b), a manjom (3'') ili prvotnom (3''') brzinom ohlađivanja promjenu u martenzit (m).

Bainit je čvršći i tvrdi (50...60 HRC) od perlita.

Martenzit (prezasićeno  $\alpha$ -željezo) je vrlo tvrd ( $\approx 66 HRC$ ) sastojak zakađenog čelika. Martenzit pri ugrijavanju iznad  $200^\circ C$  raspada i prelazi postupno preko strukturnih oblika trustita i sorbita iznad  $600^\circ C$  u zrnati cementit

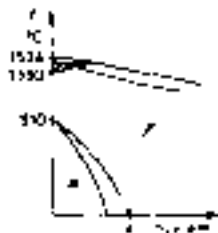
\* Time — Temperature — Transformation.



1. Elementi koji proširuju austenitno područje

U tu skupinu spadaju naročito Mn, Ni i Co. (Ugljik proširuje austenitno područje samo u ograničenom opsegu.)

Austenitno se područje proširuje i postiže temperaturu okoline pri određenom sadržaju  $x$  (%) elementa, dodanog za legiranje. Sličine sa sadržajem dodanog elementu većim od  $x$  imaju, dakle, austenitnu strukturu postojanu i pri običnoj temperaturi. Takve čelike nazivamo «austenitnim čelicima».

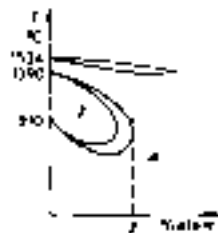


Značajna su svojstva austenitnih čelika da nisu magnetni; ne mogu se kaliti; čvrstoća i tvrdoća su im doduše razmjerno male, ali ti čelici pri većim deformacijama u hladnom neobično otvrdnu i postaju vrlo otporni prema habanju, otporni su prema koroziji.

2. Elementi koji sužuju austenitno područje

U tu skupinu spadaju Be, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Mo, W.

Austenitno je područje suženo iznad stanovitog sastava  $\gamma$ , ni pri kojoj se temperaturi više ne pojavljuje austenit, već imamo na svim temperaturama samo  $\alpha$ -strukturu – ferit. Takve čelike nazivamo «feritnim čelicima».



Značajna su svojstva feritnih čelika da se ne mogu kaliti; naginju gruboj kristalizaciji, istezljivost u hladnom stanju manja je nego kod austenitnih čelika pa zato pri hladnom gnječenju i manje otvrdnu; otporni su prema koroziji.

3. Elementi koji stvaraju karbide

Neki elementi stvaraju neposredno sa C karbide. Pri tome su osobito važni Mn, Cr, W, Mo, V, Ti itd.

Karbidi tih kovina su značajni zbog tvrdoće i velikog utjecaja na polaganiju promjenu strukture čelika. Ugrijani do austenitnog područja otapaju se u njemu polagano. Sprečavaju rast kristala i time podupiru nastanak finozrnate strukture. Uz brzo ohlađivanje pri kaljenju se ti karbidi ne izlučuju, već ostaju otopljeni u martenzitu. Time smanjuju kritičnu brzinu hlađenja potrebnu za nastanak martenzita (što omogućuje kaljenje u ulju ili na zraku) te povišuju temperaturu postojanosti martenzita pri napuštanju, zadržavaju dakle raspad tvrde martenzitne strukture i na višim radnim temperaturama.

Čelici jako legirani s Cr i W koji sadrže višestruke karbide («ledečunni čelici»), vrlo su tvrdi i veoma otporni prema habanju, i to stoga što karbidi u isti mah sprečavaju raspadanje martenzita i zadržavaju tvrdoću (kaljenog) čelika i pri radu na višim temperaturama (brzorezni čelici).

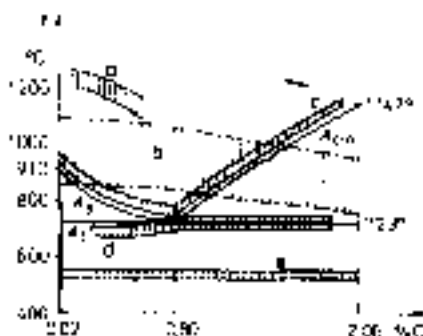
Svojstva čelika	Legirni elementi													
	C	S	P	Si	Mn	Al	Ni	Co	Mo	W	V	Ti	Cr	
Čvrstoća	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tvrdoća	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Posredno produljenje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elastičnost	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ulama žilavost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trajna statička čvrstoća (pri višim temperaturama)	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dinamička čvrstoća	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otpornost prema kem. utjecajima	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Otpornost prema vatri	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Sposobnost za izvlačenje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sposobnost za kovanje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sposobnost za zavarivanje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sposobnost za obrađivanje	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Sposobnost za rezanje (alat)	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Otpornost prema popuštanju	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

U tablici »+« znači utjecaj u smislu povećanja odgovarajućeg svojstva čelika, »-« znači smanjivanje tog svojstva. Dvosmrkni znakovi znače pojačan utjecaj.

**Žarenje čelika**

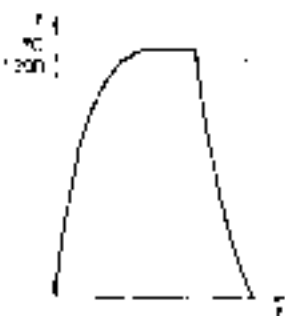
Žarenje čelika je postupak kojim čelik grijemo na određenoj temperaturi određeno vrijeme i zatim ga na odgovarajući način hladimo, da bismo time postigli željene strukturne promjene. Različitim postupcima pri žarenju postizemo izjednačenje kemijskog sastava i kristalne strukture, povećanje žilavosti, smanjenje veličine kristalnih zrna, povećanje mekoće čelika ili odstranjenje unutarnjih napetosti.

Pri žarenju čelika vrlo su važne temperature strukturnih promjena:  $A_1$  (linija G-O-S u sistemu željezo-ugljik, vidi str. 344) – kao donja granica austenitnog područja, i  $A_2$  (723 °C za ugljične čelike) – kao granica raspada austenita u perlit. Za legirane su čelike odgovarajuće temperature navedene u tablicama za čelik.



Žarenje ugljičnog (nelegirano) čelika

- a) difuzijsko žarenje
- b) žarenje radi kovanja
- c) normalizacija
- d) žarenje radi omekšavanja
- e) žarenje za odstranjivanje napetosti



1. **Difuzijsko žarenje** je dugotrajno žarenje čelika pri visokim temperaturama, a služi izjednačenju nejednolike strukture nastale pri ljevanju, koja otežava obradu i smanjuje vrijednost proizvoda. To se žarenje redovno izvodi već pri proizvodnji čelika.

Grubožrnata struktura nastala prilikom difuzijskog žarenja može se odstraniti gnječenjem u toplom stanju ili normalizacijom.

2. **Žarenje radi toplog gnječenja** (kovanja, prešanja, valjanja itd.)

Kristali čelika nastali iz taljevine primarnom kristalizacijom ili narasli difuzijskim žarenjem su grubozrnati. Oni mogu postati mnogo finijim gnječenjem u toplom stanju.

Pri pravilnom gnječenju mora materijal biti temeljito prognječen do srži. Gnječenje dopire dublje pri valjanju i prešanju nego pri kovanju. Zato je pažljivost pri žarenju za kovanje osobito važna.

**3 Normalizacija**

Gruba struktura u čeličnim odljevcima, koji se zbog održanja oblika ne mogu gnječiti, i gruba struktura u velikim otkovcima, koji se kovanjem ne mogu do srži prognječiti, ostaje pri ohlađivanju ispod granice austenitnog područja  $A_1$  u novoj, perlitno-feritnoj strukturi također grubozrnata. Tu strukturu možemo normalizacijom učiniti finijom.

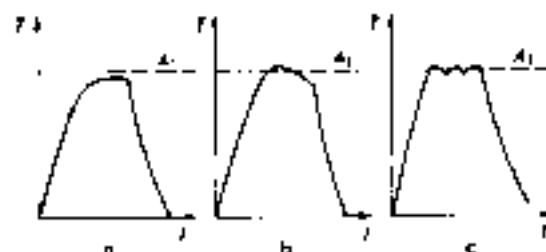
Tim se postupkom čelik zagrije za 30...50 °C iznad temperature pretvorbe  $A_1$ , i to kratko vrijeme – tek toliko da se struktura upravo promijeni opet u austenitnu. Pri toj se pretvorbi stvaraju novi fini austenitni kristali, koji se zatim pri normalnom ohlađivanju na zraku raspadaju u kristale ferita i perlita, a oni zadržavaju finu strukturu i pri temperaturi okoline.

Pri previsokoj temperaturi ili predugom grijanju u austenitnom području kristali bi opet narasli te bi korist normalizacije propala. Pregrijani se grubozrnati čelik može ispravno provedenom normalizacijom opet popraviti.

Normalizacijom se poboljšavaju svojstva čvrstoće.

**4. Žarenje radi omekšavanja**

Stanovite vrste čelika žarimo da bismo dobili čelik u što mekšem stanju, prikladnom za mehaničku obradu. Ujedno je to stanje povoljno za ispravno kaljenje bez opasnosti da se predmet izvituperi ili popuca.



Mekše stanje postizemo.

a) kod podutektoidnih čelika dužim grijanjem predmeta (2...20 h) na temperaturi tik ispod perlitne temperature  $A_1$ , a zatim ohlađivanjem (pri čemu brzina ohlađivanja nije osobito važna, ali mora biti jednolika);

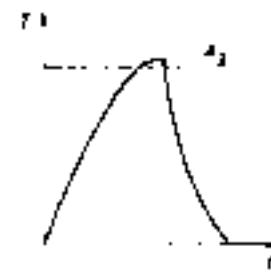
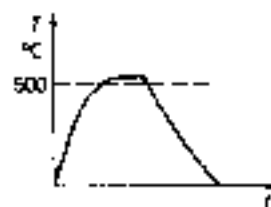
b) kod čelika oko eutektoidnog sastava jednolikim ugrijavanjem predmeta do perlitne temperature  $A_1$ , zatim polaganim ohlađivanjem na 600...650 °C (pri čemu brzina daljnjeg ohlađivanja nije osobito važna);

c) kod nadutektoidnih čelika kolebanjem temperature oko perlitne temperature  $A_1$ .

**5. Žarenje radi odstranjivanja unutarnjih napetosti**

Nejednoliko ohlađivanje, obrada rezanjem, hladno gnječenje (kovanje, valjanje, izvlačenje) itd. izazivaju napetosti u predmetima. Zbog tih se napetosti predmeti vitupere pri ugrijavanju sve do temperatura na kojima se granica plastičnosti materijala snižuje ispod unutarnjeg naprezanja (oslobodena naprezanja izazivaju plastične deformacije).

Unutarnja naprezanja u čeliku odstranjujemo žarenjem pri približno 500 (... 600) °C i zatim polaganim ohlađivanjem predmeta.

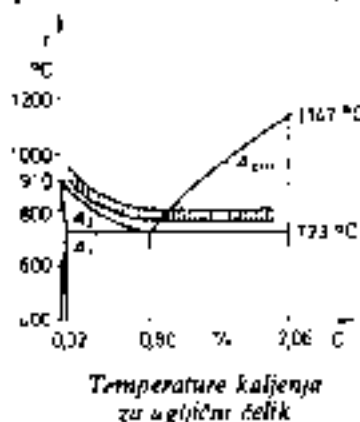




## Kaljenje čelika

### 1. Obično kaljenje

Kaljenjem nazivamo toplinsku obradu brzog ohlađivanja kaljivih čelika s određene temperature kaljenja (s područja austenita), pri čemu se stvara posebno tvrda struktura (martenzit).



Temperature kaljenja treba za pojedine vrste čelika odabrati točno prema podacima u tablicama. Grijanje do tih temperatura treba da bude jednoliko i takvo da prođe kroz cijeli presjek.

Za dobivanje tvrde strukture kaljenja (martenzita) treba predmet ohlađivati s temperature kaljenja najmanje «kritičnom brzinom ohlađivanja». Ugljičeni i neki malo legirani čelici imaju vrlo veliku kritičnu brzinu ohlađivanja, koju možemo postići samo hlađenjem u vodi. Srednje legirani čelici imaju takvu kritičnu brzinu ohlađivanja da je možemo postići u ulju, a za jako legirane čelike dovoljno je već ohlađivanje na zraku.

Pri brzom ohlađivanju pojavljuju se razlike u temperaturama na površini i u dubini predmeta. Što – zbog različite temperaturne rastezljivosti – izaziva naprezanja i opasnost od pucanja. Zato nikada ne upotrebljavamo sredstva za hlađenje koja djeluju brže nego je to potrebno. Za izradu predmeta koje treba kaliti odabiremo po mogućnosti vrstu čelika koja ima manju kritičnu brzinu ohlađivanja pa se zato može kaliti u rashladnom sredstvu koje blaže djeluje.

Velika unutarnja naprezanja koja nastaju pri kaljenju ublažujemo popuštanjem ili napuštanjem, tj. ugrijavanjem do 180°C (gdje čelik još ne gubi tvrdoću), i to neposredno nakon kaljenja (još prije nego se predmet popuno ohladi do temperature okoline). U tu se svrhu preporučuju uljene ili solne kupelji (najmanje Ah).

### 2. Posebni postupci pri kaljenju

a) *Prekidno kaljenje* upotrebljavamo za komplicirane predmete. Ohlađujemo ih najprije u sredstvu koje brže hladi, a kad se dovoljno ohlade (što osigurava nastanak martenzita), hladimo ih dalje u rashladnom sredstvu koje blaže djeluje i time smanjujemo naprezanje.

b) *Stupnjevito kaljenje* (termalno kaljenje) upotrebljavamo za komplicirane dijelove od legiranog čelika. Prvo hlađenje obavimo u solnoj ili kovinskoj kupelji pri temperaturi blizu nad martenzitnom. Time osiguravamo kasnije stvaranje martenzita. On nastaje pri daljnjem ohlađivanju koje možemo izvršiti na zraku (vidi krivulju 3' u Bainovu dijagramu na str. 345).

### 3. Poboljšavanje

Svojstva čvrstoće čelika poboljšavamo posebnim postupkom koji se sastoji od običnog kaljenja i popuštanja pri višim temperaturama (do 680°C), pri čemu martenzit raspada u finozrnate međustrukture (trusiti, sorbit) do znatnog cementita. Izborom temperature popuštanja možemo postići sva željena svojstva čvrstoće između zakačenog i meko žarenog stanja.

Posebnim postupkom poboljšavanja ohlađujemo predmet s temperature kaljenja neposredno u solnoj i kovinskoj kupelji na temperaturi poboljšavanja i zatim ga ostavljamo duže vrijeme na toj temperaturi («izotermno poboljšavanje», vidi krivulju 3' u Bainovu dijagramu na str. 345). Na taj način nastaje razmješno žilava struktura (bainit).

### 4. Površinsko kaljenje

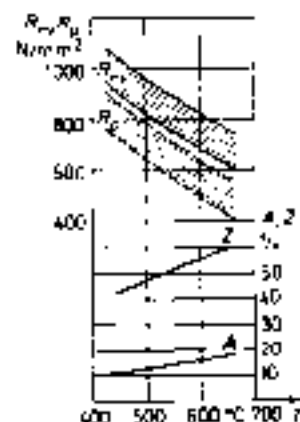
Grijanjem posebnim načinom kojim vrlo brzo ugrijavamo površinu predmeta do temperature kaljenja i neposredno zatim ohlađivanjem (dok su dublji slojevi još hladni) zakačimo samo površinski sloj. Time postizemo tvrdu površinu, a jezgra ostaje žilava. Potrebno brzo ugrijavanje površine možemo postići:

- potapanjem predmeta u solnu kupelj na temperaturi mnogo iznad temperature kaljenja,
- plamenom acetilena i kisika,
- visokofrekventnom strujom, koja zbog unutarne indukcije ugrijava samo površinu (skin-efekt), i to sloj toliko tanji koliko je viša frekvencija

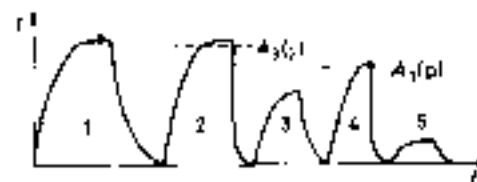
### 5. Cementiranje (ugljičenje)

Da bismo dobili na žilavom (mekom) čeliku osobito tvrdu površinu, upotrebljavamo cementiranje, tj. žarenje pri 870...930°C u sredstvu za cementiranje, koje može biti kruto (drveni ugljen s dodatkom  $BaCO_3$ ), tekuće (specijalne solne kupelji na bazi NaCN) ili plinovito ( $CO$ ). Cementiranje traje u krutom sredstvu 4...10 h za cementirani sloj dubine oko 1,2...1,6 mm koji sadrži oko 1% C. U tekućem ili plinovitom sredstvu cementiranje je znatno kraće.

Nakon cementiranja treba predmet toplinski obraditi, i to nakon cementiranja (1) ga ohladimo i zatim kalimo najprije pri temperaturi kaljenja za meki čelik (2), a onda još pri temperaturi kaljenja za pougljičeni površinski sloj (4). Između oba kaljenja može biti uključeno još i međuzarenje (3). Na kraju predmet popuštamo (5) pri najviše 180°C.



Primjer poboljšavanja čelika  
 $R_m$  = čvrstoća  
 $R_{p0,2}$  = naprezanje tečenja  
 A = postotno produž.  
 Z = kontrakcija



## 6. Nitiranje

Specijalne čelike za nitiranje zagrijavamo 10...100 h u struji amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) pri 500°C. Time dobivamo 0,3...1,0 mm debeo, prirodno tvrd površinski sloj tvrdoće 900...1100 HV (koja se naglo smanjuje prema jezgri predmeta).

Cijaniranje je nitiranje u posebnoj solnoj kupelji (na bazi  $\text{NaCN}$ ), u kojoj pri 500...530°C u toku 1...3 h dobivamo nitrirani sloj dubok 0,125 mm tvrdoće 1100 HV.

### Opće upute za toplinsku obradu čelika

#### 1. Zagrijavanje

Čelik se pri zagrijavanju rasteže. Naglo je zagrijavanje uzrok nejednolike temperature različitih dijelova predmeta, koji obrađujemo (tanji se i šiljasti dijelovi i rubovi brže ugriju do viših temperatura), što može izazvati jake unutarnje napetosti. Ako je materijal razmjerno žilav, napetosti se ublažuju plastičnom deformacijom i izvijanjem odn. vitoprenjem predmeta (predmet se »bacu«), dok se kod tvrdog materijala pojavljuju pukotine. One se pojavljuju to više što je čelik više legiran, jer je toplinska vodljivost pri jačem legiranju manja.

Zato čelik treba zagrijavati to opreznije, što je više sklon pucanju. Tvrde i legirane čelike, osobito alatne, moramo zagrijavati polako od temperature okoline do 400...500°C. Odatle dalje čelik postaje mekaniji pa ga zato možemo i brže zagrijavati.

#### 2. Temperatura za grijavanja

Da bismo postigli što bolje rezultate toplinske obrade, potrebno je što je moguće točnije postići temperaturu, određenu za pojedini postupak.

Točno možemo temperaturu odrediti samo različitim mjerilima temperature.

a) Živini termometri se mogu upotrijebiti do 500°C (iznad 350°C u specijalnoj izvedbi — punjeni s  $\text{N}_2$  ili  $\text{CO}_2$  pod tlakom).

b) Termoelementi za različita temperaturna područja:

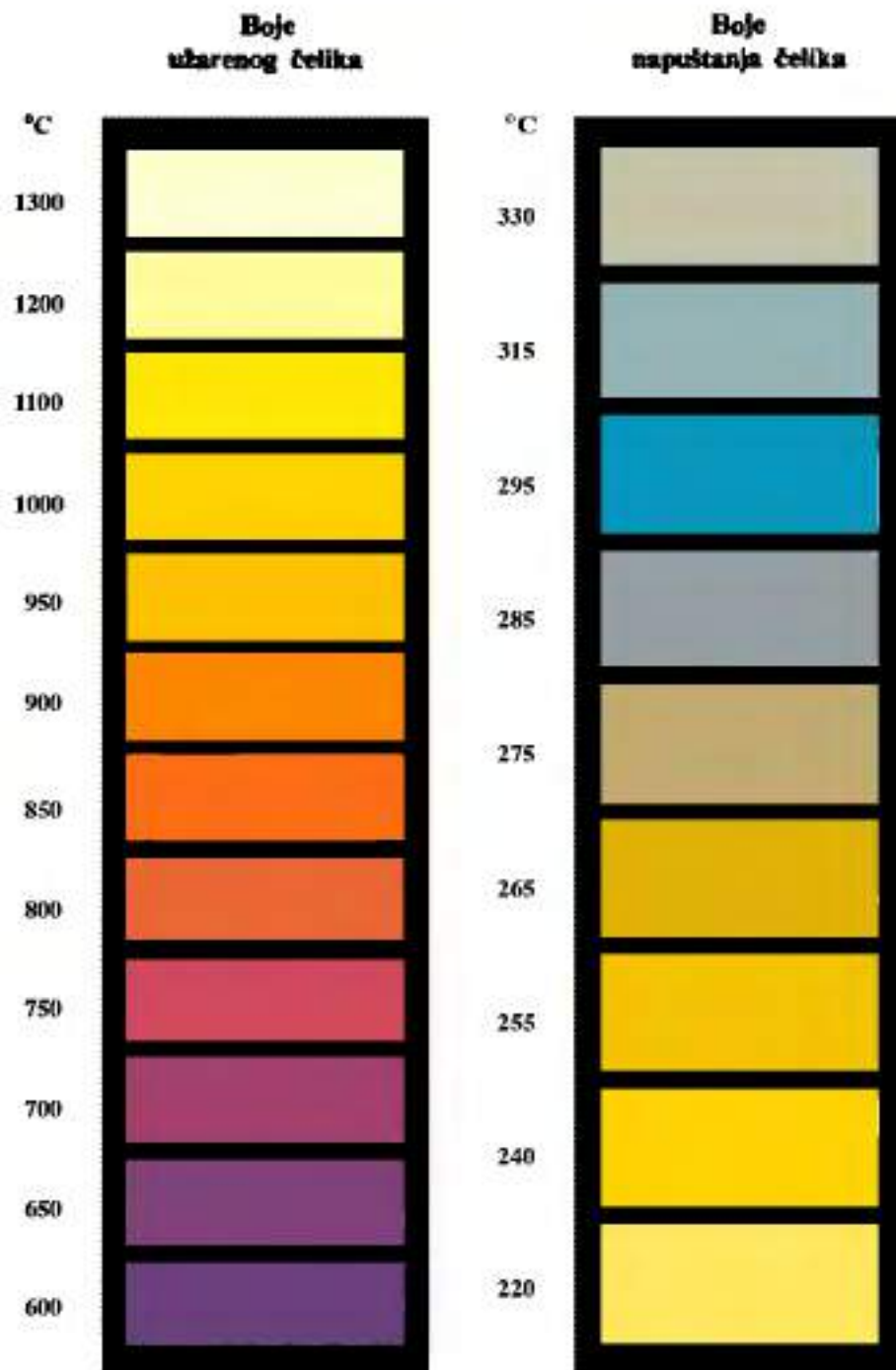
Cu — konstantan do 400°C    Ni — NiCr (9% Cr) do 1000°C

Fe — konstantan do 800°C    Pt — PtRh (10% Rh) do 1500°C

c) Optički termometri (pirometri) upotrebljivi su iznad 600°C do najviših temperatura.

Osim navedenih instrumenata za mjerenje temperature, koji su neophodni za predmete s većim zahtjevima, možemo za jednostavnije predmete i s manjim zahtjevima ocijeniti temperaturu po boji užarenog čelika (vidi skalu boja užarenog čelika!).

Isto se tako u praksi često ocjenjuju temperature čelika pri popuštavanju odn. poslije popuštanja u temperaturnom području od 200 do 350°C po oksidacijskim bojama (vidi ljestvicu boja pri popuštavanju čelika!). Boje koje odgovaraju pojedinim temperaturama popuštanja vrijede dođuse za većinu čelika, no ne vrijede za nerđajuće čelike, kod kojih su temperature što pripadaju pojedinim bojama znatno više.



### 3. Trajanje grijanja

Za toplinsku je obradu veoma važno i trajanje grijanja predmeta na određenoj temperaturi. To ovisi o debljini stijenki predmeta, njegovoj toplinskoj vodljivosti i u sredstvu u kojem predmet grijemo.

Ako je grijanje prekratko, nutrina se debljih predmeta ne ugrije do potrebne temperature, zbog čega tada može izostati uvjet za tok određenog procesa toplinske obrade. Ako je pak grijanje predugo, može se pojaviti grubozrnata struktura i smanjivanje količine ugljika u čeliku.

### 4. Sredstva za zagrijavanje

Ako zagrijavamo predmete samo pri nižim temperaturama do 180°C (npr. za popuštanje), redovito upotrebljavamo mineralna ulja.

Ako temperatura mora biti visoka, ugrijavamo predmete većinom u žarnim pećima. U njima su izvrgnuti oksidacijskom djelovanju kisika iz zraka. Otuda i gubici materijala zbog izgaranja. Oni su veći u električno grijanim komornim pećima nego u pećima na plin ili naftu.

Oksidacijskom utjecaju atmosfere pri visokim temperaturama najbolje izbjegavamo zagrijavanjem u kupeljima. Najčešće upotrebljavamo:

<i>solne kupelji:</i>		za 770 ... 1000°C	3 dijela BaCl <sub>2</sub>
za 250 ... 600°C	1 dio KNO <sub>3</sub>		2 dijela KCl
	1 dio NaNO <sub>3</sub>	iznad 1000°C	BaCl <sub>2</sub>
za 600 ... 770°C	1 dio NaCl		<i>kovinske kupelji</i>
	1 dio KCl	za 250 ... 550°C	2 dijela Pb
	1 dio BaCl <sub>2</sub>		3 dijela Sn
	2 dijela CaCl <sub>2</sub>	za 550 ... 900°C	Pb

Zagrijavanje u kupeljima je brže od zagrijavanja u žarnim pećima. Zato su temperaturne napetosti pri zagrijavanju u kupeljima veće, što pri nižim temperaturama (manja žilavost obrađivanih predmeta) povećava opasnost od vituperenja i pucanja.

### 5. Sredstva za hlađenje

Za gašenje (brzo ohlađivanje s visokih temperatura) upotrebljavamo — već prema potrebnoj brzini ohlađivanja (vrsta čelika!) — vodu, ulje ili zrak.

Pri gašenju u vodi kaljenje veoma ovisi o temperaturi i gibanju vode. Potrebno je jako miješanje ili mlaz vode da bi se odstranili nastali mjehuri pare, koji sprečavaju prijelaz topline. (Rashladno se djelovanje vode znatno povećava, ako vodi dodamo natrijeve lužine — NaOH.)

Pri gašenju u ulju (repičnom ili mineralnom) temperatura ulja u području od 40 do 70°C nema znatnijeg utjecaja na brzinu hlađenja. Važna je viskoznost ulja, koja pri 20°C treba da iznosi oko 16 (... 50) mm<sup>2</sup>/s.

Pri hlađenju zrakom upotrebljavamo zračni mlaz, koji mora biti potpuno suh, ili pak predmet naprosto hladimo na zraku. Pri osobito sporom hlađenju ukopamo predmet u pepeo ili ga ostavimo u peći da se zajedno s njom ohladi.

## LJEVANO ŽELJEZO

Lijevano željezo dobivamo lijevanjem sirovog željeza ( $C > 2,06\%$ ). Količina ugljika  $C$  iznosi obično 2,5 ... 3,5%, a razlikujemo:

a) sivi lijev, u kojemu je ugljik sav ih veći dio po cijelom presjeku izlučen kao grafit ( $C$ );

b) tvrdi (bijeli) lijev, u kojem je ugljik po cijelom presjeku ili određenom dijelu presjeka potpuno vezan kao željezni karbid ( $Fe_3C$ ).

Lijevano željezo sadrži redovno osim ugljika još i manje količine drugih primjesa:  $Si, Mn, P$  i  $S$ .

### Sivi lijev

Normalne vrste sivog lijeva s ljuskastim grafitom (ISO)  
(JUS C.12.021) – 1973)

#### Nelegirani i malo legirani sivi lijev

Oznaka	Promjer neobrađenog ispitnog uzorka* mm	Vlačni pokus		Pokus savijanja		Gustoća kg/m <sup>3</sup>
		promjer obrađenog ispitnog uzorka mm	vlačna čvrstoća $R_m$ (min.) N/mm <sup>2</sup>	razmak simetričnih ostonaca (min.) mm	čvrstoća** na savijanje (min.) N/mm <sup>2</sup>	
SI. 10	30	20	100	-	-	7200
	17	8	200	260	340	
	12,5	8	180	310	320	
SI. 15	20	20	150	600	300	7200
	15	12,5	110	900	270	
	12,5	8	280	260	410	
SI. 20	20	20	200	600	360	7200
	15	12,5	180	900	330	
	12,5	8	330	-	-	
SI. 25	20	20	250	600	420	7200
	15	12,5	210	900	390	
	12,5	8	320	-	-	
SI. 30	20	20	300	600	480	7200
	15	12,5	260	900	450	
	12,5	8	380	-	-	
SI. 35	20	20	350	600	540	7200
	15	12,5	310	900	510	
	12,5	8	400	-	-	
SI. 40	20	20	400	600	600	7200
	15	12,5	360	900	570	
	12,5	8	450	-	-	

\* Standardni je ispitni uzorak izrađen od posebno odlivenog uzorka debljine 30 mm.

\*\* Čvrstoća na savijanje odnose se na neobrađene ispitne uzorke.

### Sivi lijev posebnih magnetskih svojstava

Oznaka	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Magnetska indukcija $B$ u magnetskom polju $H$ :			
		$H = 1250$	$2500$	$5000$	$10000$ A/m
ESL 10	100	$B = 0,40$	0,60	0,80	0,95 T

Kvalitetni sivi lijev ima manje ugljika, manje grafitne ljuske i bolju osnovnu strukturu, što postizemo promjenom sastava, postupkom taljenja (vršom temperaturom pregrjavanja) i cijepljenjem – modificiranjem (cjepivima: ferossilicijem, silikokalcijem  $Al, CaC_2$  i dr., koja djeluju kao smjetne klice i pospješuju sitnozrnatu izlučivanje grafita). Cijepljenjem postizemo čvrstoće od 300 ... 400 N/mm<sup>2</sup> (modificirani lijev).

Sivi lijev s kuglastim grafitom dobivamo dodatkom  $Mg$  ( $Ce, Ca$ ), koji dezoksidira taljevinu, i cjepiva na bazi  $Si$ , koje unosi u taljevinu klice: zlučuje se kuglasti grafit (nodularni ili sferoidni ili duktilni sivi lijev itd.).

### Nodularni lijev (JUS C.12.022 – 1974)

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min	Procent produkt. $A_5$ % min	Tvrdoća HB		Zrnatost
				140	180	
NL 38	240	380	17	140	180	feritna
NL 42	280	420	12	150	200	pretežno feritna
NL 50	350	500	7	170	240	feritno-perlitna
NL 60	400	600	2	190	280	perlitna
NL 70	450	700	2	210	300	perlitna

Udarna čvrstoć nodularnog lijeva NL 38 iznosi:  $KV = 12 J$ .

### Legirani sivi lijev je

a) otporan prema habanju – s manjim dodacima (do  $\approx 2,5\%$ )  $Si, Cr, Ni, Mo$ ;

b) austenitni – otporan prema oksidaciji na visokim temperaturama i prema koroziji – s velikim dodatkom  $Ni$  (12 ... 36%) i nešto  $Si, Mn, Cr, Cu$ .

Austenitni sivi lijev može sadržavati ljuskasti grafit ( $R_m = 140 ... 180$  N/mm<sup>2</sup>) ili kuglasti grafit ( $R_m = 380 ... 420$  N/mm<sup>2</sup>).

### Tvrdi lijev

Ljev s tvrdom korom ima ugljik u jezgri izlučen kao grafit, a u površinskom sloju (kori) vezan kao željezni karbid. Upotrebljava se za valjke i dijelove, izvirgnute habanju.

Bijeli lijev sadrži ugljik po cijelom presjeku vezan kao željezni karbid, a upotrebljava se za mlinske kugle, mlaznice za strcanje pijeska i sl.

### Temperovani lijev (JUS C J2.021 - 1958)

Temperovani lijev dobivamo od bijelog lijevanog željeza temperovanjem.

*Bijeli temperovani lijev* ima nakon žarenja u oksidacijskoj atmosferi bijeli prijelom (zbog oksidacije ugljika).

*Crni temperovani lijev* ima nakon žarenja u neutralnoj atmosferi crni prijelom (zbog ugljika izlučenog u obliku grafita).

#### Bijeli temperovani lijev

Oznaka	Debljina mm	Promjer ispitnog uzorka mm	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. A, %	Brinellova tvrdoća
B Te L 09	4 ... 6	9	340	5	150
	9 ... 13	12		3	
	13 ... 18	15		2	
B Te L 35	4 ... 6	9	340	7	210
	9 ... 13	12		5	
	13 ... 18	15		3	
B Te L 40	4 ... 6	9	380	10	210
	9 ... 13	12		8	
	13 ... 18	15		5	
B Te L 40	18 ... 30	18	380	8	210
	9 ... 13	12		5	
	13 ... 18	15		3	

#### Crni temperovani lijev

Oznaka	Debljina mm	Promjer ispitnog uzorka mm	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. A, %	Brinellova tvrdoća
C Te L 35*	4 ... 6	9	330	8	150
	9 ... 13	12		6	
	13 ... 18	15		4	
C Te L 38*	4 ... 6	9	370	12	210
	9 ... 13	12		10	
	13 ... 18	15		8	
C Te L 45**	4 ... 6	9	410	15	250
	9 ... 13	12		12	
	13 ... 18	15		10	
C Te L 45**	18 ... 30	18	410	12	250
	9 ... 13	12		10	
	13 ... 18	15		8	

\* Feritni lijev. - \*\* Perlitni lijev.

#### Magnetska svojstva temperovanog lijeva

Temperovani lijev	Magnetska indikacija $B$ u magnetskom polju $H$		
	$H = 2500$	5000	10000 A/m
bijeli	$B = 1,00$	1,10	1,20 T
crni	$B = 1,15$	1,25	1,35 T

### VRSTE ČELIKA

Čelici su kovke slitine željeza s ugljikom — do 2,06% C — ili i s drugim elementima. Pri većem sadržaju dodanih elemenata za legiranje može sadržaj ugljika biti i nešto veći od 2,06%.

Sve vrste čelika sadrže — iz procesa proizvodnje — još i manje količine Mn, Si, P i S. Čelike koji sadrže Mn < 0,8% i Si < 0,6% još ne smatramo legiranim. Sadržaj P i S gotovo je uvijek nepoželjan.

#### Razdioba čelika

##### 1. Prema postupku proizvodnje:

a) *obični čelici* dobivaju se većinom iz Siemens-Martinovih peći (»SM čelici») ili iz konvertera (Bessemerovih ili Thomasovih); obični čelici su nelegirani (uglični) ili malo legirani, a upotrebljavamo ih redovno bez toplinske obrade;

b) *plemeniti čelici* dobivaju se rafinacijom ili rafinacijom i legiranjem u električnim pećima (velektročelici). Plemeniti se čelici redovno toplinski obrađuju.

##### 2. Prema sadržaju:

a) *uglični čelici* su one vrste čelika u kojima odlučujući utjecaj na svojstva čelika ima ugljik, a drugih elemenata ima samo u količinama koje nemaju bitnog utjecaja, tj.

Mn < 0,80%	Cr < 0,20%	Co < 0,05%
Si < 0,60%	W < 0,10%	Ti < 0,05%
Ni < 0,30%	Mo < 0,05%	Al < 0,05%
Cu < 0,30%	V < 0,05%	

b) *legirani čelici* su one vrste čelika u kojima odlučujući utjecaj na svojstva čelika imaju legirni elementi (tj. oni koji se namjerno dodaju da bi se postigla određena svojstva); malo legirani čelici imaju do 5% dodanih elemenata, a jako legirani više od 5%.

##### 3. Prema upotrebi:

a) *konstrukcijski čelici* su ugljučni čelici (obični ili plemeniti) sa sadržajem C < 0,6% ili legirani (uglavnom sa Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V itd.). Upotrebljavamo ih za izradu čeličnih konstrukcija, sastavnih dijelova strojeva, aparata i različitih uređaja. Razlikujemo:

— obične (uglične ili malo legirane) čelike za opće svrhe (masovna upotreba),

— plemenite (rafinirane) ugljučne ili legirane čelike za dijelove s većim zahtjevima (dijelove strojeva itd.);

b) *alati* čelici su plemeniti ugljučni čelici sa sadržajem C > 0,6% (< 2,06%) ili legirani (uglavnom sa Cr, W, V, Mo, Co itd.). Upotrebljavamo ih za izradu alata.

### Označivanje vrsta čelika prema JUS (JUS C B0.002 - 1986)\*

Oznaka čelika sastoji se od tri dijela:

- slovnog simbola  $\overset{\text{Č. XXXX. X}}{\text{Č}}$
- osnovne oznake od četiriju ili petero brojevnih simbola
- dodatne oznake od jednog ili više slovnih ili brojevnih simbola
- drugih dodatnih oznaka

Osnovna oznaka označuje vrstu čelika:

#### 1. Čelici s negarantiranim sastavom

Simbol na 1. mjestu: 0

Simbol na 2. mjestu označuje grupu minimalne vlačne čvrstoće:

Simbol	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Simbol	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>
0	-	5	490 .. 580
1	.. 320	6	590 .. 680
2	350 .. 350	7	690 .. 780
3	760 .. 180	8	790 .. 880
4	390 .. 480	9	890

Simbol na 3. i 4. (i 5.) mjestu označuje redni broj čelika:

- 0... 44 - ugljični čelici s negarantiranom čistoćom
- 45... 79 - ugljični čelici s ograničenim udjelom nečistoća
- 80... 99 - ugljični čelici s ograničenim udjelom S i P te propisanim udjelom C, Si i Mn.

#### 2. Ugljični i legirani čelici s garantiranim sastavom

Simboli na 1. i 2. mjestu:

- a) kod ugljičnih čelika
  - simbol na 1. mjestu: 1
  - simbol na 2. mjestu: desetorostruka vrijednost maksimalnog postotka ugljika zaokružena na desetine; brojevi simbol za C = 0,9% jest 9;
- b) kod legiranih čelika
  - simbol na 1. mjestu: oznaka najutjecajnijeg legirnog elementa
  - simbol na 2. mjestu: oznaka drugog (po redu) legirnog elementa, za jednostruko legirane čelike brojevi je simbol 1.

Element:	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	drugi
Oznaka:	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Pod najutjecajnijim legirnim elementom razumijeva se onaj kojemu pripada najveći umnožak sadržaja u čeliku (%) i faktora vrijednosti:

Element	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	Al	drugi
Faktor vrijednosti	1	1	4	4	7	14	17	20	30	1	1	30

Ako višestruko legirani čelici imaju više legirnih elemenata s istim umnožkom, smatrat će se najutjecajnijim elementom onaj kojemu oznaka ima viši broj.

\* Osim ovog standarda čelici se po JUS-u označuju posebnim oznakama (npr. ČRV, ČRN, ČRO, MT, MD itd.)

Simboli na 3. i 4. (i 5.) mjestu označuju redni broj čelika:

- 0... 9 (101... 199) - čelici koji nisu namijenjeni toplinskoj obradi,
- 20... 29 (201... 299) - čelici za cementiranje,
- 30... 39 (301... 399) - čelici za poboljšavanje,
- 40... 59 (401... 599) - ugljični i malo legirani alatni čelici,
- 60... 69 (601... 699) - čelici s posebnim fizikalnim svojstvima,
- 70... 79 (701... 799) - kemijski otporni i vatrootporni čelici,
- 80... 89 (801... 899) - brzorezni čelici,
- 90... 99 (901... 999) - čelici za automate.

Dodatna oznaka označuje stanje čelika:

- 0 - bez određene toplinske obrade,
- 1 - žaren,
- 2 - žaren do najbolje obradivosti,
- 3 - normaliziran,
- 4 - poboljšan,
- 5 - hladno preoblikovan,
- 6 - ljušten,
- 7 - brušen
- 8 - kontrolirano hlađenje
- 9 - obrađen po posebnim uputama.

Dodatne su oznake još: 2A, 2B, 2C, 2D, BA, 8B, K, H, S, V, Z.

Ta se oznaka upotrebljava samo za poluproizvode, i to samo u dokumentaciji u vezi s dobavom. Ne odnosi se na gotove ugrađene dijelove i ne unosi se u crteže.

Posebne oznake mogu se dodati u pojedinačnim slučajevima

### Označivanje čelika u skladištima bojom (JUS C B0.003 - 1957)

Oznaka čelika bojom sastoji se od dva dijela, i to:

- od osnovne oznake koju čine četiri trake, a dobiva se zamjenom brojevnih simbola osnovne brojevnice oznake čelika odgovarajućom bojom,
- od dodatne oznake koju čine jedna ili dvije trake, a dobiva se zamjenom brojevnih simbola dodatne brojevnice oznake čelika odgovarajućom bojom.

Brojevi simbol	Boja trake	Brojevi simboli	Boja trake
0	crna	5	zelena
1	bijela	6	modra
2	crvena	7	ljubičasta
3	narančasta	8	smeđa
4	zuta	9	siva

Širina obojene trake treba da je prilagođena veličini proizvoda, no po mogućnosti treba upotrebljavati širine 5... 16 mm. Neobojeni pojas između traka iznosi polovinu širine obojene trake, a između dijelova oznake za čelik - osnovne i dodatne - iznosi dvostruku širinu obojene trake.

## KONSTRUKCIJSKI ČELIK

Opći konstrukcijski čelici (JUS C.B0.500 - 1970 i 1972)

Sastav (%)

Oznaka	Stanje	C	P maks.	S maks.	N maks.
Č.0000	-	-	-	-	-
Č.0261	smireno	0,15	0,06	0,05	0,007
Č.0270	nesmireno	0,17	0,06	0,06	-
Č.0271	nesmireno	0,15	0,06	0,05	0,007
Č.0361	smireno	0,17	0,05	0,05	0,007
Č.0362	spec. smireno	0,17	0,045	0,045	0,009
Č.0363	spec. smireno	0,17	0,045	0,045	0,009
Č.0370	nesmireno	0,20	0,06	0,06	-
Č.0371	nesmireno	0,17	0,05	0,05	0,007
Č.0460	smireno	0,25	0,06	0,06	-
Č.0461	smireno	0,22	0,05	0,05	0,007
Č.0462	spec. smireno	0,22	0,045	0,045	0,007
Č.0463	spec. smireno	0,22	0,045	0,045	0,007
Č.0471	nesmireno	0,25	0,05	0,05	0,007
Č.0481	smireno	0,20	0,05	0,05	0,007
Č.0482	spec. smireno	0,20	0,045	0,045	0,009
Č.0483	spec. smireno	0,20	0,045	0,045	0,009
Č.0561	smireno	0,20	0,05	0,05	0,007
Č.0562	spec. smireno	0,20	0,045	0,045	0,009
Č.0563	spec. smireno	0,20	0,045	0,045	0,009
Č.0645	smireno	0,30	0,05	0,05	-
Č.0645	smireno	0,30	0,05	0,05	-
Č.0745	smireno	0,30	0,05	0,05	-

Toplinska obrada i upotreba

Oznaka	Kuvanje °C	Norma- liziranje °C	Upotreba
Č.0000	-	-	za sporedne svrhe
Č.0261, Č.0270, Č.0271 Č.0361, Č.0362, Č.0363 Č.0270, Č.0371	1200... 900	900... 930	meki čelik
Č.0460, Č.0461, Č.0462 Č.0463, Č.0371 Č.0481, Č.0482, Č.0483	1150... 900	850... 880	polutvrđi čelik
Č.0561, Č.0562, Č.0563 Č.0645	1150... 900	830... 860	tvrdi čelik
Č.0645 Č.0745	1100... 850	820... 820	vrlo tvrdi čelik

Mehanička svojstva

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_{t1}$ N/mm <sup>2</sup> min	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj $A_5$ %	Pokus savijanja* ( $\alpha = 180^\circ$ )	Udarna žilavost KV	
					1	2
Č.0000	-	370... 500	-	$D = 5a$	-	-
Č.0261 Č.0270, Č.0271	170	310... 420	28	$D = 0,5a$	28	+20
Č.0261	-	-	-	-	28	+20
Č.0362	140	170... 190	25	$D = 1a$	28	0
Č.0363 Č.0370, Č.0371	-	-	-	-	28	-20
Č.0460, Č.0461 Č.0462, Č.0463 Č.0471	280	120... 500	22	$D = 2a$	28	+20
Č.0481	-	-	-	-	28	+20
Č.0482 Č.0482	290	140... 540	22	$D = 2a$	28	0
Č.0482	-	-	-	-	28	20
Č.0561	-	-	-	-	28	+20
Č.0562 Č.0563	300	520... 670	22	$D = 2a$	28	0
Č.0563	-	-	-	-	28	20
Č.0645 Č.0645 Č.0745	500 500 370	500... 720 500... 850	20 15 10	-	-	-

\*  $\alpha$  - kut savijanja,  $D$  - promjer pritiskivača,  $a$  - debljina ispitnog uzorka.

Nelegirani čelici za vijke i zakovce: JUS C.B0.506 - 1974.

Ugljikni konstrukcijski čelici s garnostiranim sastavom  
(JUS C.H2.020 - 1958)

Oznaka	Sastav* %				Si maks.	Oznaka	Sastav* %				Si maks.
	C	Mn	P	S			C	Mn	P	S	
Č.1100	0,08	0,12	0,30	0,60	-	Č.1400	0,12	0,38	0,50	0,80	0,35
Č.1101	0,08	0,14	0,30	0,50	0,35	Č.1500	0,38	0,45	0,50	0,80	0,35
Č.1200	0,10	0,15	0,30	0,60	-	Č.1601	0,42	0,48	0,50	0,80	0,35
Č.1210	0,12	0,18	0,30	0,50	0,35	Č.1600	0,48	0,55	0,50	0,80	0,35
Č.1211	0,14	0,22	0,30	0,60	-	Č.1601	0,52	0,58	0,50	0,80	0,35
Č.1300	0,18	0,25	0,30	0,50	-	Č.1700	0,58	0,65	0,50	0,80	0,35
Č.1301	0,18	0,25	0,35	0,60	0,35	Č.1701	0,62	0,70	0,50	0,80	0,35
Č.1302	0,26	0,32	0,30	0,50	0,35						

\* Svi ti čelici imaju još  $P_{max} = 0,06\%$ ,  $S_{max} = 0,06\%$ ,  $P + S \leq 0,10\%$ .

**Širozrnači konstrukcijski čelik**  
(JUS C.B0.502 - 1979)

Vrste: ČRO... osnovni čelik  
 ČRV... čelici za visoke temperature  
 ČRN... čelici za niske temperature

Sustav (%)

Oznaka	C maks.	Si maks.	Mn	P maks.	S maks.
<i>Kvalitetni čelici</i>					
ČRO 250	0,18	0,40	0,40 - 1,30	0,040	0,040
ČRV 250	0,18	0,40	0,50 - 1,30	0,030	0,020
ČRO 280	0,18	0,40	0,50 - 1,40	0,040	0,040
ČRV 280	0,16	0,40	0,50 - 1,40	0,030	0,040
ČRO 310	0,18	0,45	0,60 - 1,50	0,040	0,040
ČRV 310	0,16	0,45	0,70 - 1,50	0,030	0,030
ČRO 350	0,20	0,10 - 0,50	0,90 - 1,60	0,040	0,040
ČRV 350	0,18	0,10 - 0,50	0,90 - 1,60	0,030	0,020
<i>Plemeniti čelici</i>					
ČRO 380	0,22	-	-	0,040	0,040
ČRV 380	0,22	-	-	0,035	0,035
ČRO 420	0,22	-	-	0,040	0,040
ČRV 420	0,22	-	-	0,035	0,035
ČRO 460	0,22	-	-	0,040	0,040
ČRV 460	0,22	-	-	0,035	0,035
ČRO 500	0,23	-	-	0,040	0,040
ČRV 500	0,23	-	-	0,035	0,035

*Mehanička svojstva (pri temperaturi okoline)*

Oznaka ČRO ČRV ČRN	Naprezanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> (min)				Čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>		Postotak produžji $A_5$ %	Pokus savijanja* $\alpha = 180^\circ$	
	pri debljini (mm)				pri debljini do 50 mm			D	
	16	16	25	35	50			uzduž.	popr.
250	250	250	240		360	180	25	1a	1a
280	280	280	270		390	210	24	1,5a	2a
310	310	310	300		440	260	23	2a	2,5a
350	350	350	340		490	310	22	3a	3a
380	380	370	360		500	350	23	2,5a	3,5a
420	420	410	400		540	390	19	2,5a	3,5a
460	460	450	440		560	430	17	3a	4a
500	500	490	470		610	470	16	5a	4a

\*  $\alpha$  - kut savijanja, D - promjer pritiskivača, a - debljina ispitnog uzorka

*Naprezanje tečenja čelika za visoke temperature*

Oznaka čelika	Naprezanje tečenja $R_e$ (N/mm <sup>2</sup> )*						
	pri temperaturi t(°C)						
	100	150	200	250	300	350	400
ČRV 250	220	200	190	170	140	120	110
ČRV 280	240	230	210	190	160	140	130
ČRV 310	260	240	230	210	180	160	140
ČRV 350	290	270	250	230	220	200	170
ČRV 380	320	300	280	260	240	220	190
ČRV 420	350	330	310	280	260	230	210
ČRV 460	390	360	340	310	290	260	230
ČRV 500	410	380	360	330	310	280	250

\* Pri debljini ispitnog uzorka do 50 mm (Pri debljinama do 35 mm su pri temperaturama 100 i 150 °C naprezanja tečenja viša za 10 N/mm<sup>2</sup>.)

*Žilavost čelika pri niskim temperaturama*

Oznaka čelika	Smjer ispitivanja	Žilavost KV (J)* min					
		pri temperaturi t(°C)					
		100	-40	-70	0	+20	
ČRO 250	ČRO 280	uzdužno poprečno		48	62	62	
ČRO 310	ČRO 350		74	41	41		
ČRO 380	ČRO 420			48	55	62	
ČRO 460		uzdužno poprečno		24	38	41	
ČRO 500			uzdužno poprečno	48	55	55	
		uzdužno poprečno		34	38	41	
ČRV 250	ČRV 280		uzdužno poprečno		48	55	62
ČRV 310	ČRV 350	41		41	41		
ČRV 380	ČRV 420			45	51	58	
ČRV 460		uzdužno poprečno		41	41	41	
ČRV 500			uzdužno poprečno	41	48	55	
		uzdužno poprečno		41	41	41	
ČRN 250	ČRN 280		uzdužno poprečno	34	41	55	62
ČRN 310	ČRN 350	24		31	38	45	
ČRN 380	ČRN 420			31	38	51	58
ČRN 460		uzdužno poprečno		24	27	34	41
ČRN 500			uzdužno poprečno	27	34	48	55
		uzdužno poprečno		24	27	31	38
			uzdužno poprečno	24	27	31	38

\* Pri debljini do 50 mm i u normaliziranom stanju.



**Čelici za cementiranje**  
(JUS C.B9.020 - 1974)

*Sastav i mehanička svojstva*

Oznaka	Sastav <sup>a</sup> %				Za- rezo na HB	Jezgra - kaljena			
	C	Mn	Cr	drugo <sup>b</sup>		tvrdo- ća HRC	napu- ćenja R <sub>0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	rel. prod A <sub>5</sub> %
Č. 1120 Č. 1121	0,10	0,45	-	-	31	300	500	650	16
Č. 1220 Č. 1221	0,15	0,45	-	-	29	350	600 ... 800	74	
Č. 1281	0,15	0,45	-	-	29	360	600 ... 800	24	
Č. 4120	0,15	0,50	0,85	-	13	150	700 ... 900	11	
Č. 4320 Č. 4321	0,16 0,20	1,15 1,25	1,05 1,15	-	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	11 8	
Č. 4381 Č. 4382	0,17 0,20	1,15 1,25	0,95 1,15	-	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	19 8	
Č. 4520	0,20	0,50	1,65	0,30 Mo, 1,55 Ni	220	800	1100 ... 1350	8	
Č. 4721 Č. 4781	0,20 0,21	1,05 1,05	1,25 1,25	0,25 Mo, 0,25 Mn	217 217	800 800	1100 ... 1400 1100 ... 1400	7 7	
Č. 7420 Č. 7421	0,20 0,26	0,75 0,75	0,40 0,50	0,45 Mo, 0,45 Mn	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8	
Č. 7480 Č. 7481	0,20 0,26	0,75 0,75	0,40 0,50	0,45 Mo, 0,45 Mn	207 217	600 700	800 ... 1100 1000 ... 1300	10 8	
Č. 5420 Č. 5421	0,19 0,18	0,50 0,50	1,55 1,55	1,50 Ni, 1,50 Ni	217 215	600 800	900 ... 1300 1150 ... 1450	8 7	

<sup>a</sup> Navedene su prosječne vrijednosti. Svi nelegirani čelici imaju:  $P_{max} = 0,035\%$ , Si legirani 0,15% ... 0,40%, S<sub>max</sub> = 0,0045% i Č<sub>max</sub> = 0,220% i legirani:  $P_{max} = 0,045\%$  i S<sub>max</sub> = 0,0045%, svi ostali čelici imaju:  $P_{max} = 0,035\%$  i S<sub>max</sub> = 0,0045%.

*Toplinska obrada<sup>(1)(2)</sup>*

Oznaka	Kaljenje jezgre <sup>(1)</sup> °C	Među- žarenje <sup>(1)</sup> °C	Kaljenje površine <sup>(1)</sup> °C	Popuštanje °C
Č. 1120 Č. 1121 Č. 1220 Č. 1221 Č. 1281	690 ... 920 u. k	-	-	150 ... 180
Č. 4120	570 ... 600 u. k	-	-	150 ... 180
Č. 4320 Č. 4321 Č. 4381 Č. 4382 Č. 4520 Č. 4721 Č. 4781	550 ... 580 u. k	-	810 ... 840 u	170 ... 210
Č. 7420 Č. 7421 Č. 7480 Č. 7481	800 ... 920	-	-	170 ... 210
Č. 5420 Č. 5421	840 ... 970 u, v, k i 30 ... 30 u, z	800 ... 830 u, k	800 ... 830 u, k	170 ... 210

<sup>1</sup> - Kuvanje pri 1100 ... 850 °C    <sup>2</sup> - Uglječenje pri 900 ... 950 °C. - ' - Gašenje v - u vodi, u - u ulju, s - u solnom kupelu 160 ... 250 °C - " - Hlađenje, p - u peći, z - na zraku.

*Prokaljivost*

Oznaka čelika	Tvrdoća HRC <sup>a</sup>											
	na udaljenosti od čelone plohe (mm)											
	1,5	3	5	7	9	12	15	20	25	30	35	40
Č. 4320 Č. 4381	27 39	29 35	24 31	21 28	27 24	24 21	23 21	21 20	20 20	20 20	20 20	20 20
Č. 4321 Č. 4382	29 41	29 39	28 26	26 23	24 21	21 18	20 17	19 17	18 17	17 16	16 15	15 14
Č. 4520	18 20	18 20	18 19	18 18	17 17	16 15	15 14	14 13	13 12	12 11	11 10	10 9
Č. 4721 Č. 4781	30 42	30 41	19 19	16 16	17 16	15 14	14 12	13 12	12 11	11 10	10 9	9 8
Č. 7420 Č. 7480	19 11	17 15	13 10	11 7	10 7	9 7	9 7	8 7	7 7	7 7	7 7	7 7
Č. 7421 Č. 7481	32 44	31 41	20 17	17 14	16 14	15 14	14 12	13 12	12 11	11 10	10 9	9 8
Č. 5420	17 19	14 18	16 16	15 15	14 13	13 12	12 11	11 10	10 9	9 8	8 7	7 7
Č. 5421	19 41	19 41	19 19	19 19	19 19	19 19	18 18	17 17	17 17	16 16	16 16	16 16

<sup>a</sup> Čvršći i veći broj oznaka su granicne vrijednosti tvrdog.

**Čelici za poboljšavanje (JUS C.B9.021 - 1974)**

**Toplinzka obrada**

*Sustav i mehanička svojstva*

Oznaka	Sustav <sup>*</sup> %					Zarenje Izad- ak HB max	Poboljšano <sup>**</sup>		
	C	Mn	Cr	Mo	ostalo		napr. tečenja R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	vlažna čvrst. min. N/mm <sup>2</sup>	postot. prod. A, %
Č. 1330	0,22	0,45	-	-	-	156	500	22	
Č. 1331	0,22	0,45	-	-	-	156	500	22	
Č. 1430	0,35	0,65	-	-	-	183	590	19	
Č. 1431	0,35	0,65	-	-	-	183	590	19	
Č. 1480	0,35	0,65	-	-	-	183	590	19	
Č. 1530	0,46	0,65	-	-	-	207	670	16	
Č. 1531	0,46	0,65	-	-	-	207	670	16	
Č. 1580	0,46	0,65	-	-	-	207	670	16	
Č. 1630	0,59	0,75	-	-	-	229	750	14	
Č. 1631	0,59	0,75	-	-	-	229	750	14	
Č. 1680	0,55	0,75	-	-	-	229	750	14	
Č. 1730	0,61	0,75	-	-	-	241	800	14	
Č. 1731	0,61	0,75	-	-	-	241	800	14	
Č. 1780	0,61	0,75	-	-	-	241	800	14	
Č. 3130	0,40	0,95	-	-	0,38 Si	217	800	14	
Č. 3135	0,38	1,48	-	-	-	223	700	15	
Č. 4130	0,42	0,75	1,05	-	-	217	800	14	
Č. 4131	0,42	0,65	1,05	-	-	217	900	12	
Č. 4132	0,38	0,65	0,50	-	-	207	700	15	
Č. 4133	0,46	0,65	0,50	-	-	207	800	14	
Č. 4134	0,38	0,75	1,05	-	-	217	800	13	
Č. 4180	0,31	0,75	1,05	-	-	217	800	14	
Č. 4181	0,42	0,65	1,05	-	-	217	900	12	
Č. 4184	0,38	0,75	1,05	-	-	217	800	13	
Č. 4730	0,35	0,65	1,05	0,22	-	217	800	14	
Č. 4731	0,34	0,65	1,05	0,22	-	217	900	12	
Č. 4732	0,42	0,65	1,05	0,22	-	217	780	11	
Č. 4733	0,50	0,65	1,05	0,22	-	235	800	10	
Č. 4734	0,30	0,55	2,50	0,20	0,15 V	248	1050	9	
Č. 4736	0,42	0,55	3,05	0,40	0,30 Ni	248	1050	9	
Č. 4781	0,34	0,55	1,05	0,22	-	217	680	12	
Č. 4782	0,42	0,65	1,05	0,22	-	217	780	11	
Č. 4830	0,51	0,90	1,05	-	0,15 V	235	800	10	
Č. 5430	0,26	0,65	1,05	0,22	1,05 Ni	217	800	11	
Č. 5431	0,24	0,55	1,55	0,22	1,55 Ni	235	960	10	
Č. 5432	0,30	0,45	2,00	0,40	2,00 Ni	248	1050	9	

Oznaka	Kovanje		Meko zarenje		Norma- lizacija	Poboljšanje <sup>***</sup>				
	°C		°C			kajenje u vodi °C		kajenje u ulju °C		
Č. 1330	1100	900	650	700	880	910	860	890	870	900
Č. 1331	1100	900	650	700	880	910	860	890	870	900
Č. 1430	1100	850	650	700	860	890	840	870	850	880
Č. 1431	1100	850	650	700	860	890	840	870	850	880
Č. 1480	1100	850	650	700	860	890	840	870	850	880
Č. 1530	1100	850	650	700	840	870	820	850	830	860
Č. 1531	1100	850	650	700	840	870	820	850	830	860
Č. 1580	1100	850	650	700	840	870	820	850	830	860
Č. 1630	1050	850	650	700	830	860	805	835	815	845
Č. 1631	1050	850	650	700	830	860	805	835	815	845
Č. 1680	1050	850	650	700	830	860	805	835	815	845
Č. 1730	1050	850	650	700	820	850	800	830	810	840
Č. 1731	1050	850	650	700	820	850	800	830	810	840
Č. 1780	1050	850	650	700	820	850	800	830	810	840
Č. 3130	1100	850	650	700	850	880	820	850	830	860
Č. 3131	1100	850	650	700	850	880	820	850	830	860
Č. 4130	1050	850	680	720	850	890	830	860	840	870
Č. 4131	1050	850	680	720	840	880	820	850	830	860
Č. 4132	1100	850	650	700	850	880	830	860	840	870
Č. 4133	1100	850	650	700	840	870	820	850	830	860
Č. 4134	1050	850	680	720	845	885	825	855	835	865
Č. 4180	1050	850	680	720	850	890	830	860	840	870
Č. 4181	1050	850	680	720	840	880	820	850	830	860
Č. 4184	1050	850	680	720	845	885	825	855	835	865
Č. 4730	1050	850	680	720	860	900	840	870	850	880
Č. 4731	1050	850	680	720	850	890	830	860	840	870
Č. 4732	1050	850	680	720	840	880	820	850	830	860
Č. 4733	1050	850	680	720	840	880	820	850	830	860
Č. 4734	1050	850	680	720	860	900	840	870	850	880
Č. 4736	1100	900	680	720	880	920	860	890	870	900
Č. 4781	1050	850	680	720	850	890	830	860	840	870
Č. 4782	1050	850	680	720	840	880	820	850	830	860
Č. 4830	1050	850	680	720	840	880	(820...850)	850	830	860
Č. 5430	1050	850	650	700	850	880	820	850	830	860
Č. 5431	1050	850	650	700	850	880	820	850	830	860
Č. 5432	1050	850	650	700	850	880	820	850	830	860

\* Navedene su prosječne vrijednosti. - Svi čelici (osim Č. 3130 i Č. 3230) imaju 105 mg/kg 0,25...0,35% Si. - \*\* P<sub>max</sub> i S<sub>max</sub> su za sve čelike Č. 1330, Č. 1430, Č. 1530, Č. 1630 i Č. 1730 po 0,045% za sve druge čelike po 0,035%.

\*\* Vrijednosti za mehanička svojstva u poboljšanom stanju (str. 366) vrijede pri debljinama materijala 16...50 mm. Pri manjim (većim) debljinama vrijednosti su za naprezanje tečenja i čvrstoću veće (manje), a za produženje manje (veće).

\*\*\* Popuštanje nakon kajenja pri 550...660 °C.

Oznaka čelika	Tvrdoća HRC*											
	na udaljenosti od žerne plohe (mm)											
	1,5	3	5	7	9	12	15	20	25	30	40	50
Č. 3139	55	54	51	48	45	40						
	46	43	37	31	27	22	37	33	31	29	27	26
Č. 4130, Č. 4180	57	57	56	54	52	47	44	39	37	35		
	49	48	45	41	35	30	27	23	21	20	33	31
Č. 4131, Č. 4181	61	61	60	59	58	55	52	46	42	40	37	35
	53	52	50	47	44	39	35	30	27	25	22	20
Č. 4132	59	57	54	49	43	38						
	51	46	37	29	25	21	35	32	30	27	24	22
Č. 4133	63	61	57	52	46	41	38	35				
	54	49	40	32	28	24	22	20	33	31	28	26
Č. 4134, Č. 4184	59	59	58	57	55	51	48	42	39	37		
	51	50	48	44	39	34	31	26	24	22	35	33
Č. 4730	52	52	51	50	48	44	41	37	35	33		
	44	43	40	37	34	30	27	23	21	20	31	31
Č. 4731, Č. 4781	57	57	57	56	55	53	52	48	45	43	40	39
	49	49	48	45	42	38	34	30	28	27	25	24
Č. 4732, Č. 4782	61	61	61	60	60	59	58	56	53	51	47	45
	53	53	52	51	50	46	43	38	35	34	32	32
Č. 4733	64	64	64	63	63	61	60	59	57	55	53	52
	56	55	54	53	51	49	46	42	40	39	37	36
Č. 4734	56	56	56	56	56	56	55	54	53	52	50	48
	48	48	47	47	46	45	44	41	39	38	36	34
Č. 4738	57	57	57	57	57	57	57	56	55	55	54	53
	49	48	48	48	47	47	46	46	46	46	45	44
Č. 4830	65	65	64	64	63	62	61	60	58	56	54	53
	57	56	56	55	53	51	48	44	41	40	38	37
Č. 5430	59	59	58	58	57	57	56	55	54	53	51	49
	51	50	49	49	48	46	45	43	41	39	36	31
Č. 5431	58	58	58	58	57	57	56	56	56	55	55	55
	50	50	49	49	48	48	47	46	45	44	43	41
Č. 5432	57	57	57	57	56	56	56	56	55	55	55	55
	49	49	49	49	48	48	47	47	46	46	45	44

\* Gornji i donji broj označuju granicne vrijednosti tvrdoće.

Sastav i mehanička svojstva

Oznaka po JUS	Sastav %					Tvrdoća (HRC)	U poboljšanom stanju			Tvrdoća nitrirane površine HV
	C	Cr	Mo	Al	ostalo		naprez. teč. $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	post. prod. $A_1$ %	
Č. 4531	0,34	1,7	0,2	0,1	1,0 Ni	245	590	780 ... 980	13	950
Č. 4734	0,30	2,5	0,2	-	0,15 V	248	785	980 ... 1180	11	750
Č. 4739	0,33	1,1	0,2	0,1	-	248	590	780 ... 980	14	900

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Normaliziranje °C	Kaljenje °C	Popuštanje °C
Č. 4531	1050 ... 850	650 ... 700		850 ... 900 ulje	580 ... 660
Č. 4734	1050 ... 850	680 ... 720	860 ... 900	850 ... 880 ulje	580 ... 630
Č. 4739	1050 ... 850	680 ... 710	900 ... 930	870 ... 910 voda	580 ... 650

Magnetski lim za transformatore i električne strojeve (JUS C. K3.020 — 1955)

Oznaka	Gubici (W/kg)			Magnetska indukcija B (T)					
	za B (T)			u magnetskom polju H (A/m)					
	1,0	1,5	40	160	1000	5000	11000	50000	100000

Transformatorski lim

MT 93	0,93	2,40	0,45	1,02	1,36	1,55			
MT 100	1,00	2,60	0,20	0,87	1,34	1,55			
MT 110	1,10	2,80	0,20	0,87	1,34	1,55			
MT 125	1,25	3,10	0,20	0,87	1,34	1,55			
MT 135	1,35	3,40	0,20	0,87	1,34	1,55			
MT 145	1,45	3,70	0,20	0,87	1,34	1,55			

Dinamo-lim

MD 170	1,70	4,30		0,86	1,34	1,57	1,70	2,01	2,09
MD 200	2,00	5,30		0,86	1,34	1,57	1,70	2,01	2,09
MD 240	2,40	6,80		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17
MD 300	2,80	8,00		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17
MD 700	... 7,00	... 16,00		0,92	1,39	1,63	1,75	2,08	2,17

**Čelici za automate**  
(JUS C.B0.505 - 1984)

Oznaka	Sastav %						p max	Upotreba za	
	C	Si	Mn	S	P	S			
Č. 1190	0,12	0,12	da 0,25	0,60	0,40	0,25	0,17	cementiranje	
Č. 1290	0,12	0,18	0,10	0,40	0,60	0,90	0,18	0,26	cementiranje
Č. 1490	0,22	0,19	0,20	0,10	0,60	0,90	0,15	0,25	poboljšanje
Č. 1590	0,42	0,50	0,10	0,40	0,60	0,90	0,15	0,25	poboljšanje
Č. 3190	0,14	0,20	0,20	0,40	1,10	1,30	0,20	0,25	cementiranje
Č. 3990	0,08	0,14	da 0,05	0,90	1,30	0,24	0,22	0,12	
Č. 3991	0,10	0,15	da 0,05	1,00	1,50	0,30	0,30	0,11	
Č. 3993	0,08	0,14	da 0,05	0,90	1,30	0,24	0,32	0,12	0,15 - 0,35 Pb

Mehanička svojstva (pri debljini 16 ... 40 mm)

Oznaka	Stanje	Naprezanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Postotno produlj. A <sub>1</sub> %
Č. 1190	hladno vučeno	355	460 - 710	9
	normalizirano	215	> 350	25
Č. 1290	hladno vučeno	375	460 - 710	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 1490	hladno vučeno	415	520 - 710	8
	normalizirano	285	480 - 610	18
Č. 1590	hladno vučeno	465	580 - 730	16
	poboljšano	365	580 - 730	16
Č. 3190	hladno vučeno	375	640 - 830	7
	normalizirano	325	580 - 710	14
Č. 3990	hladno vučeno	410	600 - 810	13
	poboljšano	410	600 - 810	13
Č. 3991	hladno vučeno	410	510 - 760	8
	normalizirano	250	> 380	20
Č. 3993	hladno vučeno	375	460 - 710	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 3994	hladno vučeno	390	490 - 740	8
	normalizirano	225	> 370	23
Č. 3993	hladno vučeno	375	460 - 710	8
	normalizirano	225	> 370	23

Toplinska obrada čelika za automate pri cementiranju

Oznaka	Meko žarenje °C	Normali- zacija °C	Ugljičenje °C	Toplinska obrada nakon ugljičenja*
Č. 1190	650 - 700		u prašci 850	1 kaljenje 890 ... 920 v. u međužar 650 - 680
Č. 1290		800 - 920	u sol. kup. 780	2 kaljenje 770 ... 800 v. u
Č. 3190	600 - 650		u plinu 900 - 920	popuštanje 150 (1 h)

\* Gašenje: v - u vodi, u - u ulju

Toplinska obrada čelika za automate - za poboljšanje

Oznaka	Meko žarenje °C	Normali- zacija °C	Poboljšanje*	
			gašenje °C	popuštanje °C
Č. 1490	650 ... 700	860 ... 890	840 ... 870 v ali 850 ... 880 u	530 ... 670
Č. 1590	650 ... 700	840 ... 870	830 ... 860 u	530 ... 670

\* Gašenje: v - u vodi, u - u ulju.

**Čelici za opruge**

(JUS C.B0.551 - 1984)

Sastav i mehanička svojstva

Oznaka	Sastav (prosječne vrijednosti) %					Žarenje tvrdoća 11B maks	Poboljšano		Post. prod. A <sub>1</sub> %
	C	Si	Mn	Cr	V		naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	
Č. 2133	0,55	1,65	0,85	-	-	245	1150	1320 - 1570	6
Č. 2330	0,60	1,45	1,05	-	-	255	1130	1320 - 1570	6
Č. 2332	0,64	1,65	0,85	-	-	255	1130	1320 - 1570	6
Č. 2430	0,60	1,65	0,85	0,30	-	255	1130	1320 - 1570	6
Č. 4230	0,67	1,30	0,50	0,30	-	255	1180	1370 - 1620	6
Č. 4332	0,55	0,25	0,85	0,85	-	248	1140	1370 - 1620	6
Č. 4830	0,51	0,25	0,90	1,05	0,15	241	1180	1370 - 1670	6

Toplinska obrada

Oznaka	Kuvanje °C	Meko žarenje °C	Normali- zacija °C	Poboljšanje*							
				kaljenje °C	popuštanje °C						
Č. 2133 } Č. 2330 } Č. 2332 } Č. 2430 }	1050	850	830 ... 860	830 ... 860	830 ... 860 u	350 ... 550					
Č. 4230 } Č. 4332 } Č. 4830 }							1100	850	830 ... 860	830 ... 860 u	350 ... 550

\* Gašenje: u - u ulju

Čelici za lance: JUS C.H0.507 - 1973.

**Hladno valjana čelična lima od malouglijalnog čelika**  
(JUS C.B4.016 - 1978)

Oznaka*	Sastav (%)				Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_5$ %	Tvrdoća	
	C maks.	Mn maks.	P maks.	S maks.				HRB	HR30T
Č. 0145	0,15	0,60	0,050	0,050	-	200 ... 500	-	-	-
Č. 0146	0,12	0,50	0,040	0,040	280	280 ... 410	28	65	60
Č. 0147	0,10	0,45	0,030	0,030	250	280 ... 380	32	57	55
Č. 0148	0,08	0,45	0,030	0,030	220	280 ... 360	36	50	50

\* Pn Č. 0145 do Č. 0148: dodatna oznaka N: neumireno  
 Pri Č. 0147 i Č. 0148: još i dodatna oznaka SLI: specijalno umireno  
 Upotreba: Č. 0145 - za opću upotrebu; Č. 0146 - za izvlačenje;  
 Č. 0147 - za duboko izvlačenje; Č. 0148 - za veoma duboko izvlačenje

**Hladno valjane čelične trake od malouglijalnog čelika**  
(JUS C.B3.521 - 1967)

Vrste čelika: Č.0146, Č.0147, Č.0148

Dopunska Oznaka	Stupanj tvrdoće	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_{10}$ %	Upotrebljivost
HT 28	meko	280 ... 400	25	izvlačenje
HT 30	ojačano	300 ... 420	23	
HT 32	1/8 tvrdo	320 ... 440	16	
HT 40	1/4 tvrdo	400 ... 500	10	
HT 45	1/2 tvrdo	450 ... 550	5	probijanje
HT 55	3/4 tvrdo	550 ... 650	3	
HT 60	tvrd	> 600	2	

**Valjana čelična žica**  
(JUS C.B0.501 - 1977)

Skupina	Oznaka žice*	Sastav (%)**						drugo
		C	Si	Mn	P	S		
A	Z 8N Z 8U	0,08	0,30	0,48	0,040	0,040	-	
	Z 22N Z 22U	0,22	0,30	0,58	0,050	0,050	-	
B	PZ12	0,15	0,20	0,45	0,040	0,040	0,025 Cu	
	PZ90	0,95	0,20	0,50	0,040	0,040	0,015 Cr 0,015 Ni	

\* N - neumireno, U - umireno  
 \*\* Prosječne vrijednosti

\*

Vučena obična čelična žica (JUS C.B6.010 - 1980)  
 Vučena čelična žica za posebne svrhe (JUS C.B6.011 - 1980)  
 Vučena čelična žica za opruge (JUS C.B6.018 - 1980)

**Čelici za valjane cijevi propisanih mehaničkih svojstava**  
(JUS C.B5.021 - 1964)

Oznaka	Sastav* %				Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_5$ % min
	C	Mn min.	Si				
Č. 1212	do 0,17	0,40	0,10	0,35	240	350 ... 450	25
Č. 1213	do 0,22	0,45	0,10	0,35	260	450 ... 550	21
Č. 1402	do 0,36	0,40	0,10	0,35	500	550 ... 650	17
Č. 1502	~ 0,45	0,40	0,30	0,35	400	650 ... 750	12
Č. 3000	do 0,22	1,50	0,10	0,35	360	520 ... 620	22

\* Sve vrste čelika te skupine imaju P ≤ 0,05% , S < 0,05%

**Čelici za valjane cijevi za više temperature (JUS C.B5.022 - 1965)**  
Sastav (%)

Oznaka	C	Si	Mn	Cr	Mo	P maks.	S maks.
Č. 1214	do 0,17	0,20	0,35	do 0,40	-	0,015	0,015
Č. 1215	do 0,22	0,10	0,35	do 0,45	-	0,05	0,05
Č. 7100	0,12	0,20	0,15	0,25	0,50	0,25	0,35
Č. 7400	0,10	0,18	0,15	0,35	0,40	0,70	0,70
Č. 7401	do 0,15	0,15	0,50	0,40	0,60	2,0	2,5

**Mehanička svojstva**

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> *								Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ % min
	pri temperaturi °C:									
	20	200	250	300	350	400	450	500		
Č. 1214	235	186	187	137	118	108	88	540	440	25
Č. 1215	255	206	186	157	137	128	108	440	530	21
Č. 7100	285	255	235	206	186	177	167	440	570	22
Č. 7400	295	275	255	235	216	206	196	440	570	22
Č. 7401	265	245	225	206	216	206	196	440	596	20

\* Vremensko naprezanje tečenja i čvrstoća razabiru se iz tablice na str. 375.

**Toplinska obrada**

Oznaka	Oblikovanje u vrućem °C	Žarenje nakon oblikovanja hladnom °C	Normalizacija °C	Poboljšanje		
				kaljenje* °C	popuštanje °C	
Č. 1214	1100	850	650	700	900	930
Č. 1215	1100	850	650	700	870	900
Č. 7100	1100	850	650	700	910	940
Č. 7400	1100	850	680	720	-	-
Č. 7401	1100	850	730	780	-	-

\* z - hladeње na zraku.

Sastav i toplinska obrada

Oznaka	Sastav (%)**					Vruća obrada °C	Normalizacija °C	Zarenje za popuš napetosti °C
	C	Si	Mn	Cr	Mo			
Č. 1202	< 0,16	< 0,35	> 0,40	< 0,30		910	940	
Č. 1204	< 0,20	< 0,35	> 0,50	< 0,40		890	920	1600... 650
Č. 1206	< 0,22	< 0,35	> 0,55	< 0,30		860	910	
Č. 3105	0,17	0,30	1,05	< 0,30		880	910	550... 620
Č. 3133	0,20	0,30	1,15	< 0,30		850		
Č. 7100	0,16	0,25	0,60		0,10	910	940	600... 750
Č. 7400	0,14	0,25	0,55	0,85	0,45			650... 720

\* Čelici Č. 1202 do 1206 imaju najviše po 0,050% P i S, drugi čelici pa najviše po 0,040% P i S - \*\* Čelik Č. 7400 poboljšava se kaljenjem pri 910... 940 °C i popušanjem pri 650... 720 °C

Mehanička svojstva

Oznaka	Naprezanje tečenja $R_t$ N/mm <sup>2</sup>						Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %	Žilavost KJ/CS	Pokus savijanja ( $\alpha = 180^\circ$ )
	pri temperaturi °C									
	20	200	300	400	450	500				
Č. 1202	215	177	157	98	78		340... 440	25	25	D - 0,5 a
Č. 1204	245	206	157	118	98		400... 430	22	29	D - 2 a
Č. 1206	265	226	177	137	118		440... 520	21	42	D - 2,5 a
Č. 3105	315	265	226	176	155		510... 610	18	35	D - 3,5 a
Č. 3133	275	245	206	157	135		480... 550	19	35	D - 3 a
Č. 7100	285	255	206	177	167	147	440... 570	21	42	D - 3 a
Č. 7400	295	275	235	206	196	176	440... 570	20	42	D - 3 a

\*  $\alpha$  - kut savijanja, D - promjer pritiskavača, a - debljina ispitnog uzorka

Temperatura °C	20	300	400	500	600
Modul elastičnosti E N/mm <sup>2</sup>	210000	185000	175000	165000	155000

Toplinska vodljivost i temperaturni koeficijent rastezanja

Oznaka	Toplinska vodljivost $\lambda$ W/mK						
	pri temperaturi °C						
	20	100	200	300	400	500	600
Č. 1202	51,7	52,9	50,0	47,1	44,2	41,7	
Č. 1204	53,5	51,7	48,8	45,9	43,0	40,1	
Č. 1206	52,3	50,6	48,3	45,3	42,4	39,5	
Č. 3105	53,5	51,7	47,7	44,7	39,5	31,9	
Č. 7100	49,4	48,3	45,9	43,6	40,7	37,8	34,0
Č. 7400	44,2	47,0	41,3	39,8	37,2	34,3	31,4

Između 20 °C i temperature °C: 100 200 300 400 500 600  
 Temperaturni koef. rastezanja  $\alpha$   $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$ : 11 12,1 12,9 13,5 13,9 14,1

Vremensko naprezanje tečenja  $R_{pt}$  je naprezanje koje izaziva trajni postotno produljenje 1%:

$$R_{pt}/10000 - v \text{ 10000 h}$$

$$R_{pt}/100000 - v \text{ 100000 h}$$

Vremenska čvrstoća  $R_m$  je naprezanje koje izaziva lom:

$$R_m/10000 - v \text{ 10000 h}$$

$$R_m/100000 - v \text{ 100000 h}$$

$$R_m/200000 - v \text{ 200000 h}$$

Oznaka čelika	$R_{pt}, R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Temperatura °C							
		180	200	220	240	260	280	300	320
Č. 1202	$R_{pt}/10000$	164	136	113	92	72	51	38	
Č. 1204	$R_{pt}/100000$	118	95	74	57	42	30	21	
Č. 1206	$R_m/10000$	229	191	158	127	100	75	54	
Č. 1214	$R_m/100000$	165	132	105	79	59	42	29	
Č. 1215	$R_m/200000$	145	115	89	67	48	33	24	
Č. 3105	$R_{pt}/10000$		167	133	107	82	63	49	35
	$R_{pt}/100000$		115	92	69	51	38	29	22
	$R_m/10000$		255	200	156	121	90	69	54
Č. 3133	$R_{pt}/100000$		177	146	103	75	53	39	30
	$R_m/200000$		154	119	89	65	44	32	25
Temperatura °C									
Č. 7100	$R_{pt}/10000$	199	166	137	99	71			
	$R_{pt}/100000$	147	107	74	46	28			
	$R_m/10000$	279	238	177	127	85			
	$R_m/100000$	211	173	93	59	38			
	$R_m/200000$	193	121	74	45	28			
Č. 7400	$R_{pt}/10000$	227	192	157	122	90	64		
	$R_{pt}/100000$	167	131	98	70	46	30		
	$R_m/10000$	338	284	230	177	125	86		
	$R_m/100000$	252	190	137	93	61	40		
	$R_m/200000$	229	167	115	79	47	31		
Č. 7401	$R_{pt}/100000$		139	107	79	54	33	23	14
	$R_{pt}/1000000$		130	103	75	58	41	30	23
	$R_m/10000$		240	166	127	102	95	74	59
	$R_m/100000$		184	142	108	78	56	41	29
	$R_m/200000$		171	128	95	68	47	33	24

## Čelici otporni prema kemijskim utjecajima

### Sustav i mehanička svojstva\*

JUS	Oznaka	Sastav %					Naprez. teč. R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Površ. prod. A <sub>5</sub> %
		Željezna Ravne	C	Cr	Ni	S, Mo, ost.			
Č 4170	Proktron 1	0,08	13,0	-	-	-	400	550... 700	16
Č 4171	Proktron 2	0,15	13,0	-	-	-	450	650... 800	16
Č 4172	Proktron 3	0,20	14,0	-	-	-	530	800... 950	14
Č 4570	Proktron 3 spec	0,20	12,0	2,0	-	-	500	800... 950	14
Č 4572	Proktron 11 spec	0,08	18,0	10,5	-	+ Ti	205	500... 750	35
Č 4573	Proktron 2	0,08	12,5	12,5	2,0	Mo	205	500... 750	40
Č 4574	Proktron 2 spec	0,08	12,5	12,5	2,0	Mo	225	500... 750	35
Č 4581	Proktron 11 ex.	0,07	18,0	11,0	-	-	185	500... 700	45
Č 4582	Proktron 11 Nb	0,10	18,0	10,0	-	+ Nb	205	500... 750	35
Č 4584	Proktron 12 Nb	0,10	18,0	12,0	2,0	Mo	225	500... 750	35

\* Za čelike od Č 4170 do Č 4570 u poboljšanom stanju, za austenitne čelike od Č 4571 do Č 4583 u gašenom stanju.

### Čvrstoća pri višim temperaturama

Oznaka	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>								
	70	100	200	300	400	500	600	700	800
Č 4171	750	700	650	600	550	500	340	240	65
Č 4172	750	700	650	600	550	500	340	240	65
Č 4570	750	700	650	600	550	500	340	240	65

### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje* °C	Žarenje °C	Kaljenje** °C	Popuštanje*** °C
Č 4170	1150... 750	750... 800	950... 1000 u,z	700... 750
Č 4171	1150... 750	750... 800	980... 1030 u,z	700... 750
Č 4172	1150... 750	750... 800	950... 1030 u,z	650... 700
Č 4570	1100... 750	660... 700	1000... 1050 u	630... 720

\* Polagano zagrijavati i polagano ohlađivati. \*\* Gašenje: u - u ulju, z - na zraku. \*\*\* Boje popuštanja za te čelike ne vrijede (vidi str. 352).

Austenitne čelike (Č 4571 do Č 4583) kužemo pri 1150... 750 °C, a gasimo pri 1050... 1100 °C u vodi.

## Čelici za ventile

### Sustav i mehanička svojstva (u poboljšanom stanju)

Oznaka	Sastav %	Naprez. teč. R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Površ. prod. A <sub>5</sub> %						
					Željezna Ravne	C	Si	Cr	Ni	Almg.
Č 2331	2Si	0,60	1,7	-	-	685	850	1030	12	
Č 4270	Proktron 8	0,45	2,2	9,0	-	700	800	1100	14	
Č 4581	Proktron 9	0,80	2,0	20,0	1,4	685	880	1130	7	
Č 4588	21,4 N	0,50	-	21,0	4,0	1,50 N	840	980	1180	10
Č 4870	28,30-4 N	0,5	-	21,0	3,8	9,0 Mg	600	950	1150	10

\* Također: 1,0 Mo, 1,0 V; 1,0 Nb, 0,40 N

### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Kaljenje <sup>2)</sup> °C	Popuštanje °C
Č 2331	1050... 1080	680... 720	830... 850 u	620... 680
Č 4270	1100... 900 <sup>1)</sup>	700... 820	1000... 1050 u	700... 820 <sup>2)</sup>
Č 4581	1100... 900 <sup>1)</sup>	820... 860	1050... 1180 u, z	700... 750
Č 4588	1150... 900 <sup>1)</sup>	-	1140... 1180 v	-
Č 4870	1100... 950 <sup>1)</sup>	770... 820	1140... 1180 u, z	650... 750

<sup>1)</sup> Ohlađivanje u pepelu. <sup>2)</sup> Oznake: u - u ulju, z - na zraku, odn. na zraku. - <sup>3)</sup> Ohlađivanje 1... 2 h na zraku.

### Vatrootporni čelici

#### Sustav i mehanička svojstva

Oznaka	Sastav %	Naprez. teč. R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Površ. prod. A <sub>5</sub> %							
					Željezna Ravne	C	Si	Mo	Cr	Ni	Al
Č 4970	Proktron 19	0,22	1,3	14,0	-	280	520	720	10		
Č 4972	X 19 Cr Al 13	0,12	1,0	12,0	-	250	450	650	15		
Č 4973	N 50 Cr Al 18	0,12	1,0	18,0	-	275	500	700	12		
Č 4578	Proktron 19	0,20	2,0	1,5	25,0	20,0	-	730	550	800	30
Č 4579	Proktron 20	0,25	1,7	1,5	16,0	35,0	-	230	550	800	30

### Toplinska obrada i upotreba

Oznaka	Kovanje	Žarenje	Gašenje u vodi	Upotreba
Č 4970	1140... 750	750... 850	-	postoj. u vatri do 1150 °C } podnosi postoj. u vatri do 850 °C } S
Č 4972	1100... 800	800... 850	-	
Č 4973	1100... 800	800... 850	-	
Č 4578	1150... 850	-	1500... 1170	austenitni čelik, ne podnosi
Č 4579	1100... 850	-	1500... 1100	postojan do 1200 °C } S

## Čelici postojeći pri višim temperaturama

Za standardirane vrste čelika Č. 7100 i Č. 7400 vidi podatke na str. 374.

Sastav i mehanička svojstva (u poboljšanom stanju)

Oznaka po JUS	Sastav %					Naprez. tečenja $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %
	C	Mn	Cr	Mo	V			
Č. 7431	0,22	0,60	1,1	0,45	-	500	650 ... 800	15
Č. 7432	0,24	0,60	1,3	0,50	0,2	550	700 ... 850	16

Trajna čvrstoća pri višim temperaturama

Oznaka	Granica puženja N/mm <sup>2</sup> pri °C				Upotreba (do 530 °C)
	400	450	500	550	
	Č. 7431	320	240	150	
Č. 7432	360	290	200	(100)	

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje* °C	Žarenje** °C	Normalizacija °C	Kaljenje*** °C	Popuštanje °C
Č. 7431	1100 ... 850	700 ... 730	900 ... 930	870 ... 900 u	600 ... 660
Č. 7432	1100 ... 850	660 ... 710	900 ... 930	900 ... 950 u, z	600 ... 680

\* Ohlađivanje u pepelu. - \*\* Ohlađivanje u peći. \*\*\* Gašenje: z - na zraku, u - u ulju

## Čelici otporni prema habanju

Sastav i mehanička svojstva

Oznaka po JUS	Željez Ravne	Sastav %		Stanje čelika	Naprez. tečenja $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %
		C	Mn				
Č. 3134	2 Mn	0,5	1,8	poboljšano	1050	1200 ... 1400	7
Č. 3160	12 Mn	1,2	12,0	gašeno	350	800 ... 1000	30

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Žarenje °C	Normalizacija °C	Kaljenje* °C	Popuštanje °C
Č. 3134	1050 ... 850	680 ... 700	830 ... 850	790 ... 830 u	480 ... 520
Č. 3160**	1050 ... 850	-	-	-	-

\* u - gašenje u ulju. - \*\* Austenitni čelik Č. 3160 gašeno pri 1050 °C u vodi.

## ALATNI ČELICI

Uglični alatni čelici

Sastav i upotreba

Oznaka		Sastav* C %	Upotreba
JUS	Željezarna Ravne		
Č. 1531	CK 45	0,45	čelici, sjekire, noževi, svrdla za drvo
Č. 1731	CK 60	0,60	čelici za kamen, pile, držala za alat
Č. 1740	OC 70	0,70	meki čelik za vrlo žilav alat
Č. 1840	OC 80	0,80	žilavi čelik za alat za obradu mekog materijala
Č. 1940	OC 100	1,0**	žilavo-tvrdo čelik za alat koji treba da je prilično tvrd i odgovarajuće žilavosti
Č. 1941	OC 100 extra		
Č. 1943	OC 120		
Č. 1944	OC 120 extra	1,2**	polutvrdi čelik za alat koji treba da je osobito tvrd uz manju žilavost
Č. 1841	Kose	0,80	vrlo čvrst čelik za kose
Č. 1948	OCP 135	1,3	osobito tvrdi čelik za najtvrdje male i srednje turpije

\* Svi ti čelici imaju najviše po 0,30% Si i Mn

\*\* Čelici Č. 1941 i Č. 1944 sadrže još 0,1% V

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje* °C	Meko žarenje**		Kaljenje (u vodi)***				
		°C	tvrdća HB	°C	tvrdća HRC			
Č. 1531	1100 ... 850	650	700	197	820	850 v	54	
Č. 1731	1050	850	650	700	231	800	930 v	61
Č. 1740	1050	800	690	720	180	770	800 v	63
Č. 1840	1050	800	690	720	190	770	800 v	64
Č. 1940	1000	800	690	720	200	760	790 v	65
Č. 1941	1000	800	690	720	200	760	800 v	65
Č. 1943	1000	800	690	720	210	760	790 v	65
Č. 1944	1000	800	690	720	210	760	800 v	65
Č. 1841	1050	800	680	720	175	740	810 v	65
Č. 1948	1000	800	690	720	210	760	780 v	65

\* Nakon kovanja ohlađivanje na traku.

\*\* Žarenje 3 ... 10 h.

\*\*\* Popuštanje pri 100 ... 200 °C.



### Legirani alati čelici

Legirani alati čelici za rad u hladnom

#### Sastav i upotreba

JUS	Oznaka	Sastav %					Upotreba
		Željezna Ravne	C	Cr	V	W	
Č 4141	OCR 1	1,15	0,70	0,10			navojna svrdla, natez-nice, razvrtala
Č 4143	OCR 3	1,4	0,70				
Č 4145	OCR 4 extra	1,0	1,5				kalibri, matrice, turpije, razvrtala
Č 4149	OCR 3 extra	1,4	0,50				
Č 4150	OCR 12	2,1	11,5				rezni alat, alat za rezanje navoja, rubne matrice, stanice
Č 4650	OCR 12 spec	2,1	11,5		0,70		
Č 4750	OCR 12 extra	1,65	11,5	0,15	0,50	0,6 Mo	
Č 4850	OCR 12 VM	1,55	12,0	1,0		0,9 Mo	
Č 4172	Prokron 3	0,20	13,0				kirurški instrumenti, matrice za tablete i s.
Č 41702	Prokron 4	0,32	13,0				
Č 41704	Prokron 4 ex	0,45	13,0				
Č 47702	Prokron 5	0,45	14,0	0,10		0,50 Mo	
Č 5840	84 Np V 4	0,85	-	0,15	-	0,9 Ni	udarni alat
Č 7440	OH 49	0,60	3,3	0,15	-	1,1 Mo	rad u hlad. i vrućem
Č 8140	145 V 33	1,45	-	3,2	-	-	ind. nožev. pranje

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C		Meko žarenje		Kaljenje		Popuštanje	
	°C	HB	°C	tvrd. HB	°C	tvrd. HRC	°C	HB
Č 4141	1150	850	720	160	780	62	150	250
Č 4143	1000	800	720	120	730	65	150	250
Č 4145	1050	850	760	225	790	63	100	300
Č 4149	1000	800	720	220	730	65	150	250
Č 4150	1050	850	800	250	940	62	150	400
Č 4650	1050	850	800	250	940	62	150	400
Č 4750	1050	850	800	250	980	61	150	400
Č 4850	1050	850	800	250	1000	62	150	550
Č 4172	1100	850	770	220	950	52	150	450
Č 41702	1100	850	770	225	950	52	150	450
Č 41704	1050	850	760	235	990	53	160	400
Č 47702	1050	850	770	250	950	53	150	450
Č 5840	1050	850	700	220	780	64	150	250
Č 7440	1150	850	820	240	950	61	160	600
Č 8140	1100	900	720	250	800	64	180	350

\* hl - bladenje pri kaljenju; v - voda, u - ulje, t - termalna kupka, z - zrak.

### Legirani alati čelici za rad u hladnom

#### Sastav i upotreba

JUS	Oznaka	Sastav %					Upotreba
		Željezna Ravne	C	Cr	V	W	
Č 4754	CRV	1,0	10,0	0,25			udarni rezanje noževi za drvo, pile
Č 4755	CRV 2	0,57	9,5	0,10			
Č 4756	CA 2	1,0	5,0	0,25	1,2		rezanje plastike
Č 4835	31 Cr V 3	0,33	0,60	0,10			ključevi za vijke
Č 4844	DL 2 spec	0,80	0,50	0,20			noževi za drvo i papir
Č 6443	OSIKRO 2	0,45	1,0	0,20	2,0	1,0 Si	pneumatski alat, za rad u hlad., vrućem
Č 6444	OSIKRO 4	0,60	1,0	0,15	2,0	0,60 Si	
Č 6445	OSIKRO sp.	0,80	1,0	0,30	2,0		
Č 6840	Mendi	0,90	0,30	0,10		2,0 Mn	mjerni alat
Č 6440	Mendi extra	1,05	1,0		1,2	1,0 Mn	mjerni alat
Č 6440	OW 1	1,2	0,20	1,10	1,0		navojna svrdla, razvrtala, glodala
Č 6441	OW 3	1,1	1,2	0,20	1,3		
Č 6847	OW spec	1,0		0,2	1,0		noževi za drvo rezni alat
Č 6850	OW 5	1,4	0,50	0,25	4,5		

#### Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C		Meko žarenje		Kaljenje		Popuštanje	
	°C	HB	°C	tvrd. HB	°C	tvrd. HRC	°C	HB
Č 4754	1050	850	840	250	1000	61	150	550
Č 4755	1050	900	840	250	1000	59	150	550
Č 4756	1050	850	830	250	940	62	150	550
Č 4835	1050	850	680	220	830	52	100	400
Č 4844	1000	800	680	230	800	63	160	400
Č 6443	1050	850	720	230	840	56	150	400
Č 6444	1050	850	720	240	860	60	150	400
Č 6445	1050	850	720	250	860	61	150	400
Č 6840	1050	850	690	220	760	63	110	300
Č 6440	1050	850	720	240	770	63	110	300
Č 6440	1050	850	720	240	780	63	110	300
Č 6840	1050	850	720	230	800	63	110	300
Č 6441	1050	850	720	230	760	65	150	250
Č 6842	1050	850	720	230	760	65	150	250
Č 6850	1050	850	720	250	780	64	150	250

\* hl - rashladno sredstvo; v - voda, u - ulje, t - termalna kupelj, z - zrak.

Legirani alatni čelici za rad u vrućem

Sastav i upotreba

Oznaka	Željezna Ravnje	Sastav %						Upotreba
		C	Cr	V	W	Mo	drugo	
Č 4747	Utop N	0,40	1,9			0,2	1,5 Mn	utopi, matrice tmovi, kokile
Č 4751	Utop Mo 1	0,40	5,0	0,20		1,3	1,0 Si	
Č 4752	Utop 3	0,36	5,0	0,25	1,4	1,4	1,0 Si	
Č 4753	Utop Mo 2	0,40	5,0	1,0		1,3	1,0 Si	
Č 4757	Utop Mo 4	0,50	5,0	1,0		1,5	1,0 Si	
Č 4758	Utop Mo 6	0,72	5,5	0,65	1,2	1,35	1,0 Si	
Č 5741	Utop extra 1	0,55	0,70	0,10		0,30	1,7 Ni	
Č 5742	Utop extra 2	0,55	1,1	0,30		0,50	1,7 Ni	
Č 6450	Utop 1	0,30	1,0	0,20	4,0		1,0 Si	
Č 6451	Utop 2	0,30	2,5	0,40	9,0			
Č 7450	Utop 33	0,42	3,0	0,50		3,0		
Č 9750	Utop Co 2	0,32	3,6	0,50		1,0	3,0 Co	

Toplinska obrada

Oznaka	Kuvanje °C	Meko žarenje		Kalenje				Popuštanje	
		°C	tvrd. HB	°C	hl*	tvrd. HRC	°C	°C	
Č 4742	1050 ... 850	700 ... 740	240	840 ... 870	t, u	54 ... 56	600 ... 690		
				860 ... 900	z	52 ... 54			
Č 4751	1100 ... 900	800 ... 830	250	980 ... 1030	u, 1	57 ... 56	570 ... 700		
				1000 ... 1050	z	50 ... 55			
Č 4752	1100 ... 900	750 ... 800	250	890 ... 1040	u, 1	54 ... 58	400 ... 650		
				890 ... 1040	z	52 ... 57			
Č 4753	1100 ... 850	800 ... 840	250	1000 ... 1030	u, 1	52 ... 56	550 ... 700		
				1000 ... 1030	z	50 ... 55			
Č 4757	1100 ... 850	800 ... 830	250	1000 ... 1040	u, 1	54 ... 58	450 ... 650		
				1000 ... 1040	z	52 ... 56			
Č 4758	1050 ... 850	830 ... 850	250	1000 ... 1040	u, 1	60 ... 63	450 ... 600		
				1000 ... 1040	z	59 ... 62			
Č 5741	1050 ... 850	670 ... 700	250	830 ... 870	u	57 ... 61	400 ... 700		
				830 ... 870	u	58 ... 62			
Č 5742	1050 ... 850	670 ... 700	250	850 ... 900	z	54 ... 58	400 ... 700		
				850 ... 900	z	54 ... 58			
Č 6450	1100 ... 850	740 ... 760	250	960 ... 1000	v	49 ... 53	500 ... 700		
				1000 ... 1040	u	46 ... 50			
Č 6451	1100 ... 900	780 ... 830	250	1080 ... 1160	u, 1	47 ... 53	550 ... 700		
				1080 ... 1160	z	42 ... 47			
Č 7450	1050 ... 900	780 ... 830	250	1010 ... 1050	t, u	49 ... 54	500 ... 700		
				1010 ... 1050	z	47 ... 46			
Č 9750	1100 ... 850	800 ... 840	250	1020 ... 1060	u, 1	49 ... 53	550 ... 700		
				1020 ... 1060	z	42 ... 48			

\* hl - rashladno sredstvo: v - voda, u - ulje, 1 - termalna kupka, z - zrak

Brzorezni čelici

Sastav i upotreba

Oznaka	Željezna Ravnje	Sastav %						Upotreba
		C	W	Cr	Co	Mo	V	
Č 6880	BRW	0,15	18,0	4,0	-	-	1,1	standardni brzorezni čelik za sve vrste brzoreznog alata
Č 6980	BRC	0,80	18,0	4,0	5,0	0,7	1,5	Co-brzorezni čelik za rezanje tvrdih materijala velikom brzinama s debelom strugotinom
Č 7680	BRM 2	0,90	6,5	4,0	-	5,0	1,9	Mo-brzorezni čelik za obradu kovina pri većim udarnim opterećenjima, osobito za nožve i glodala (za grubu obradu)
Č 9682	BRC 3	0,76	18,0	4,0	9,5	0,7	1,5	jako legirani Co-brzorezni čelik za najveća opterećenja i za rezanje najtvrdijih materijala
Č 9683	BRU	1,75	9,5	4,0	10,0	3,5	5,7	univerzalni brzorezni čelik najvećeg učinka pri finoj ili gruboj obradi
Č 9780	BRC Mo	0,92	6,5	4,0	5,0	5,0	1,9	Co-Mo-brzorezni čelik za najtežu grubu obradu gdje se posebno zahtijeva žilavost
Č 9880	OSV 1	1,5	6,5	4,5	5,0	3,5	5,0	vrlo opterećeni alat, probijači, glodala i noževi za obradu kovina

Toplinska obrada

Oznaka	Kuvanje °C	Žarenje		Kalenje*		Popuštanje			
		°C	tvrdća HB	°C	°C	°C	°C	tvrdća HRC	
Č 6880	1150 ... 900	800 ... 810	300	1200 ... 1290	500 ... 560	61 ... 65			
Č 6980	1150 ... 900	800 ... 830	300	1260 ... 1300	540 ... 580	63 ... 66			
Č 7680	1100 ... 900	780 ... 810	300	1180 ... 1230	530 ... 560	63 ... 66			
Č 9682	1150 ... 900	800 ... 830	300	1250 ... 1370	550 ... 590	63 ... 67			
Č 9683	1100 ... 900	800 ... 860	300	1210 ... 1250	540 ... 570	64 ... 67			
Č 9780	1100 ... 900	780 ... 810	300	1200 ... 1240	540 ... 570	63 ... 66			
Č 9880	1100 ... 900	870 ... 900	300	1180 ... 1260	480 ... 520	62 ... 65			

\* Gašenje u ulju, na zraku ili u termalnoj kupki (540 ... 550 °C)

## ČELIČNI LIJEV

Čelični lijev je svaki čelik dobiven postupkom u martenki, konverteru, taljici ili električnoj peći i lijevan u kalupe.

### Ugljično (nelegirani) čelični lijev (JUS C.13.011 - 1973)

Oznaka po JUS	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min	Vlač. čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min	Postot. produlj. $A_5$ % mm	Kontrak. $Z$ % mm	Žila-vrst. $K_{17.5}$ J/min	Pokus savijanja $\alpha - 180^\circ$ D	Magn. indukcija T pri jakosti polja A/m 2500 5000 10000
Čl. 0300	185	375	25	35	34	3a	1,45 1,60 1,75
Čl. 0400	235	440	22	30	27	3a	1,40 1,55 1,70
Čl. 0500	285	510	18	25	21	4a	1,35 1,55 1,70
Čl. 0600	295	590	15	-	14	-	1,40 1,50 1,65
Čl. 0602	345	610	15	-	14	-	-
Čl. 0603	410	685	12	-	-	-	-

Svi odljevi moraju biti tople obrađeni i to: žarenjem na meko ili normaliziranjem ili normaliziranjem i žarenjem na meko.

### Legirani čelični lijev za poboljšanje

Oznaka po JUS	Željezna Ravne	Sastav %		
		C	Cr	Mo
Čl. 1330	Lg C 25	0,20	-	-
Čl. 4730	CrMo 60L	0,25	1,0	0,25
Čl. 4731	CrMo 80L	0,25	1,0	0,25
Čl. 4732	CrMo 100L	0,12	1,0	0,25
Čl. 7130	LgZ-45 Mo	0,24	-	0,40
Čl. 7431	GS 17CrMo55	0,18	1,3	0,50

### Mehanička svojstva (u poboljšanoj stanju) i upotreba

Oznaka po JUS	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. $A_5$ %	Upotreba
Čl. 1330	245	400 ... 590	22	ventili (do 450 °C)
Čl. 4730	390	590 ... 740	16	statički i dinamički opterećeni dijelovi
Čl. 4731	510	740 ... 890	12	
Čl. 4732	665	880 ... 1030	9	
Čl. 7130	245	440 ... 590	22	ventili (300 ... 540 °C)
Čl. 7431	315	490 ... 640	20	jače opterećeni dijelovi

## Kemijski otporan čelični lijev

### Sastav

Oznaka JUS	Željezna Ravne	Sastav %					
		C maks.	Si	Cr	Ni	Mo	ostalo
<b>Nerdajući lijev</b>							
Čl. 4171	Prokron 2 L	0,20	-	13,5	-	-	-
Čl. 4571	Prokron 11 L	0,12	1,5	18,0	9,0	-	-
Čl. 4572	Prokron 11 sp. L	0,08	1,0	18,0	10,0	-	+ Nb
Čl. 4573	Prokron 12 L	0,12	1,5	18,0	10,0	2,0	-
Čl. 4574	Prokron 12 sp. L	0,08	1,0	18,0	11,5	2,0	+ Nb
<b>Virostajni lijev</b>							
Čl. 4271	Prokron 10 L	0,45	1,7	29,0	-	-	-
Čl. 4273	Prokron 16 L	1,3	1,7	29,0	-	-	-
Čl. 4576	Prokron AS L	0,40	1,5	27,0	4,0	-	-
Čl. 4577	Prokron 15 L	0,35	1,5	25,0	12,0	-	-

### Mehanička svojstva i upotreba

Oznaka JUS	Stanje	Naprez. tečenja $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Upotreba
Čl. 4171	pobolj.	440	590 ... 790	12	otpornost prema rđi i kiselinama
Čl. 4571	gaš. (v)	175	440 ... 640	20	
Čl. 4572	gaš. (v)	175	440 ... 640	20	
Čl. 4573	gaš. (v)	185	440 ... 640	20	
Čl. 4574	gaš. (v)	185	440 ... 640	20	
Čl. 4271	žareno	Tvrdoća	200 ... 300 HB	dijelovi industrijskih peći u vatri do 1100 °C u vatri do 1150 °C	
Čl. 4273	žareno		250 ... 330 HB		
Čl. 4576	žareno		200 ... 300 HB		
Čl. 4577	gaš. (v)		150 ... 230 HB		

### Čelični lijev otporan prema habanju

#### Sastav i mehanička svojstva

Oznaka JUS	Željezna Ravne	Sastav %				Svojstva čvrstoće*	
		C	Mn	Cr	Ni		
Čl. 3134	3 Mn L	0,45	1,8	-	-	pobolj.: $R_e = 390$ , $A_5 = 7$	
Čl. 3160	V 12 Mn L	1,2	12,0	-	-		
Čl. 4761	N 12 Mn L	1,0	12,0	-	-	gašeno (u vodi) tvrdoća 200 HB	
Čl. 3460	V 12 MnCr L	1,2	13,0	1,0	-		
Čl. 3462	12 MnCr L	1,2	11,0	1,8	-		
Čl. 7361	12 MnMo L	1,1	12,0	-	2,0		
Čl. 7762	V 12 MnMo L	1,3	12,0	-	2,0		
Čl. 4758	15-V LC L	2,6	-	15,0	2,8	katj.: tvrd. 55 ... 60 HRC kujj.: tvrd. 60 ... 64 HRC	
Čl. 4759	15-V HC L	3,8	-	15,0	2,2		
Čl. 4771	Prokron 3 ML	0,30	-	17,0	0,6	1,6	pobolj.: $R_e = 590$ , $A_5 = 4$

\*  $R_e$  - granica naravnog tečenja (N/mm<sup>2</sup>),  $A_5$  - postotno produljenje (%)

## OZNAKE ČELIKA

## Oznake čelika prema standardima JUS i DIN

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 0000	St 00	Č. 0645	St 60-2
Č. 0145	St 10	Č. 0745	St 70-2
Č. 0146	U St 12, St 12	Č. 1100	—
Č. 0147	U St 13, R St 13	Č. 1101	—
Č. 0148	RR St 14	Č. 1120	C 10
Č. 0210	U St 35-2	Č. 1121	Ck 10
Č. 0211	R St 35-2	Č. 1190	(10 S 20)
Č. 0245	U St 36-1	Č. 1202	H I
Č. 0246	(6 P 10)	Č. 1204	H II
Č. 0247	(G 7 S 10)	Č. 1206	H III
Č. 0255	U St 36-2	Č. 1209	—
Č. 0257	U 10 S 6	Č. 1210	—
Č. 0261	R St 34-2	Č. 1211	—
Č. 0265	U(2) St 36-2	Č. 1212	St 35-4
Č. 0267	U 10 S 10	Č. 1213	St 45-4
Č. 0270	U St 34-1	Č. 1214	St 35-8
Č. 0271	U St 34-2	Č. 1215	St 45-8
Č. 0275	R St 36-2	Č. 1220	C 15
Č. 0345	U St 38-1	Č. 1221	Ck 15
Č. 0355	U St 38-2	Č. 1281	Cm 15
Č. 0361	R St 37-2	Č. 1290	15 S 20
Č. 0362	St 37-3	Č. 1300	—
Č. 0363	(St 37-3)	Č. 1301	—
Č. 0365	U(2) St 38-2	Č. 1302	—
Č. 0370	U St 37-1	Č. 1330	C 22
Č. 0371	U St 37-2	Č. 1331	Ck 22
Č. 0375	R St 36-2	Č. 1400	—
Č. 0411	—	Č. 1402	St 55-4
Č. 0445	R St 44-2	Č. 1430	C 35
Č. 0446	(6 P 20)	Č. 1431	Ck 35
Č. 0460	R St 42-1	Č. 1480	Cm 35
Č. 0461	R St 42-2	Č. 1490	35 S 20
Č. 0462	St 42-3	Č. 1500	—
Č. 0463	(St 42-3)	Č. 1501	—
Č. 0471	U St 42-2	Č. 1502	—
Č. 0481	R St 46-2	Č. 1530	C 45
Č. 0482	St 46-3	Č. 1531	Ck 45
Č. 0483	(St 46-3)	Č. 1540	(C 45 W 3)
Č. 0545	St 50-2	Č. 1580	Cm 45
Č. 0561	(St 52-3)	Č. 1590	45 S 20
Č. 0562	St 52-3	Č. 1600	—
Č. 0563	(St 52-3)	Č. 1601	—

## Oznake čelika prema standardima JUS i DIN (nastavak)

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 1630	C 55	Č. 4141	115 CrV 3
Č. 1631	Ck 55	Č. 4143	140 Cr 3
Č. 1680	Cm 55	Č. 4145	100 Cr 6
Č. 1700	—	Č. 4149	(140 Cr 2)
Č. 1701	—	Č. 4150	X 210 Cr 12
Č. 1730	C 60	Č. 4170	X 7 Cr 13
Č. 1731	Ck 60	Č. 4171	X 15 Cr 13
Č. 1740	(C 67 W 3)	Č. 4172	X 20 Cr 13
Č. 1741	(C 67 W 3)	Č. 4173	(X 40 Cr 13)
Č. 1780	Cm 60	Č. 4175	X 42 Cr 13
Č. 1840	(C 80 W 1)	Č. 4180	34 CrS 4
Č. 1940	(C 105 W 1)	Č. 4381	41 CrS 4
Č. 1941	100 W 1	Č. 4184	37 CrS 4
Č. 1943	(C 125 W)	Č. 4230	67 SiCr 5
Č. 1944	(C 125 W)	Č. 4270	X 45 CrSi 9 3
Č. 1946	(C 110 W 2)	Č. 4320	16 MnCr 5
Č. 1948	(C 135 W 2)	Č. 4321	20 MnCr 5
Č. 2130	(38 St 7)	Č. 4381	16 MnCrS 5
Č. 2131	46 St 7	Č. 4382	20 MnCrS 5
Č. 2132	51 St 7	Č. 4520	17 CrNiMo 6
Č. 2133	55 St 7	Č. 4531	34 CrAlNi 7
Č. 2134	66 St 7	Č. 4570	X 22 CrNi 17
Č. 2330	(60 SiMn 5)	Č. 4571	X 12 CrNi 18 8
Č. 2331	(65 Si 7)	Č. 4572	X 10 CrNiTi 18 9
Č. 3100	St 52-4	Č. 4573	X 5 CrNiMo 18 10
Č. 3105	19 Mn 5	Č. 4574	X 10 CrNiMoTi 18 10
Č. 3111	—	Č. 4578	X 15 CrNiSi 25 20
Č. 3112	—	Č. 4579	X 12 CrNiSi 36 16
Č. 3130	40 Mn 4	Č. 4580	X 5 CrNi 18 9
Č. 3133	17 Mn 4	Č. 4581	X 80 CrNiSi 20
Č. 3134	50 Mn 7	Č. 4582	X 10 CrNiNb 18 9
Č. 3139	28 Mn 6	Č. 4583	X 10 CrNiMoNb 18 10
Č. 3160	(X 120 Mn 12)	Č. 4588	(X 53 CrMoNiN 21 9)
Č. 3190	—	Č. 4650	X 210 CrW 12
Č. 3811	—	Č. 4721	20 CrMo 5
Č. 3840	90 MnV 8	Č. 4730	25 CrMo 4
Č. 3990	9 SMn 28	Č. 4731	34 CrMo 4
Č. 4120	15 Cr 3	Č. 4732	42 CrMo 4
Č. 4130	34 Cr 4	Č. 4733	50 CrMo 4
Č. 4131	41 Cr 4	Č. 4734	30 CrMoV 9
Č. 4132	38 Cr 2	Č. 4738	32 CrMo 12
Č. 4133	46 Cr 2	Č. 4739	34 CrAlMo 5
Č. 4134	37 Cr 4	Č. 4750	X 165 CrMoV 12
		Č. 4751	X 38 CrMoV 5 1

## Oznake čelika prema standardima JUS i DIN (nastavak)

JUS	DIN	JUS	DIN
Č. 4753	X 40 CrMoV 5 1	Č. 7480	20 MoCrS 4
Č. 4754	—	Č. 7481	25 MoCrS 4
Č. 4755	(X 50 CrMoW 9 11)	Č. 7680	S 6-5-2
Č. 4756	X 100 CrMoV 5 1	Č. 9682	S 18-1-2-10
Č. 4757	(X 50 CrVMo 5 1)	Č. 9683	S 10-4-3-10
Č. 4770	X 55 CrMo 14	Č. 9750	—
Č. 4771	—	Č. 9780	S 6-5-2-5
Č. 4781	—	ČL. 0300	GS-38
Č. 4782	42 CrMoS 4	ČL. 0301	GS-38.3
Č. 4811	—	ČL. 0400	GS-43
Č. 4810	50 CrV 4	ČL. 0401	GS-45.3
Č. 4831	58 CrV 4	ČL. 0500	GS-52
Č. 4835	31 CrV 3	ČL. 0501	GS-52.3
Č. 4850	(X 155 CrVMo 12 1)	ČL. 0600	GS-60
Č. 4970	X 10 CrAl 24	ČL. 0601	GS-60.3
Č. 4972	X 10 CrAl 13	ČL. 0602	GS-62
Č. 5430	15 CrNi 6	ČL. 0603	GS-62.3
Č. 5421	18 CrNi 8	ČL. 0700	GS-70
Č. 5430	36 CrNiMo 4	ČL. 1330	GS-C 25
Č. 5431	34 CrNiMo 6	ČL. 3134	(GS-36 Mn 5)
Č. 5432	30 CrNiMo 8	ČL. 3160	(G-X 120 Mn 12)
Č. 5741	55 NiCrMoV 6	ČL. 3161	(G-X 120 Mn 12)
Č. 5742	56 NiCrMoV 7	ČL. 3460	(G-X 120 Mn 12)
Č. 6440	105 WCr 6	ČL. 3462	(G-X 120 Mn 12)
Č. 6441	(110 WCrV 5)	ČL. 4171	G-X 20 Cr 14
Č. 6443	45 WCrV 7	ČL. 4271	G-X 40 CrSi 29
Č. 6444	60 WCrV 7	ČL. 4273	G-X 130 CrSi 29
Č. 6445	80 WCrV 8	ČL. 4571	G-X 10 CrNi 18 8
Č. 6450	X 30 WCrV 4 1	ČL. 4572	G-X 7 CrNiNb 18 9
Č. 6451	X 30 WCrV 9 3	ČL. 4573	G-X 10 CrNiMo 18 9
Č. 6840	120 WV 4	ČL. 4574	G-X 7 CrNiMoNb 18 10
Č. 6842	100 WV 4	ČL. 4576	G-X 40 CrNiSi 27 4
Č. 6850	(142 WV 13)	ČL. 4577	G-X 35 CrNiSi 25 12
Č. 6880	S 18-0-1	ČL. 4730	(GS-25 CrMo 4)
Č. 6980	S 18-1-2-5	ČL. 4731	(GS-34 CrMo 4)
Č. 7100	15 Mo 3	ČL. 4732	(GS-42 CrMo 4)
Č. 7400	13 CrMo 4 4	ČL. 4758	(G-X 300 CrMo 15 3)
Č. 7401	10 CrMo 9 10	ČL. 4759	—
Č. 7420	20 MoCr 4	ČL. 4771	—
Č. 7421	25 MoCr 4	ČL. 7130	GS-22 Mo 4
Č. 7431	22 CrMo 4 4	ČL. 7361	(G-X 125 MnMo 12 2)
Č. 7432	24 CrMoV 5 5	ČL. 7362	(G-X 125 MnMo 12 2)

## Oznake domaćih i nekih stranih alatnih čelika\*

JUS	Železarna Ravne	Böhler (Austrija)	Poldi (ČSSR)	GOST (SSSR) (ruska slova)
Č. 1540	OC 50	MS 45; EMS 45	T5W extra	—
Č. 1740	OC 70	Extra weich	6	Y 7
Č. 1840	OC 80	Extra zäh	5	Y 8
Č. 1940	OC 100	Extra zäh hart 100	EZH	Y 11
Č. 1941	OC 100 extra	Extra S	EZH spec	—
Č. 1943	OC 120	Extra zäh hart	FS	Y 12A
Č. 1944	OC 120 extra	Extra zäh hart	FS	—
Č. 1741	OCP 65	Prima weich	T 5 P	—
Č. 1946	OCP 110	Pr. mittel hart 115	K 2	—
Č. 1948	OCP 135	Prima hart	2	Y 13
Č. 4835	VCV 130	—	—	—
Č. 4141	OCR 1	CV; SSC	—	—
Č. 4143	OCR 3	—	RCR 1	—
Č. 4145	OCR 4 extra	K 150	KLZ	—
Č. 4149	OCR 3 extra	—	RCR 1	XO 5
Č. 4150	OCR 12	Spezial K	2002	X 12
Č. 4650	OCR 12 spec	Spezial KR	2002 spec.	—
Č. 4750	OCR 12 extra	Spezial KNL	2002 M	X 12 M
Č. 6840	OW 1	WV; SSWV	—	B 1
Č. 6841	OW 3	—	SPS	—
Č. 6443	OSIKRO 2	MY extra	Tenax N	5 XB 2C
Č. 6444	OSIKRO 4	KL	Tenax NB	6 XB C
Č. 4751	Utop Mo 1	115 ultra	TLH	—
Č. 5741	Utop extra 1	GNM	TBM 1	5 XHM
Č. 5742	Utop extra 2	GNME	TBM Extra 1	45 XHM Φ
Č. 6451	Utop 2	WKZ	HPS; 212	3 X 2B8
Č. 3840	Merilo	MST	Stabil spec.	—
Č. 6440	Merilo extra	Amutil	Solar	XBI*
Č. 4172	Prokron 3	WKW 2	AK 2 spec.	2 X 13
Č. 4173	Prokron 4	—	—	—
Č. 4770	Prokron 5	WKW 4	AK 3 spec.	4 X 13
Č. 6880	BRW	Super Rapid Extra	Max. spec	P 18
Č. 6882	BRW 2	S.R.E. HVN	Max. sp. Ges.	—
Č. 6980	BRC	S.R.E. 500	Max. spec. 55	P 18 K 5 Φ 2
Č. 7680	BRM 2	S.R.E. Mo	—	—
Č. 9682	BRC 3	CC	MK	PK 10
Č. 9683	BRU	Mo Rapid Ex 500	—	—
Č. 9780	BRC Mo	Mo Rapid Ex 1200	—	—

\* Dostupna sličnih čelika je po kvaliteti samo približna.

Tvrđi metali sastavljeni su od jednog ili više karbida kao nosilaca tvrdoće i od kobalta kao veziva.

Tvrđi metali nisu čelici i njihova se struktura ne može mijenjati nikakvom toplinskom obradom. Ne mogu se kovati ni valjati; oblikuju se samo lijevanjem, odn. sinterovanjem i brušenjem.

### 1. Ljevani tvrđi metali

Pojavili su se najprije u USA pod nazivom «stellit». Sastavljeni su na bazi Co (33...65%), Cr (25...32%) i W (6...17%) s približno 0...5% C te lijevani. Kasnije je bio Co – zbog visoke cijene – djelomice zamijenjen sa Fe. Svoja prirodna tvrdoća zadržavaju do visokih temperatura (pri 750 °C mogu imati još tvrdoću do 750 HV). Veoma su otporni prema habanju, ali su krhki i vrlo osjetljivi prema udarcima. Upotrebljavamo ih za navanvanje.

### 2. Sinterovani tvrđi metali

Nastali su u Njemačkoj (Krupp, 1926) pod nazivom «widia». Bitnu su utjecali na razvoj tehnike obrade. Sastoje se od kristala WC, TiC (TaC, MoC) te Co kao veziva. TiC je tvrdi od WC, ali smanjuje žilavost. Sinterovani tvrđi metali oblikuju se u plućice, koje se sinteruju. Njihova tvrdoća, koja iznosi 1400...1750 HV, opada do 1000 °C tek za 10%. Sinterovani tvrđi metali sa TiC još su na 700 °C znatno tvrdi od brzoreznog čelika pri temperaturi okoline. Njihova je žilavost također znatna (čvrstoća na savijanje iznosi 2500...1250 N/mm<sup>2</sup>). Plaćina čvrstoća je vrlo velika (oko 4250 N/mm<sup>2</sup>).

Tvrđi metali za alat za preoblikovanje  
(JUS K. A9.025 – 1974)

Oznaka	Upotreba
G 05	velika otpornost prema habanju, manja žilavost; za matrice, mješala
G 10	otpornost prema habanju; za matrice, vođice
G 20	otpornost prema habanju i dovoljna žilavost; matrice za izradu cijevi, profilirane matrice, matrice za duboko izvlačenje
G 30	alat za preoblikovanje i odvajanje čestica; za noževe u štancama; za pečatanje
G 40	za jednaki alat kao pri G 30, ali s povećanom žilavošću
G 50	alat za odvajanje čestica, savijanje, kovanje, prešanje (u hladnom i toplom stanju)
G 60	za jednaki alat kao pri G 50, ali s povećanom žilavošću

Oznaka	Upotreba	
P 01	Odvajanje dugih čestica s čelika	Najfinije tokarenje i bušenje čelika velikom brzinom do 1,7 m/s (100 m/min) s posmakom od 0,1 mm/okr.
P 10		Odvajanje čestica s čelika šestorostrukom brzinom brzoreznih čelika s najmanjim posmacima do 1 mm/okr.
P 20		Odvajanje čestica s čelika četverostrukom brzinom brzoreznih čelika s osrednjim posmacima do 2 mm/okr.
P 30		Odvajanje čestica s čelika dvostrukom brzinom brzoreznih čelika s većim posmacima do 3 mm/okr. Branjanje sivog lijeva.
P 40		Tokarenje i odvajanje čestica na automatima malom brzinom, ali s velikim presjekom strugotine.
P 50		Tokarenje i odvajanje čestica na automatima malom brzinom rezanja i velikim presjekom strugotine.
K 01	Odvajanje kratkih čestica s čelika, neželjeznih kovina i tekovina	Odvajanje čestica s tvrdog i sivog lijeva veće tvrdoće (do 60 HRC), aluminijskih slitina sa silicijem, kaljenog čelika, plastičnih masa, papira, keramike.
K 10		Odvajanje čestica s tvrdog sivog lijeva (nad 220 HB), tvrdog čelika ( $R_m > 1800 \text{ N/mm}^2$ ), slitina Al i Cu, plastičnih tvari, stakla, porculana i kamenja
K 20		Odvajanje čestica sa sivog lijeva (nad 220 HB), slitina Al i Cu, plastičnih tvari, keramike i kamenja. Vruće i hladno vučenje i valjanje.
K 30		Odvajanje čestica sa sivog lijeva i čelika manje čvrstoće, ukočenih drvenih ploča i sl.
K 40		Odvajanje čestica s drveta, vlaknastih tvari, keramike i kamenja (udarna svrdla). Matrice za vučenje tvrdog čelika.
M 10		Odvajanje čestica s čelika, sivog ljevanog kovanja
M 20	Odvajanje čestica osrednjom brzinom s osrednjim presjekom strugotine. Obrada tvrdog Mn-čelika i austenitnih čelika.	
M 30	Odvajanje čestica malom brzinom s većim presjecima strugotine. Obrada austenitnih čelika.	
M 40	Odvajanje čestica s čelika male čvrstoće, osobito na automatima. Obrada neželjeznih kovina	

**Aluminij**  
(JUS C.C2.100 – 1986)

Osobite prednosti aluminija su mala gustoća i velika otpornost prema koroziji i kemijskim utjecajima. Aluminij ima također veliku topljinsku i električnu vodljivost.

*Sastav i uporaba*

Oznaka	Dopuštene nečistoće (%) maks.									
	ukupni	Cu	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Ti	Ca	ostalo
Al 99,8.00	0,2	0,03	0,02	0,15	0,15	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02
Al 99,7.00	0,1	0,04	0,03	0,20	0,25	0,07	0,03	0,03		0,07
Al 99,5.00	0,5	0,05	0,05	0,25	0,40	0,07	0,05	0,05		0,05
Al 99,3.00	0,7	0,05	0,05	0,7	0,7	0,10	0,05	0,05		0,05
Al 99,0.00	1,0	0,05	0,05	0,5	0,8	0,10	0,10	0,05		0,10

Gustoća aluminija iznosi od 2560 kg/m<sup>3</sup> (ljevanog) do 2750 kg/m<sup>3</sup> (kovnog, valjanog ili vučenog).

*Mehanička svojstva aluminija (Al 99,5)*

Stanje aluminija	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postor. produlj.		Tvrdoća HB
		$A_{10}$	$A_5$	
<i>ljev</i>	90 ... 120	25 ... 18	—	24 ... 32
<i>trake i listovi</i>				
- meki (žareni)	70	22	25	20
- polutvrdo valjani	100	6	7	30
- tvrdo valjani	130	4	5	35
<i>šipke, žice, cijevi i profili</i>				
- meki (prešani ili žareni)	70	18	20	20
- polutvrdo vučeni	100	5	7	28
- tvrdo vučeni	130 (... 170)	3	4	35

Najbolja svojstva u meko žarenom stanju dobivamo, ako nakon što veće plastične deformaciju (70...90% smanjenja presjeka) žarimo Al pri 360...400 °C. Najveću kemijsku otpornost postizemo žarenjem pri 450...500 °C.

\*

Žice za aluminijsku užad moraju imati postotno produljenje > 2%. Pojedina se žica prije platenja ispituje na pregeh i razjaju.

Aluminijske slitine imaju stanovite prednosti pred čistim aluminijem, i to u pogledu čvrstoće i sposobnosti za ljevanje i gnječenje. Neke aluminijske slitine dosežu svojom znatnom čvrstoćom svojstva čelika.

*Kaljenje aluminijskih slitina*

Aluminijske slitine na bazi AlCu, AlCuNi, AlCuMg i AlMgSi mogu se kaliti (očvršćivati), što im daje svojstva čvrstoće slična onima čelika.

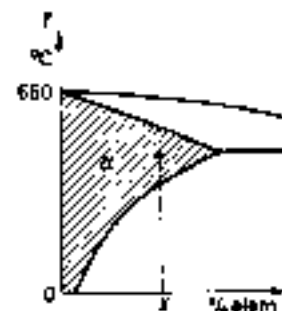
Kaljenje (očvršćivanje) aluminijskih slitina se osniva na promjenljivoj topljivosti stanovitih elemenata (npr. Cu, Si, Mg itd.) u aluminiju. Aluminij može u području oko 500 °C dobro otapati te elemente, dok mu je sposobnost za otapanje na nižim temperaturama neznatna. Ako krutu otopinu pri 500 °C brzo ohladimo, otopljeni se elementi ne mogu pravovremeno izlučiti, pa ostaju u prezasićenoj otopini. Kad se višak otopljenih elemenata s vremenom izluči u kristalnim zrnima ili među njima, slitina postaje znatno čvršća (starenje).

Kaljenje (očvršćivanje) aluminijskih slitina postizemo dakle žarenjem (4...6 h) pri temperaturi određenoj za svaku slitinu (oko 500...570 °C) i gašenjem u vodi te naknadnim starenjem. Starenje je kod nekih slitina (npr. AlCuMg) prirodno — pri okolnoj temperaturi, u drugih pak (npr. AlMgSi) umjetno — pri povišenoj temperaturi (8...15 h pri 100...200 °C). Kaljene slitine imaju mnogo bolja svojstva čvrstoće i mogu se upotrebljavati pri temperaturama do 120 °C. Kaljene se slitine omekšavaju pri 160...400 °C.

Aluminijske slitine sa Cu slabo su otporne prema koroziji.

*Primjeri poznatijih trgovačkih naziva aluminijskih slitina*

Naziv	Sastav (%) Al
antikorozijski	2,0 Si, 0,7 Mg, 0,6...0,8 Mn, 0,1...0,2 Ti
duralumin	3...4,5 Cu, 0,2...0,7 Si, 0...1,6 Mg, 0...1,2 Mn
duralumin K	0,5...2 Mg, 0,3...1,5 Si, 0...1,5 Mn
duralumin W	3,5...4,5 Cu, 1,8...2,2 Ni, 0...1,8 Mg
duronalij	2,5...9 Mg, 0,3...0,6 Mn
duronalij 2S	2...2,5 Mg, 1...2 Mn
hidronalij	3...12 Mg, 0,2...1 Si, 0,2...0,5 Mn
silal	1,5...4,4 Cu, 0,6...1,2 Mg, 0,6...1 Mn, 0,3...0,6 Si, 0...0,1 Ti
silal K	1,5 Mn, 0...0,5 Mg
silal V	0,8...1,5 Mg, 0,5...1 Mn, 0,3...0,7 Si, 0,3 Ti
silumin	12...13,5 Si, 0,3...0,45 Mn
silumin γ	12,25...12,75 Si, 0,35...0,65 Mn, 0,25...0,35 Mg



x — dodatni element  
z — kruta otopina

Aluminijske slitine za gnječenje  
(JUS C. C.2.100 - 1986)

Oznaka (ISO)**	Sastav (%)*							
	Cu	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Cr	Ti - Zr
Al Mn 1	0,1	0,3	0,6	0,7	0,2	0,8 1,5	0,10	0,20
Al Mn 1 Cu	0,05 0,20	—	0,6	0,7	0,2	1,0 1,5	0,10	0,20
Al Mg 1	0,20	0,5 1,1	0,4	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2
Al Mg 2	0,10	1,7 2,4	0,5	0,5	0,2	0,5	0,35	0,2
Al Mg 3	0,10	2,6 3,5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,35	0,2
Al Mg 4	0,10	3,5 4,6	0,5	0,5	0,2	0,8	0,35	0,2
Al Mg 5	0,10	4,5 5,6	0,5	0,5	0,2	0,5	0,35	0,2
Al Mg 3 Mn	0,10	2,4 3,4	0,5	0,5	0,2	0,3 1,0	0,25	0,2
Al Si 1 Mg	0,10	0,6 1,4	0,6 1,6	0,5	0,2	0,4 1,0	0,35	0,2
Al Mg Si 0,5	0,10	0,4 0,9	0,3 0,7	0,5	0,2	0,3	0,10	0,2
Al Mg 1 Si Cu	0,15 0,40	0,8 1,2	0,4 0,8	0,7	0,25	0,15	0,35	0,2
Al Cu 2 Mg	2,0 3,0	0,2 0,5	—	—	0,2	0,2	0,1	0,2
Al Cu 4 Mg Si	3,5 4,7	0,3 1,2	0,2 0,8	—	—	0,5 1,0	—	—
Al Cu 4 Mg 1	3,8 4,9	1,0 1,8	—	—	0,2	0,3 1,2	—	—
Al Cu 4 Si Mg	3,8 5,0	0,2 0,8	0,5 1,2	—	—	0,3 1,2	—	—

\* Gornji i donji brojevi znače granične vrijednosti sadržaja. — \*\* I zete su u skladu samo neke značajnije slitine, dok su druge sadržane u gore navedenom standardu

Mehanička svojstva i upotreba nekih aluminijskih slitina za gnječenje (prosječne vrijednosti)

Oznaka	Stanje*	Naprez. tečenja R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	VI čvrsti R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod.		Tvrdoća HB	Smjernice za upotrebu
				A <sub>50</sub> %	A <sub>80</sub> %		
Al Mn 1	meko žareno	40	90	18	20	22	otporna prema koroziji, dobro se zavaruje
	polutvrdo	100	120	5	6	35	
	tvrd	120	150	3	4	42	
Al Mg 2	meko žareno	80	180	13	15	45	otporna prema koroziji (morske vode)
	polutvrdo	140	230	7	8	55	
	tvrd	180	260	3	4	65	
Al Mg 3	meko žareno	80	180	14	16	42	veća otpornost prema koroziji (i u morskoj vodi): s povećanom % Mg smanjuje se sposobnost zavarivanja
	polutvrdo	140	230	8	9	65	
	tvrd	180	260	3	4	75	
Al Mg 4	meko žareno	100	230	14	16	52	veća otpornost prema koroziji (i u morskoj vodi): s povećanom % Mg smanjuje se sposobnost zavarivanja
	polutvrdo	160	270	7	9	72	
	tvrd	220	310	3	4	85	
Al Mg 5	meko žareno	130	240	14	16	65	veća otpornost prema koroziji (i u morskoj vodi): s povećanom % Mg smanjuje se sposobnost zavarivanja
	polutvrdo	200	340	7	8	90	
	—	—	—	—	—	—	
Al Si 1 Mg	meko žareno	50	110	14	17	45	dobro se kalu, otporna prema koroziji
	tvrd	150	170	3	4	55	
	kaljeno - h	100	200	11	13	60	
	kaljeno - l	210	290	8	10	80	
Al Cu 4 Si Mg	meko žareno	80	180	10	12	70	vrlo dobro se kalu, prema koroziji neotporna
	tvrd	220	280	2	3	75	
	kaljeno - h	260	400	10	12	100	
	kaljeno - h - g	320	450	2	3	120	
Al Cu 5 Pb Bi	kaljeno h.	250	380	10	12	100	za automate

\* h. - starenje pri temperaturi okoline (hladno), l. - starenje pri povišenoj temperaturi (toplo), g. - hladno gnječeno.

Prešane aluminijske slitine za gnječenje imaju približno jednaka mehanička svojstva kao u meko žarenom stanju.



Aluminijske slitine za lijevanje (JUS C.C.2.300 - 1983)

Sastav (%)\*

Oznaka	Al					Nečistoće (maks.)		
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Fe	Zn	drugi
<i>Slitine za lijevanje u pijesak ili kokilu</i>								
Al Si 12 00	1,0 3,5	0,1-0,5	0,05-0,1	0,15	0,01 0,2	0,50	0,10	
Al Si 12 Cu 00	1,0 3,5	0,1-1,2	0,05-0,1	0,15	0,2 0,5	0,8	0,5	1
Al Si B Cu 3 00	2,5 9,5	2,0 3,5	0,05-0,1	0,15	0,2 0,5	0,8	1,2	2
Al Si 6 Cu 4 00	5,0 7,5	3,0 5,0	0,1-0,5	0,15	0,01 0,6	1,0	2,0	3
Al Si 10 Mg 00	1,0 1,0	0,05-0,1	0,2 0,5	0,15	0,01 0,2	0,5	0,10	
Al Si 5 Mg 00	5,0 6,3	0,05-0,1	0,4 0,8	0,01 0,20	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Mg 5 Si 00	0,9 1,5	0,05-0,1	1,5 3,5	0,01 0,20	0,01 0,2	0,50	0,10	
Al Mg 3 Si 1 00	0,9 1,5	0,05-0,1	2,5 3,5	0,01 0,20	0,01 0,4	0,50	0,10	
Al Mg 3 00	0,50	0,05-0,1	2,5 3,5	0,01 0,20	0,01 0,4	0,3	0,10	
Al Cu 4 Mg Ti 00	10-18	4,2 4,9	0,15 0,3	0,15 0,30	0,05	0,20	0,07	
<i>Slitine za stalno lijevanje</i>								
Al Si 12 (Fe) 00	11,0 15,5	0,1-0,5	0,1-0,1	0,15	0,01 0,1	1,3	0,10	
Al Si 12 Cu (Fe) 00	11,0 15,5	0,1-1,2	0,1-0,3	0,15	0,2 0,5	1,3	0,5	1
Al Si 6 Cu 3 (Fe) 00	2,5 9,5	2,0 3,5	0,1-0,3	0,15	0,2 0,6	1,5	2,0	2
Al Si 6 Cu 4 (Fe) 00	5,0 7,5	3,0 5,0	0,1-0,5	0,15	0,3 0,6	1,3	2,0	3
Al Si 10 Mg (Fe) 00	5,0 11,0	0,05-0,1	0,2 0,5	0,15	0,01 0,4	1,3	0,2	
Al Mg 10 00	0,2 2,5	0,05-0,1	8,0 10,5	0,15	0,2 0,5	1,0	0,10	

\* Gornji i donji brojevi znače gornje i donje vrijednosti - U zagradama su najveće dozvoljene vrijednosti sastavnih kao nečistoća. - 1) 0,2 Ni; 0,2 Pb; 0,1 Sn; - 2) 0,3 Ni; 0,2 Pb; 0,1 Sn; - 3) 0,1 Ni; 0,1 Pb; 0,1 Sn

Mehanička svojstva i upotreba slitina za lijevanje u pijesak ili kokilu

Oznaka*	Naprezanje tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Povrat prod. A, %	Tvrdoha HB		Upotreba
				1	2	
Al Si 12 00	70 ... 100	160 ... 210	5 ... 10	45	60	tanke stijenke uljevakama, du- bra kemijska otpornost
	80 ... 110	160 ... 210	6 ... 12	50	60	
	80 ... 110	180 ... 240	6 ... 12	50	60	
	80 ... 110	180 ... 240	6 ... 12	50	60	
Al Si 12 Cu 00	80 ... 100	150 ... 220	1 ... 4	50	65	tanke stijenke, kem. manje of- poran
	90 ... 120	180 ... 260	2 ... 4	50	75	
Al Si 6 Cu 3 00	100 ... 150	160 ... 200	1 ... 3	65	90	više tempera- ture
	100 ... 160	170 ... 220	1 ... 3	70	100	
Al Si 6 Cu 4 00	100 ... 150	160 ... 200	1 ... 3	60	80	više tempera- ture
	120 ... 180	180 ... 240	1 ... 3	70	100	
Al Si 10 Mg 00	80 ... 100	170 ... 220	2 ... 6	50	60	veća tvrdoha, za zhotine, prehrambena industrija
	180 ... 260	200 ... 320	1 ... 4	80	100	
	90 ... 120	180 ... 240	2 ... 6	60	80	
	210 ... 280	240 ... 320	1 ... 4	85	115	
Al Si 5 Mg 00	100 ... 130	140 ... 180	1 ... 3	55	70	za motore, prehrambena industrija
	150 ... 180	180 ... 250	2 ... 5	70	85	
	220 ... 290	240 ... 300	0,5 ... 2	80	110	
	120 ... 160	160 ... 200	1,5 ... 4	60	75	
	160 ... 190	210 ... 270	2 ... 8	70	90	
	240 ... 290	260 ... 320	1 ... 3	90	100	
Al Mg 5 Si 00	110 ... 130	160 ... 200	2 ... 4	60	75	otpornost pre- ma morskoj vodi
	110 ... 150	180 ... 240	2 ... 5	65	85	
Al Mg 3 Si 1 00	80 ... 100	140 ... 190	3 ... 8	50	60	više tempera- ture, dekorat. djelovi
	120 ... 160	200 ... 280	2 ... 8	65	90	
	80 ... 100	150 ... 200	4 ... 10	50	65	
	120 ... 180	220 ... 300	3 ... 10	65	90	
Al Mg 3 00	70 ... 100	140 ... 190	3 ... 8	50	60	otpornost pre- ma mor. vodi, dekorativni di- jelovi
	70 ... 100	150 ... 200	5 ... 12	50	60	
Al Cu 4 Mg Ti 00	220 ... 280	300 ... 400	5 ... 15	90	115	za dijelove s velikom tvr- doćom
	240 ... 350	350 ... 420	3 ... 10	95	125	
	220 ... 300	320 ... 420	8 ... 18	95	115	
	260 ... 380	350 ... 440	3 ... 12	100	130	

\* Dodatne oznake znače:  
01 - lijevano u pijesak, 02 - lijevano u kokilu,  
61 - lijevano u pijesak i kaljeno (ubrvstavano),  
62 - lijevano u kokilu i kaljeno (ubrvstavano)  
81 - lijevano u pijesak i kaljeno s na-  
pravnim stazanjem  
82 - lijevano u kokilu i kaljeno s na-  
pravnim stazanjem

Mehanička svojstva i upotreba aluminijskih slitina za tlačni ljev

Oznaka*	Naprezanje tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB	Upotreba
AlSi12.05 AlSi12(Fe).05	140 . 180	220 . 280	1 . 1	60 . 80	tanke stijenke, dobra kem. otpor.
AlSi12Cu.05 AlSi12Cu(Fe).05	140 . 220	220 . 300		60 . 80	tanke stijenke, slaba kem. otpor.
AlSi8Cu1.05 AlSi8Cu3(Fe).05	160 . 240	240 . 320	0,5 . 3	70 . 100	više temperat., šira upotreba
AlSi6Cu4.05 AlSi6Cu4(Fe).05	150 . 220	220 . 300	0,5 . 3	80 . 120	više temper., šira upotreba
AlSi10Mg.05 AlSi10Mg(Fe).05	140 . 200	220 . 300	1 . 3	70 . 90	motori, prehran. industrija
AlMg10.05	140 . 220	220 . 300	1 . 5	70 . 100	kem. otpornost, dekor. djelov.

\* Dodatna oznaka 05 znači tlačni ljev.

Magnezijske slitine

Sam magnezij je premekan za neposrednu upotrebu. Potrebnu čvrstoću dobiva tek legiranjem. Magnezijske se slitine odlikuju osobito malom gustoćom, oko 1800 kg/m<sup>3</sup>. Prema koroziji nisu naročito otporne.

»Elektron« je zajednički naziv za više magnezijskih slitina koje osim Mg sadrže uglavnom do 10% Al, do 4,5% Zn, do 2,2% Mn i do 1,5% Si.

Magnezijske slitine za gnječenje (DIN 1729/1 - 1982)

Sastav i upotreba

Oznaka DIN	Sastav %*			Dopuštene nečistoće % maks.	Smjernice za upotrebu
	Al	Zn	Mn		
Mg Mn 2			1,2 2,0	0,1 Si 0,05 Cu	otporna prema koroziji, dobro se zavaruje
Mg Al 6 Zn	5,5 7,0	0,5 1,5	0,15 0,4	0,1 Si 0,1 Cu	djelomice se može zavrtivati
Mg Al 8 Zn	7,8 9,2	0,2 0,8	0,12 0,3	0,1 Si 0,05 Cu	može se kaliti (očvrstiti)

\* Gornji i donji brojevi znače granične vrijednosti sadržaja.

Mehanička svojstva

Oznaka	Naprez. teč. $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postotno produljenje		Tvrdoća HB
			$A_5$	$A_{10}$	
Mg Mn 2	100 . 160	200 . 220	1,5 . 2	1,5 . 2	40
Mg Al 6 Zn	160 . 190	220 . 280	6 . 10	8 . 11	55

Magnezijske slitine za lijevanje (DIN 1729/2 - 1973)

Oznaka i sastav

Oznaka DIN*	Sastav %					
	Al	Zn	Mn	nečistoće (maks.)		
				Si	Cu	ostale
G - Mg Al 8 Zn 1 GK - Mg Al 8 Zn 1 GD - Mg Al 8 Zn 1	7,5 . 9,0	0,3 . 1,0	0,15 . 0,3	0,30	0,20	0,20
G - Mg Al 9 Zn 1 GK - Mg Al 9 Zn 1 GD - Mg Al 9 Zn 1	8,5 . 10,0	0,3 . 1,0	0,15 . 0,3	0,30	0,20	0,20
G - Mg Al 9 Zn 2 GK - Mg Al 9 Zn 2 GD - Mg Al 9 Zn 2	7,5 . 9,5	0,5 . 2,0	0,15 . 0,3	0,50	0,35	0,20

\* Početni dijelovi oznaka znače: G - lijevanje u pijesak, GK - lijevanje u kokilu, GD - tlačni ljev.

Mehanička svojstva

Oznaka DIN	Način lijevanja*	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$	Tvrdoća HB	Dinam. čvrst. na savij. ** $\pm$ N/mm <sup>2</sup>
G - Mg Al 8 Zn 1	p	90 . 120	160 . 220	2 . 6	50 . 65	70 . 90
GK - Mg Al 8 Zn 1	k	90 . 120	160 . 220	2 . 6	50 . 65	70 . 90
GD - Mg Al 8 Zn 1	t	140 . 180	200 . 240	3 . 2	50 . 85	50 . 60
G - Mg Al 9 Zn 1	p	110 . 130	240 . 280	6 . 10	55 . 70	80 . 100
GK - Mg Al 9 Zn 1	k	110 . 130	240 . 280	6 . 10	55 . 70	80 . 100
GD - Mg Al 9 Zn 1	t	140 . 150	240 . 280	2 . 4	65 . 90	80 . 100
G - Mg Al 9 Zn 2	p	90 . 130	160 . 220	2 . 5	50 . 70	70 . 90
GK - Mg Al 9 Zn 2	k	90 . 130	160 . 220	2 . 5	50 . 70	70 . 90
GD - Mg Al 9 Zn 2	t	140 . 170	200 . 250	0,5 . 2	60 . 85	40 . 50

\* p - lijevano u pijesak, k - lijevano u kokilu, t - tlačni ljev; b - homogenizirano, u - toplo učvrsteno

\*\* Pri 50 · 10<sup>6</sup> utraja

# BAKAR I BAKRENE SLITINE

## Bakar

*Katodni bakar* je elektrolitički rafinirani (na katodi izlučeni) bakar, namijenjen u prvom redu za pretaljanje u elektrolitski bakar.

S obzirom na način rafiniranja razlikujemo:

- *talionički bakar*, dobiven pirometalurškom rafinacijom
- *elektrolitski bakar*, dobiven pretaljanjem katodnog bakra.

S obzirom na kisik u bakru razlikujemo:

- *bakar bez kisika*, taljen u zaštitnoj atmosferi ili vakuumu,
- *bakar s kisikom*, taljen u oksidacijskoj atmosferi,
- *dezoksidirani bakar*, dobiven upotrebom kovinskih ili nekovinskih dezoksidanata.

Standardne vrste bakra (JUS C.D1.002 - 1986)

Oznaka	Cu min	Sastav* (%)		Napomena
		O	P	
<b>Katodni bakar</b>				
FK1-Cu	99,99	0,001		} za katode
EK2-Cu	99,95			
<b>Bakar bez kisika</b>				
EB1-Cu	99,99	0,001		} elektrolitski bakar
EB2-Cu	99,95			
<b>Bakar s kisikom</b>				
ET1-Cu	99,90	0,005 ... 0,014		} elektrolitski bakar talionički bakar
ET2-Cu	99,90	0,005 ... 0,014		
T1-Cu	99,90	0,005 ... 0,008		
T2-Cu	99,70	0,011		
<b>Dezoksidirani bakar</b>				
ED-Cu	99,90		0,003	} elektrolitski bakar s malo P
DNP-Cu	99,90		0,005 ... 0,014	
DVP1-Cu	99,90		0,015 ... 0,04	
DVP2-Cu	99,70		0,015 ... 0,05	

\* Za elektrotehnički bakar nije odlučan kemijski sastav (EB1-Cu, EB2-Cu, ET1-Cu, ET2-Cu i ED-Cu), već samo električna vodljivost (u mekom stanju, pri 20 °C: najmanje 58 m/Ω mm<sup>2</sup>).

### Mehanička svojstva bakra

Stanje	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Post. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB
meko	230 ... 250	> 38	40 ... 60
polutvrdo	250 ... 300	> 10	60 ... 90
tvrd	> 300	> 6	> 90

## Bakrene slitine za gubeenje (JUS C.D2.100 - 1982)

### Slitine bakra s cinkom (=Mjedi\*)

#### Oznaka i sastav

Oznaka	Sastav %		nečistoće (maks.)
	Cu	Zn	
Cu Zn 5.00	94,0 ... 96,0	} ostatak	0,2 Ni ostale ukupno 0,3 (Al, Fe, Mn, Pb, Sn, Sb)
Cu Zn 10.00	89,0 ... 91,0		
Cu Zn 15.00	84,0 ... 86,0		
Cu Zn 20.00	79,0 ... 81,0		
Cu Zn 28.00	69,0 ... 73,0		
Cu Zn 30.00	69,0 ... 71,0		
Cu Zn 33.00	66,0 ... 68,5		
Cu Zn 36.00	63,4 ... 65,0		
Cu Zn 37.00	62,0 ... 64,5		
Cu Zn 40.00	59,0 ... 61,5		

#### Mehanička svojstva (prosječne vrijednosti) i smjernice za upotrebu

Oznaka	Stanje slitine	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	% prod.		Tvrdoća HB	Smjernice za upotrebu
			$A_{10}$ %	$A_5$ %		
Cu Zn 10.00	meka	250	40	-	55	} instalacijski dijelovi za elektrotehniku, ukrasni predmeti
	polutvrda	320	30	-	70	
	tvrd	400	15	-	90	
Cu Zn 15.00	meka	250	40	-	55	} cijevi za manometre, instalacijski dijelovi za elektrotehniku, ukrasni predmeti
	polutvrda	320	30	-	70	
	tvrd	400	15	-	90	
Cu Zn 20.00	meka	260	40	-	55	} cijevi za manometre, instalacijski dijelovi za elektrotehniku, ukrasni predmeti
	polutvrda	320	30	-	70	
	tvrd	420	15	-	90	
Cu Zn 28.00	meka	250	40	45	50	} vrlo dobra za hladno oblikovanje, može se platirati belikom, cijevi, duboke posude
	polutvrda	320	30	32	70	
	tvrd	380	18	20	90	
Cu Zn 30.00	meka	260	40	45	52	} povećana sposobnost za hladno oblikovanje, žičane mreže, cijevne zakovice, vijci
	polutvrda	340	24	26	80	
	tvrd	430	12	14	100	
Cu Zn 33.00	meka	280	40	45	55	} najvećnja slitina za hladno oblikovanje (vučenje, valjanje, pretanje); vijci, cijevi
	polutvrda	380	15	18	90	
	tvrd	500	5	6	115	
Cu Zn 37.00	meka	290	45	48	60	} za toplo i hladno oblikovanje; dijelovi za prešanje u toplom stanju
	polutvrda	350	25	28	75	
	tvrd	410	15	17	95	
Cu Zn 40.00	meka	340	30	33	70	} za toplo i hladno oblikovanje; dijelovi za prešanje u toplom stanju
	polutvrda	410	15	18	95	
	tvrd	480	10	12	125	

Slitine bakra s cinkom i olovom  
(«Mjedi s olovom»)

Oznaka i sastav

Oznaka	Sastav %				nečistoće (maks) ostale	
	Cu	Pb	Zn			
Cu Zn 36 Pb 1,5 100	62,0 - 64,0	0,7 - 2,5			0,3	0,5
Cu Zn 36 Pb 3 100	60,0 - 62,0	2,5 - 3,5			0,3	0,5
Cu Zn 38 Pb 1,5 100	59,5 - 61,5	1,5 - 2,5			0,3	0,5
Cu Zn 39 Pb 2 100	57,0 - 59,0	1,5 - 2,5			0,3	1,0
Cu Zn 39 Pb 3 100	57,0 - 59,0	2,5 - 3,5			0,5	1,0
Cu Zn 44 Pb 2 100	55,5 - 56,0	1,0 - 2,5			0,5	1,0

Mehanička svojstva (prosječne vrijednosti) i smjernice za upotrebu

Oznaka	Stanje slitine	Vlačna čvrst. R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Površni prikl. %			Tvrdća HB	Smjernice za upotrebu
			A	B	C		
Cu Zn 36 Pb 3 100	meka	340	30	13	70	za toplo i hladno oblikovanje, dijelovi za prešanje u toplom stanju	
	polutvrda	410	15	18	95		
	tvrdna	480	10	12	125		
Cu Zn 39 Pb 2 100	meka	370	25	28	75	najvažnija slitina za oblikovanje odvajanjem čestica (sl. za automate), razni dijel. strojeva	
	polutvrda	440	10	12	105		
	tvrdna	510	5	6	135		

Posebne slitine bakra s cinkom  
(«Posebne mjedi»)

Oznaka i sastav

Oznaka	Sastav %				ostalo	
	Cu	Al	Mn			
Cu Zn 20 Al 2 100	76,0 - 79,0	1,5 - 2,3			0,02 - 0,035 As <sup>1)</sup>	
Cu Zn 28 Sn 1 100	70,0 - 71,0				0,9 - 1,3 Sn <sup>1)</sup>	
Cu Zn 31 Si 1 100	68,0 - 70,0				0,7 - 1,3 Si	
Cu Zn 35 Ni 2,5 100	59,0 - 61,0	0,3 - 1,2	1,5 - 2,5		2,0 - 3,0 Ni	
Cu Zn 38 Sn 1 100	59,5 - 62,5				0,7 - 1,4 Sn	
Cu Zn 40 Al 1 100	56,5 - 59,5	0,4 - 1,6	0,4 - 1,8			
Cu Zn 40 Al 2 100	55,5 - 59,0	1,3 - 2,3	1,0 - 2,4			
Cu Zn 40 Ni 2 100	56,0 - 58,0	0,5 - 1,0			1,0 - 2,0 Ni	
Cu Zn 40 Mn 2 100	57,0 - 59,0		1,0 - 2,5			
Cu Zn 38 Al 2 Mn 3 Ni 100	61,0 - 63,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0		0,3 - 0,5 Ni <sup>2)</sup>	
Cu Zn 39 Al Fe Mn 100	56,0 - 61,0	0,2 - 1,5	0,7 - 2,0		0,2 - 1,5 Fe	

<sup>1)</sup> Također 0,02 - 0,035 As. - <sup>2)</sup> Također 0,3 - 0,7 Fe

Slitine bakra s kositrom  
(«Kositrena bronca»)

Oznaka, sastav i upotreba

Oznaka	Sastav %			Cu	Upotreba
	Sn	P			
Cu Sn 2 100	1,0 - 2,5	0,01 - 0,4		ostatak	vijci, opruge, za elektr. vodljive opruge
Cu Sn 6 100	5,5 - 7,5	0,01 - 0,4			
Cu Sn 8 100	7,5 - 9,0	0,01 - 0,4			opruge, cijevi veće otpornosti prema habanju i korroziji

Slitine bakra s kositrom i cinkom  
(«Crvena kovina»)

Oznaka, sastav i upotreba

Oznaka	Sastav %					Cu	Upotreba
	Sn	Zn	Pb	P maks.			
Cu Sn 4 Zn 4 100	3,0 - 5,0	3,0 - 5,3		0,1	ostatak	za manometarske opruge	
Cu Sn 4 Pb 4 Zn 4 100	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0	0,4			

Slitine bakra s aluminijem  
(«Aluminijske bronce»)

Oznaka, sastav i upotreba

Oznaka	Sastav %				Cu	Upotreba
	Al	Mn	Ni	As, Fe		
Cu Al 5 100	4,0 - 6,0	0,0 - 0,3	0,0 - 0,8	As	ostatak	za kočne pojase, prigušivače oscilacija
Cu Al 5 As 100	4,0 - 6,0			0,0 - 0,8		
Cu Al 8 100	7,0 - 9,0	0,0 - 0,3	0,0 - 0,5		ostatak	otporn prema sunp. i octi kiselinj velika čvrstoća (i na povišenoj temper.), otpornost prema kiselinama i mor. vodi te vatri
Cu Al 8 Fe 3 100	6,5 - 8,5	0,0 - 0,8	0,0 - 0,8	1,5 - 3,5		
Cu Al 10 Fe 3 100	8,5 - 11,0	1,5 - 3,5	0,0 - 1,0	2,0 - 4,0		
Cu Al 10 Fe 5 Ni 5 100	8,5 - 11,5	0,0 - 1,5	4,0 - 6,0	2,0 - 8,0		
Cu Al 9 Mn 2 100	8,0 - 10,0	1,5 - 2,5				

**Slitine bakra s niklom («Niklena bronca»)**

*Sastav i upotreba*

Oznaka	Sastav %				Upotreba
	Ni	Fe	Mn	Cu	
Cu Ni 5 Fe 1 Mn 001	4,0... 6,0	1,0... 1,5	0,3... 0,8		ostatak za cijevi i aparate usobita otp. prema eroziji, koroziji i kavt. spособnost za duboko izvlačenje, platiniranje za kondenzator, cijevi za kovani novac i platiniranje velika otp. prema eroziji, koroziji i kavt. spособnost oblikovanja, lako oksidira
Cu Ni 10 Fe 1 Mn 002	9,0... 11,0	1,0... 2,0	0,3... 1,0		
Cu Ni 20 00	19,0... 22,0	-	0,0... 0,5		
Cu Ni 20 Mn 1 Fe 003	19,0... 22,0	0,4... 1,0	0,5... 1,5		
Cu Ni 25 00	24,0... 26,0	-	0,0... 0,5		
Cu Ni 30 Mn 1 Fe 004	29,0... 32,0	0,4... 1,0	0,5... 1,5		
Cu Ni 44 Mn 1 00	43,0... 45,0	-	0,5... 2,0		

**Slitine bakra s niklom i cinkom («Novo srebro»)**

*Sastav i upotreba*

Oznaka	Sastav %				Upotreba
	Cu	Ni	Pb	Zn	
Cu Ni 10 Zn 27 001	61,0... 65,0	8,0... 11,0	-	-	ostatak dobro se lijeva i preša za unut. arhitekturu dobro se preša i kuje za opću upotrebu dobra spos. obl., za opruge; za probor za jelo dobro se preša, kuje i obrađuje dobra sposobnost obl. za ukrasne predmete optenito za finu mehaničku i optiku; ključeve
Cu Ni 10 Zn 42 Pb 2 002	45,0... 48,0	9,0... 11,0	0,5... 2,0	-	
Cu Ni 12 Zn 24 00	63,0... 66,0	13,0... 17,0	-	-	
Cu Ni 15 Zn 21 00	63,0... 67,0	13,5... 16,5	-	-	
Cu Ni 18 Zn 20 00	60,0... 64,0	17,0... 19,0	-	-	
Cu Ni 18 Zn 27 00	59,0... 63,0	17,0... 19,0	-	-	
Cu Ni 18 Zn 19 Pb 1 00	59,0... 63,0	17,0... 19,0	0,3... 1,5	-	

Poznati trgovački nazivi za novo srebro: alpaka, argentan, pakfong. «Kitajsko srebro» je starije ime za posebrebno novo srebro.

\*

*Slitina bakra sa silicijem («silicijska bronca»)* - (2,8... 3,5% Si; 1... 1,5% Mn; ost. Cu) - služi za opruge koje su električni vodiči, kovinska sita itd.

*Slitina bakra s berilijem («berilijeva bronca»)* - (1,5... 2,5% Be) lako se kalu (otvrdjava), čime se postuže tvrdoća do 400 HB.

**Bakrove slitine za lijevanje**

(JUS C. D2.300 - 1980/1986)

**Slitine bakra sa cinkom i olovom**

(«Mjedi za lijevanje»)

*Oznaka i sastav*

Oznaka	Sastav %				
	Cu	Pb	Al	Zn	
• Cu Zn 33 Pb 2 001	63,0... 67,0	1,0... 3,0	-	-	ostatak
• Cu Zn 39 Pb 00	60,0... 63,0	0,5... 2,0	0,0... 0,5	-	
• Cu Zn 40 Pb 00	58,0... 63,0	0,5... 2,5	0,2... 0,8	-	

*Mehanička svojstva i upotreba*

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Zn 33 Pb 2 001	70	180	12	450	otpornost prema koroziji, armature
K. Cu Zn 39 Pb 00	80	250	25	750	armature za plin i vodu
J. Cu Zn 39 Pb 005	120	250	15	750	
P. Cu Zn 40 Pb 00	-	220	15	-	armature, okovi, precizna mehanika
K. Cu Zn 40 Pb 002	120	280	15	750	
J. Cu Zn 40 Pb 005					

**Slitine bakra sa cinkom te aluminijem, željezom i manganom («Posebne mjedi za lijevanje»)**

*Oznaka i sastav*

Oznaka	Sastav %				
	Cu	Al	Fe	Mn	Zn
• Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3 001	60,0... 66,0	4,5... 7,0	2,0... 4,0	1,5... 4,0	ostatak
• Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3 002	60,0... 66,0	2,5... 5,0	1,5... 4,0	1,5... 4,0	
• Cu Zn 35 Al Fe Mn 00	57,0... 65,0	0,5... 2,5	0,5... 2,0	0,1... 3,0	

*Mehanička svojstva i upotreba*

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3 001	400	725	10	1800	statički jako opterećeni dijelovi konstrukcija
C. Cu Zn 26 Al 6 Fe 3 Mn 3 003	400	740	10	1900	
N. Cu Zn 25 Al 6 Fe 3 Mn 3 004					
P. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3 001	300	600	18	1400	velika statička čvrstoća i tvrdoća
C. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3 003	300	600	18	1500	
N. Cu Zn 26 Al 4 Fe 3 Mn 3 004					
P. Cu Zn 35 Al Fe Mn 00	170	450	20	1100	uzmjerom klizna mehanička svojstva, brodski propeleri
K. Cu Zn 35 Al Fe Mn 002	200	475	18	1100	
C. Cu Zn 35 Al Fe Mn 003					
N. Cu Zn 35 Al Fe Mn 004					
T. Cu Zn 35 Al Fe Mn 005					

**Slitine bakra s kositrom («Kositrena bronca za lijevanje»)**

**Oznake i sastav**

Oznaka	Sastav %					
	Cu	Sn	Ni	Ph	P	
• Cu Sn 14 01	85,0	87,0	12,9	15,0	-	< 0,2
• Cu Sn 12 01	85,0	88,5	10,8	12,8	-	0,05 ... 0,40
• Cu Sn 12 Ni 2 01	84,0	87,5	11,0	13,0	2,5	2,5
• Cu Sn 12 Pb 2 01	84,0	87,5	11,0	13,0	-	0,05 ... 0,40
• Cu Sn 11 P 01	86,0	89,5	10,0	12,0	-	0,15 ... 1,5
• Cu Sn 10 01	88,0	91,0	9,0	10,7	-	-
• Cu Sn 10 P 01	87,0	89,5	10,0	11,5	-	0,5 ... 1,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Sn 14 01	140	210	1	850	velika otpornost na koroziju i mot. vodu
C. Cu Sn 14 03	150	220	1,5	950	
N. Cu Sn 14 04	150	220	2	950	
P. Cu Sn 12 01	130	240	6	800	velika otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
K. Cu Sn 12 02	150	270	4	-	
C. Cu Sn 12 03	150	270	4	950	
N. Cu Sn 12 04	150	270	4	900	
P. Cu Sn 12 Ni 2 01	160	280	12	900	dobra otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
C. Cu Sn 12 Ni 2 03	180	300	8	1000	
N. Cu Sn 12 Ni 2 04	180	310	10	1000	
P. Cu Sn 12 Pb 2 01	130	240	4	800	dobra otpornost prema habanju, koroziji i morskoj vodi
C. Cu Sn 12 Pb 2 03	150	280	5	900	
N. Cu Sn 12 Pb 2 04	150	280	7	900	
P. Cu Sn 10 01	130	240	5	700	velika žilavost, otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 10 03	150	270	7	950	
N. Cu Sn 10 04	150	270	7	900	

Slitine (P., K., C., N.) Cu Sn 11 P 01 i Cu Sn 10 P 01 (01, 02, 03, 04) su otporne prema habanju, koroziji i morskoj vodi.

**Slitine bakra s olovom i kositrom**

**(«Olovno-kositrena bronca za lijevanje»)**

**Sastav**

Oznaka	Sastav %			
	Cu	Ph	Sn	
• Cu Pb 9 Sn 5 01	80,0	83,0	8,0	10,0
• Cu Pb 10 Sn 10 01	78,0	80,0	8,0	11,0
• Cu Pb 15 Sn 8 01	75,0	79,0	7,0	9,0
• Cu Pb 20 Sn 5 01	70,0	78,0	7,0	6,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Pb 9 Sn 5 01	80	160	7	-	otpornost na koroziju (za pare sumpor. i solne kiseline), klizni ležaji
K. Cu Pb 9 Sn 5 02	80	200	8	-	
C. Cu Pb 9 Sn 5 03	80	220	8	-	
N. Cu Pb 9 Sn 5 04	130	230	9	-	
P. Cu Pb 10 Sn 10 01	80	180	7	600	dobra otpornost prema habanju i koroziji, klizni ležaji
C. Cu Pb 10 Sn 10 03	140	270	3	700	
N. Cu Pb 10 Sn 10 04	120	270	6	700	
P. Cu Pb 15 Sn 8 01	80	170	7	600	dobra klizna svojstva, otpornost na sumpor. i solnu kiselinu
C. Cu Pb 15 Sn 8 03	100	220	8	650	
N. Cu Pb 15 Sn 8 04	100	270	8	650	
P. Cu Pb 20 Sn 5 01	60	150	8	500	dobra klizna svojstva, otpor. na koroziju
N. Cu Pb 20 Sn 5 04	80	180	7	-	

**Slitine bakra s kositrom, cinkom i olovom («Crveni lijev»)**

Oznaka	Sastav %					
	Cu	Sn	Zn	Ph		
• Cu Sn 10 Zn 2 01	86,0	89,0	9,0	11,0	1,0	5,0
• Cu Sn 8 Pb 2 01	82,0	81,0	6,0	8,0	-	0,5 ... 4,0
• Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3 01	81,0	85,0	6,0	8,0	2,0	5,0
• Cu Sn 5 Ph 5 Zn 5 01	84,0	86,0	4,0	6,0	4,0	6,0
• Cu Sn 3 Zn 9 Ph 7 01	78,0	82,0	2,5	3,5	1,0	10,0

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. tečenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst. $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Sn 10 Zn 2 01	120	240	12	750	umjereno opterećeni klizni dijelovi, otpor. na morsku vodu
C. Cu Sn 10 Zn 2 03	140	270	7	850	
N. Cu Sn 10 Zn 2 04	140	270	7	800	
P. Cu Sn 8 Pb 2 01	130	250	16	-	otpornost na morsku vodu i koroziju, za armature i kućišta pumpi
K. Cu Sn 8 Pb 2 02	130	220	2	-	
C. Cu Sn 8 Pb 2 03	130	230	4	-	
N. Cu Sn 8 Pb 2 04	130	270	5	-	
P. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3 01	100	210	12	650	otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3 03	120	260	12	750	
P. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5 01	90	200	15	600	otpornost na koroziju i morsku vodu
C. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5 03	100	250	15	-	
P. Cu Sn 3 Zn 9 Ph 7 01	90	200	18	500	
C. Cu Sn 3 Zn 9 Ph 7 03	100	200	16	550	

1) Također K. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3 02 - 2) Također N. Cu Sn 7 Pb 7 Zn 3 04 - 3) Također K. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5 02 - 4) Također N. Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5 04.

**Slitine bakra s aluminijem (»Aluminijska bronca za lijevanje«)**  
Sastav

Oznaka	Cu	Sastav %				Ni
		Al	Fe	Mn	Si	
Cu Al 9.00	88,0... 92,0	8,0	1,5			-
Cu Al 10 Fe 3.00	84,0... 89,0	8,5	1,0	2,0	5,0	-
Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.00	76	8,5	1,0	3,5	5,5	3,5... 6,5

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka	Naprez. rećenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	Vlač. čvrst $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB 10/1000	Upotreba
P. Cu Al 9.01	120	320	15	800	otpor na koroziju, za prehr. industriju
K. Cu Al 9.02	140	450	15	850	
P. Cu Al 10 Fe 3.01	180	500	13	1150	općenito za mehanički opterećene dijelove (pri temper. -200 do +200°C)
K. Cu Al 10 Fe 3.02			15	1150	
C. Cu Al 10 Fe 3.03			15	1150	
N. Cu Al 10 Fe 3.04	200	550	15	1150	
P. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.01	250	600	10	1400	otpornost na koroziju i velika čvrstoća, za brodske propelere
K. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.02	300	600	12	1500	
C. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.03	280	680	12	1600	
N. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5.04					

**NIKAL I NIKLENE SLITINE**  
Čisti nikal

Tehnički čisti nikal sadrži:

- iznad 99,6% Ni – za kemijske aparate (nositelji za platiniranje),
- iznad 98,7% Ni – za anode,
- iznad 98,0% Ni – za opću upotrebu (i za slitine).

**Mehanička svojstva**

Slitina	Stanje	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB
98,0% Ni	meko tvdo	400... 450 750	30... 45 1	80... 90 180... 200

**Niklene slitine za lijevanje**  
(DIN 17730 – 1971)

Sastav

Oznaka po DIN	Sastav %					
	Ni	Cu	Fe	Mn	Si	ostalo
G-Ni 95	> 95	-	-	-	-	-
G-Ni 93 C	> 93	-	-	-	-	1,0... 2,5 C
G-Ni 90 Si	> 90	-	-	-	5,5... 6,5	1,0 C
G-Ni Cu 30 Nb	62... 68	26... 33	1,0... 2,5	0,5... 1,5	0,5... 1,5	1,0... 1,5 Nb
G-Ni Cu 30 Si 3	61... 68	27... 33	1,0... 2,5	-	2,7... 3,7	0,5... 1,5 Al
G-Ni Cu 30 Si 4	60... 68	27... 33	1,0... 2,5	0,5... 1,5	3,5... 4,5	-

Nečistoće:

- <sup>1)</sup> 2,0 Si, 1,0 C, 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 0,19 ostalo
- <sup>2)</sup> 2,0 Si, 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 1,19 ostalo
- <sup>3)</sup> 1,2 Cu, 1,0 Fe, 1,5 Mn, 0,01 S, 0,19 ostalo
- <sup>4)</sup> 1,0 razno

**Mehanička svojstva i upotreba**

Oznaka slitine	Naprez. rećenja $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća HB min.	Upotreba
G-Ni 95	170	370	12	80	dobra otpornost prema koroziji, za armature, aparate i sl.
G-Ni 93 C	160	340	10	85	
G-Ni 90 Si	350	500	3	180	
G-Ni Cu 30 Nb	220	450	25	120	dobra otpornost prema eroziji (i kavitacijskoj), koroziji; velika postojanost u mor. vodi
G-Ni Cu 30 Si 3	350	650	10	220	
G-Ni Cu 30 Si 4	500	750	1	260	

\*

*Monel* je slitina s približno 66% Ni, 29% Cu, 3% Mn (+ Si, Fe, C), a veoma je otporna prema koroziji. Upotrebljava se za kondenzatorske cijevi, lopatice vodnih turbina, dijelove kućanskih aparata i sl.

Niklene slitine za gubećanje

(DIN 17741, 17742, 17743, 17744 - 1983 i 17745 - 1973)

Sastav i upotreba

Oznaka po DIN	Sastav* %								Upotreba
	Ni min	Mn	Cr	Cu	Mo	Fe	Al	ostalo	
Ni99.4Fe	99.4					0.4			otporni termometri
NiNi1	98	0.6							kem. aparati
NiNi2	97	2.0							motorske svjedice
NiNi3Al	94	3.0					1.5	1 Si	termoelementi, stržice za elektronike
NiNi5	94	5.0							
NiCr8020	76		20					1 Si	otpornici
NiCr7030	60	1.0	30	0.5		5		2 Si	žice za grijala
NiCr6040	59		15			21			
NiCr20AlSi	73	0.7	20			1	1.2	7 Si	otpornici
NiCr15Fe	77		15			8			
NiCr23Fe	58	1.0	23	0.5		18	1.4	0.5 Ti	vatrostalni dijelovi
NiCr20Ti	72	1.0	20	0.5		5		1 Si; 0.4 Ti	
NiCr20TiAl	65	1.0	20			1.5	1.4	1 Si; 2.3 Ti	trajno opter. dijelovi
NiCu30Fe	63			31		1.5			otpor. na koroziju
NiCu30Al	63			30		1	3.0	0.6 Ti	kaljivo - kem. apar.
NiMo16Cr16Ti		1.0	16	0.5	16	3		2 Co	
NiMo28		1.0	1	0.5	28	2		1 Cu	
NiCr22Mo6Cu	100	1.5	22	2	6	20		1 Si; 2 Co	dijelovi otporni na koroziju
NiCr22Mo7Cu	100	1.0	22	2	7	20		2 Cu	
NiMo16Cr15W		1.0	15	0.5	16	5		2 Cu; 4 W	
NiCr22Mo9Nb		0.5	22	0.5	9	3		1 Co; 4 Nb	
NiCr21Mo6Cu	39	1.0	21	2.5	6	1		1 Co	
NiCr21Mo	48	1.0	21	2.0	3	100		1 Co; 0.9 Ti	
NiFe15Mo	39					4.15			
NiFe16CuCr	76		3	5		16			meke magnetske slitine
NiFe16CuMo	76			5		4			
NiFe48Cr	51		1			47			
NiFe47Cr	47	1.0	6			47			
Ni49	48		1			49			
Ni48	46					51			utežnjavanje u mekom staklu
Ni42	41	1.0				57			
NiFe47	50	0.6				47			
NiFe46	51	0.6				46			
NiFe45	51					45			
NiFe44	53	0.5				44			
NiCo2918	24					54		18 Co	
NiCo2823	27	0.5				48		23 Co	

\* Prosječne i zaokružene vrijednosti

CINK I CINCANE SLITINE

Čisti cink

Tehnički čisti cink - u pločama (JUS C.E1 020 - 1970)

Sastav i upotreba

Oznaka	Sastav %		Upotreba
	Zn min.	nečistoće maks.	
Zn 99.995	99.995	0.005	za cinkane slitine za tlačno lijevanje, za bakrene slitine s cinkom (i niklom); za duboko izvlačenje
Zn 99.99	99.99	0.01	
Zn 99.95	99.95	0.05	za galvansko cinkanje, za slitine
Zn 99.5	99.5	0.5	za galvansko i toplo cinkanje, slitine s cinkom, cinkano bješlo itd.
Zn 98.5	98.5	1.5	
Zn 97.5	97.5	2.5	

Cinkane slitine za lijevanje

(JUS C.J6.040 - 1963 i DIN 1743/2 - 1967)

Oznaka i sastav

Oznaka JUS - DIN	Sastav %				Nečistoće % maks.
	Al	Cu	Mg	Zn	
- po JUS					
T. Zn Al 4	3.5...4.3	0.0...0.5	0.02...0.06		Ostatak 0.018 Fe 0.005 Cd 0.007 Pb 0.003 Sn
T. Zn Al 4 Cu 1	3.5...4.3	0.5...1.2	0.02...0.06		
po DIN					
GK - Zn Al 4 Cu 3	3.5...4.3	2.5...3.2	0.03...0.06		0.075 Fe 0.004 Pb + Cd 0.002 Sn
GK - Zn Al 6 Cu 1	5.6...6.0	1.2...1.6	(< 0.005)*		

\* kao nečistoća.

Mehanička svojstva i upotreba

Oznaka	Naprez. rećenja R <sub>p</sub> 0.2, N/mm <sup>2</sup> min	Vlačna čvrst. R <sub>m</sub> , N/mm <sup>2</sup> min	Postot. prod. A <sub>5</sub> , % min	Tvrdoća HB min	Upotreba
T. Zn Al 4	200	250	1.5	70	tlačni odljevci točnih dimenzija
T. Zn Al 4 Cu 1	220	270	2	80	tlačni odljevci tankih stijenki
T. Zn Al 4 Cu 3	170	220	0.5	90	odljevci u pijesku
GK-Zn Al 4 Cu 3	700	240	1	100	odljevci u kokili
GK-Zn Al 6 Cu 1	150	180	1	80	ljevački odljevci u pijesku odnosno kokili
GK-Zn Al 6 Cu 1	170	220	1.5	80	



**OLOVO I OLOVNE SLITINE**

**Čisto olovo**

Rafinirano olovo – u bloku (JUS C.EI.030 – 1978)

*Sustav i upotreba*

Oznaka	Pb min.	Sastav %		nečistoće maks.	Upotreba
		Cu	Sb		
Pb 99,99	99,99	-	-	0,01	za optičko staklo, akumulatore za kemijske aparate
Pb 99,985	99,985	-	-	0,015	
Pb 99,95	99,95	-	-	0,05	za slitine, kabelaške plašteve
Pb 99,9	99,90	-	-	0,10	
Pb II, 99,9	99,90	0,04	0,10	0,08	za kemijske aparate pri povišenim temperaturama

**Slitine olova s kositrom i antimonom**

Tiskarske slitine (JUS C.EI.101 – 1966)

*Sustav i upotreba*

Oznaka	Pb	Sastav %			Tiskarska oznaka slitine	Upotreba
		Sn	Sb	Pb		
G Pb Sn 3 Sb 4	93	3	4	3,4	podloge galvanskih ploča za stereo-ploče za strojeve linotype za stereo-ploče za strojeve monotype	
G Pb Sn 4 Sb 15	81	4	15	4,15		
G Pb Sn 5 Sb 12	83	5	12	5,12		
G Pb Sn 5 Sb 14	81	5	14	5,14		
G Pb Sn 9 Sb 17	74	9	17	9,17		
D Pb Sn 30 Sb 6*	64	30	6	30,6	za povećanje žilčnosti za povećanje tvrdoće	
D Pb Sn 5 Sb 28*	67	5	28	5,28		

\* Dodatne slitine.

Slitine za plašteve električnih kablove (JUS C.EI.040 – 1963)

*Sustav i upotreba*

Oznaka	Cu	Sastav %			Upotreba
		Sn	Sb	Pb	
F Pb 99,9	-	-	-	> 99,90	vrlo meko, za posebne svrhe vrlo meko, za opću upotrebu tvrdi, za telefoonske kabele meko, za brodске kabele
F Pb Cu	0,04	-	-	-	
F Pb Sb	-	-	0,25	ostatak	
F Pb Sn Sb	-	0,40	0,20	-	

Slitine olova s antimonom (JUS C.EI.035 – 1963)

Sastav %		Upotreba
5 Sb	ost. Pb	
6 Sb		
10 Sb		ploče za zaštitu od radioaktivnog zračenja za akumulatore
5,5 Sb		
6,5 Sb		

**Kositrene i olovne slitine za ležaje (JUS C.EI.100 – 1963)**

(«Bijela kovina»)

Oznaka	Sastav %	Tvrdoća HB pri °C			Talište °C	Temperatura lijevanja °C
		20	50	100		
L Sn 89	88...96 Sn 3...4 Cu 7...8 Sb	24,5	19	17	241	354 424 450
L Sn 80	79...81 Sn 8...10 Cu 11...12 Sb	27	20	10	230	400 440 460
L Sn 80 Pb	79...81 Sn 5...7 Cu 11...13 Sb 1...3 Pb	27	20	10	192	400 440 460
L Pb Sn 9 Cd	8...10 Sn 0,5...1,5 Cu 13...15 Sb 0,75...1,0 Cd 0,75...1,0 As 0,4...0,6 Ni ost. Pb	28	23	15	240	400 450 520
L Pb Sn 6 Cd	5...7 Sn 0,5...1,5 Cu 14...16 Sb 0,75...1,0 Cd 0,75...1,0 As 0,4...0,6 Ni ost. Pb	26	21	15	245	420 480 520
L Pb Sn 10	9,5...10,5 Sn 0,5...1,5 Cu 14,5...16,5 Sb ost. Pb	29	26	9	235	370 420 450
L Pb Sn 5	4,5...5,5 Sn 0,5...1,5 Cu 14,5...16,5 Sb ost. Pb	22	13	6	240	420 450 520

*Upotreba*

- L Sn 89 } za dinamički teško opterećene ležaje uz povišenu temperaturu
- L Sn 80 }
- L Sn 80 Pb } za dinamički teško opterećene ležaje
- L Pb Sn 9 Cd } za ležaje dobre klizne sposobnosti pri velikim opterećenjima
- L Pb Sn 6 Cd }
- L Pb Sn 10 } za ležaje dobre klizne sposobnosti pri umjerenim opterećenjima
- L Pb Sn 5 }

**LEMOVI**

**Tvrđi lemovi**

**Mjedeni lemovi (JUS C.D2.306 - 1957)**

Oznaka	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Zn min.	Si		
S. Cn 85 Zn	84...86	13	0,2 0,4	1020	za bakar, bakrene slitine, čelik i lijevano željezo
S. Cu 63 Zn	62...64	35	0,2 0,4	910	
S. Cn 60 Zn	59...61	38	0,2 0,4	900	
S. Cu 54 Zn	53...55	44	0,2 0,4	890	za bakrene i niklene slitine i lijevano željezo
S. Cu 48 Zn	47...49	50		870	
S. Cu 42 Zn	41...43	56		845	za bakrene i niklene slitine

**Bakreni lemovi (DIN 8513r1 - 1979)**

Oznaka po DIN	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Sn	P		
L-Cu	> 99,90			1083	za nelegirani čelik
L-SF Cu	> 99,90		0,02 ... 0,05	1083	
L-Cn Sn6	> 91	5 8	0,1 0,4	1040	za željezne i niklene slitine
L-Cu Sn 12	> 86	11 13	0,1 0,4	990	

**Meki lemovi (JUS C.E1.041 - 1963)**

Oznaka	Sastav %		Najniža temperatura lemljenja °C	Upotreba
	Sn	Pb		
S. Sn 20	20	80	175	za prevlake kovina
S. Sn 25	25	75	257	
S. Sn 30	30	70	249	za strojno lemljenje plamnom
S. Sn 33	33	67	242	
S. Sn 35	35	65	237	za lemljenje razmazivanjem
S. Sn 40	40	60	223	
S. Sn 50	50	50	200	za lemljenje čelika
S. Sn 60	60	40	185	za opće svrhe
S. Sn 75	75	25	185	za fino lemljenje
				za lemljenje zdravstvenih predmeta

\* Dopustive nečistoće (maks.) %: 0,25 Bi; 0,02 Fe; 0,05 As; 0,005 Al; 0,005 Zn.

\*

Slitine s ekstremno niskim talištem:

Rotova slitina: 50% Bi, 25% Pb, 25% Sn - talište 94 °C.

Woodova slitina: 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd - talište 70 °C.

**Srebrni lemovi (JUS C.D2.307 - 1957)**

Oznaka	Sastav %					Talište °C
	Ag	Cu maks	Cd	razno maks	Zn	
S. Cu 55 Zn Ag 8	7...9	55				870
S. Cu 52 Zn Ag 12	11...13	52				830
S. Cu 52 Zn Ag 12 Cd	11...13	52	5 9			800
S. Cu 49 Zn Ag 15 Cd	14...16	49	8 12			770
S. Cu 43 Zn Ag 20 Cd	19...21	43	13 17			750
S. Cn 43 Zn Ag 25	24...26	43				780
S. Cu 42 Zn Ag 25 Cd	24...26	42	12 16			730
S. Cu 40 Zn Ag 27 Mn	26...28	40		10 Mn, 6 Ni	ostatak	840
S. Cu 44 Zn Ag 30 Cd	29...31	44	3 7			770
S. Cu 36 Zn Ag 30 Cd	29...31	36	10 14			700
S. Cu 42 Zn Ag 38 Sn	37...39	42		4 Sn		800
S. Cu 32 Zn Ag 44	43...45	32				730
S. Cu 19 Zn Ag 45 Cd	44...46	19	14 22			620
S. Cu 18 Zn Ag 49 Mn	48...50	18		8 Mn, 5 Ni		690
S. Cu 32 Zn Ag 50 Cd	49...51	32	3 7			700

**Upotreba**

Srebrni su lemovi namijenjeni općenito za lemljenje čelika, lijevanog željeza, bakra i bakrenih slitina, a osobito:

S. Cu 52 Zn Ag 12 Cd, S. Cu 49 Zn Ag 15 Cd, S. Cu 43 Zn Ag 20 Cd - za lemljenje čelika (i platiniranih čeličnih limova) s bakrom;

S. Cu 40 Zn Ag 27 Mn za kemijski otporne čelike i tvrde metale;

S. Cu 42 Zn Ag 38 Sn - kao lem otporan prema morskoj vodi;

S. Cu 32 Zn Ag 44 - kao vatrostalni lem;

S. Cu 32 Zn Ag 50 Cd - kao lem otporan prema koroziji.

**Aluminijski lemovi**

**Tvrđi lemovi za aluminij (DIN 8513/4 - 1981)**

Oznaka po DIN	Sastav %		Temperatura lemljenja °C	Upotreba
	Si	Al		
L-Al Si 7,5	6,8...8,2	ostatak	605...615	općenito za aluminij (naročito za slitine Al-Mn)
L-Al Si 10	9,0...10,5		595...605	
L-Al Si 12	11,0...13,5		590...600	

**Meki lemovi za aluminij (DIN 1707 - 1981)**

Oznaka po DIN	Sastav %				Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Sn	Zn	Cd	drugo		
L-Sn Zn 10	85...92	8...15			200...250	tvrđi lemovi
L-Sn Zn 40	55...70	30...45			200...340	
L-Cd Zn 20		17...25	75...83		265...280	manje osjetljiv prema koroziji
L-Zn Al 5		94,0...96,0		1,0...6,0 Al	380...390	lemlj. ultrazvučno i u peći

**POSEBNE SLITINE ZA ELEKTROTEHNIKU**

**Slitine za električne otpornike (DIN 17471 - 1983)**

Oznaka po DIN	Sastav %				Specifični električni otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$				Upotreba
	Mn	Ni	Al	Cu	20 °C	100 °C	300 °C	500 °C	
Cu Mn 12 Ni*	12	2	-	-	0,43	0,43	-	-	za preciz. mjerne otpornike
Cu Ni 20 Mn 10	10	20	-	-	0,49	0,49	0,49	-	
Cu Ni 44**	1	44	-	-	0,49	0,49	0,49	0,49	
Cu Mn 2 Al	2	-	0,5	ost.	0,125	0,130	-	-	za opće otpornike
Cu Ni 30 Mn	3	30	-	-	0,40	0,405	0,412	0,437	
Cu Mn 12 Ni Al	12	5	1,2	-	0,50	0,50	0,50	0,50	

\* -Manganit-, - \*\* -Konstantan-

Nikelen je slitina sa (%): 55...68 Cu, 31...32 Ni, 0...13 Zn, a ima specifični električni otpor 0,40...0,44  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

**Slitine za električne žice za visoke temperature (DIN 17470 - 1984)**

Oznaka po DIN	Sastav %				Specifični električni otpor $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$				Upotreba do °C
	Cr	Ni	Al	Fe	20 °C	400 °C	800 °C	1200 °C	
Ni Cr 80 20 <sup>1)</sup>	20	ost.	-	-	1,12	1,15	1,24	1,17	1200
Ni Cr 60 15 <sup>2)</sup>	15	ost.	-	77	1,13	1,20	1,22	1,26	1150
Ni Cr 30 20 <sup>3)</sup>	20	30	-	ost.	1,04	1,17	1,26	-	1100
Cr Ni 25 20 <sup>4)</sup>	25	20	-	ost.	0,95	1,11	1,22	-	1050
Cr Al 25 5	25	-	5	ost.	1,44	1,45	1,48	1,49	1300
Cr Al 20 5	20	-	5	ost.	1,37	1,39	1,44	1,45	1200

1) -Cekas II-, 2) -Cekas-, 3) -Cekas O-, 4) -Cekas I-

Konikal je slitina sa (%): 30 Cr, 5 Al, 3 Co i ost. Fe, a upotrebljava se do 1350 °C.

**Slitine posebne električne permeabilnosti**

Naziv	Sastav u %					
	Ni	Cu	Mo	Mn	C	Fe
slitina «1040»	72	14	3	-	< 0,1	13
permalloy A	78,5	-	-	-	-	21,5
permalloy B	48	-	-	-	< 0,1	52
permalloy C	78,5	-	3	0,5	< 0,1	18

**Slitine za permanentne magnete**

Naziv	Sastav u %						razred	Fe
	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	-		
permandur	49	-	-	-	-	-	2 V	49
koerzit 15 Cr 70	16	9	1,6	-	-	-	-	-
koerzit 30 Cr 90	31	4,7	0,4	-	-	-	4,8 Ti	-
500 koerzit 120	-	-	-	27,5	13	-	-	ost.
700 koerzit 160	10	-	-	24,5	11,5	-	4 Cu	
slitine Mjshima: 1)	-	-	-	26	14	-	+ Cu	
2)	7,5	-	-	27	6	-	+ Cu	-

**TITAN I TITANOVE SLITINE**

**Čisti titan**

Titan kristalizira u dva kristalna oblika: pod temperaturom pretvorbe 882 °C je Ti<sub>h</sub> koji kristalizira heksagonalno, nad tom temperaturom nastaje Ti<sub>g</sub> koji kristalizira u kubnoj prostorno centraliziranoj rešetki.

Gustoća titana leži među gustoćama teških i lakih kovina:

Ti<sub>h</sub> (20 °C)  $\rho = 4505 \text{ kg/m}^3$       Ti<sub>g</sub> (900 °C)  $\rho = 4320 \text{ kg/m}^3$

**Tehnički čist titan (DIN 17850 - 1985)**

Oznaka	Sastav (%)					
	Fe maks.	O	N maks.	C maks.	H maks.	Ti
3.7025	0,20	0,10	0,05	0,08	0,13	ost.
3.7035	0,25	0,20	0,06	0,08	0,13	
3.7055	0,30	0,25	0,06	0,10	0,13	
3.7065	0,35	0,30	0,07	0,10	0,13	

**Mehanička svojstva korunog titana (DIN 17864 - 1973)**

Oznaka	Naprez. tečenja		Vlačna čvrstoća R <sub>m</sub>	Postot. produlj.		Tvrdoća HB	Žilav. KU/3	
	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p1</sub> N/mm <sup>2</sup>		A <sub>5</sub> %	popr.		uzd.	popr.
3.7025 10	> 180	> 200	250...410	30	25	120	85	60
3.7035 10	> 250	> 270	390...540	27	20	150	40	35
3.7055 10	> 320	> 350	460...590	28	16	170	35	25
3.7065 10	> 390	> 410	540...740	16	15	200	25	20

Tehnički čist titan je otporan prema koroziji, postojan u morskoj vodi i morskoj klimi. Upotreba: za kemijske aparate i u zrakoplovstvu.

**Titanove slitine (DIN 17851 - 1973)**

Oznaka	Sastav (%)*				Gustoća kg/m <sup>3</sup>
	Al	V	Sa	Ti	
TiAl 6 V 4	5,5...6,75	3,5...4,5	-	ost.	4450
TiAl 5 Sa 2	4,0...6,0	-	2,0...3,0	ost.	4500

\* Dovoljene nečistoće (%): 0,08 C, 0,30...0,50 Fe, 0,015...0,020 H, 0,05 N, 0,20 O.

**Mehanička svojstva titanovih slitina (DIN 17864)**

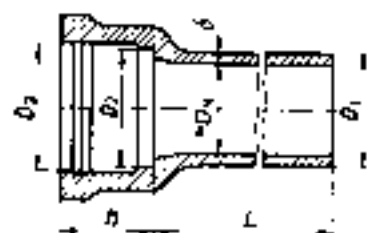
Oznaka	Modul elast. E N/mm <sup>2</sup>	Naprez. tečenja R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Postot. produlj. %	Žilavost KU/3 J	Upotreba
TiAl 5 Sa 2-F79	-	760	790	8	-	do 500 °C

Titanove slitine dobro se zavaruju, otporne su prema koroziji. Njihova znana čvrstoća i razmjerno mala gustoća omogućuju konstruiranje najlakših dijelova (zrakoplovstva, svemirska tehnika).

ODLJEVCI OD SIVOG LJEVA

za tlačne cijevovode

Cijevi s kolčakom (JUS C.11.030 — 1961)



Razred*	Nazivni tlak bar		Ispitni tlak bar		
	za $D_N$ (mm)		za $D_N$ (mm)		
	50, 65	80...1200	600	600	
LA	c	16	10	20	15
A	c	—	12,5	25	20
	g	12,5	10	20	15
B	c	—	16	30	25
	g	—	12,5	25	20

\* c — centrifugalni ljev, g — gravitacijski ljev

Nazivni promjer $D_N$ mm	Dimenzije					Masa				
	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$D_3$ mm	$h$ mm	$\delta$ (mm) pri razredu	kolčaka			cijevi*	
						LA	A	B	kg	kg/m
50	66	78	84	77	6,7	7,3	—	—	3,3	8,9
65	82	94	100	80	6,9	7,6	—	—	4,4	11,6
80	98	110	116	84	7,2	7,9	8,6	—	5,5	14,7
100	118	131	137	88	7,5	8,3	9,0	—	7,1	18,6
125	144	157	163	91	7,9	8,7	9,5	—	9,2	24,2
150	170	183	189	94	8,3	9,2	10,0	—	11,5	31,1
200	222	235	241	100	9,2	10,1	11,0	—	16,8	44,0
250	274	287	294	103	10,0	11,0	12,0	—	22,9	59,3
300	326	339	346	105	10,8	11,9	13,0	—	29,8	76,5
350	378	391	398	107	11,7	12,8	14,0	—	37,5	96,3
400	429	442	449	110	12,5	13,8	15,0	—	46,3	116,9
450	480	494	501	112	13,3	14,7	16,0	—	56,0	141,0
500	532	546	553	115	14,2	15,6	17,0	—	66,0	165,2
600	635	650	657	120	15,8	17,4	19,0	—	89,3	219,8
700	738	753	760	122	17,5	19,3	21,0	—	116,8	283,2
800	842	857	865	125	19,2	21,1	23,0	—	147,8	354,9
900	945	960	968	128	20,8	22,9	25,0	—	182,6	431,8
1000	1048	1064	1072	130	22,5	24,8	27,0	—	222,3	518,3
1100	1152	1169	1177	135	24,2	26,6	29,0	—	265,6	613,1
1200	1256	1273	1281	140	25,8	28,4	31,0	—	313,2	712,9

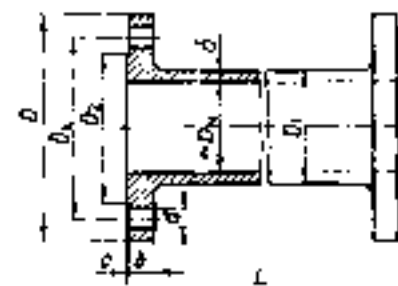
\* Masa cijevi vrijedi za razred LA. Mase cijevi za razrede A i B su približno za 10 odnosno 20% veće.

Nazivni promjeri $D_N$	50, 65	80...150	200... mm
Duljine $L$	2 i 3	3, 4 i 5	4 i 5 m

Cijevi s priрубicom  
(JUS C.11.033 — 1961)

Razred*	Nazivni tlak (bar)	Ispitni tlak (bar)			
		za $D_N$ (mm) =			
		300	300	600	600
B	g	12,5	25	20	15

\* g — gravitacijski ljev (u pješčanim kalupima).



Nazivni promjer $D_N$ mm	Dimenzije					Rupe za vijke			Masa	
	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$D$ mm	$b$ mm	$\delta$ mm	$D_k$ mm	$n^*$	$d$ mm	priруб- nica kg	cijevi kg/m
50	66	98	165	20,5	8,0	125	4	19	2,7	10,4
65	82	118	185	21,0	8,3	145	4	19	3,3	13,7
80	98	133	200	21,0	8,6	160	4	19	3,7	17,3
100	118	153	220	22,0	9,0	180	8	19	4,2	22,0
125	144	183	250	22,5	9,5	210	8	19	5,3	28,7
150	170	209	285	23,0	10,0	240	8	23	6,7	35,9
200	222	264	340	24,5	11,0	295	8	23	9,3	52,1
250	274	319	395	26,0	12,0	350	12	23	12,0	70,6
300	326	367	445	27,5	13,0	400	12	23	14,8	91,4
350	378	427	505	29,0	14,0	460	16	23	19,0	114,5
400	429	477	565	30,0	15,0	515	16	28	23,4	139,5
450	480	528	615	31,5	16,0	565	20	28	26,5	169,0
500	532	582	670	33,0	17,0	620	20	28	32,1	196,7
600	635	682	780	36,0	19,0	725	20	31	44,0	262,9
700	738	797	895	38,5	21,0	840	24	31	59,9	338,2
800	842	904	1015	41,5	23,0	950	24	34	80,8	423,1
900	945	1004	1115	44,0	25,0	1050	28	34	94,6	516,6
1000	1048	1111	1230	47,0	27,0	1160	28	37	120,0	619,2
1100	1152	1221	1340	50,0	29,0	1270	32	37	139,0	731,5
1200	1256	1329	1455	52,5	31,0	1380	32	40	173,0	853,0

\* n — broj rupe

Vrijednost c na slici iznosi:

$D_N = 50 \dots 250$	$300 \dots 500$	$600 \dots 1200$	mm
$c = 3$	4	5	mm

Duljine  $L$  iznose za  $D_N = 50, 65$  i  $80$  mm: 1, 2 ili 3 m, za sve ostale  $D_N$ : 1, 2, 3 ili 4 m.

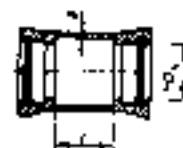
*Spojni komadi*

s kolčakom i prirubnicom (JUS C.31.040)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 150 \dots 500$

s kolčacima (JUS C.31.041)



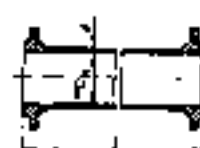
$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 10,1 \dots 38,0$   
 $l = 155 \dots 270$

s prirubnicom (JUS C.31.042)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 400 \dots 800$

s prirubnicama (JUS C.31.043)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $l = 100 \dots 900$

(Sve su mjere u mm)

$\frac{1}{4}$  luk (JUS C.31.064)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $R = 110 \dots 1145$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 155$  mm

$\frac{1}{8}$  luk (JUS C.31.065)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $R = 266 \dots 1400$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 155$  mm

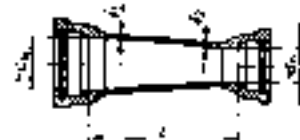
luk sa stopalom (JUS C.31.068)



$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,2 \dots 22,2$  mm  
 $R = 110 \dots 605$  mm  
 $l_0 = 40 \dots 95$  mm

*Redukcijski komadi*

s kolčacima (JUS C.31.050)



$D_N = 65 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1100$  mm  
 $\delta_1 = 9,7 \dots 36,2$  mm  
 $\delta_2 = 9,3 \dots 33,8$  mm  
 $l = 200 \dots 600$  mm

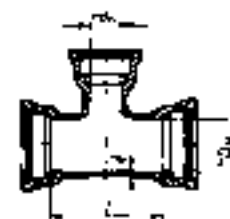
s prirubnicama (JUS C.31.051)



$D_N = 65 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1100$  mm  
 $\delta_1 = 9,7 \dots 36,2$  mm  
 $\delta_2 = 9,3 \dots 33,8$  mm  
 $l = 200 \dots 600$  mm

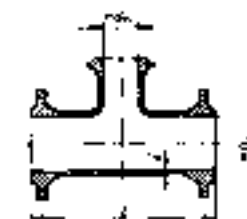
*Odvojeci*

s kolčacima (JUS C.31.070)



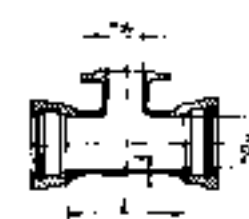
$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $d_n = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 22,2$  mm  
 $l = 171 \dots 940$  mm

s prirubnicama (JUS C.31.071)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 300 \dots 1700$  mm

s kolčacima i prirubnicom (JUS C.31.072)



$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $d_n = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 170 \dots 1780$  mm

*Lukovi — s kolčacima*

$\frac{1}{4}$  luk (JUS C.31.060)



$D_N = 50 \dots 500$   
 $\delta = 9,3 \dots 19,8$   
 $R = 110 \dots 515$   
 $l_0 = 40 \dots 85$

$\frac{1}{8}$  luk (JUS C.31.061)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

$\frac{1}{16}$  luk (JUS C.31.062)



$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

$\frac{1}{32}$  luk (JUS C.31.063)

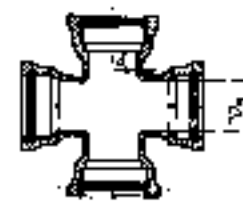


$D_N = 50 \dots 1200$   
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$   
 $R = 250 \dots 1400$   
 $l_0 = 40 \dots 155$

(Sve su mjere u mm)

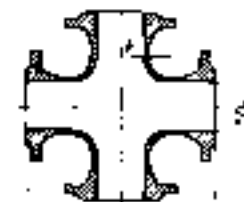
*Križni komadi*

s kolčacima (JUS C.31.080)



$D_N = 50 \dots 600$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 22,2$  mm  
 $l = 171 \dots 940$  mm

s prirubnicama (JUS C.31.081)






$D_N = 50 \dots 1200$  mm  
 $\delta = 9,3 \dots 36,2$  mm  
 $l = 300 \dots 1700$  mm

## ČELIČNI POLUPROIZVODI

Mase materijala po jedinici duljine (kg/m) ili jedinici površine (kg/m<sup>2</sup>) izračunane su s obzirom na gustoću čelika 7850 kg/m<sup>3</sup>

**Čelik u šipkama – vruće valjani:**

okrugli (JUS C.B3.021 – 1984)		kvadratni (JUS C.B3.024 – 1984)		šesterokutni (JUS C.B3.026 – 1984)	
					
Nazivna debljina mm	Duljinska masa kg/m	Nazivna debljina mm	Duljinska masa kg/m	Nazivni zijev ključa mm	Duljinska masa kg/m
	okrugli	kvadr.	okrugli	kvadr.	
5,5	0,197		0,86	12,6	13
6	0,222		10,9		14
6,5	0,260		14		15
7	0,302		17,5		16
7,5	0,347		20	19,6	18
8	0,395	0,502	24,7		20,5
10	0,617	0,785	38,7		27,5
12	0,888	1,13	52,3	28,3	33,5
14	1,21	1,54	65		35,5
16	1,58	2,02	78,5	38,5	37,5
18	2,00	2,54	90,2		39,5
20	2,47	3,14	102	50,2	42,5
22	2,98	3,80	113		47,5
24	3,54	4,71	126	78,5	52
27	4,49		153		55
28	4,83		160		57
30	5,55	7,07	175		62
31	5,92		180		62,5
32	6,31	8,04	200		67
35	7,55	9,62	247		72
37	8,44		270	298	78
38	8,90				83
					88
					93
					98
					103

Navedeni su samo čelici debljine skupine A koji se obično upotrebljavaju. (Za čelike debljine skupine B koji se upotrebljavaju samo iznimno – vidi gore navedeni standard!)

**Okrugli betonski čelik (JUS C.K6.020 – 1955)**

Promjeri: **5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40.**

Preporučuje se upotreba deblje tiskanih promjera.

## Vučeni čelici u šipkama

*Okrugli vučeni čelici*

– vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11 (JUS C.B3.411 – 1984) i  
ISO h 9 (JUS C.B3.412 – 1984)

Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m	Promjer d mm	Masa kg/m
10	0,617	21	2,72	38	8,90	75	44,7
10,5	0,680	22	2,98	39	9,38	80	39,5
11	0,746	23	3,26	40	9,86	85	44,5
11,5	0,815	24	3,55	42	10,9	90	49,4
12	0,888	25	3,85	44	11,9	95*	55,0
12,5	0,963	26	4,17	45	12,5	100	61,7
13	1,04	27	4,49	46	13,0	110	74,0
13,5	1,12	28	4,82	48	14,2	120	88,8
14	1,21	30	5,55	50	15,4	125	98,3
14,5	1,30	31	5,92	52	16,7	130	104
15	1,39	32	6,31	55	18,7	140	121
16	1,58	33	6,73	58	20,7	150	139
17	1,78	34	7,17	60	22,2	160	158
18	2,00	35	7,65	63	24,5	180	200
19	2,23	36	7,99	65	26,0	200	247
20	2,47	37	8,44	70	30,2		

\* Standardizirano samo u tolerancijskom području ISO h 11.

**Kvadratni vučeni čelici (JUS C.B3.421 – 1986)**  
vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11

Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m	Debljina a mm	Masa kg/m
7	0,0914	10	0,785	22	4,80	50	19,6
8	0,1017	11	0,950	(24)	4,52	(55)	21,7
1,5	0,0962	12	1,13	25	4,91	(60)	28,3
4	0,176	13	1,33	(27)	5,72	65	25,2
4,5	0,159	14	1,54	28	6,15	(65)	31,2
5	0,196	(15)	1,77	(30)	7,07	70	38,5
5,5	0,237	16	2,01	32	8,04	(75)	44,2
6	0,283	(17)	2,27	(35)	9,67	80	50,7
7	0,385	18	2,54	36	10,2	100	78,5
8	0,502	(19)	2,82	40	12,6		
9	0,636	20	3,14	45	15,9		

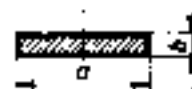
Dimenzije u zagradama upotrebljavaju se jedino u iznimnim slučajevima.

\*

**Šesterokutni vučeni čelici** JUS C.B3.441 – 1984 (vučeni u tolerancijskom polju ISO h 11).

**Plosnati čelik**

Vruće valjani plosnati čelik (JUS C.B3.025 - 1984)



vruće valjan (JUS C.B3.025 - 1984)

Debljine 5 ... 14 mm

Širina a mm	Duljinska masa kg/m									
	za debljinu b mm									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	0,393	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,471	0,565	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,550	0,659	0,769	0,879	-	-	-	-	-	-
15	0,589	0,707	0,824	0,942	-	1,18	-	-	-	-
16	0,628	0,754	0,879	1,00	1,13	1,26	1,38	-	-	-
18	0,707	0,848	-	1,12	1,27	1,41	-	-	-	-
20	<b>0,785</b>	<b>0,942</b>	1,10	<b>1,26</b>	1,43	1,57	-	-	-	-
22	0,864	1,04	1,23	1,38	-	1,73	1,90	2,07	2,25	2,42
24	<b>0,981</b>	<b>1,18</b>	1,37	<b>1,57</b>	-	<b>1,96</b>	-	<b>2,36</b>	2,55	2,75
26	1,02	1,22	1,43	1,63	-	2,04	2,45	2,65	2,86	-
28	1,10	1,32	1,51	1,76	-	2,20	2,61	2,86	3,08	-
30	<b>1,18</b>	<b>1,41</b>	1,65	<b>1,88</b>	2,12	<b>2,36</b>	<b>2,83</b>	3,06	3,30	-
32	1,26	1,51	-	2,01	-	2,53	-	3,01	3,27	3,52
35	<b>1,37</b>	<b>1,65</b>	1,92	<b>2,20</b>	2,47	<b>2,75</b>	-	<b>3,30</b>	3,57	3,85
38	1,49	1,79	-	2,39	-	2,98	-	3,58	3,88	4,18
40	<b>1,57</b>	<b>1,88</b>	2,20	<b>2,51</b>	2,81	<b>3,14</b>	-	<b>3,77</b>	4,08	4,40
45	<b>1,77</b>	<b>2,12</b>	2,47	<b>2,83</b>	-	<b>3,53</b>	-	<b>4,24</b>	4,59	4,95
50	<b>1,96</b>	<b>2,36</b>	2,75	<b>3,14</b>	3,53	<b>3,93</b>	-	<b>4,71</b>	5,10	5,50
55	2,16	2,59	-	3,45	-	4,32	-	5,18	5,63	6,04
60	<b>2,36</b>	<b>2,83</b>	3,30	<b>3,77</b>	4,24	<b>4,71</b>	-	<b>5,65</b>	6,12	7,14
65	2,55	3,06	-	4,08	4,59	5,10	-	6,12	6,63	-
70	<b>2,75</b>	<b>3,30</b>	3,85	<b>4,40</b>	-	<b>5,30</b>	-	<b>6,59</b>	7,14	-
75	2,94	3,53	-	4,21	-	5,89	-	7,07	7,65	-
80	<b>3,14</b>	<b>3,77</b>	4,40	<b>5,02</b>	-	<b>6,28</b>	6,91	<b>7,54</b>	8,16	-
90	<b>3,53</b>	<b>4,24</b>	4,95	<b>5,65</b>	6,36	<b>7,07</b>	7,77	<b>8,48</b>	9,18	-
100	<b>3,93</b>	<b>4,71</b>	5,50	<b>6,28</b>	7,07	<b>7,85</b>	8,64	<b>9,42</b>	10,2	11,0
110	-	-	-	6,91	7,77	8,64	9,50	10,4	11,2	12,1
120	-	-	-	7,54	8,48	<b>9,42</b>	10,4	<b>11,3</b>	12,3	-
130	-	-	-	8,16	9,18	10,2	11,2	12,2	13,3	14,3
140	-	-	-	8,79	9,89	11,0	12,2	-	-	-
150	-	-	-	<b>9,42</b>	<b>11,8</b>	13,0	14,1	15,3	16,5	-

Debelo otisnute mase vrijede za običajne dimenzije; ostale su izvanredne.  
Duljina plosnatog čelika,  
normalno: 3 ... 4 m, najveća: 12 m

Debljine 15 ... 50 mm

Širina a mm	Duljinska masa kg/m									
	za debljinu b mm									
	15	16	17	18	20	25	30	35	40	50
20	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	2,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2,94	3,14	-	-	-	-	-	-	-	-
26	3,06	3,27	-	3,67	-	-	-	-	-	-
28	-	3,52	-	3,96	-	-	-	-	-	-
30	<b>3,53</b>	3,77	-	4,24	<b>4,71</b>	5,89	-	-	-	-
32	1,77	4,02	-	-	5,02	6,28	-	-	-	-
35	<b>4,12</b>	4,40	-	4,95	<b>5,50</b>	6,87	-	-	-	-
38	4,47	4,77	-	-	5,97	7,46	-	-	-	-
40	<b>4,71</b>	5,02	-	5,65	<b>6,28</b>	7,85	9,42	-	-	-
45	<b>5,30</b>	5,65	-	-	<b>7,07</b>	8,83	10,6	-	-	-
50	<b>5,89</b>	6,28	-	7,07	<b>7,85</b>	<b>9,81</b>	<b>11,8</b>	-	15,7	-
55	6,48	6,91	-	7,77	8,64	10,8	13,0	-	-	-
60	<b>7,07</b>	7,54	-	8,48	<b>9,42</b>	<b>11,8</b>	<b>14,1</b>	16,5	18,8	-
65	7,65	8,16	-	9,18	10,2	12,8	15,3	-	20,4	-
70	<b>8,24</b>	8,79	-	9,89	<b>11,0</b>	<b>13,7</b>	<b>16,5</b>	19,2	22,0	27,5
75	8,83	9,42	10,0	-	11,8	14,7	17,7	20,6	23,6	-
80	<b>9,42</b>	10,0	10,6	-	12,6	15,7	18,8	22,0	<b>25,1</b>	31,4
90	<b>10,6</b>	11,3	12,0	12,7	14,1	17,7	21,2	-	<b>26,3</b>	35,3
100	<b>11,8</b>	12,3	13,1	14,3	15,7	19,6	23,6	-	<b>31,4</b>	39,3
110	13,0	13,8	14,7	15,5	17,3	21,6	25,9	-	34,5	43,7
120	<b>14,1</b>	15,1	16,0	17,0	<b>18,8</b>	<b>23,6</b>	<b>28,3</b>	-	<b>37,7</b>	<b>47,1</b>
130	15,3	16,2	-	18,4	20,4	25,5	30,6	-	40,8	51,0
140	16,5	17,6	-	-	22,0	27,5	32,0	-	44,0	55,0
150	17,7	18,8	-	-	23,6	29,4	35,3	-	<b>47,1</b>	58,9

Duljina plosnatog čelika normalna 3 ... 4 m, maksimalna 12 m.

Široki plosnati čelik - lamela, vruće valjan  
(JUS C.B3.030 - 1986): širina a 150 ... 1250 mm,  
debljina b 40 ... 80 mm,  
duljina l 7 ... 12 m.

Plosnati čelik s rebrom - za lisnate opruge, vruće valjan  
(JUS C.B3.031 - 1966): širina a 60 ... 120 mm,  
debljina b 10 ... 16 mm.

Vučeni plosnati čelik  
(JUS C.B3.431 - 1986): širina a 5 ... 50 mm,  
debljina b 1,5 ... 50 mm.

Hladno valjane čelične trake  
(JUS C.B3.530 - 1967): širina a do 500 mm,  
debljina b 0,08 ... 5,0 mm.

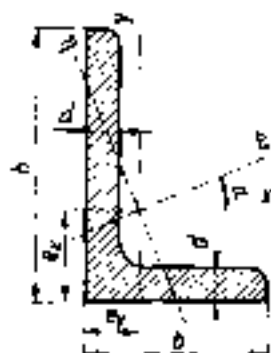
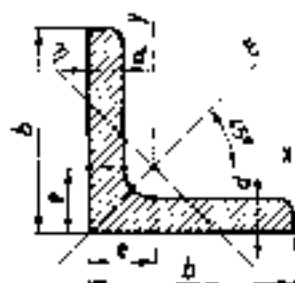
Trakasti (ohrađni) čelik, vruće valjan  
(JUS C.B3.550 - 1960): širina a 10 ... 140 mm,  
debljina b 1 ... 5 mm.

Jednakokrani kutni profili

Raznokrani kutni profili

(JUS C.B3.101 - 1962)

(JUS C.B3.111 - 1962)



Statičke veličine:

$I$  - moment tromosti plohe

$W$  - moment otpora

$i$  - polumjer tromosti

Konstruktivske mjere - vidi str. 431!


Jednakokrani kutni profili

Oznaka $b \times b \times d$ mm	Pre- sjek $s$ mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	$e$ mm	Statičke veličine				
				$I_x = I_y$ $10^4 \text{ mm}^4$ (= cm <sup>4</sup> )	$I_0$	$W_x = W_y$ $10^3 \text{ mm}^3$ (= cm <sup>3</sup> )	$W_\eta$	$i_\eta$ mm
20 × 20 × 3	112	0,88	6,0	0,39	0,15	0,28	0,18	3,7
25 × 25 × 3	142	1,12	7,3	0,79	0,31	0,45	0,30	4,7
25 × 25 × 4	185	1,45	7,6	1,01	0,40	0,58	0,37	4,7
30 × 30 × 3	174	1,36	8,4	1,41	0,57	0,65	0,48	5,7
30 × 30 × 4	227	1,78	8,9	1,81	0,76	0,86	0,61	5,8
30 × 30 × 5	278	2,18	9,2	2,16	0,91	1,04	0,70	5,7
35 × 35 × 4	267	2,10	10,0	2,96	1,24	1,18	0,88	6,8
40 × 40 × 4	308	2,42	11,2	4,48	1,86	1,56	1,18	7,8
40 × 40 × 5	379	2,97	11,6	5,43	2,22	1,91	1,35	7,7
45 × 45 × 5	430	3,38	12,8	7,83	3,25	2,43	1,80	8,7
50 × 50 × 5	480	3,77	14,0	11,0	4,59	3,05	2,32	9,8
50 × 50 × 6	569	4,47	14,5	12,8	5,24	3,61	2,57	9,6
55 × 55 × 6	631	4,95	15,6	17,3	7,24	4,40	3,28	10,7

Oznaka $b \times b \times d$ mm	Pre- sjek $s$ mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	$e$ mm	Statičke veličine				
				$I_x$	$I_y$	$I_0$	$W_x = W_y$ $10^3 \text{ mm}^3$ (= cm <sup>3</sup> )	$W_\eta$
60 × 60 × 6	691	5,42	16,9	22,8	9,41	5,29	3,95	11,7
60 × 60 × 8	903	7,09	17,7	29,1	12,1	6,88	4,84	11,6
65 × 65 × 7	870	6,83	18,5	33,4	13,8	7,18	5,27	12,6
70 × 70 × 7	940	7,38	19,7	42,4	17,6	8,43	6,31	13,7
70 × 70 × 9	1190	9,14	20,5	52,6	22,0	10,6	7,59	13,6
75 × 75 × 8	1150	9,03	21,3	58,9	24,4	11,0	8,11	14,6
75 × 75 × 10	1410	11,1	22,1	71,4	29,8	13,5	9,55	14,5
80 × 80 × 8	1230	9,66	22,6	72,3	29,6	12,6	9,25	15,5
80 × 80 × 10	1510	11,9	23,4	87,5	35,9	15,5	10,9	15,4
80 × 80 × 12	1790	14,1	24,1	102	43,0	18,2	12,6	15,3
90 × 90 × 9	1550	12,2	25,4	116	47,8	18,0	13,3	17,6
90 × 90 × 11	1870	14,7	26,2	138	57,1	21,6	15,4	17,5
100 × 100 × 10	1920	15,1	28,2	177	73,3	24,7	18,4	19,5
100 × 100 × 12	2270	17,8	29,0	207	86,2	29,2	21,0	19,5
110 × 110 × 10	2120	16,6	30,7	219	98,6	30,1	22,7	21,6
110 × 110 × 12	2510	19,7	31,5	280	116	35,7	26,1	21,5
120 × 120 × 11	2540	19,9	33,6	341	140	39,5	29,5	23,5
120 × 120 × 13	2970	23,3	34,4	394	162	46,0	33,3	23,4
130 × 130 × 12	3000	23,6	36,4	472	194	50,4	37,7	25,4
130 × 130 × 14	3470	27,2	37,2	540	223	58,2	42,4	25,3
140 × 140 × 14	3720	29,2	40,2	692	282	69,3	49,7	27,5
140 × 140 × 16	4220	33,2	40,9	775	318	78,2	55,0	27,4
150 × 150 × 14	4030	31,6	42,1	845	347	78,2	58,3	29,4
150 × 150 × 16	4570	35,9	42,9	949	391	88,7	64,4	29,3
160 × 160 × 15	4610	36,2	44,9	1000	453	95,6	71,3	31,4
160 × 160 × 17	5180	40,7	45,7	1230	506	108	78,3	31,3
200 × 200 × 16	6180	48,5	55,2	2340	947	162	121	39,1
200 × 200 × 18	6910	54,3	56,0	2600	1050	181	133	39,0

Normalne duljine jednakokranih kutnih profila: 1 ... 15 m.



Oznaka  $b \times h \times d$ mm	Pre- sjek $S$ mm <sup>2</sup>	Dulj- masa kg/m	e <sub>x</sub> , e <sub>y</sub>		Statičke veličine		W <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )	W <sub>y</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
			mm	mm	I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )		
20 × 30 × 3	142	1,11	9,9	5,0	1,25	0,44	0,62	0,39
20 × 30 × 4	185	1,45	10,3	5,4	1,59	0,55	0,81	0,38
20 × 40 × 3	172	1,35	14,3	4,4	2,79	0,47	1,08	0,30
30 × 45 × 4	287	2,25	14,8	7,4	5,78	2,05	1,91	0,91
40 × 60 × 5	479	3,76	19,6	9,7	17,2	6,11	4,25	2,02
40 × 60 × 6	568	4,46	20,0	10,1	20,1	7,12	5,03	2,38
40 × 60 × 7	655	5,14	20,4	10,5	23,0	8,07	5,79	2,74
40 × 80 × 6	689	5,41	28,5	8,8	44,9	7,59	8,73	2,44
50 × 65 × 5	554	4,35	19,9	12,5	23,1	11,9	5,13	3,18
50 × 65 × 7	760	5,97	20,7	13,3	31,0	15,8	6,99	4,31
50 × 100 × 10	1 410	11,1	36,7	12,0	141	23,4	22,2	6,17
55 × 75 × 7	866	6,80	24,0	14,1	47,9	21,8	9,39	5,32
60 × 90 × 6	869	6,82	28,9	14,1	71,7	25,8	11,7	5,61
60 × 90 × 8	1 140	8,96	29,7	14,9	92,5	33,0	15,4	7,31
65 × 80 × 8	1 100	8,66	24,7	17,3	68,1	40,1	12,3	8,41
65 × 100 × 9	1 420	11,1	33,2	15,9	141	46,7	21,0	9,52
65 × 100 × 11	1 710	13,4	34,0	16,7	167	55,1	25,3	11,4
65 × 130 × 10	1 860	14,6	46,5	14,5	321	54,2	38,4	10,7
75 × 130 × 8	1 590	12,5	43,6	16,5	276	68,3	31,9	11,7
80 × 120 × 8	1 550	12,2	38,3	18,7	226	80,8	27,6	13,2
80 × 120 × 10	1 910	15,0	39,2	19,5	276	98,1	34,1	16,2
80 × 120 × 12	2 270	17,8	40,0	20,3	323	114	40,4	19,1
90 × 130 × 10	2 120	16,6	41,5	21,8	358	141	40,5	20,6
90 × 130 × 12	2 510	19,7	42,4	22,6	420	165	48,0	24,4
100 × 150 × 10	2 420	19,0	48,0	23,4	552	198	54,1	25,8
100 × 150 × 12	2 870	22,6	48,9	24,2	650	232	64,2	30,6
100 × 200 × 12	3 480	27,3	70,3	21,0	1 440	247	111	31,3
100 × 200 × 14	4 030	31,6	71,2	21,8	1 650	282	128	36,1

Normalne duljine raznokračnih kutnih profila: 3...15 m.

vruće valjani (JUS C.B3.141 — 1962)

Statičke veličine:

 $I$  — moment tromosti plohe $W$  — moment otpora


Polupjerr tromosti:

$$i_x = \sqrt{I_x / A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y / A}$$

Konstrukcijske mjere — vidi str. 431!



Oznaka 	Dimenzije mm				Pre- sjek $S$ mm <sup>2</sup>	Duljinska masa kg/m	r mm	Statičke veličine			
	h	b	d	t				I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> : W <sub>y</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )	
6,5	65	42	5,5	7,5	903	7,09	14,2	57,5	14,1	17,7	5,07
8	80	45	6	8	1100	8,64	14,5	106	19,4	26,3	6,36
10	100	50	6	8,5	1350	10,6	15,5	206	29,3	41,2	8,49
12	120	55	7	9	1700	13,4	16,0	364	43,2	60,7	11,1
14	140	60	7	10	2040	16,0	17,5	603	62,7	86,4	14,8
16	160	65	7,5	10,5	2400	18,8	18,4	925	85,3	116	18,3
18	180	70	8	11	2800	22,0	19,2	1350	114	150	22,4
20	200	75	8,5	11,5	3220	25,3	20,1	1910	148	191	27,0
(22)	220	80	9	12,5	3740	29,4	21,4	2690	197	245	33,6
24	240	85	9,5	13	4230	33,2	22,3	3600	248	300	39,6
26	260	90	10	14	4830	37,9	23,6	4820	317	371	47,7
(28)	280	95	10	15	5330	41,8	25,3	6280	399	448	57,2
30	300	100	10	16	5880	46,2	27,0	8030	495	535	67,8

\* Treba se kloniti dimenzija u zagradama.

Normalne duljine čeličnih profila □: 4...15 m.

### Čelični profili I

vruće valjani (JUS C.B3.131 - 1962)

Statičke veličine:

$I$  — moment tromosti plohe

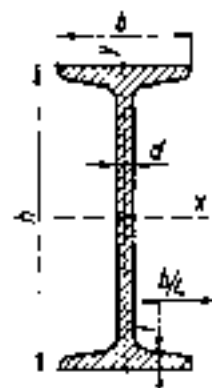
$W$  — moment otpora

Polunjer tromosti:

$$i_x = \sqrt{I_x/A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

Konstruktivske mjere — vidi str. 431!



Oznaka*	Dimenzije mm				Pre-sjek y mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Statičke veličine			
	b	d	t				$I_x$ 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (- cm <sup>4</sup> )	$I_y$	$W_x$ 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (- cm <sup>3</sup> )	$W_y$
8	80	42	3,9	5,9	758	5,95	77,8	6,3	19,5	3,00
10	100	50	4,5	6,8	1060	8,32	171	12,2	34,2	4,88
12	120	58	5,1	7,7	1420	11,2	328	21,5	54,7	7,41
14	140	66	5,7	8,6	1830	14,4	573	35,2	81,9	10,7
16	160	74	6,3	9,5	2280	17,9	935	54,7	117	14,8
18	180	82	6,9	10,4	2790	21,9	1450	81,3	161	19,8
20	200	90	7,5	11,3	3350	26,3	2140	117	214	26,0
(22)	220	98	8,1	12,2	3960	31,1	3060	162	278	33,1
24	240	106	8,7	13,1	4610	38,2	4250	221	354	41,7
26	260	113	9,4	14,1	5340	41,9	5740	288	442	51,0
(28)	280	119	10,1	15,2	6110	48,0	7590	364	543	61,2
30	300	125	10,8	16,2	6910	54,2	9800	451	653	72,2
(32)	320	131	11,5	17,3	7780	61,1	12510	555	782	84,7
34	340	137	12,2	18,3	8680	68,1	15700	674	923	98,4
(36)	360	143	13,0	19,5	9710	76,2	19610	818	1090	114
(38)	380	149	13,7	20,5	10700	84,0	24010	975	1250	131
40	400	155	14,4	21,6	11800	92,6	29210	1160	1460	149

\* Treba se kloniti dimenzija u zagradama.

Normalne duljine čeličnih profila I: 4, 15 m.

### Konstruktivske mjere čeličnih profila (po DIN 997)

Sve mjere u mm

#### Čelični kutni profili

Diagram	b	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub> max	b	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub> max
	20	20	12	—	4,3	75	40	—
25	25	15	—	6,4	80	45	—	23
30	30	17	—	8,4	90	50	—	25
35	35	18	—	11	100	45	60	25
40	40	22	—	11	110	45	70	25
45	45	25	—	13	120	50	80	25
50	50	30	—	13	130	50	90	25
55	55	30	—	17	140	50	95	28
60	60	35	—	17	150	50	105	28
65	65	35	—	21	160	60	115	28
70	70	40	—	21	200	60	150	28

#### Čelični profil C

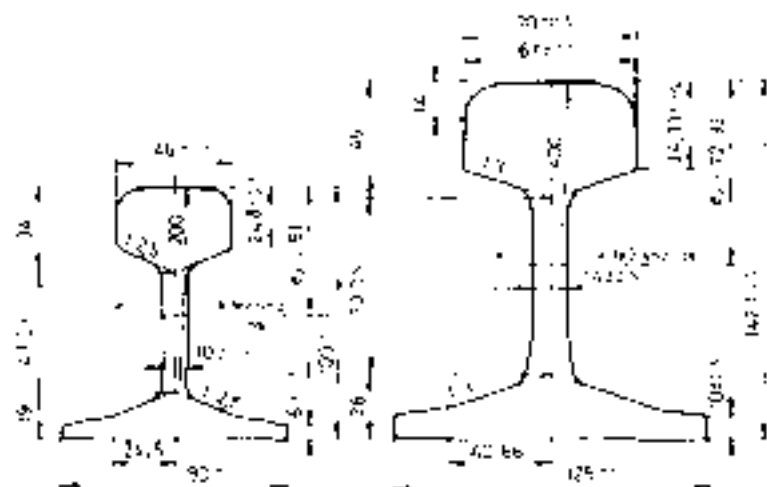
Diagram	b	c	d <sub>1</sub> max	h <sub>1</sub>	b	c	d <sub>1</sub> max	h <sub>1</sub>
	42	42	25	11	33	75	40	23
45	45	25	13	46	80	45	23	167
50	50	30	13	64	85	45	25	184
55	55	30	17	82	90	50	25	200
60	60	35	17	98	95	50	25	216
65	65	35	21	115	100	55	25	222
70	70	40	21	133				

#### Čelični profil I

Diagram	b	c	d <sub>1</sub> max	h <sub>1</sub>	b	c	d <sub>1</sub> max	h <sub>1</sub>
	42	42	22	6,4	59	113	60	17
50	50	28	6,4	75	119	62	17	225
58	58	32	8,4	92	125	64	21	241
66	66	34	11	109	131	70	21	258
74	74	40	11	125	137	74	21	274
82	82	44	13	142	143	76	21	290
90	90	48	13	159	149	82	23	306
98	98	52	13	176	155	86	23	323
106	106	56	17	192				

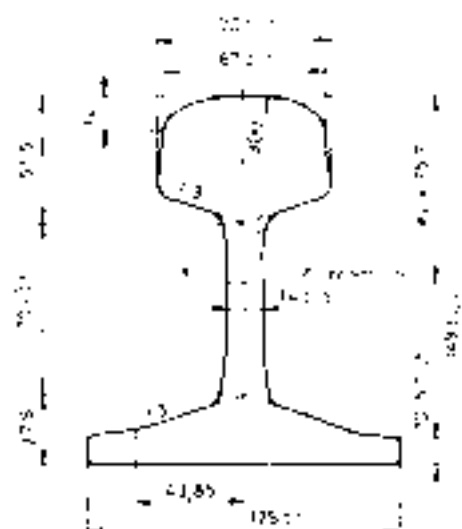
**Željezničke tračnice** (duljinske mase veće od 20 kg/m)  
(JUS C.K1.021 - 1963)

Oznaka tipa tračnice	Dulj masa kg/m	Pri sjek f mm	Moment inercije $I_x$ $10^4 \text{ cm}^4$ ( $\text{cm}^4$ )	Moment otpora $W_x$ $10^3 \text{ mm}^3$ ( $\text{cm}^3$ )
22	22,12	2 818	375,5	73,6
45	45,44	5 784	1 552	215
49	49,43	6 297	1 819	240



tip 22

tip 45



tip 49

**Čelični limovi**

**Čelični debeli limovi** (JUS C.B4.110 - 1972)

Debljina mm	u skokov vima po	Širina mm		Duljina mm	
		400) ... 700)	700) ... 1500)	1500) ... 3000)	... 6000) 6000) ...
5 ... 7	0,5 mm	u skokovima	u skokovima	u skokovima	u skokovima
7) ... 30)	1 mm	po 20 mm	po 50 mm		
30) ... 50)	2 mm	u skokovima	u skokovima	po 100 mm	po 500 mm
50) ... 60)	3 mm			po 30 mm	po 100 mm
60) ...	5 mm				

**Čelični osrednji limovi** (JUS C.B4.111 - 1956)

Debljina 3, 3,5 4, 4,5 4,75 mm  
Širina ... 1200 ... 1450 ... 1700 mm  
Duljina ... 4000 ... 5000 ... 6000 ... 7000 mm  
Trgovački formati 1000 x 2000 mm 1250 x 2500 mm

**Čelični tanki limovi** (JUS C.B4.112 - 1962 in 113 - 1978)

Debljina 0,4 ... 0,8 mm u razmaku po 0,05 mm  
0,9 ... 1,1 mm u razmaku po 0,1 mm  
1,25 ... 2,75 mm u razmaku po 0,25 mm  
Širina 550 ... 600, 750 ... 1000, 1100, 1200 mm  
Duljina 1500 ... 2000, 2250, 2500, 3000 mm

**Plošna masa čeličnih limova**

Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošna masa kg/m <sup>2</sup>
0,40	3,14	2,00	15,70	9	70,65	25	196,2
0,45	3,53	2,25	17,66	10	78,50	26	204,1
0,50	3,93	2,50	19,63	11	86,35	27	211,9
0,55	4,32	2,75	21,59	12	94,20	28	219,8
0,60	4,71	3,00	23,55	13	102,0	29	227,6
0,65	5,10	3,25	25,51	14	109,9	30	235,5
0,70	5,50	3,50	27,48	15	117,8	32	251,2
0,75	5,89	4,0	31,40	16	125,6	34	266,9
0,80	6,28	4,5	35,32	17	133,4	36	282,6
0,85	6,67	5,0	39,25	18	141,3	38	298,3
0,90	7,07	5,5	43,18	19	149,2	40	314,0
0,95	7,46	6,0	47,10	20	157,0	42	329,7
1,00	7,85	6,5	51,03	21	164,8	44	345,4
1,25	9,83	7,0	54,95	22	172,7	46	361,1
1,50	11,81	7,5	58,88	23	180,6	48	376,8
1,75	13,79	8,0	62,80	24	188,4	50	392,5

**Pocinčani lim** (JUS C.B4.081 - 1984)

Debljina 0,45 ... 4 mm; širina 1000 mm, duljina 2000 (2500) mm.

Čelične bešavne cijevi (ISO)

Materijal cijevi:

- čelik Č. 0000 (JUS C.B5.226 — 1968)
- čelik Č. 1212 (JUS C.B5.122 — 1968)
- čelik Č. 1213 (JUS C.B5.123 — 1968)
- čelik Č. 1402 (JUS C.B5.124 — 1968)
- čelik Č. 3100 (JUS C.B5.125 — 1968)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
10	16	1,8	0,632	25	100	100	100	100
	17,2	1,8	0,688	25	100	100	100	100
15	20	2,0	0,890	25	100	100	100	100
	21,3	2,0	0,962	25	100	100	100	100
20	25	2,0	1,13	25	100	100	100	100
	26,9	2,1	1,41	25	100	100	100	100
25	30	2,6	1,77	25	100	100	100	100
	33,7	2,6	2,01	25	100	100	100	100
32	38	2,6	2,29	25	100	100	100	100
	42,4	2,6	2,57	25	100	100	100	100
40	44,5	2,6	2,70	25	100	100	100	100
	48,1	2,6	2,95	25	100	100	100	100
50	57	2,9	3,90	25	100	100	100	100
	60,3	2,9	4,14	25	100	100	100	100
65	76,1	2,9	5,28	25	80	80	100	100
		3,2	5,80	—	—	100	—	—
		3,6	6,49	—	100	—	—	—
80	88,9	3,2	6,81	25	64	80	80	100
		3,6	7,63	—	80	100	100	—
		4,0	8,43	—	100	—	—	—
100	108	3,6	9,31	25	64	80	80	100
		4,0	10,3	—	80	—	100	—
		4,5	11,4	—	—	100	—	—
		5,0	12,7	—	100	—	—	—

Čelične bešavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
100	114,3	3,6	9,90	25	40	64	80	100
		4,0	11,0	—	80	80	100	—
		4,5	12,1	—	—	100	—	—
		5,0	13,5	—	100	—	—	—
		4,0	12,8	25	40	40	80	100
125	133	4,5	14,2	—	64	80	—	—
		5,0	15,8	—	80	—	100	—
		5,6	17,6	—	—	100	—	—
		6,3	19,8	—	100	—	—	—
		4,0	13,5	25	40	40	80	80
150	139,7	4,5	14,9	—	—	64	—	100
		5,0	16,6	—	80	80	100	—
		5,6	18,5	—	—	100	—	—
		6,3	20,8	—	100	—	—	—
		4,5	17,1	25	40	40	80	80
150	159	5,0	19,0	—	—	64	—	100
		5,6	21,1	—	80	80	100	—
		6,3	23,8	—	—	100	—	—
		7,1	26,6	—	100	—	—	—
		4,5	18,1	25	40	40	64	80
200	168,3	5,0	20,1	—	—	—	80	100
		5,6	22,4	—	64	80	—	—
		6,3	25,3	—	80	—	100	—
		7,1	28,3	—	100	100	—	—
		4,5	18,1	25	40	40	64	80
(175)*	193,7	5,4 ... 8,8	25 ... 40	—	—	—	—	
200	216**	6,0**	31,1	25	40	40	64	80
		6,3	32,6	—	—	—	80	100
		7,1	36,6	—	64	80	—	—
		8,0	41,0	—	80	—	100	—
		8,8	45,0	—	—	100	—	—
		10,0	50,8	—	100	—	—	

\* Nazivni promjer 175 mm JUS ne preporučuje.  
 \*\* Dimenzije nisu prema ISO.

Čelične besavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
200	219,1	5,9	31,0	25	40	40	64	80
		6,3	33,2	—	—	—	80	100
		7,1	37,2	—	64	80	—	—
		8,0	41,5	—	80	—	100	—
		8,8	45,4	—	—	100	—	—
		10,0	51,6	—	100	—	—	—
250	267	6,3	40,6	25	40	40	40	80
		7,1	45,6	—	—	—	64	—
		8,0	50,9	—	—	64	80	100
		8,8	55,8	—	64	80	—	—
		10,0	63,4	—	80	—	100	—
		11,0	69,7	—	100	100	—	—
300	273	6,3	41,6	25	40	40	40	80
		7,1	46,7	—	—	—	64	—
		8,0	52,1	—	—	64	80	100
		8,8	57,1	—	64	80	—	—
		10,0	64,9	—	80	—	100	—
		11,0	71,4	—	—	100	—	—
300	318*	7,5*	57,4	16	40	40	40	64
		8,0	61,2	—	—	—	—	80
		8,8	67,1	—	—	—	80	—
		10,0	76,0	—	—	80	—	100
		11,0	83,3	—	80	—	100	—
		12,5	94,2	—	—	100	—	—
300	323,9	7,1	55,6	16	40	40	40	64
		8,0	62,1	—	—	—	—	80
		8,8	68,3	—	—	—	80	—
		10,0	77,4	—	—	80	—	100
		11,0	85,3	—	80	—	100	—
		12,5	96,7	—	—	100	—	—
		14,2	109	—	100	—	—	

\* Dimenzije nisu po ISO.

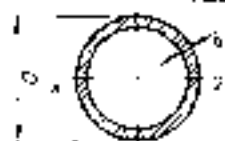
Čelične besavne cijevi (nastavak)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer mm	Debljina stijenke mm	Dulj. masa kg/m	Nazivni tlak (bar)				
				Č. 0000	Č. 1212	Č. 1213	Č. 1402	Č. 3100
350	355,6	8,0	68,3	16	40	40	40	64
		8,8	74,9	—	—	—	—	80
		10,0	85,2	—	—	—	80	100
		11,0	93,9	—	—	80	—	—
		12,5	107	—	80	—	100	—
		14,2	120	—	—	100	—	—
350	368	16,0	133	—	100	—	—	—
		8,0	70,8	16	40	40	40	64
		8,8	77,7	—	—	—	—	80
		10,0	88,3	—	—	—	80	—
		11,0	97,3	—	—	64	—	100
		12,5	110	—	80	80	100	—
400	406,4	14,2	124	—	—	100	—	—
		16,0	138	—	100	—	—	—
		8,8	85,9	16	40	40	40	64
		10,0	97,8	—	—	—	—	80
		11,0	108	—	—	—	80	—
		12,5	122	—	—	80	—	100
400	419	14,2	138	—	80	100	100	—
		17,5	168	—	100	—	—	—
		10,0	101	16	40	40	40	80
		11,0	111	—	—	—	64	—
		12,5	126	—	—	64	80	100
		14,2	142	—	80	80	100	—
500	508	16,0	158	—	—	100	—	—
		17,5	173	—	100	—	—	—
		11,0	135	10	40	40	40	40
		12,5	154	—	—	—	—	64
		14,2	173	—	—	—	80	100
		16,0	193	—	64	80	—	—
500	508	17,5	211	—	80	—	100	—
		20,0	241	—	—	100	—	—
		22,2	266	—	100	—	—	—

Od pojedinih vrsta čelika dolaze u obzir cijevi onih dimenzija za koje je označen nazivni tlak.

Precizne čelične cijevi

vučene ili hladno valjane (JUS C.B5.250 - 1983)



Polarni moment tromosti  
Polarni moment otpora

$$I_p = 2I_x$$

$$W_p = 2W_x$$

Vanjski promjer D mm	Debljina s mm	Presjek S mm <sup>2</sup>	Duljinska masa m <sub>l</sub> kg/m	Moment tromosti I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora W <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
10	1	28,3	0,222	0,028 98	0,057 96
	1,5	40,0	0,314	0,037 30	0,074 60
12	1	34,5	0,271	0,052 90	0,087 83
	1,5	49,5	0,388	0,069 58	0,116 0
16	1	47,7	0,370	0,133 7	0,266 4
	1,5	68,1	0,536	0,381 5	0,326 9
	2	88,0	0,690	0,719 9	0,574 9
18	1	53,4	0,479	0,193 6	0,215 1
	1,5	77,7	0,610	0,266 8	0,296 3
	2	100,5	0,789	0,376 7	0,263 0
20	1	59,7	0,468	0,270 7	0,270 7
	1,5	87,2	0,684	0,375 4	0,375 4
	2	113,7	0,888	0,463 7	0,463 7
	2,5	137,4	1,079	0,536 9	0,536 9
	3	160,2	1,258	0,596 8	0,596 8
22	1	66,0	0,519	0,364 5	0,331 4
	1,5	96,6	0,758	0,510 2	0,463 8
	2	125,7	0,986	0,654 6	0,576 9
	2,5	153,7	1,207	0,739 9	0,672 7
25	1	75,4	0,597	0,543 8	0,435 0
	1,5	110,7	0,869	0,767 6	0,614 7
	2	141,5	1,134	0,962 8	0,770 2
	2,5	176,7	1,387	1,132	0,905 6
30	1	207,3	1,627	1,278	1,022
	1,5	84,8	0,666	0,774 0	0,557 9
	1,5	174,8	0,980	1,100	0,785 7
	2	163,4	1,282	1,389	0,992 7
35	1,5	209,3	1,572	1,644	1,374
	2	245,6	1,849	1,867	1,534

Precizne čelične cijevi

vučene ili hladno valjane (nastavak)

Vanjski promjer D mm	Debljina s mm	Presjek S mm <sup>2</sup>	Duljinska masa m <sub>l</sub> kg/m	Moment tromosti I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora W <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
30	1	97,1	0,715	0,958 9	0,619 2
	1,5	134,4	1,054	1,367	0,871 3
	2	175,8	1,381	1,723	1,155
	2,5	216,9	1,695	2,059	1,373
	3	254,5	1,997	2,347	1,565
32	1	97,1	0,764	1,117	0,731 9
	1,5	143,7	1,128	1,615	1,047
	2	188,5	1,480	1,930	1,231
	2,5	231,7	1,819	2,538	1,586
35	1	106,8	0,858	1,545	0,882 9
	1,5	157,9	1,249	2,219	1,268
	2	207,3	1,677	2,833	1,619
	2,5	255,2	2,003	3,390	1,937
38	1	116,2	0,912	1,991	1,048
	1,5	172,0	1,350	2,868	1,510
	2	226,2	1,776	3,676	1,975
	2,5	278,8	2,189	4,414	2,323
40	1	127,5	0,962	2,321	1,166
	1,5	181,4	1,424	3,369	1,684
	2	238,8	1,874	4,222	2,161
	2,5	294,5	2,312	5,200	2,609
45	1	148,7	1,137	3,007	1,304
	1,5	212,4	1,651	4,419	1,710
	2	285,0	2,109	5,854	2,157
	2,5	333,8	2,520	7,563	2,781
50	1	165,8	1,187	3,899	1,561
	1,5	235,2	1,707	5,773	2,389
	2	305,2	2,187	7,929	3,357
	2,5	374,1	2,629	10,551	4,220
55	1	183,0	1,247	4,912	1,812
	1,5	258,0	1,794	6,727	2,697
	2	333,6	2,367	8,791	3,480
60	1,5	324,1	2,929	10,551	4,220
	2	413,0	3,477	12,287	4,912
	2,5	578,0	4,537	18,408	6,162

**Precizne čelične cijevi**  
vučene ili hladno valjane (nastavak)

Vanjski promjer <i>D</i> mm	Debljina <i>s</i> mm	Presjek <i>S</i> mm <sup>2</sup>	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Moment inercije <i>J<sub>x</sub></i> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	Moment otpora <i>W<sub>x</sub></i> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
56	1,5	256,8	2,016	9,543	3,408
	2	339,3	2,667	12,064	4,423
	2,5	420,7	3,298	15,056	5,381
	4	653,5	5,129	22,217	7,935
63	1,5	289,8	2,275	13,700	4,352
	2	382,3	3,009	17,846	5,655
	2,5	475,7	3,730	21,777	6,913
	4	741,4	5,820	32,409	10,289
70	1,5	322,8	2,534	16,942	5,412
	2	427,3	3,354	24,217	7,467
	2,5	530,1	4,161	30,225	8,639
	4	821,4	6,571	45,326	12,950
80	1,5	369,9	2,904	20,505	7,126
	2	490,1	3,847	27,296	9,324
	2,5	608,7	4,778	34,249	11,137
	4	953,0	7,497	51,866	16,487
90	1,5	422,9	3,310	24,556	7,900
	2	552,2	4,395	32,870	10,627
	2,5	682,0	5,456	41,670	13,260
	4	1080,7	8,483	60,727	19,250
100	1,5	483,8	3,833	29,952	9,490
	2	635,8	5,012	40,054	12,711
	2,5	794,2	6,376	51,624	16,325
	4	1206,4	9,470	75,215	23,843
110	1,5	552,6	4,327	34,971	10,995
	2	724,3	5,728	47,108	14,187
	2,5	908,5	7,306	60,435	18,261
	4	1332,0	10,456	87,151	26,064
120	1,5	621,4	4,820	40,080	12,513
	2	822,8	6,344	54,534	16,576
	2,5	1037,7	8,056	70,809	21,468
	4	1497,2	11,443	101,476	30,913

**Čelične cijevi za cijevni navoj**  
Čelične cijevi propisanih mehaničkih svojstava (JUS C.B5.222 - 1968)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer col <sup>a</sup>	Vanjski promjer mm	Nazivni tlak (bar)					
			10	20	30	40		
			debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m
6	1/8	10,2	-	-	2,65	0,493	-	-
8	1/4	13,5	-	-	2,9	0,769	-	-
10	3/8	17,2	-	-	2,9	1,02	-	-
15	1/2	21,3	-	-	3,25	1,45	-	-
20	3/4	26,9	-	-	3,25	1,9	-	-
25	1	33,7	-	-	4,05	2,97	-	-
32	1 1/4	42,4	-	-	4,05	3,84	-	-
40	1 1/2	48,3	-	-	4,05	4,43	-	-
50	2	60,3	-	-	4,50	6,17	-	-
65	2 1/2	76,1	-	-	4,50	7,90	-	-
80	3	88,9	-	-	4,85	10,1	-	-
100	4	114,3	-	-	5,4	14,4	6,3	16,8
125	5	139,7	5,4	17,8	7,1	23,3	8,0	25,9
150	6	165,1	5,4	21,2	8,0	30,9	8,8	33,8

Čelične cijevi bez propisanih mehaničkih svojstava (JUS C.B5.225 - 1968)

Nazivni promjer mm	Vanjski promjer col <sup>a</sup>	Vanjski promjer mm	Poluteške cijevi		Teške cijevi	
			debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m	debljina stijenke mm	dulj. masa kg/m
6	1/8	10,2	2,0	0,407	2,65	0,493
8	1/4	13,5	2,35	0,650	2,9	0,769
10	3/8	17,2	2,35	0,852	2,9	1,02
15	1/2	21,3	2,65	1,22	3,25	1,45
20	3/4	26,9	2,65	1,58	3,25	1,90
25	1	33,7	3,25	2,44	4,05	2,97
32	1 1/4	42,4	3,25	3,14	4,05	3,84
40	1 1/2	48,3	3,25	3,61	4,05	4,43
50	2	60,3	3,65	5,10	4,5	6,17
65	2 1/2	76,1	3,65	6,51	4,5	7,90
80	3	88,9	4,05	8,47	4,85	10,1
100	4	114,3	4,5	12,1	5,4	14,4
125	5	139,7	4,85	16,2	5,4	17,8
150	6	165,1	4,85	19,2	5,4	21,8

<sup>a</sup> Napuštena stara oznaka

### Čelična žica

Okrugla vučena čelična žica (JUS C.B6.110 - 1982)

Nazivni promjer mm	Tolerancija mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/km	Nazivni promjer mm	Tolerancija mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/km
0,1	± 0,005	0,00785	0,0617	1,4	+ 0,04	1,54	12,1
0,12		0,0113	0,0888	1,6	+ 0,06	2,01	15,8
0,14		0,0154	0,121	1,8		2,54	20,0
0,16	± 0,01	0,0201	0,158	2	- 0,08	3,14	24,7
0,18		0,0254	0,200	2,2		3,80	29,8
0,2		0,0314	0,247	2,5		4,91	38,5
0,22	± 0,015	0,0380	0,298	2,8	- 0,10	6,16	48,3
0,24		0,0452	0,355	3,1		7,55	59,2
0,26		0,0531	0,417	3,4		9,08	71,3
0,28	± 0,02	0,0616	0,483	3,8	- 0,11	11,3	89
0,31		0,0753	0,592	4		12,6	99
0,34		0,0908	0,713	4,2		13,9	109
0,37	± 0,02	0,108	0,844	4,6	- 0,12	16,6	130
0,4		0,126	0,986	5		19,6	154
0,45		0,159	1,25	5,5		23,8	187
0,5	± 0,03	0,196	1,54	6	- 0,13	28,3	222
0,55		0,238	1,87	6,5		33,2	260
0,6		0,283	2,22	7		38,5	302
0,7	± 0,04	0,385	3,07	8	- 0,14	50,3	395
0,8		0,503	3,98	9		63,6	499
0,9		0,636	4,99	10		78,5	617
1	± 0,05	0,785	6,17	11	- 0,15	95	746
1,1		0,950	7,46	12		113	888
1,2		1,13	8,88	13		133	1040
1,3	± 0,04	1,31	10,4	14	- 0,16	154	1210

\*

Okrugla vučena čelična žica od malouglačnog čelika za posebne svrhe (JUS C.B6.011 - 1980)

Nazivni promjer 0,1 ... 14 mm.

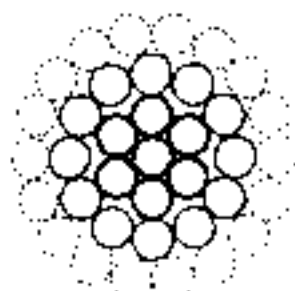
Okrugla čelična žica, vučena ili brušena u tolerancijskom polju ISO h 11 (JUS C.B6.111 - 1982)

Nazivni promjer 1 ... 9,8 mm

### Čelična užad

za opće svrhe

Čelična užad bez jezgre



Užad bez jezgre (srži) je spletena od žica istog promjera. Oko središnje žice sukano je u prvom sloju 6 ili u drugome 12, ili još u trećem 18 žica.

Sukanje prvog sloja može biti *desno* (tj. normalno) ili *lijevo*. Sukanje u sljedećim slojevima uvijek je suprotno sukanju u sloju prije toga.

Žice za užad bez jezgre su od čelika nazivne vlačne čvrstoće

$$R_m = 1570 \text{ ili } 1770 \text{ N/mm}^2$$

Žice mogu biti gole ili pocinčane.

Uže 1 × 7 (JUS C.H1.060 - 1982):

Izvedba užeta: 1 + 6 žica

Uže se sastoji od sedam žica od kojih je šest ovijeno oko središnje žice.

Nazivni promjer užeta d mm	Duljinska masa m <sub>1</sub> kg/m	Prekidna sila			
		F <sub>T</sub> - računska, F <sub>min</sub> - naprtanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žice			
		R <sub>m</sub> = 1570 N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> = 1770 N/mm <sup>2</sup>		
		F <sub>T</sub> kN	F <sub>min</sub> kN	F <sub>T</sub> kN	F <sub>min</sub> kN
0,6	0,005 81	0,342	0,308	0,385	0,347
0,8	0,008 21	0,608	0,547	0,685	0,617
1	0,009 62	0,950	0,855	1,07	0,963
1,5	0,011 7	1,4	1,2	1,6	1,4
2	0,020 1	3,80	3,42	4,28	3,85
2,5	0,031 4	5,93	5,34	6,09	5,62
3	0,045 2	8,55	7,69	8,63	7,87
3,5	0,061 5	11,6	10,5	12,1	11,2
4	0,080 3	15,2	13,7	15,1	13,9
4,5	0,102	19,2	17,3	19,7	18,5
5	0,126	23,7	21,4	23,8	22,1
6	0,181	34,2	30,8	34,5	31,7
7	0,246	46,5	41,9	47,4	43,2
8	0,321	60,8	54,7	61,5	56,7
9	0,407	76,9	69,2	76,7	70,9
10	0,502	95,0	85,5	93,7	86,3
12	0,723	137	123	134	123
14	0,984	186	167	180	169
16	1,29	243	219	234	217



Uže 1 × 19 (JUS C.HI.061 – 1982)

Uže se sastoji od 19 (1 + 6 + 12) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, a u drugom 12 žica.

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica <i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup> <i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>			
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
1	0,004 95	0,937	0,825	1,06	0,970
1,5	0,011 1	2,11	1,86	2,38	2,09
2	0,019 8	3,75	3,30	4,23	3,72
2,5	0,031 0	5,86	5,15	6,61	5,81
3	0,044 6	8,44	7,42	9,51	8,37
3,5	0,060 7	11,5	10,1	12,9	11,4
4	0,079 3	15,0	13,2	16,9	14,9
5	0,124	23,4	20,6	26,4	23,2
6	0,178	33,7	29,7	38,1	33,5
7	0,243	45,9	40,4	51,8	45,6
8	0,317	60,0	52,8	67,6	59,5
9	0,401	75,9	66,8	85,6	75,7
10	0,495	93,7	82,5	106	93,0
11	0,599	113	99,8	128	112
12	0,713	135	119	152	134
13	0,837	158	139	179	157
14	0,971	184	162	207	182
15	1,11	211	186	238	209
16	1,27	240	211	271	238
17	1,43	271	238	305	269
18	1,61	304	267	342	301
19	1,79	338	298	382	336
20	1,98	375	330	423	372
21	2,18	417	364	466	410
22	2,40	454	399	512	450
23	2,62	496	436	559	492
24	2,85	540	475	609	536
25	3,10	586	515	661	581

Uže 1 × 37 (JUS C.HI.062 – 1982)

Uže se sastoji od 37 (1 + 6 + 12 + 18) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica i u trećem 18 žica.

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica <i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup> <i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>			
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
3	0,044 0	8,52	7,24	9,39	8,10
4	0,078 7	14,8	12,9	16,7	14,5
5	0,122	23,1	20,1	26,1	22,7
6	0,176	33,5	29,0	37,5	32,7
7	0,240	45,3	39,4	51,1	44,4
8	0,313	59,2	51,5	66,8	58,1
9	0,396	74,9	65,2	84,5	73,5
10	0,489	92,5	80,5	104	90,7
12	0,704	133	116	150	131
14	0,958	181	158	204	178
16	1,25	237	206	267	232
18	1,58	300	261	338	294
20	1,96	370	322	417	363
22	2,37	448	389	505	439
24	2,82	535	463	601	522
26	3,31	628	544	705	613
28	3,83	725	631	818	711
30	4,40	832	724	939	816
32	5,01	947	824	1070	929
34	5,65	1070	930	1210	1050
36	6,34	1200	1040	1350	1160

Čelična užad za izvozne uređaje u rudarstvu JUS C.HI.030/052/055/056 – 1980)

Čelična užad za vitla i slično (JUS C.HI.051 – 1968)

Spojke za čelična užad (JUS C.HI.300/301 – 1975)

Uške za čelična užad (JUS C.HI.306 – 1983)

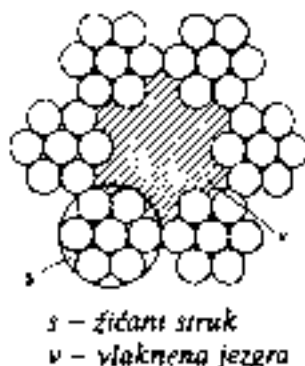
Stremenje (JUS C.HI.080 – 1975)

Čelična užad s jezgrom (dušom)

Užad s jezgrom ima 6 žičanih strukova (u izvedbi kao kod užeta bez jezgre, v. str. 443 do 445) sukanih oko vlaknene ili čelične jezgre.\*

Sukanje žičanih strukova može biti desno (normalno) ili lijevo

Prema tome da li je gornji sloj struka sukano desno ili lijevo može uže biti sukano križno (normalno) ili istosmjerno.



Uže 6 × 7 (JUS C.H1.070 – 1982)

Izvedba užeta: 6 strukova po 7 (1 + 6) žica, ovijenih oko vlaknaste jezgre

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		<i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		<i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
2	0,014 3	-	-	2,61	2,35
3	0,032 2	-	-	5,88	5,29
4	0,057 2	-	-	10,5	9,41
5	0,089 4	-	-	16,3	14,7
6	0,129	-	-	23,5	21,1
7	0,175	-	-	32,0	28,8
8	0,229	17,1	33,4	41,9	37,6
9	0,289	46,9	47,2	52,9	47,6
10	0,357	58,0	57,2	65,3	59,8
11	0,437	70,1	63,1	79,1	71,1
12	0,515	83,4	75,1	94,1	84,7
13	0,604	97,9	88,1	110	99,4
14	0,701	114	102	128	115
16	0,915	148	134	167	151
18	1,16	188	169	212	191
20	1,43	237	209	261	235
22	1,73	280	252	316	285
24	2,06	334	300	376	339
26	2,42	392	353	442	397
28	2,80	454	409	517	461
32	3,66	593	534	669	602
36	4,63	75	676	847	762
40	5,72	927	835	1050	941

\* Pri čeličnoj jezgri su duljinska masa i prekidna sila nešto veće.

\*

Obično uže 8 × 7 (JUS C.H1.080 – 1982)

Uže 6 × 19 (JUS C.H1.072 – 1982)

Uže se sastoji od 6 strukova po 19 (1 + 6 + 12) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica, a strukovi su ovijeni oko vlaknaste jezgre

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m<sub>l</sub></i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>r</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		<i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		<i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
		<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>r</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN
3	0,071 1	-	-	5,69	4,90
4	0,055 4	-	-	10,1	8,70
5	0,086 5	-	-	15,8	13,6
6	0,125	-	-	22,8	19,6
7	0,170	-	-	31,0	26,7
8	0,221	35,9	30,9	40,5	34,8
9	0,280	45,4	39,7	51,7	44,1
10	0,346	56,7	48,2	63,3	54,4
11	0,419	67,9	58,4	76,5	65,8
12	0,498	80,8	69,5	91,1	78,3
13	0,582	94,8	81,5	107	91,9
14	0,678	110	94,6	124	107
16	0,886	144	124	167	139
18	1,12	182	156	205	176
20	1,38	224	193	253	218
22	1,67	272	234	306	263
24	1,99	323	278	364	314
26	2,34	379	326	428	368
28	2,71	440	378	496	426
32	3,54	575	494	618	537
36	4,48	727	625	820	705
40	5,54	898	722	1010	870
44	6,70	1090	814	1220	1050
48	7,97	1290	1110	1460	1250
52	9,36	1520	1300	1710	1470
56	10,9	1760	1510	1980	1710

Uže 6 × 19 – ispunjeno žicama (JUS C.H1.086 – 1982)

Uže 8 × 19 – ispunjeno žicama (JUS C.H1.088 – 1982)

Uže Warrington 6 × 19 (JUS C.H1.090 – 1982)

Uže Warrington 8 × 19 (JUS C.H1.096 – 1982)

Uže Seale 6 × 19 (JUS C.H1.100 – 1982)

Uže Seale 8 × 19 (JUS C.H1.104 – 1982)

**Uže 6 × 37 (JUS C.H1.074 – 1982)**

Uže se sastoji od 6 strukova po 37 (1 + 6 + 12 + 18) žica od kojih je oko središnje žice ovijeno u prvom sloju 6 žica, u drugom 12 žica, u trećem 18 žica, a strukovi su ovijeni oko vlaknaste jezgre

Nazivni promjer užeta <i>d</i> mm	Duljinska masa <i>m</i> kg/m	Prekidna sila <i>F<sub>T</sub></i> – računska, <i>F<sub>min</sub></i> – najmanja			
		pri nazivnoj čvrstoći žica			
		<i>R<sub>m</sub></i> = 1570 N/mm <sup>2</sup>		<i>R<sub>m</sub></i> = 1770 N/mm <sup>2</sup>	
<i>F<sub>T</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN	<i>F<sub>T</sub></i> kN	<i>F<sub>min</sub></i> kN		
6	0,125	–	–	22,4	18,9
7	0,170	–	–	31,0	25,6
8	0,221	35,9	29,6	40,5	33,4
9	0,280	45,3	37,5	51,2	42,4
10	0,346	56,1	46,3	63,3	52,2
11	0,419	67,9	56,0	76,5	63,1
12	0,498	80,8	66,6	91,1	75,1
13	0,585	94,8	78,2	107	88,2
14	0,678	110	90,7	124	102
16	0,866	144	118	162	134
18	1,12	182	150	205	169
20	1,38	224	185	253	209
22	1,67	272	224	306	253
24	1,99	323	267	364	301
26	2,34	379	313	428	353
28	2,71	440	363	496	409
32	3,54	575	474	648	534
36	4,48	727	600	820	676
40	5,54	898	741	1010	835
44	6,70	1090	896	1220	1010
48	7,97	1290	1070	1460	1200
52	9,26	1520	1250	1710	1410
56	10,7	1760	1450	1980	1640
60	12,5	2020	1670	2280	1880
64	14,2	2300	1900	2590	2140

\*

Obično uže 8 × 37 (JUS C.H1.084 – 1982)

Uže Seale 6 × 37 (JUS C.H1.102 – 1982)

Uže 6 × 12 + 7 vlaknastih jezgri (JUS C.H1.076 – 1982)

Uže 6 × 24 + 7 vlaknastih jezgri (JUS C.H1.078 – 1982)

Uže Warrington-Seale 6 × 31 (JUS C.H1.106 – 1982)

Uže Warrington-Seale 6 × 36 (JUS C.H1.108 – 1982)

Uže Warrington-Seale 8 × 36 (JUS C.H1.112 – 1982)

**Čelični lanci**



Lanci za opću upotrebu (JUS C.H4.020 – 1978)  
(kalibrirani)

Nazivni promjer* <i>d</i> mm	Korak <i>h</i> mm	Širina članka <i>b</i> mm	Duljinska masa <i>m</i> kg/m	Opterećenje dovoljeno <i>F<sub>dop</sub></i> kN	ispitno**	
					L.O., L.C. <i>F<sub>isp</sub></i> kN	L.P. <i>F<sub>isp</sub></i> kN
5***	18,5	17	0,300	–	–	–
6***	18,5	20	0,750	–	–	–
4	16	14	0,320	1,47	2,94	–
5	18,5	17	0,500	2,45	4,91	6,18
6	18,5	20	0,750	3,43	6,87	8,85
7	22	23	1,05	4,91	9,83	12,4
8	24	26	1,35	6,18	12,4	15,7
9	27	30	1,90	7,85	15,7	19,6
(9,5)	27	31	2,00	8,34	16,7	–
10	28	34	2,25	9,81	19,6	24,5
(11)	31	36	2,70	11,0	22,0	31,4
13	36	41	3,60	15,7	31,4	41,6
14	41	47	4,40	–	–	49,1
16	45	54	5,80	24,5	49,1	61,8
18	50	60	7,30	30,9	61,8	78,5
20	56	67	9,00	39,2	78,5	98,1
23	64	77	12,0	49,1	98,1	131
26	73	87	15,0	61,8	124	167
28	78	94	17,5	73,6	147	196
30	84	101	20,0	83,4	167	220
33	92	112	24,5	98,1	196	259
36	101	124	29,0	123	245	304
39	109	132	34,0	137	275	353
42	118	147	40,0	167	334	392
45	126	157	45,5	186	373	470
48	134	162	52,0	206	412	492
51	143	172	58,5	245	490	519
54	151	182	65,5	275	540	618
57	160	192	73,0	294	589	657
60	168	202	81,0	329	657	697

\* Treba se kloniti nazivnih promjera u zagradama

\*\* L.O.-obični lanci, L.C.-cementirani lanci, L.P.-poboljšani lanci.

\*\*\* Samo za ručnu upotrebu.

Lanci za dizala (JUS C.H4.021 - 1978)  
(kalibrirani)

Nazivni promjer $d$ mm	Korak $h$ mm	Širina članka $b$ mm	Duljinska masa $m_l$ kg/m	Opterećenje	
				dozvoljeno $F_{dop}$ kN	ispitno $F_{isp}$ kN
13	36	42	3,80	15,7	31,4
16	45	52	5,80	24,5	49,1
18	50	58	7,30	30,9	61,8
20	56	65	9,00	39,2	78,5
23	64	74	12,0	49,1	98,1

Lanci za dizala (JUS C.H4.022/023/024 - 1978) kvalitetni razred: 5, 6, 8

Nazivni promjer* $d$ mm	Korak* $h$ mm	Širina članka		Duljinska masa $m_l$ kg/m
		vanjska $b$ maks. mm	unutarnja $b_n$ min. mm	
4	12	13,7	5	0,35
5	15	16,9	6	0,54
(5)	(18,5)	16,9	6	0,50
6	18	20,2	7,2	0,78
(6)	(18,5)	20,2	7,2	0,77
7	21	23,6	8,4	1,07
(7)	(22)	23,6	8,4	1,05
8	24	27	9,6	1,40
9	27	30,4	10,8	1,75
10	28	34	12	2,25
11	31	37,4	13,2	2,70
13	36	44,2	15,6	3,80
14	41	47,6	16,8	4,40
16	45	54,4	19,2	5,75
18	50	63,0	21,6	7,30

\* Dimenzije u zagradama treba izbjegavati

\*

Komadni lanci za opću upotrebu s kratkim člancima (JUS C.H4.025 - 1978).  
Lanci za transportere s dugim člancima (JUS C.H4.030 - 1978).  
Lanci za transportere sa srednje dugim člancima (JUS C.H4.031 - 1978).

ALUMINIJSKI POLUPROIZVODI

Mase poluproizvoda po jedinici dužine (kg/m) ili jedinici površine (kg/m<sup>2</sup>) izračunane su s obzirom na prosječnu gustoću aluminijske legirane od 2700 kg/m<sup>3</sup>.

Aluminijske šipke i žice

Okrugle šipke i žice od aluminijske legirane i aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C.C3.030/031/130/131 - 1963)

Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al	sl			vučeno al	sl		
1	—	0,785	0,002 12	20	20	314,2	0,848
1,2	—	1,131	0,003 05	21	—	346,4	0,935
1,4	—	1,539	0,004 16	22	—	380,1	1,03
1,5	—	1,767	0,004 77	23	—	415,5	1,12
1,6	—	2,011	0,005 43	24	—	452,4	1,22
1,8	—	2,545	0,006 87	25	25	490,9	1,33
2,0	2	3,142	0,008 48	26	—	530,9	1,43
2,2	—	3,801	0,010 3	27	—	572,6	1,55
2,5	—	4,909	0,013 3	28	—	615,8	1,66
2,8	—	6,158	0,016 6	29	—	660,5	1,78
3,0	—	7,069	0,019 1	30	30	706,9	1,91
3,2	—	8,042	0,021 7	32	32	804,2	2,17
3,5	—	9,621	0,026 0	34	—	907,9	2,45
3,8	—	11,34	0,030 6	35	35	962,1	2,60
4,0	4	12,57	0,033 9	36	—	1 018	2,75
4,5	—	15,90	0,042 9	38	38	1 134	3,06
5,0	5	19,63	0,053 0	40	40	1 257	3,39
5,5	—	23,76	0,064 1	42	42	1 385	3,74
6,0	6	28,27	0,076 3	45	45	1 590	4,20
7,0	—	38,48	0,104	48	48	1 810	4,89
8,0	8	50,27	0,136	50	50	1 963	5,30
9,0	—	63,62	0,172	52	52	2 124	5,73
10	10	78,54	0,212	53	—	2 206	5,96
11	—	95,03	0,257	54	—	2 290	6,18
12	12	113,1	0,305	55	55	2 376	6,41
13	—	132,7	0,358	56	—	2 463	6,65
14	—	153,9	0,416	57	—	2 552	6,89
15	15	176,7	0,477	58	58	2 642	7,13
16	—	201,1	0,543	60	60	2 827	7,63
17	—	227,0	0,613	65	65	3 318	8,96
18	—	254,5	0,687	70	70	3 848	10,4
19	—	283,5	0,766	75	75	4 418	11,9

(Nastavak na str. 452)

\* Vrijednosti »al« vrijede za poluproizvode od aluminijske legirane, a vrijednosti »sl« za poluproizvode od aluminijskih slitina.

Okrugle šipke i žice od aluminijskih slitina, vučene ili prešane (nastavak).

Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Promjer* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	prešano al, sl			vučeno al sl	prešano al, sl		
80	80	5 027	13,6		170	22 698	61,3
90	90	6 362	17,2		180	25 447	68,7
95		7 088	19,1		190	28 353	76,6
100	100	7 854	21,2		200	31 416	84,8
	110	9 503	25,7		210	34 636	93,5
	120	11 310	30,5		220	38 013	103
		13 273	35,8		230	41 548	112
		15 394	41,6		240	45 239	122
		17 672	47,7		250	49 087	133
		20 106	54,3				

\* Vidi opasku na str. 451!

Kvadratne šipke i žice od aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C C 3.034/035/134/135 — 1963)

Debljina* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Debljina* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	prešano al, sl			vučeno al sl	prešano al, sl		
2	—	4	0,010 8	22	22	484	1,31
3	—	9	0,024 3	24	—	576	1,56
4	4	16	0,043 2	25	25	625	1,69
—	4,5	20,25	0,054 7	27	—	729	1,97
5	5	25	0,067 5	28	—	784	2,12
—	5,5	30,25	0,081 7	30	30	900	2,43
6	6	36	0,097 2	32	—	1 024	2,76
7	7	49	0,132	35	—	1 225	3,31
8	8	64	0,173	40	40	1 600	4,32
—	9	81	0,219	45	—	2 025	5,47
10	10	100	0,273	50	50	2 500	6,75
—	11	121	0,327	55	—	3 025	8,17
12	12	144	0,389	60	60	3 600	9,72
—	14	196	0,529	65	—	4 225	11,4
15	—	225	0,608	70	70	4 900	13,2
16	—	256	0,691	75	—	5 625	15,2
—	17	289	0,780	—	80	6 400	17,3
18	—	324	0,875	—	100	10 000	27,3
—	19	361	0,975	—	120	14 400	38,9
20	—	400	1,08	—	150	22 500	60,8

\* Vidi opasku na str. 451!

Šesterokutne šipke i žice od aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C C 3.036/037/136/137 — 1963)

Otvor kljoda* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Otvor kljoda* mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno al sl	preš. al, sl			vučeno al sl	preš. al, sl		
3	3	7,794	0,021 0	25	—	541,3	1,46
3,5	3,5	10,61	0,028 6	27	27	631,3	1,70
4	4	13,86	0,037 4	28	—	678,9	1,83
4,5	4,5	17,54	0,047 3	30	30	779,4	2,10
5	5	21,65	0,058 5	32	32	886,8	2,39
5,5	5,5	26,20	0,071 7	33	—	943,0	2,55
6	6	31,18	0,084 2	35	—	1 060	2,80
7	7	42,44	0,115	36	36	1 122	3,03
8	8	55,43	0,150	38	—	1 250	3,38
9	9	70,15	0,189	—	40	1 384	3,74
10	10	86,60	0,234	41	41	1 456	3,93
11	11	104,8	0,283	42	—	1 527	4,12
12	12	124,7	0,337	45	—	1 755	4,73
13	—	146,4	0,394	46	46	1 833	4,95
14	14	169,7	0,458	50	50	2 165	5,85
—	—	194,8	0,526	55	—	2 670	7,07
17	17	250,3	0,676	60	60	3 118	8,22
18	—	280,6	0,750	—	70	4 243	11,46
19	19	312,6	0,844	—	80	5 542	14,96
20	—	346,0	0,934	—	100	6 650	17,42
22	22	419,2	1,13	—	120	12 470	36,70
24	24	498,8	1,35	—	150	19 481	52,60

\* Vrijednosti samo vučene za poluproizvode od aluminijskih slitina, a vrijednosti, osim za poluproizvode od aluminijskih slitina.

Plošnate šipke i žice od aluminijskih slitina, vučene ili prešane (JUS C C 3.200/201 — 1963)

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
5 × 2	—	10	0,027	6 × 4	—	24	0,065
5 × 3	—	15	0,041	6 × 5	—	30	0,081
5 × 4	—	20	0,054	8 × 2	—	16	0,043
6 × 2	—	12	0,032	8 × 3	—	24	0,065
6 × 3	—	18	0,049	8 × 4	—	32	0,086

(Nastavak na str. 454 i 455.)

Plasnate šipke i žice od aluminija i aluminijских slitina, vučene i prešane (nastavak)

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
8 × 5	8 × 5	40	0,108	25 × 3	75	0,202	
8 × 6	8 × 6	48	0,130	25 × 4	100	0,270	
10 × 2		20	0,054	25 × 5	25 × 5	125	0,338
10 × 3		30	0,081	25 × 6	25 × 6	150	0,405
10 × 4		40	0,108	25 × 8	25 × 8	200	0,540
10 × 5	10 × 5	50	0,135	25 × 10	25 × 10	250	0,675
10 × 6	10 × 6	60	0,162	25 × 12	25 × 12	300	0,810
10 × 8	10 × 8	80	0,216	25 × 16	25 × 16	400	1,08
12 × 2		24	0,065	25 × 20		500	1,35
12 × 3		36	0,097	30 × 4		120	0,324
12 × 4		48	0,130	30 × 5	30 × 5	150	0,405
12 × 5	12 × 5	60	0,162	30 × 6	30 × 6	180	0,486
12 × 6	12 × 6	72	0,194	30 × 8	30 × 8	240	0,648
12 × 8	12 × 8	96	0,259	30 × 10	30 × 10	300	0,810
12 × 10		120	0,324	30 × 12	30 × 12	360	0,972
16 × 2		32	0,086	30 × 16	30 × 16	480	1,30
16 × 3		48	0,130	30 × 20	30 × 20	600	1,62
16 × 4		64	0,173	30 × 25		750	2,03
16 × 5	16 × 5	80	0,216	40 × 5	40 × 5	200	0,540
16 × 6	16 × 6	96	0,259	40 × 6	40 × 6	240	0,648
16 × 8	16 × 8	128	0,346	40 × 8	40 × 8	320	0,864
16 × 10	16 × 10	160	0,432	40 × 10	40 × 10	400	1,08
16 × 12		192	0,518	40 × 12	40 × 12	480	1,30
20 × 2		40	0,108	40 × 16	40 × 16	640	1,73
20 × 3		60	0,162	40 × 20	40 × 20	800	2,16
20 × 4		80	0,216	40 × 25	40 × 25	1000	2,70
20 × 5	20 × 5	100	0,270	40 × 30		1200	3,24
20 × 6	20 × 6	120	0,324		50 × 5	250	0,675
20 × 8	20 × 8	160	0,432	50 × 6	50 × 6	300	0,810
20 × 10	20 × 10	200	0,540	50 × 8	50 × 8	400	1,08
20 × 12	20 × 12	240	0,648	50 × 10	50 × 10	500	1,35
20 × 16		320	0,864	50 × 12	50 × 12	600	1,62
				50 × 16	50 × 16	800	2,16

Plasnate šipke i žice od aluminija i aluminijских slitina, vučene i prešane (nastavak)

Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina × debljina mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
vučeno	prešano			vučeno	prešano		
50 × 20	50 × 20	1000	2,70	125 × 10	1250	3,38	
50 × 25	50 × 25	1250	3,38	125 × 12	1500	4,05	
50 × 30	50 × 30	1500	4,05	125 × 16	2000	5,40	
50 × 40		2000	5,40	125 × 20	2500	6,75	
	60 × 6	360	0,972	125 × 25	3125	8,44	
60 × 8	60 × 8	480	1,30	125 × 30	3750	10,13	
60 × 10	60 × 10	600	1,62	125 × 40	5000	13,50	
60 × 12	60 × 12	720	1,94	125 × 50	6250	16,87	
60 × 16	60 × 16	960	2,59		125 × 60	7500	20,25
60 × 20	60 × 20	1200	3,24		160 × 10	1600	4,32
60 × 25	60 × 25	1500	4,05		160 × 12	1920	5,18
60 × 30	60 × 30	1800	4,86		160 × 16	2560	6,91
60 × 40	60 × 40	2400	6,48		160 × 20	3200	8,64
	80 × 8	640	1,73	160 × 25	4000	10,80	
80 × 10	80 × 10	800	2,16	160 × 30	4800	12,96	
80 × 12	80 × 12	960	2,59	160 × 40	6400	17,28	
80 × 16	80 × 16	1280	3,45		160 × 50	8000	21,60
80 × 20	80 × 20	1600	4,32		160 × 60	9600	25,92
80 × 25	80 × 25	2000	5,40		180 × 10	1800	4,86
80 × 30	80 × 30	2400	6,48		180 × 12	2160	5,83
80 × 40	80 × 40	3200	8,64		180 × 16	2880	7,78
	80 × 50	4000	10,80		180 × 20	3600	9,72
	100 × 10	1000	2,70		180 × 25	4500	12,15
100 × 12	100 × 12	1200	3,24		180 × 30	5400	14,58
100 × 16	100 × 16	1600	4,32		180 × 40	7200	19,44
100 × 20	100 × 20	2000	5,40		200 × 10	2000	5,40
100 × 25	100 × 25	2500	6,75		200 × 12	2400	6,48
100 × 30	100 × 30	3000	8,10		200 × 16	3200	8,64
100 × 40	100 × 40	4000	10,80		200 × 20	4000	10,80
	100 × 50	5000	13,50		200 × 25	5000	13,50
	100 × 60	6000	16,20		200 × 30	6000	16,20
					200 × 40	8000	21,60

### Aluminijski profil

Jednakostrani kutni profili od aluminija i aluminijskih slitina, prešani  
(JUS C.C3.202 - 1963)

Duljina krakova mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Duljina krakova mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
10	1	19,2	0,0518	40	2	156,8	0,423
10	1,5	28,2	0,0761	40	4	307,0	0,828
10	2	36,8	0,0993	50	4	387	1,045
12	1	23,2	0,0626	50	5	480	1,296
12	1,2	27,6	0,0745	60	5	580	1,565
15	1,5	43,2	0,1165	60	6	691	1,86
15	2	56,8	0,1532	80	6	931	2,51
15	2,5	70,0	0,189	80	8	1229	3,32
20	2	76,8	0,207	100	8	1549	4,18
20	2,5	95,0	0,256	100	10	1920	5,18
20	3	112,8	0,304	125	10	2420	6,53
25	2	96,8	0,261	125	12	2885	7,78
25	2,5	120,0	0,324	140	12	3245	8,76
30	3	172,8	0,466	140	14	3763	10,15
30	4	227,0	0,612	160	12	3725	10,06
				160	16	4915	13,27



Profili T od aluminija i aluminijskih slitina, prešani  
(JUS C.C3.204 - 1963)

Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
20	20	1,6	62,6	0,169	30	30	3	175	0,472
20	20	2	78	0,212	30	45	3	220	0,594
20	30	2	98	0,264	30	45	4	291	0,785
20	30	3	145	0,391	40	25	2,5	159	0,429
25	16	1,6	64	0,173	40	25	3	190	0,513
25	16	2	80	0,216	40	40	3	235	0,634
25	25	2	98	0,264	40	40	4	311	0,839
25	25	2,5	121	0,328	50	50	3	295	0,796
30	30	2	118	0,318	50	50	4	391	1,055
30	30	2,5	146	0,394	50	50	5	485	1,310

Profili T od aluminija i aluminijskih slitina, prešani (nastavak)

Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Širina noge mm	Visina mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
60	40	4	391	1,055	125	80	10	1991	5,38
60	40	5	485	1,310	125	125	10	2441	6,59
60	60	5	585	1,58	125	125	12	2915	7,87
60	60	6	699	1,87	140	90	10	2241	6,05
80	50	5	635	1,71	140	90	12	2675	7,22
80	50	6	759	2,05	140	140	12	3275	8,84
80	80	6	939	2,53	140	140	14	3804	10,27
80	80	8	1242	3,35	160	100	12	3035	8,19
100	100	8	1562	4,23	160	100	14	3524	9,52
100	100	10	1941	5,24	160	160	14	4764	11,77
125	80	8	1602	4,33	160	160	16	4969	13,41



Profili C od aluminija i aluminijskih slitina, prešani  
(JUS C.C3.203 - 1963)

Visina mm	Širina noge mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Visina mm	Širina noge mm	Deb- ljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
25	16	1,6	87,1	0,235	80	50	4	693	1,87
32	16	2	122	0,329	80	50	5	860	2,32
32	20	2	138	0,372	100	50	5	960	2,59
40	20	2	154	0,416	100	50	6	1143	3,08
40	25	2,5	215	0,583	125	80	6	1653	4,47
40	30	3	286	0,772	125	80	8	2178	5,88
40	40	4	455	1,228	140	90	8	2458	6,64
50	25	2,5	240	0,648	140	90	10	3041	8,21
50	30	3	316	0,852	160	80	8	2458	6,64
50	40	4	495	1,335	160	80	10	3041	8,21
60	30	4	455	1,228	160	100	8	2778	7,50
60	30	5	560	1,51	160	100	10	3441	9,30
60	40	4	535	1,44	200	100	12(10)	4219	11,39
60	40	5	660	1,78	200	125	16(12)	6121	16,53
80	40	4	615	1,66	250	100	16(12)	5921	15,99
80	40	5	760	2,05	250	125	16(12)	6721	18,15

\* Vrijednosti u zagradama vrijede za deblju nogu



Profili I od aluminija i aluminijskih slitina, prečani  
(JUS C.C.3.205 - 1963)

Visina mm	Širina noge mm	Debljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Visina mm	Širina noge mm	Debljina mm	Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m
25	16	1,6	88,2	0,238	125	80	8	2 205	5,95
25	25	1,6	117	0,316	125	125	6	2 208	5,96
30	20	2	135	0,364	125	125	8	2 925	7,90
30	30	2	175	0,473	140	90	8	2 485	6,72
40	25	2,5	218	0,588	140	90	10	3 083	8,33
40	40	4	461	1,245	140	140	8	3 285	8,86
50	30	3	319	0,861	140	140	10	4 083	11,02
50	50	3	439	1,185	160	100	8	2 805	7,57
50	50	5	721	1,947	160	100	10	3 483	9,42
60	40	4	541	1,46	160	160	8	3 765	10,17
60	50	4	621	1,68	160	160	10	4 683	12,64
60	60	5	871	2,35	200	125	10	4 383	11,85
80	50	4	701	1,89	200	125	12	5 231	14,12
80	50	5	871	2,35	200	200	10	5 883	15,90
80	80	4	941	2,54	200	200	12	7 031	18,98
80	80	5	1 171	3,16	250	160	12	6 673	18,01
100	100	5	1 471	3,97	250	160	16	8 820	23,80
100	100	6	1 758	4,74	250	250	12	8 831	23,84
125	80	6	1 668	4,50	250	250	16	11 300	31,60

Toplo valjani lim od aluminija i aluminijskih slitina  
(JUS C.C.4.019 - 1963)

Debljina mm	Širina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Širina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>
4	do 2 500	10,8	15	do 3 000	40,5
5	do 2 500	13,5	20	do 3 000	54,0
6	do 3 000	16,2	25	do 1 000	67,5
8	do 3 000	21,6	30	do 1 000	81,0
10	do 3 000	27,0	40	do 1 000	108
12	do 3 000	32,4			

Duljine: do 10 000 mm

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(JUS C.C.5.030/031/030/131 - 1966)

Vanj. prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	Vanj. prom. (R 10) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj. masa kg/m	
	vučeno al, sl	prešano al, sl				vučeno al, sl	prešano al, sl			
4	0,5	0,5	5,49	0,015	30	0,5	—	70,63	0,083	
	0,8	0,8	8,04	0,022		0,8	0,8	—	48,26	0,130
	1	—	9,42	0,025		1	1	—	59,69	0,161
5	0,5	0,5	7,07	0,019	20	1,2	1,2	—	70,87	0,191
	0,8	0,8	10,55	0,029		1,6	1,6	—	92,49	0,250
	1	1	12,57	0,034		2	2	—	113,1	0,305
8	0,5	0,5	11,78	0,032	25	2,5	2,5	—	137,4	0,371
	0,8	0,8	18,10	0,049		3	3	—	160,2	0,433
	1	1	22,01	0,059		0,5	—	—	38,49	0,104
10	1,2	1,2	25,64	0,069	25	0,8	0,8	—	60,82	0,164
	1,6	1,6	32,17	0,086		1	1	—	74,40	0,204
	0,5	—	14,92	0,040		1,2	1,2	1,2	89,72	0,242
12	0,8	0,8	23,12	0,062	25	1,6	1,6	1,6	117,6	0,318
	1	1	28,27	0,076		2	2	2	144,5	0,390
	1,2	1,2	33,18	0,090		2,5	2,5	2,5	176,7	0,477
16	1,6	1,6	42,32	0,114	22	3	3	3	207,4	0,560
	2	2	50,27	0,136		0,8	0,8	—	78,41	0,212
	0,5	—	18,06	0,049		1	1	—	97,39	0,263
12	0,8	0,8	28,15	0,076	22	1,2	1,2	1,2	116,1	0,314
	1	1	34,46	0,093		1,6	1,6	1,6	152,8	0,413
	1,2	1,2	40,72	0,110		2	2	2	188,5	0,509
16	1,6	1,6	52,28	0,141	22	2,5	2,5	2,5	231,7	0,626
	2	2	62,83	0,170		3	3	3	273,3	0,738
	0,5	—	24,35	0,066		4	4	4	351,9	0,950
16	0,8	0,8	38,20	0,103	16	—	5	5	424,1	1,15
	1	1	47,12	0,127		—	6	6	496,1	1,32
	1,2	1,2	55,80	0,151		—	8	8	603,2	1,63
16	1,6	1,6	72,38	0,195	16	—	5	5	424,1	1,15
	2	2	87,97	0,238		—	6	6	496,1	1,32
	2,5	2,5	106,0	0,286		—	8	8	603,2	1,63

(Nastavak - str. 460 i 461)

\* Uzeti su u obzir samo promjeri standardnih brojeva osnovnog reda R 10.

\*\* Vrijednosti >ale> vrijede za cijevi od aluminija, a vrijednosti >sl> za cijevi od aluminijskih slitina.

Hladno valjane trake od aluminija i aluminijskih slitina (JUS C.C.4.051/151 - 1963)

Hladno valjane lim od aluminija i aluminijskih slitina (JUS C.C.4.050/150 - 1963)



Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)

Vanj.prom. (R) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj.masa kg/m	Vanj.prom. (R) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj.masa kg/m		
	vučenu al sl	preš. al sl				vučenu al sl	preš. al sl				
40	0,8	—	98,68	0,266	63	—	6	1074	2,90		
	1	—	122,7	0,331		—	8	1382	3,73		
	1,2	1,2	146,3	0,395		—	10	1665	4,50		
	1,6	1,6	193,0	0,521		1,6	1,6	—	394,1	1,06	
	2	2	238,9	0,645		2	2	—	490,1	1,31	
	2,5	2,5	294,7	0,795		2,5	2,5	—	608,8	1,64	
	3	3	348,9	0,942		3	3	—	727,7	1,96	
	4	4	452,6	1,22		80	4	4	955,1	2,58	
	5	5	549,6	1,48			5	5	5	1178	3,18
	6	6	640,9	1,73			6	6	6	1385	3,74
8	8	804,3	2,17	8	8		8	1810	4,89		
10	10	1000	2,70	10	10		10	2199	5,94		
1,2	1,2	183,9	0,497	2	2		—	615,8	1,66		
1,6	1,6	243,3	0,657	2,5	2,5		—	765,8	2,07		
2	2	301,6	0,814	3	3		—	914,2	2,47		
2,5	2,5	373,1	1,01	4	4		4	1206	3,26		
3	3	444,0	1,20	5	5		5	1492	4,03		
4	4	578,1	1,56	6	6	6	1772	4,78			
5	5	706,9	1,91	8	8	8	2312	6,24			
6	6	829,4	2,24	10	10	10	2827	7,63			
8	8	1055	2,85	12	12	—	3318	8,96			
1,2	1,2	233,0	0,629	3	3	—	1150	3,11			
1,6	1,6	308,6	0,833	4	4	4	1521	4,11			
2	2	383,3	1,04	5	5	5	1885	5,09			
2,5	2,5	475,2	1,28	6	6	6	2243	6,06			
3	3	565,5	1,53	8	8	8	2941	7,94			
4	4	741,2	2,00	10	10	10	3613	9,76			
5	5	911,1	2,46	12	12	—	4260	11,5			

\* \*\* Vidi primjedbe na str. 459.

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, vučene i prešane  
(nastavak)

Vanj.prom. (R) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj.masa kg/m	Vanj.prom. (R) mm	Debljina stijenke** mm		Presjek mm <sup>2</sup>	Dulj.masa kg/m
	vučenu al sl	preš. al sl				vučenu al sl	preš. al sl		
160	3	—	1480	4,00	200	6	6	3657	9,87
	4	4	1960	5,29		8	8	4824	13,0
	5	5	2425	6,55		10	10	5969	16,1
	6	6	2903	7,84		12	12	7087	19,1
	8	8	3820	10,3		5	5	3849	10,4
	10	10	4712	12,7		6	6	4599	12,4
200	12	12	5580	15,1	250	8	8	6082	16,4
	4	4	2463	6,65		10	10	7540	20,4
	5	5	3063	8,27		12	12	8972	24,2

\* \*\* Vidi primjedbe na str. 459!

Okrugle cijevi od aluminija i aluminijskih slitina, koje imaju promjere standardnih brojeva osnovnih redova R 20 i R 40

Vanjski promjer mm	Debljine stijenke mm					
	R 20		R 40		R 60	
	vučene	prešane	vučene	prešane	vučene	prešane
—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	6	—	—	—
18	—	—	6	—	—	—
22	—	—	6	—	—	—
28	—	—	6	—	—	—
36	—	—	6	—	—	—
45	—	—	6	—	—	—
56	—	—	6	—	—	—
70	—	—	6	—	—	—
90	—	—	6	—	—	—
110	—	—	6	—	—	—
140	—	—	6	—	—	—
180	—	—	6	—	—	—
220	—	—	6	—	—	—

POLUPROIZVODI OD BAKRA I BAKRENIH SLITINA

Bakrene šipke, lim i žica

Okrugle šipke, vučene (JUS C.D3.520 - 1982)

Promjer mm	Dulj. masa kg/m	Promjer mm	Dulj. masa kg/m	Promjer mm	Dulj. masa kg/m
0,5	0,00175	4,5	0,141	22	3,38
0,6	0,00252	5	0,175	25	4,37
0,8	0,00447	5,5	0,211	28	5,48
1,0	0,00699	6	0,257	32	7,16
1,2	0,0101	6,5	0,295	36	9,06
1,4	0,0137	7	0,342	40	11,2
1,6	0,0175	8	0,417	45	14,1
1,8	0,0226	9	0,506	50	17,5
2,0	0,0279	10	0,609	56	21,9
2,2	0,0338	11	0,846	60	25,2
2,5	0,0437	12	1,01	63	27,7
2,8	0,0548	14	1,37	70	34,2
3	0,0629	16	1,79	75	39,3
3,5	0,0856	18	2,26	80	44,7
4	0,112	20	2,79		

Kvadratne šipke, vučene (JUS C.D3.525 - 1972) debljina: 2...60 mm

Šesterokutne šipke, vučene (JUS C.D3.527 - 1972)

otvor ključa: 3...60 mm

Plošnate šipke, vučene (JUS C.D3.523 - 1982)

debljina: 2...40 mm, širina: 4...200 mm

Limovi, hladno valjani (JUS C.D4.520 - 1972)

Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>	Debljina mm	Plošt. masa kg/m <sup>2</sup>
0,20	1,89	0,70	5,91	2,0	16,9
0,25	2,11	0,80	6,75	2,5	21,1
0,30	2,53	0,90	7,69	3,0	25,4
0,35	2,96	1,0	8,45	3,5	29,6
0,40	3,38	1,1	9,30	4,0	34,8
0,45	3,80	1,2	10,1	4,5	38,0
0,50	4,23	1,5	12,7	5,0	42,3
0,60	5,06	1,8	15,2		

Širina: 1000 mm, duljina: 20000 mm,

Tanki limovi, hladno valjani (JUS C.D4.521 - 1972)

Žica, vučena (JUS C.D6.520 1972)

Debljina mm	Dulj. masa kg/km	Debljina mm	Dulj. masa kg/km	Debljina mm	Dulj. masa kg/km
0,02	0,0028	0,45	1,42	3,5	85,6
0,05	0,0175	0,50	1,75	4,0	112
0,06	0,0251	0,56	2,19	4,5	142
0,07	0,0342	0,60	2,52	5,0	175
0,08	0,0447	0,70	3,42	5,5	211
0,09	0,0566	0,80	4,47	6,0	252
0,10	0,0689	0,90	5,66	6,5	295
0,12	0,101	1,0	6,99	7,0	342
0,14	0,137	1,2	10,1	8	447
0,16	0,179	1,4	13,7	9	566
0,18	0,226	1,6	17,9	10	699
0,20	0,280	1,8	22,6	11	846
0,22	0,330	2,0	28,0	12	1010
0,25	0,437	2,2	33,8	14	1370
0,28	0,548	2,5	43,7	16	1790
0,30	0,629	2,8	54,8	18	2265
0,36	0,906	3,0	62,9		
0,40	1,12	3,2	71,6		

Kvadratna žica

3,0	80,1	6	320	12	1282
3,5	109	7	436	13	1504
4,0	142	8	570	14	1744
4,5	180	9	721	16	2278
5,0	222	10	890	17	2572
5,5	269	11	1077		

Šesterokutna žica

3,0	69,4	6	277	12	1120
3,5	94,4	7	378	13	1303
4,0	123	8	493	14	1510
4,5	156	9	624	17	2238
5,0	193	10	771		
5,5	233	11	933		

**Bakrena užad (za električne vodiče)**

Konstrukcija užada	Vanjski promjer užeta	Ukupni presjek žica	Dulj. masa kg/km	Omski otpor (20 °C) Ω/km
broj žica / promjer žice mm	mm	mm <sup>2</sup>		
7 / 1,70	5,10	16	143	1,11
7 / 2,10	6,30	25	222	0,719
7 / 2,5	7,50	35	311	0,50
7 / 3,0	9,00	50	443	0,36
19 / 2,1	10,50	70	620	0,26
19 / 2,5	12,50	95	844	0,19
19 / 2,8	14,00	120	1064	0,15
19 / 18 / 2,25	16,50	150	1340	0,12

**Bakrene cijevi, vučene**  
(JUS C.125.500 (1972, 501 (1973))

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*								
	pri debljini stijenke (mm)								
	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
4	0,05	0,07	0,08	—	—	—	—	—	—
5	0,06	0,09	0,11	—	—	—	—	—	—
6	0,08	0,11	0,14	—	—	—	—	—	—
7	0,09	0,13	0,17	—	—	—	—	—	—
8	0,10	0,15	0,20	0,27	—	—	—	—	—
9	0,12	0,17	0,22	0,31	—	—	—	—	—
10	0,13	0,19	0,25	0,36	0,45	—	—	—	—
12	0,16	0,24	0,31	0,44	0,56	—	—	—	—
14	0,19	0,28	0,36	0,52	0,67	—	—	—	—
15	0,20	0,30	0,39	0,57	0,73	0,87	—	—	—
16	0,22	0,32	0,42	0,61	0,78	0,94	—	—	—
18	0,24	0,36	0,48	0,69	0,89	1,08	1,26	—	—
20	—	0,40	0,53	0,75	1,01	1,22	1,43	1,74	—
22	—	—	0,59	0,86	1,12	1,36	1,59	—	—
24	—	—	0,64	—	1,21	—	—	—	—
25	—	—	0,67	0,99	1,29	1,57	1,85	2,35	2,80
28	—	—	0,75	1,11	1,45	1,78	2,10	2,68	—
30	—	—	0,81	1,20	1,57	1,92	2,26	2,91	3,50
32	—	—	0,87	1,28	1,64	—	—	—	—
35	—	—	0,95	1,40	1,85	2,27	2,68	—	—
38	—	—	1,03	1,55	2,01	2,48	2,94	3,80	—
40	—	—	1,09	1,61	2,12	2,62	3,10	—	4,89
42	—	—	1,14	1,70	2,24	2,76	3,27	4,25	5,17
44,5	—	—	—	—	—	2,94	3,48	4,53	5,52
45	—	—	—	1,82	2,40	2,97	3,52	—	5,19
48	—	—	—	1,95	2,57	—	3,77	4,92	—
50	—	—	1,37	2,03	2,68	3,32	3,94	—	6,29

\* Vidi promjenu na str. 465!

**Bakrene cijevi, vučene (nastavak)**

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*					
	pri debljini stijenke (mm)					
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
54	2,20	2,91	—	—	—	—
55	—	—	3,67	—	—	—
56	—	—	—	4,45	—	—
57	—	—	3,81	4,53	5,93	7,27
58	—	—	—	—	6,04	7,41
60	—	3,24	4,02	4,78	6,26	7,69
64	2,62	3,47	—	—	—	—
65	—	—	4,37	—	—	—
66	—	—	—	5,28	—	—
70	—	3,80	4,72	—	—	9,09
74	—	4,03	—	—	—	—
75	—	—	5,07	—	—	—
76	—	—	5,14	6,12	8,05	9,95
80	—	—	5,47	—	8,50	10,5
84	—	4,59	—	—	—	—
85	—	4,64	5,77	—	—	—
86	—	—	—	6,96	—	—
89	—	—	6,05	7,21	9,51	11,7
100	—	5,48	—	8,14	—	—
105	—	—	7,56	—	—	—
106	—	—	—	8,64	—	—
108	—	—	—	8,81	11,6	14,4
114	—	—	—	9,31	12,3	—
120	—	—	8,21	—	—	16,1
130	—	—	—	—	—	17,5
133	—	—	—	10,9	14,4	—
150	—	—	—	—	—	20,3
159	—	—	—	—	17,3	21,5
170	—	—	—	—	18,6	23,1
190	—	—	—	—	—	25,9
194	—	—	—	—	21,3	—
200	—	—	—	—	—	27,3
219	—	—	—	—	—	24,0
267	—	—	—	—	—	29,4
273	—	—	—	—	—	30,1
324	—	—	—	—	—	35,8
368	—	—	—	—	—	40,7
419	—	—	—	—	46,4	—

\* Standardizirane su one cijevi, za koje je u tablici navedena duljinska masa.

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*								
	pri debljini stijenke (mm)								
	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
4	0,05	0,07	0,08	—	—	—	—	—	—
5	0,06	0,09	0,11	—	—	—	—	—	—
6	0,08	0,11	0,14	—	—	—	—	—	—
7	—	—	0,17	—	—	—	—	—	—
8	0,10	0,15	0,20	0,27	0,34	—	—	—	—
9	—	—	0,22	—	—	—	—	—	—
10	0,13	0,19	0,25	0,36	0,45	0,52	0,59	—	—
12	0,16	0,24	0,31	0,44	0,56	0,66	0,75	0,89	—
14	0,19	0,28	0,36	0,52	0,67	0,80	0,92	1,12	—
15	0,20	0,30	0,39	0,57	0,73	0,87	1,01	1,23	—
16	0,22	0,32	0,42	0,61	0,78	0,94	1,09	1,34	—
18	0,24	0,36	0,48	0,69	0,89	—	1,26	1,57	1,82
20	0,27	0,40	0,54	0,78	1,01	1,22	1,47	1,79	2,10
22	—	0,45	0,59	0,86	1,12	—	1,59	2,01	2,38
25	—	0,51	0,67	0,99	1,29	1,57	1,85	2,35	2,80
28	—	—	0,75	1,11	1,45	1,78	2,10	2,68	3,22
30	—	—	0,81	1,20	1,57	1,92	2,26	2,91	3,50
32	—	—	0,87	1,28	1,68	—	—	—	—
35	—	—	0,95	1,40	1,85	2,27	2,68	3,47	4,19
38	—	—	1,03	1,53	2,01	2,48	2,94	3,80	4,61
40	—	—	1,09	1,61	2,12	2,62	3,10	4,03	4,89
42	—	—	1,15	1,70	2,24	2,76	3,27	—	—
44,5	—	—	—	1,80	2,38	2,94	3,48	—	—
45	—	—	—	1,82	2,40	2,97	3,52	—	—
48	—	—	—	1,95	2,57	—	—	4,92	—
50	—	—	1,37	2,03	2,68	3,32	3,94	5,14	6,29
55	—	—	—	—	—	3,67	4,36	—	6,99
56	—	—	—	—	—	—	4,45	—	—
57	—	—	—	2,33	3,08	3,81	4,55	—	—
58	—	—	—	—	—	—	—	6,04	—
60	—	—	—	2,45	3,24	4,02	4,78	6,26	7,69
64	—	—	—	—	3,47	—	—	—	—
68	—	—	—	—	—	4,37	—	—	—
66	—	—	—	—	—	—	5,28	—	—
70	—	—	—	2,87	3,80	4,72	5,62	7,38	9,09

\* Vidi primjedbu na str. 467<sup>1</sup>

Vanjski promjer mm	Duljinska masa cijevi (kg/m)*					
	pri debljini stijenke (mm)					
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
75	—	5,07	—	—	—	—
76	4,14	5,14	6,12	—	—	—
80	—	5,42	6,46	8,50	10,5	—
85	4,64	5,77	—	—	11,2	—
86	—	—	6,96	—	—	—
89	4,87	6,05	7,21	—	—	—
100	5,48	—	8,14	10,7	13,5	—
104	5,70	—	—	—	—	—
105	—	7,16	—	—	—	—
106	—	—	8,64	—	—	—
108	—	7,37	8,81	11,6	—	—
114	—	7,79	9,31	—	—	—
120	—	8,21	—	—	16,1	—
125	—	8,56	—	13,5	16,8	—
130	—	—	—	—	17,5	—
133	—	9,12	10,9	14,4	17,9	—
150	—	—	—	—	20,1	—
159	—	10,9	13,1	17,1	21,5	—
160	—	—	—	17,5	—	—
168	—	11,6	13,8	18,3	—	—
170	—	—	—	—	21,1	—
190	—	—	—	—	25,9	—
194	—	13,4	16,0	—	—	—
200	—	—	—	21,9	21,5	—
219	—	—	18,1	24,0	29,9	—
267	—	—	22,1	29,4	36,6	—
273	—	—	22,6	30,1	37,5	—
324	—	—	—	35,8	44,6	53,3
368	—	—	—	40,7	50,7	60,7
419	—	—	—	46,4	57,9	69,3

\* Standardizirane su ove cijevi za koje je u tablici navedena duljinska masa - Masa je proračunana za gustoću od 8900 kg/m<sup>3</sup>. Pri gustoći slitine  $\rho$  kg/m<sup>3</sup> valja vrijednosti tablice pomnožiti s faktorom  $\rho/8900$ .

**Mjedi poluproizvodi***Mjedi šipke, irtiskane*

- Okrugle šipke (JUS C.D3.522 – 1982)
- Plosnate šipke (JUS C.D3.524 – 1956)
- Kvadratne šipke (JUS C.D3.526 – 1956)
- Šesterokutne šipke (JUS C.D3.528 – 1956)

*Mjedeni kutni profili*

- jednakokrani, prešani* (JUS C.D3.529 – 1956)
  - duljine krakova 10 × 10 .. 60 × 60 mm
- raznakračni, prešani* (JUS C.D3.530/531 – 1956)
  - duljine krakova 10 × 20 .. 25 × 50, 15 × 20 .. 30 × 45 mm

*Mjedena žica (okrugla)*

- prešana* (JUS C.D6.521 – 1956), promjeri 5 ... 15 mm

**Cinčani poluproizvodi**

Pri određivanju mase poluproizvoda od cinka računamo s gustoćom od 7180 kg/m<sup>3</sup>.

*Cinčani lim (JUS C.E4.020 – 1970)*

- debljina lima 0,2 ... 6 mm
- veličina ploče 1000 × 2000 (3000) mm

**Olovni poluproizvodi**

Pri određivanju mase poluproizvoda od olova računamo s gustoćom od 11400 kg/m<sup>3</sup>.

*Olovni lim (JUS C.E4.030 – 1963)*

- debljina lima 1 ... 4 mm
- širina 1000 mm
- duljina do 10000 mm

*Olovne cijevi*

- *dovodne cijevi* (JUS C.E4.040 – 1963)
  - unutarnji promjeri 10 ... 26 mm
  - debljina stijenki 2,0 ... 7 mm
- *odvodne cijevi* (JUS C.E4.041 – 1963)
  - unutarnji promjeri 30 ... 125 mm
  - debljina stijenki 2,0 ... 2,5 mm

*Olovna žica (JUS C.E6.050 – 1965)*

- promjeri 2 ... 20 mm

## ANORGANSKI NEKOVINSKI MATERIJALI

**Staklo**

Staklo se sastoji od natrijskih i kalcijskih (te kalijjskih i bornih) silikata. Posebna mu svojstva daju dodaci oksida nekih kovina (Pb, Mg, Al, Zn, Te).

Staklo je amorfno (nema kristalne strukture) i zato bez određenog tališta prelazi iz tekućeg u kruto stanje. Pri temperaturi 1300 do 1500 °C može biti tekuća talina (lijevanje!), pri temperaturi 1000 °C je gusta tekućina prikladna za preradu (puhanjem, vučenjem, valjanjem, prešanjem). Temperatura smekšavanja (prelaza u krutinu) je oko 500 °C. Kremično staklo – SiO<sub>2</sub> – smekšava se pri 1200 °C.)

Pri temperaturi okoliša je staklo u amorfnom stanju pothlađene tekućine. Njegova je tlačna čvrstoća 400 ... 1300 N/mm<sup>2</sup>, vlačna čvrstoća iznosi 30 ... 90 N/mm<sup>2</sup>.

Najznačajnija su svojstva stakla: propustivost za svjetlo (85 ... 90%), kemijska otpornost na zrak, vodu i kiseline (osim fluorovodične HF) i neprovodnost za električnu struju.

Upotreba: natrijsko staklo – za armature manjih zahtjeva; borno – za aparate s većim zahtjevima; kremično – za dijelove kod viših temperatura.

Brzim ohlađivanjem vrute staklene ploče javljaju se na površini tlačna naprezanja koje povećavaju čvrstoću na savijanje. Takvo se staklo pri lomu raspada na prašinu. Staklene ploče, s obih strana nhljepljene folijom od prozirne plastike, upotrebljava se kao sigurnosno staklo (npr. za automobile).

**Beton**

*Cementni beton* je umjetni kamen od cementa, betonskih dodataka (pijeska i šljunka) i vode. Nastaje skrućivanjem cementnog veziva (mješavine cementa s vodom).

Portland cement se sastoji od 1 dijela SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i najmanje 1,7 dijela CaO.

Volumenski omjer mješavine cement + pijesak	Tlačna čvrstoća betona* N/mm <sup>2</sup>	Volumenski omjer mješavine cement + pijesak + šljunak	Tlačna čvrstoća betona* N/mm <sup>2</sup>
1 : 4	22 ... 30	1 : 2 : 3	22 ... 25
1 : 5	18 ... 22	1 : 3 : 5	13 ... 18
1 : 8	9 ... 12	1 : 4 : 6	10 ... 12

\* Nakon 28 dana.

Zbog male vlačne čvrstoće (u odnosu na tlačnu) ojačavaju se vlačna područja u betonu čeličnim ulošcima (armirani beton). Ako su čelični ulošci prednapregnuti, izazivaju u neopterećenom stanju u betonu tlačna naprezanja radi kojih je moguće, da se pri opterećenju uopće ne pojavljuju vlačna naprezanja (prednapregnuti beton).

### Pjenasti beton

Normalni (teški) beton gustoće 2200... 2600 kg/m<sup>3</sup> provodi toplinu razmjerno dobro. Lakim dodacima (npr. mljevenom drvenom piljevinom, drvenom vunom i sl.) te odgovarajućom obradom stvaraju se u betonu pore (zrak) koje veoma snižuju njegovu gustoću (na 300... 500 kg/m<sup>3</sup>) pa mu zbog velikog smanjenja tlačne čvrstoće smanjuju nosivost, ali mu veoma povećavaju izolacijsku sposobnost.

### Polimerni beton

Polimerni beton je umjetni kamen pri kojemu umjesto cementa upotrebljavamo kao vezivo razna ljepljiva na bazi plastike (MMA, UP).

Polimerni beton (s 5... 15% veziva) postizava nakon jednog dana sljedeća mehanička svojstva:

tlačnu čvrstoću 70... 150 N/mm<sup>2</sup>, modul elastičnosti 15000... 30000 N/mm<sup>2</sup>, čvrstoću na savijanje 20... 40 N/mm<sup>2</sup>, temper. rasteljiv (15... 20) 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>

Upotrebljava se za temelje strojeva i konstrukcija, mjerne ploče. I polimerni beton može biti pjenast.

### Keramički materijali

Keramičke tvari sadrže većinom okside. Svi čisti oksidi su kemijski vrlo postojani i imaju visoka tališta

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	2046 °C	BeO:	2530 °C
SiO <sub>2</sub> :	1702 °C	ZrO <sub>2</sub> :	2700 °C

Sinterovani korund Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> odlikuje se velikom tvrdoćom 3800 HV 30 i velikom tlačnom čvrstoćom (Dodatkom Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> čistom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nastaje sinterovani rubin tvrdoće 4000 HV 30.)

Sinterovani korund upotrebljava se za izradu dijelova koji moraju biti posebno otporni na habanje (matrice za vučenje žice, dijelovi tekućih strojeva) i postojani u visokoj temperaturi (svječiice motora s unut. sagor. i sl.).

Tvrdoća, koja se ni pri visokim temperaturama (do 1200°) bitno ne smanjuje te mala toplinska provodnost su svojstva sinterovanoga korunda koja su naročito značajna za izradu alata za rezanje (tokarenje, glodanje) i brušenje.

Sastavljeni keramički materijal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> je veoma otporan na habanje (upotreba npr. pri dodirnim plohami mjenjača). Materijal MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> (kao i MgO · SiO<sub>2</sub>) vrlo je otporan na temperaturne promjene.

Od kvalitetne gline koja – osim Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – sadrži i SiO<sub>2</sub> te alkalne okside (kao i posebne dodatke) izrađen keramički materijal (kamenština) ima tlačnu čvrstoću 6,5... 13 N/mm<sup>2</sup>, tlačnu čvrstoću 320... 350 N/mm<sup>2</sup>. Zbog velike otpornosti prema kiselinama upotrebljava se u kemijskoj industriji za aparate i strojne dijelove (za pumpe, ventilatore, mješalice i sl.)

### Opeka

Opeka je pri temperaturi 900... 1300°C pečena glina (prven. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Tlačna čvrstoća opeka iznosi (po kvaliteti) 10... 25(... 35) N/mm<sup>2</sup>.

Normalni je format opeke 240 × 115 × 71 mm

### Vatrootalni keramički materijali

Talište mora biti najmanje 1580°C. Za kvalitetu su odlučni još: temperatura na kojoj se materijal pod tlakom smekšava; propustljivost za plinove; otpornost prema temperaturnim promjenama i prema kemijskim utjecajima.

Vatrootalne keramičke materijale dijelimo na:

- aktske* — glavna sastavina: kremen (SiO<sub>2</sub>),
- bazične* — glavna sastavina: dolomitna (CaO · MgO) ili magnezitna (MgO),
- neutralne* — glavna sastavina: glina, kaulin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>), glinica (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kromit (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ili ugljen (C).

Naziv	Sastav %	Talište °C	Otpornost prema tlaku do °C	Upotreba
silika I	> 94,5 SiO <sub>2</sub> < 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 3,5 CaO	1720	1630	teška opterećeni dijelovi pri visokim temperaturama, velika osjetljivost prema bazičnoj troski
silika II	> 92 SiO <sub>2</sub>	1670	1560	
kremen tamot (polukiselni)	≈ 90 SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - CaO : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1650	1470	srednje opterećeni dijelovi
lamot (bazični)	55... 60 SiO <sub>2</sub> 36... 41 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2... 0,6 CaO 0,8... 0,2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 1580	1400	manje opterećeni dijelovi ložišta (dinni kanali)
silimanit	55... 60 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ost. SiO <sub>2</sub>	≈ 1875	1620	otporni prema troski i temperaturnim promjenama
magnezit	85... 88 MgO 4... 6 SiO <sub>2</sub> 1... 2 CaO 1... 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4... 5 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 2000	1400	za peći s bazičnom oblogom, velika osjetljivost prema temperaturnim promjenama
kromni magnezit	> 42 MgO > 15 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≈ 1960	1560	otporni prema visokim temperaturama, bezim temperaturnim promjenama i utjecaju troske
karborund	45... 80 SiC 10... 25 SiO <sub>2</sub> 9... 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 2600	1700	osjetljiv prema temperaturnim promjenama; iznad 1600°C raspada zbog oksidirajućih plinova
ugljen	85... 90 C	> 2000	1750	lonci, peći, elektrode

## DRVO

Drvo se odlikuje malom gustoćom, razmjerno velikom čvrstoćom i lakom obradom.

Drvo upotrebljavamo kao gradivo (u građevinarstvu, brodogradnji, za vozila, u tekstilnoj industriji itd.) ili kao sirovinu (za izradu papira i celuloze).

Vrsta drveta	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Smjer s obzir vlakna	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>			
			vlačna	lačna	na savij.	smična
hrast	500...850	-	60 210 4	40 60 10	50 160	7 25
hučka	500...900	-	60 180 7	40 80 10	60 180	5...20 35
grab	500...850		50...200 6	40...80 10	50...140	10 50
jasen	510...910		30 220 7	30...60 10	50...120	7
hrast	400...950		50 180 5	40...60 10	30...100	5...25 50
orah	600...750		100 4	40 70 10	80 140	-
bor	300...900		40 190 7	30 80 10	40 200 90	5...15 20
jela	300...700	 L	50 120 2	40...50 4	40 110	5 25
smreka	300...700		40...240 3	30...70 5 10	40 120	5...10 25

Na zraku sušeno drvo ima oko (10)(2...15(20) postotaka vlage. Povećanjem vlage čvrstoća se osjetno smanjuje.

### Oplemenjeno drvo

Svojstva drveta možemo poboljšati rezanjem na tanke ploče - furnire i njihovim slepljivanjem.

Ukočeno drvo su slepljeni furniri i to:

- kao lamelirani nosači s jednosmjernim vlaknima (dobra čvrstoća u smjeru vlakana),
- kao vezane ploče s vlaknima pod kutom 45 ili 90° (u svim smjerovima jednolika čvrstoća)

Stolarske ploče (panel-ploče) imaju u unutrašnjosti slepljene letve, pokrivene s obje strana furnirom.

Vlaknatice (lesonit) su (razmjerno tanke) ploče, izrađene valjanjem drvene kaše od piljevine i ljepila.

Iverice su (razmjerno deblje) ploče, izrađene valjanjem drvene kaše, obiljepljene obostrano furnirom.

Oplemenjene drvene ploče su čvršće i praktički se ne savijaju.

## PLASTIČNE MASE

Plastične mase (plastika) su umjetne tvari čija su glavna sastojina polimeri (str. 96). S obzirom na karakteristična svojstva razvrstavamo ih u sljedeće glavne skupine:

### 1. Termoplasti

Termoplasti su umjetne tvari od polimera koje imaju međusobno fizikalno vezane makromolekule. Po stanju su više ili manje viskozne tekućine. Mogu biti amorfne ili djelomično kristalinične. Pri temperaturi okoliša su tvrdi, a pri zagrijavanju se smekšavaju (povratno). Lako se mogu preoblikovati i zavari-vati. Redovno su toplivi u posebnim organskim otapalima. Njihovi se otpaci lako regeneriraju i ponovno upotrebljavaju. Ovamo se ubrajaju npr.:

*amorfni termoplasti* (koji se skružuju odnosno smekšavaju do taline kontinuirano u širokom temperaturnom području)

PVC - polivinilklorid

PMMA - polimetilmetakrilat

PS - polistiren (polistirof)

PC - polikarbonat

ABS - akrilnitril butadiensiren

CN - celulozid

*djelomično kristalinični termoplasti* (koji se skružuju iz taline u uskom temperaturnom području - «talištu»)

PE - polietilen

PTFE - politetrafluoretilen

PP - polipropilen

PA - poliamid

SAN - stirenakrilnitril

PETP - polietilentereftalat

POM - polioksimetilen

(poliester)

### 2. Elasti

Elasti su umjetne tvari od polimera, koje imaju međusobno labavo vezane makromolekule. Dobivamo ih iz termoplasta vulkanizacijom (tj. kemijskim postupkom omreživanja). Uvijek su amorfni. Pri temperaturi okoliša su meko gumeno elastični. Već i najmanja naprežanja izazivaju velika elastična produ-ljenja. Ovamo ubrajamo npr.:

NR - prirodni kaučuk

BR - butilni kaučuk

PUR - poliuretanski kaučuk

NBR - akrilnitrilbutadienski

SBR - stirenbutadienski kaučuk

kaučuk

BR - butadienski kaučuk

SI - silikonski kaučuk

### 3. Duroplasti

Duroplasti su umjetne tvari od polimera koje imaju kemijski mrežom vezane makromolekule (nepovratni proces). Uvijek su amorfni. Oblikuju se (i učvršćuju) preko taline, a preoblikovanje je omeđeno. Teško se tope i zavaruju. Njihovi otpaci nisu upotrebljivi (ili samo kao dodatak). Ovamo spadaju npr.:

PF - fenolna smola (fenoplast)

UP - poliesterska smola

UF - uratna smola (amunoplast)

EP - epoksidna smola

MF - melaminska smola

PUR - poliuretanska smola

S obzirom na broj polimera te dodatak još i drugih organskih ili anorganskih tvari dijelemo plastu na sljedeće skupine:

1. *Homogeni plasti* sastoje se iz samo jednog polimera. Mogu biti u amorfnom, kristalnom ili (kristalno) miješanom stanju. Udio kristalne tvari u cjelokupnoj tvari (mješavini amorfne i kristalne tvari) određuje »stupanj kristalizacije« od koje ovise svojstva tvari.

2. *Heterogeni plasti* sastoje se od polimera i još jedne ili više kemijski različitih tvari koje su s polimerom vezane kemijski ili fizikalno. Ovdje se ubrajaju i međusobno miješani polimeri.

3. *Ukručeni plasti* sastoje se od polimera i još jedne ili više kemijski različitih tvari koje mogu biti organske ili anorganske te se većim dijelom osjetno razlikuju od polimera. Tvari su međusobno vezane fizikalno (rjetko kemijski). To su punila u ukrućenim plastima.

Kao punila koja se dodaju u tekućim plastima dolaze u obzir u prvom redu:

- staklena vuna i predivo
- kameno brašno
- tinjac
- azbestna vlakna i vrpce
- drveno brašno
- celuloza
- pamučna vlakna i tkanine
- umjetna svila.

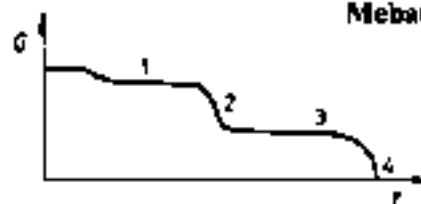
Svim vrstama plastu mogu se dodati svakakvi dodaci, npr. boje.

S obzirom na izbor jednog ili više međusobno miješanih polimera, kojima možemo dodati brojne druge tvari, dobivaju se plasti veoma raznovrsnih svojstava, prilagođenih zahtjevima upotrebe.

Plasti se (pre)oblikuju raznim tehnološkim postupcima (lijevanjem, prešanjem, istiskavanjem, zavarivanjem, ispuhivanjem, izvlačenjem, predenjem itd.) u:

- poluproizvode (cijevi, ploče, folije),
  - dijelove strojeva i aparata (kućišta, strojni elementi),
  - pjene, tvrde i meke (ulošci za blazine pokućstva, spužve za čišćenje, podne obloge),
  - vlakna (za predivo u tekstilnoj industriji)
- ili se upotrebljavaju kao pomoćna sredstva:
- lakove (za zaštitne ili ukrasne predmete),
  - ljepljive tvari (za keramiku, kovine, drvo, papir).

## Mehanička stanja plastu



Mehanička stanja plastu su ovisna o temperaturi. Ovu ovisnost pregledno prikazuje dijagram modla smika  $G$  pri raznim temperaturama  $T$ .

U dijagramu se razabiru sljedeća područja stanja:

*Tvrdoelastično područje (1)* obuhvaća niske temperature. U tom su području plasti (umjetne tvari) tvrdi i krhki pa je za njih karakteristična ograničena elastična deformacija velikog modla elastičnosti ( $E = 200 \dots 4000 \text{ N/mm}^2$ ), koji pada s povišenjem temperature.

Stoga uzeti kod plastu ne postoji čista elastična deformacija, jer se dodatno uvijek javlja - u ovisnosti o vremenu, temperaturi i opterećenju - i viskoelastičan udio preoblikovanja.

Modul smika se u tom području malo mijenja s temperaturom ( $G = 10^2 \dots 10^4 \text{ N/mm}^2$ ).

- *Područje smekšavanja (2)* obuhvaća temperature pri kojima je već omogućeno pomicanje molekula (koje u tvrdoelastičnom području - kad su molekule još »smrznute« - nije bilo moguće).

U području smekšavanja prelaze plasti iz krhkoga u žilavo stanje.

*Gumielastično područje (3)* rasprostire se od područja smekšavanja do taljenja plastu. Za to je područje karakteristična vrlo velika elastična deformacija uz mali modul elastičnosti ( $E = 2 \dots 600 \text{ N/mm}^2$ ).

Modul smika je u tom području neznatno ovisan o temperaturi ( $G = 0,1 \dots 100 \text{ N/mm}^2$ ).

Smekšavanje i gumielastično područje se javljaju samo pri amorfnim tvarima. Pri kristalnim tvarima, tvrdoelastično stanje seže sve do područja taljenja; pri djelomično kristalnim tvarima, smekšavanje i gumielastično područje su ovisni o stupnju kristalizacije.

*Područje taljenja (4)* se pri amorfnim tvarima izražava postupnim prijelazom tvari iz gumielastičnog stanja kroz plastično stanje (s izraženim tečenjem tvari) do potpunog taljenja. Pri djelomično kristalnim tvarima se taljenje zbiva u užem temperaturnom području, a još izrazitije je taljenje pri kristalnim tvarima.

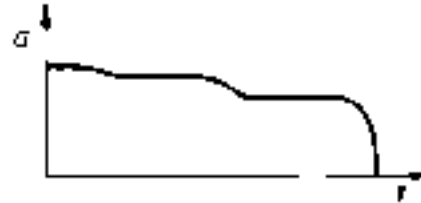
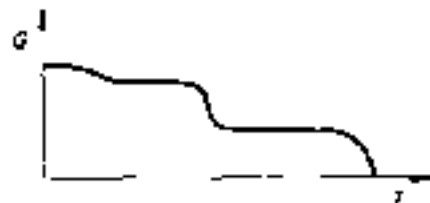
\*



## Termoplasti

Amorfni termoplasti  
PVC, PMMA, PC, PS, SAN, ABS

Djelomično kristalni termoplasti  
PE, PP, POM, PA, PTFE, PETP



Smekšavanje i gumielastično područje su izraziti

Smekšavanje i gumielastično područje su manje izraziti

Uobičajeni stupanj kristalizacije djelomično kristalnih termoplasta:

PA	35...45%	POM	70...80%
PE	45...80%	PTFE	60...80%
PP	50...80%	PETP	30...40%

### Mehanička svojstva termoplasta

Termoplast	Oznaka	Modul elast. kN/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća vlačna nasavij. N/mm <sup>2</sup>	Zarezna čvrstoća kljov. kJ/m <sup>2</sup>	Ivrdoća (kugl.) N/mm <sup>2</sup>
polietilen	PE - HD	0,7...1,4	18...35	36	40...65
polipropilen	PP	0,2...11,5	6...23	-	13...20
polivinilklorid	PVC tvrdi meki	1,0...3,5	50...75	110	75...155
polistiren	PS	3,2...3,3	45...65	90	120...130
stirenakril-nitril	SAN	3,6	70...85	100	150...190
akrilnitril-butadienstiren	ABS	1,9...2,7	32...45	75	80...120
polimetil metakrilat	PMMA	2,7...3,2	50...77	105	180...200
polioksimetilen	POM	2,8...3,2	62...70	110	150...170
politetrafluoretilen	PTFE	0,41	25...36	18	27...35
poliamid	PA 6	1,4	70...85	27	8...16
	PA 66	2,0	77...84	50	15...20
	PA 11	1,0	56	-	30...40
	PA 12	1,6	56...65	10...20	75
polikarbonat	PC	2,1...2,4	56...67	100	20...30
polietilen tereftalat	PETP	2,4	39	80	4...5
celulozni acetat	CA	2,2	28**	44	25
celul. acerbutilat	CAB	1,6	26**	38	30...35

\* Postojno produljenje > 400%. - \*\* Naprezanje tečenja  $R_p$  u 2.

### Toplinska svojstva i upotreba termoplasta

Oznaka	Ispit. pri Vlačno "C"	Područje vlačna "C"	Temper. rastop. 10 <sup>3</sup> K	Topl. vodljiv. W/(m·K)	Upotreba
PL - HD	70...75	125...135	2	0,50	Čigevi, profili, ploče, folije, pjene, vlakna. Prešani djelovi otporni na vodu, lužine, blage kiseline
LD	< 40	110...150	2,5	0,35	
PP	95	157...170	1,6	0,22	
PVC tvrdi meki	70...90		0,8	0,16	Čigevi, profili, folije, pjene. Djelovi kem. apar. (pumpo)
	40...60		1,5	0,13	
PS	86...91		0,7	0,17	Kućista i djelovi kućnih aparata, uređajke tehnike, vozila (karoserije), čamaca.
SAN	100...110		0,7	0,15	
ABS	90...105		1,0	-	
PMMA	40...108		0,7	0,19	Čisti bezbojni djelovi (pleksi, stakle) ili obojeni. Hlađaru podlož. djelovi. Klizni ležaji, zupčanići. Patentni zatvarači
POM	173		0,9	0,22	
PTFE	50...60		1,6	0,24	Brve glatkih dijelova, ležaji (bez maziva).
PA - 6		220	0,8	0,25	Djelovi otporni na hlađaru, udarce i dinamičko opterećenje. Kućista, klizni ležaji, zupčanići.
- 66		225...265	0,9	0,27	
- 11		-	0,9	0,23	
- 12		172...180	1,1	0,30	
PC	145...150	220...260	0,7	0,21	Ploče, folije. Providnu kućista.
PETP	80	255...258	0,8	0,24	Pruzarne folije, čvrste i čilave
CA	74...110		1,0	0,22	Čigevi, profili, ploče, folije (celofan). Češljevi, nadozi, igračke (požarna upotreba)
CAB	65...111		1,2	0,21	

### Uključeni termoplasti

Uključivanjem termoplasta se osjetno mijenjaju njihova mehanička svojstva: gustoća se povećava, čvrstoća jako raste, rasteljivost se veoma smanjuje. U vezi s tim promjenama mijenjaju se i druga mehanička svojstva.

Primjeri mehaničkih svojstava nekih termoplasta, uključenih staklenim vlaknima (sv ≈ 30%) (zaokružene prosječne vrijednosti)

Termoplast	PP	PP + sv	SAN	SAN + sv	POM	POM + sv
Gustoća kg/m <sup>3</sup>	906	1114	1080	1360	1410	1560
Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	29	71	75	110	66	110
Post. produlj. %	600	6	4	2	45	3
Termoplast	PA	PA + sv	PC	PC + sv	PETP	PETP + sv
Gustoća kg/m <sup>3</sup>	1135	1400	1200	1520	1330	1690
Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	75	180	65	100	39	193
Post. produlj. %	30	3	100	3	225	2

### Trajna čvrstoća termoplasta

Čvrstoća termoplasta vrlo je ovisna o trajanju opterećenja pa se s opterećenjem izrazito smanjuje.

### Vremenska statička čvrstoća termoplasta

Trajanje opterećenja min	Vremenska statička čvrstoća N/mm <sup>2</sup>			
	termoplasta			
	PE	PVC	PS	ABS
10 <sup>-6</sup>	60	210	90	135
10 <sup>-1</sup>	35	90	65	80
1	20	60	45	45
10 <sup>1</sup>	15	40	30	25
10 <sup>2</sup>	10	35	25	20
10 <sup>3</sup>	8	32	22	18

Naprezanja u termoplastu s vremenom popuštaju (relaksacija).

Prvotno se naprezanje uz konstantnu deformaciju smanjuje (što valja uzeti u obzir u stanovitim slučajevima, npr. pri brtvama).

Uz konstantno opterećenje deformacija raste - javlja se pužanje materijala, koje je ovisno o veličini opterećenja i njegovom trajanju (stoga treba pri projektiranju odabrati takvo opterećenje dijelova, pri kojem je s obzirom na pužanje - za određeno trajanje osigurana njihova funkcionalnost).

### Trajna dinamička čvrstoća termoplasta

Termoplast	PE	SAN	PA 6	PC
Broj titraja	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>
Trajna dinamička čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	17	20	30	6

### Vremenska dinamička čvrstoća polivinilklorida PVC

Broj titraja	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>
Vremen. dinam. čvrst. N/mm <sup>2</sup>	28	17	10	5

### Klizavost

Termoplasti posjeduju dobre klizne sposobnosti za ležaje i vodila (u kombinaciji kovicne i umjetne tvari). Mana je u maloj toplinskoj vodljivosti termoplasta, a time je i smanjena sposobnost odvođenja topline trenja.

Umjetna tvar	Koeficijent trenja		Dozvoljeni pritisak N/mm <sup>2</sup>
	bez podmazivanja	s podmazivanjem	
PE	0,18 ... 0,25	0,04 ... 0,07	10
PA	0,08 ... 0,25	0,01 ... 0,08	19
PA z MoS <sub>2</sub>	0,03 ... 0,14	0,01 ... 0,03	20

### Ovisnost vlačne čvrstoće termoplasta o temperaturi

Termoplast	Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup>								
	pri temperaturi °C								
	-50	25	0	25	50	75	100	125	150
PE	59	49	39	30	20	14	10	8	-
PVC	-	88	75	59	38	-	-	-	-
PS	83	76	69	62	49	34	-	-	-
PC	88	80	72	64	58	52	40	27	12

### Temperaturna upotrebljivost umjetne tvari (u °C)

PE	-100 ... 85	POM	-100 ... 100
PP	-30 ... 110	PTFE	-100 ... 165
PVC	-45 ... 80	PA	100 ... 145
PS	-100 ... 80	PC	-100 ... 120
PMMA	-100 ... 70	PE/TP	100 ... 100

### Kemijska postojanost termoplasta

Termoplast	Otpornost* prema					
	vodi	slabij. utop.	kiselinama	bazama	oksidaciju	rastapalima
PE	+	+	+	+	(-)	(+)
PP	+	+	-	+	-	(+)
PVC	+	+	(-)	(+)	(-)	-
PS	+	+	-	+	(-)	-
SAN	+	+	o	+	-	-
ABS	+	+	o	+	-	-
PMMA	o	+	o	o	(-)	-
POM	+	-	-	o	-	(o)
PTFE	+	+	+	+	++	+
PA	o	o	-	o	-	(o)
PC	+	+	(-)	-	-	(-)
PE/TP	+	+	o	-	-	(o)

\* + - velika otpornost

o - mala otpornost

- neiskusljiva otpornost

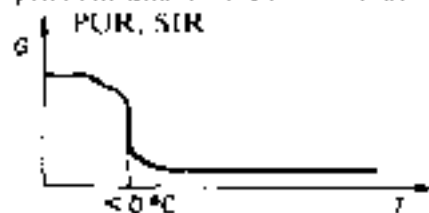
\*\* PTFE je negorljiv.

U zagradama su označena odstupanja od vrijednosti određene otpornosti

Starenje obuhvaća sve promjene u sastavu tvari što ih izazivaju mehanička opterećenja, više temperature, zračenje, električna struja, kemijske tvari itd.

Kemijsko raspadanje termoplasta koje pospješuju uzročnici starenja mogu trajati više desetljeća.

Tipični elasti:  
prirodni kaučuk s 1...10% S.



Gumielastično područje počinje već pri temperaturi pod 0 °C

#### Mehanička svojstva elasta

Modul elastičnosti  $E = 700 \dots 1000 \text{ N/mm}^2$

Elasti		Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>		Postotak prodlj %	Temperatura upotrebe °C
kaučuk	oznaka		necvr	utvr		
prirodni -	NR	930	22	38	600	- 25 ... 65
poliuretanski - (meki)	PUR	1260	20	12	450	- 100 ... 50
stiren-butadienski -	SBR	950	5	25	500	35 ... 110
butadienski	BR	930	2	38	450	- 30 ... 100
butilni -	IIR	930	5	21	600	- 30 ... 120
akrilnitril-butadienski -	NBR	1000	6	25	450	20 ... 110
silikonski	SIR	1250	1	10	350	- 100 ... 200

**Prirodni kaučuk NR** ima odlične elastične sposobnosti i vrlo dobru udarnu čvrstoću. Postojan je u vodi i kiselinama; manje postojan u mineralnim uljima i mazivima. (Plastevi kotača za teretnjake, gumene opruge, ležaji, brtve.)

**Poliuretanski kaučuk PUR** vanredno je otporan prema habanju, dohno upotrebljiv samo do temperature 50 °C. Postojan je u mineralnim uljima, ali nepostojan u vrućoj vodi. (Valjni koluti, ležajne blazinice, brtve, amortizeri.)

**Stirenbutadienski kaučuk SBR** (luna) veoma je otporan prema habanju i većim temperaturnim opterećenjima; pri dinamičkom opterećenju se jako zagrijava. (Plastevi točkova za osobna vozila, brtve, gipke cijevi, profili, trake.)

**Butadienski kaučuk BR** (luna CB) vrlo je otporan prema habanju pa se zato upotrebljava za vozni sloj plasteva kotača.

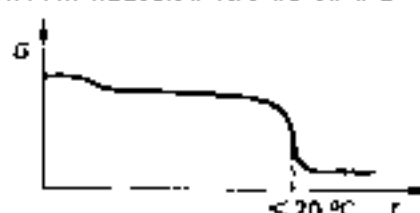
**Butilni kaučuk IIR** vrlo je otporan na vremenske utlive i starenje te vrlo malo propušta plinove. (Zračnice kotača za vozila, gipke cijevi.)

**Akrlnitrilbutadienski kaučuk NBR** (perhunan) postojan je u mineralnim uljima, mastima i tekućim gorivima, ali nepostojan u kluzanim ugljikovodjcima. (Gibljive cijevi za benzin, membrane.)

**Silikonski kaučuk SIR** je izvanredno otporan na temperaturu. Postojan je u ulju i mastima, ali neotporen prema vrućoj vodi, ugljikovodjcima, lužinama i kiselinama. (Brtve preh. uređaja, transportne trake, električne izolacije.)

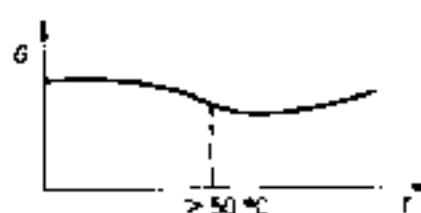
#### Elasti

Tipični termoelasti:  
prirodni kaučuk s više od 10% S



Gumielastično područje počinje već pri temperaturama do 20 °C

#### Duroplasti



Duroplasti su amorfni (kristalnih područja nema).

Temperatura smekšavanja (koja nije izrazita) leži nad 50 °C

Taljenja nema jer duroplasti prije raspadnu

#### Mehanička svojstva duroplasta

Duroplasti		Gusti kg/m <sup>3</sup>	Modul elasti N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća		Zarez član kJ/m <sup>2</sup>	Temper upotrebe °C
smola	oznaka			vlač	na savij		
fenolna - (fenoplast)	PF	1400	700	25	70	1,5	< 125
urafuk - (aminoplast)	UF	1500	-	30	80	1,5	< 100
melaminska	MF	1500	900	30	80	1,5	< 120
poliesterska	UP	1200	1500	45	85	1,5	< 200
epoksidna -	EP	1200	2700	55	105	1,2	< 80
poliuretanska - (tvrda)	PUR	1500	-	85	170	25	< 130

#### Mehanička i toplinska svojstva ukrućenih duroplasta

Svi duroplasti, ukrućeni punjima, mehanički su znatno poboljšani.

Duroplasti	Dodatak stakla (pletiva) %	Gusti kg/m <sup>3</sup>	Modul elasti N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća vlačna N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća na savij N/mm <sup>2</sup>	Čvrstoća tlačna N/mm <sup>2</sup>	Temper rastez. 10 <sup>3</sup> K <sup>-1</sup>	Topl vodljiv. W/m.K
UP	25	1350	5000	70	120	120	35	0,15
	50	1600	10000	200	220	160	18	0,24
	65	1800	19000	300	350	280	15	0,26
	65*	1800	29000	500	550	400	12	0,26
EP	50	1600	10000	220	280	320	38	0,24
	65	1800	18000	350	400	300	15	0,26
	65*	1800	30000	700	800	600	12	0,26

\* Uzdužni smjer pletiva

**Fenolna smola (fenoplast PF)** upotrebljava se za manje opterećene predmete. (Armature, obloge košnica, lopatična kola, izolacijski dijelovi - bakelit.)

**Urafukna smola (aminoplast UF)** služi za malo opterećene predmete (santarnu tehniku, električne instalacije). U vezi sa prehranom je nepotrebna.

**Melaminska smola MF** nanijena je za predmete s većim opterećenjem, npr. za dekorativne ploče (ultrapas).

**Poliesterska smola UP** polimerizira se s ukrućivačem. (Cijevi, profili, posude, dijelovi pokućstva, dijelovi vozila, čamci, letjelice.)

**Epoksidna smola EP** se također polimerizira s ukrućivačem. Upotrebljava se za dijelove s većim zahtjevima. Ima natprosječnu adhezivnu sposobnost (araldit).

**Poliuretanska smola PUR** je u prvom redu električni materijal.

Pjenasti plasti

Oni se proizvode posebnim tehnološkim postupkom (pjenušanjem plastu u žilavo-tekućem stanju). Karakteristični su za njih mala gustoća ( $50 \dots 400 \text{ kg/m}^3$ ) i sastav ćelija.

Sastav ćelija je ili s otvorenim ćelijama (s neposrednim prelazom plinova i tekućina) ili sa zatvorenim ćelijama (pri kojima je prelaz plinova i tekućina moguć jedino difuzijom).

Pjenasti plasti mogu biti krhko-tvrđi (lome se), žilavo tvrdi (pod tlakom se dijelom deformiraju) i meko-elastični.

Mehanička i toplinska svojstva pjenastih plastu

Pjenasti plast	Gustoća kg/m <sup>3</sup>	Čvrstoća		Toplin. vodljivost W/(m·K)	Temperatura upotrebe °C
		vlačna N/mm <sup>2</sup>	tlačna N/mm <sup>2</sup>		
meko-tvrđi PF	40 ... 100	0,1 ... 0,4	0,2 ... 0,9	0,025	< 130
	5 ... 15	-	0,01 ... 0,05	0,03	< 90
žilavo tvrdi PS	15 ... 30	0,1 ... 0,5	0,06 ... 0,25	0,032	70 ... 80
	30 ... 35	> 0,5	> 0,15	0,033	80 ... 85
	40 ... 60	> 0,5	> 0,5	0,033	80 ... 85
PVC	50 ... 130	0,7 ... 1,6	0,3 ... 1,1	0,038	< 60
PUK	20 ... 100	0,2 ... 1,1	0,1 ... 0,9	0,021	< 80
meko-elastični:	2,5 ... 40	0,1 ... 0,2	-	0,036	< 100
	30 ... 70	0,3 ... 0,6	-	0,045	-70 ... 35
	100 ... 200	0,8 ... 2,0	-	0,05	-70 ... 110
	50 ... 70	0,3	-	0,036	60 ... 30
PVC*	100	0,5	-	0,041	-60 ... 50
PUK**	20 ... 45	0,15	-	0,045	40 ... 100

\* Pretežno zatvorene ćelije - \*\* Pretežno otvorene ćelije.

Vlaknasti plasti

Vlaknasti plasti (sintetička vuna) proizvode se od odgovarajućih vrsta plastu i to iz njihove taline ili rastopine (sušim ili vlažnim postupkom).

Za proizvodnju vlakana dolaze u obzir u prvom redu:

- polietilen, polipropilen - za vrpce, mreže (ribarske, plivaju na vodi)
- polistiren - za vlakna promjera  $\geq 10 \mu\text{m}$
- vinilni (ko)polimeri - za kemijski otporne proizvode (filteri, zaštita)
- akrilnitrilni polimeri - za odjevne predmete (dralon, orlon...)
- poliamidi - za odjevne predmete (perlon, najlon...)
- poliuretani - za elastične odjevne predmete (čarape, kupaće gaćice)
- politereftalni kiseli ester - za odjevne predmete (dialon, trevira...), često miješani vunom i pamukom, za tehn. upotrebu (remenje, transportne trake itd.)

Standardni brojevi

(JUS A.40.001 - 1983)

Za brojčane vrijednosti različitih veličina (duljina, napon itd.) upotrebljavamo standardne brojeve (prema Renardu, prijedlog ISO).

Standardni brojevi su zaokružene vrijednosti članova geometrijskih redova sa stupnjevimu

$$\sqrt[10]{10}, \sqrt[10]{10}^2, \sqrt[10]{10}^3, \sqrt[10]{10}^4 \text{ ili } \sqrt[10]{10}^n$$

Razvrstani su u osnovne redove R 5, R 10, R 20 i R 40 te izuzetni red R 80. Njihove brojčane vrijednosti za decimalni interval od 1 do 10 vide se u tablici (desno).

Ograničenje reda označujemo - ako je potrebno - grančnim članom u zagradi, npr.

$$R 5 (16 \dots) \quad R 10 (\dots 400) \\ R 20 (2,5 \dots 5)$$

Izvedeni redovi nastaju ako se iz nekog osnovnog ili izuzetnog reda standardnih brojeva uzme svaki drugi, treći, ... n-ti član, npr.:

R 10/3 (... 80...) je red koji sadrži svake treći član iz osnovnog reda R 10, ali mora sadržavati standardni broj 80

Osnovni redovi imaju prednost pred izuzetnim ili izvedenim redovima.

Ako je upotreba standardnih brojeva potpuno isključena, upotrebljavaju se prilagođeni brojevi.

1,05	2,1	2,4	3,5	4,8
1,1	2,2	2,6	3,6	5,5
1,2	2,25	3,2	3,8	7,0
1,3	2,35	3,4	4,2	

R 5	Osnovni redovi			Izuzetni red	
	R 10	R 20	R 40	R 80	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03
			1,06	1,06	1,09
		1,12	1,12	1,12	1,15
			1,18	1,18	1,22
	1,25	1,25	1,25	1,25	1,28
			1,32	1,32	1,36
		1,40	1,40	1,40	1,45
			1,50	1,50	1,55
1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,65
			1,70	1,70	1,75
		1,80	1,80	1,80	1,85
			1,90	1,90	1,95
	2,00	2,00	2,00	2,00	2,06
			2,12	2,12	2,18
		2,24	2,24	2,24	2,30
			2,36	2,36	2,43
2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,58
			2,65	2,65	2,72
		2,80	2,80	2,80	2,90
			3,00	3,00	3,07
	3,15	3,15	3,15	3,15	3,25
			3,35	3,35	3,45
		3,55	3,55	3,55	3,65
			3,75	3,75	3,87
4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,12
			4,25	4,25	4,37
		4,50	4,50	4,50	4,62
			4,75	4,75	4,87
	5,00	5,00	5,00	5,00	5,15
			5,30	5,30	5,45
		5,60	5,60	5,60	5,80
			6,00	6,00	6,15
6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,50
			6,70	6,70	6,90
		7,10	7,10	7,10	7,30
			7,50	7,50	7,75
	8,00	8,00	8,00	8,00	8,25
			8,50	8,50	8,75
		9,00	9,00	9,00	9,25
			9,50	9,50	9,75
10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	

0,010		1 mm		iz. vr. **	1		10 mil.		iz. vr. **
R 5	R 10	R 20*			R 5	R 10	R 40*		
0,0100	0,0100	0,0100			1,00	1,00	1,00		
		0,0112	0,011				1,06	1,05	
	0,0125	0,0125	0,012				1,12	1,1	
		0,0140					1,18	1,15	
0,0160	0,0160	0,0160		0,015		1,25	1,25	1,2	
		0,0180					1,32	1,3	
	0,0200	0,0200					1,40		
		0,0224	0,022				1,50		
0,0250	0,0250	0,0250			1,60	1,60	1,60		
		0,0280					1,70		
	0,0315	0,0315	0,032	0,030			1,80		
		0,0355	0,036	0,035			1,90		
0,0400	0,0400	0,0400				2,00	2,00		
		0,0450				2,00	2,12	2,1	
	0,0500	0,0500					2,24	2,2	
		0,0560		0,055			2,36	2,35	2,4
0,0630	0,0630	0,0630			2,50	2,50	2,50		
		0,0710		0,070			2,65		2,6
	0,0800	0,0800					2,80		
		0,0900					3,00		
0,100	0,100	0,100				3,15	3,15	3,2	
		0,112	0,11				3,35	3,4	
	0,125	0,125	0,12				3,55	3,6	3,5
		0,140					3,75	3,8	
0,160	0,160	0,160		0,15	4,00	4,00	4,00		
		0,180					4,25	4,2	
	0,200	0,200					4,50		
		0,224	0,22				4,75	4,8	
0,250	0,250	0,250				5,00	5,00		
		0,280					5,30		
	0,315	0,315	0,32	0,30			5,60		5,5
		0,355	0,36	0,35			6,00		
0,400	0,400	0,400			6,30	6,30	6,30		6,0
		0,450					6,70		6,5
	0,500	0,500					7,10		7,0
		0,560		0,55			7,50		
0,630	0,630	0,630				8,00	8,00		
		0,710		0,70			8,50		
	0,800	0,800					9,00		
		0,900					9,50		
1,000	1,000	1,000			10,00	10,00	10,00		

\* Brojevi desno su prilagođeni brojevi. — \*\* iz. vr. = izuzetne vrijednosti.

10.		100 mm		iz. vr. **	100		1000 mm		iz. vr. **
R 5	R 10	R 40*			R 5	R 10	R 40*		
10	10	10			100	100	100		
		10,6	10,5				106	105	
		11,2	11				112	110	
		11,8	11,5				118	115	
	12,5	12,5	12			125	125	120	
		13,2	13				132	130	
		14					140		
		15					150		
16	16	16			160	160	160		
		17					170		
		18					180		
		19					190		
	20	20				200	200		
		21,2	21				212	210	
		22,4	22				224	220	
		23,6	23,5	24			236	235	
25	25	25			250	250	250		
		26,5		26			265		
		28					280		
		30					300		
	31,5	31,5	32			315	315	320	
		33,5	34				335	340	
		35,5	36	35			355	360	
		37,5	38				375	380	
40	40	40			400	400	400		
		42,5	42				425	420	
		45					450		
		47,5	48				475	480	
	50	50				500	500		
		53					530		
		56		55			560		
		60					600		
60	63	63			630	630	630		
		67		65			670		
		71		70			710		
		75					750		
	80	80				800	800		
		85					850		
		90					900		
		95					950		
100	100	100			1000	1000	1000		

\* Brojevi desno su prilagođeni brojevi. — \*\* iz. vr. = izuzetne vrijednosti.

Sustav dosjedanja ISO međunarodno je općenito uveden, a u nas i standardiziran.

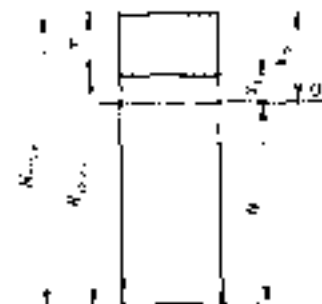
**Tolerancije mjera** prema ISO (JUS M A1.110/111/12 - 1968)

a) Osnovni pojmovi

Nazivna mjera  $N$       mjera koju unosimo u crteže. Obično je to zaokružena mjera (vidi standardne duljine na str. 484 i 485).  
 Stvarna mjera  $N_d$       mjera, koju određujemo mjerenjem na izrađenom predmetu. U toj je mjeri uključena i netočnost mjerenja  
 Granična mjera      najveća ili najmanja mjera koju još dopuštamo  
 Najveća mjera  $N_{max}$       veća od obiju graničnih mjera  
 Najmanja mjera  $N_{min}$       manja od obiju graničnih mjera  
 Gornje odstupanje  $x_p$       razlika između najveće i nazivne mjere ( $N_{max} - N$ )  
 Donje odstupanje  $x_n$       razlika između najmanje i nazivne mjere ( $N_{min} - N$ )  
 Tolerancija mjere  $T$       razlika između najveće i najmanje mjere ( $T = N_{max} - N_{min}$ )

Polje tolerancije      sve mjere u okviru tolerancije  
 Nul-linija (0)      crta u grafički prikazanom tolerancijskom polju, koja odgovara nazivnoj mjeri

Tolerancijsko polje može se rasprostirati s obje strane nul-linije, a može cijelo biti ispod nul-linije ili iznad nje (vidi donju sliku). Prema tome može gornje odstupanje biti pozitivno, a donje negativno, ili pak mogu oba odstupanja biti pozitivna ili negativna.



Temperatura pri mjerenju: 20 °C.

b) Osnovne tolerancije

Tolerancije su podjeljene u 18 osnovnih redova. Mjerimo ih međunarodnom jedinicom tolerancije  $i$ , koja ovisi o nazivnoj mjeri  $N$ , a određena je brojčanom jednakšom

$$i = 0,45 \sqrt[3]{N} + 0,001 N$$

u kojoj mjerimo nazivna mjera  $N$  u mm, a mjera tolerancije  $i$  u  $\mu m$

Red tolerancije	Tolerancija	Red tolerancije	Tolerancija	Red tolerancije	Tolerancija
IT 01	$0,3 + 0,008 \sqrt{N}$	IT 5	$7 i$	IT 11	$100 i$
IT 0	$0,5 + 0,012 \sqrt{N}$	IT 6	$10 i$	IT 12	$160 i$
IT 1	$0,8 + 0,020 \sqrt{N}$	IT 7	$16 i$	IT 13	$250 i$
IT 2	—*	IT 8	$25 i$	IT 14	$400 i$
IT 3	—*	IT 9	$40 i$	IT 15	$640 i$
IT 4	—*	IT 10	$64 i$	IT 16	$1000 i$

\* Vrijednosti za redove tolerancija IT 2, IT 3 i IT 4 su geometrijski stupanjčane između redova IT 1 i IT 5.

Upotreba osnovnih tolerancija:

IT 01...IT 6 — uglavnom za preciznu mehaniku i mjerila,  
 IT 5...IT 11 — uglavnom za dosjede elemenata strojeva,  
 IT 12...IT 16 — za veće tolerancije pri obradi.

c) Položaj tolerancijskog polja

označen je s obzirom na nul-liniju slovima, a to za vanjske mjere (rukavce) — malim slovima:  
 a b c d e f f f g g h j (j<sub>s</sub>) k m n p r s t u v x y z za z b z c  
 za unutarne mjere (provrt) — velikim slovima:  
 A B C D D E E F F G G H J (J<sub>s</sub>) K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC.

Tolerancijska polja a do h leže ispod nul-linije (polje h se dotiče nul-linije). Polje j seže s obje strane nul-linije, dok su polja k do zc iznad nje. Tolerancijska polja A do H leže iznad nul-linije (polje H se dotiče nul-linije). Polje J seže s obje strane nul-linije, dok su polja K do ZC ispod nje.

d) Oznake tolerancijskih polja

Tolerancijska polja označujemo slovom (oznaka položaja tolerancijskog polja) i karakterističnom brojkom reda tolerancije, npr. H7 — znači tolerancijsko polje za provrt koje se rasprostire od nul-linije naviše za vrijednost IT 7 (= 16 i).

Sustav dosjedanja ISO obuhvaća tolerancijska polja u svim položajima od a do zc i od A do ZC, te svako sa svim osnovnim tolerancijama od IT 01 do IT 16. Međutim, s obzirom na potrebu da broj mjerila bude što manji, upotrebljavamo u praksi samo nekoliko najprikladnijih tolerancijskih polja.

Na str. 488 do 491 dane su vrijednosti onih tolerancijskih polja za provrte i rukavce koje, prema iskustvu u strojarstvu, većinom svuda zadovoljavaju (u odgovaraju 1 i 2. stupnju prednosti dopuštenih dosjedanja prema JUS M A1.200/201/202/203 - 1968).

Nazivna mjera (mm)	g11	c11	d9	e8	f7	g6	h6	h8	h9	h11
3	-270	-60	20	-14	6	2	0	0	0	0
	-330	-120	-45	-28	-16	-8	-6	-14	-25	-60
3) ... 6	-270	-70	-30	-20	-10	-4	0	0	0	0
	-145	-145	-60	-38	-22	-12	-8	-18	-30	-75
6) ... 10	-280	-80	-40	-25	-13	-5	0	0	0	0
	-370	-170	-76	-47	-28	-14	-9	-22	-36	-90
10) ... 18	-290	-95	-50	-32	-16	-6	0	0	0	0
	-400	-205	-93	-59	-34	-17	-11	-27	-43	-110
18) ... 30	-300	-110	-65	-40	-20	-7	0	0	0	0
	-430	-240	-117	-73	-41	-20	-13	-33	-52	-130
30) ... 40	-310	-120	-80	-50	-25	-9	0	0	0	0
	-470	-280	-142	-89	-50	-25	-16	-39	-62	-160
40) ... 50	-320	-130	-142	-89	-50	-25	-16	-39	-62	-160
	-480	-290								
50) ... 65	-340	-140	-100	-60	-30	-10	0	0	0	0
	-530	-330	-174	-106	-60	-29	-19	-46	-74	-190
65) ... 80	-360	-150	-174	-106	-60	-29	-19	-46	-74	-190
	-550	-340								
80) ... 100	-380	-170	-120	-72	-36	-12	0	0	0	0
	-600	-390	-207	-126	-71	-34	-22	-54	-87	-220
100) ... 120	-410	-180	-207	-126	-71	-34	-22	-54	-87	-220
	-630	-400								
120) ... 140	-460	-200	-145	-85	-43	-14	0	0	0	0
	-710	-450	-245	-148	-83	-39	-23	-63	-100	-250
140) ... 160	-520	-210	-245	-148	-83	-39	-23	-63	-100	-250
	-770	-460								
160) ... 180	-580	-230	-285	-172	-96	-44	-29	-72	-115	-290
	-830	-480								
180) ... 200	-660	-240	-170	-100	-50	-15	0	0	0	0
	-950	-530	-285	-172	-96	-44	-29	-72	-115	-290
200) ... 225	-740	-260	-285	-172	-96	-44	-29	-72	-115	-290
	-1030	-550								
225) ... 250	-820	-280	-190	-110	-56	-17	0	0	0	0
	-1110	-570	-320	-191	-108	-49	-32	-81	-130	-320
250) ... 280	-920	-300	-320	-191	-108	-49	-32	-81	-130	-320
	-1240	-620								
280) ... 315	-1050	-330	-210	-125	-62	-18	0	0	0	0
	-1370	-650	-350	-214	-119	-54	-36	-89	-140	-360
315) ... 355	-1200	-360	-350	-214	-119	-54	-36	-89	-140	-360
	-1560	-720								
355) ... 400	-1350	-400	-230	-135	-68	-20	0	0	0	0
	-1710	-760	-385	-232	-131	-60	-40	-97	-155	-400
400) ... 450	-1500	-440	-400	-232	-131	-60	-40	-97	-155	-400
	-1900	-840								
450) ... 500	-1650	-480	-385	-232	-131	-60	-40	-97	-155	-400
	-2050	-880								

Nazivna mjera (mm)	j6	k6	n6	r6	s6	u8	z5
3	+4	+6	+10	+16	+20	+32	+34
	-2	0	-4	-10	+14	+18	+20
3) ... 6	+6	+9	+16	+23	+27	+41	+46
	2	+1	+8	-15	+19	+23	+28
6) ... 10	+7	+10	+19	+28	+32	+50	+56
	-2	-1	+10	+19	-23	-28	+34
10) ... 14	+8	+12	+23	+34	+39	+60	+67+40
14) ... 18	+3	+1	+12	+21	+28	-33	-72+45
18) ... 24	+9	+15	+28	+41	+48	+74+41	+87+54
24) ... 30	+4	+2	+15	+28	+35	+83+48	+97+64
30) ... 40	+11	+18	+33	+50	+59	+60	+80
	-5	+2	+17	+34	+43	+109	+136
40) ... 50						+70	-97
50) ... 65	+12	+21	+39	+60	+72	+133	+168
	-7	+2	+20	+41	-53	+87	+122
65) ... 80						+78	+148
						-59	-102
80) ... 100	+13	+25	+45	+73	+93	+178	+232
	-9	+3	-23	+51	+71	+124	+178
100) ... 120						+198	+264
						+79	+144
120) ... 140						+88	+233
						-92	+170
140) ... 160	+14	+28	+52	+90	+125	+253	+343
	-11	-3	-27	+65	+100	+190	+280
160) ... 180						+93	+273
						+108	+210
180) ... 200						+106	+422
						+77	+236
200) ... 225	-16	+33	+60	+109	+159	+330	+451
	-13	+4	-31	+80	+130	+258	+385
225) ... 250						+113	+356
						+84	+284
250) ... 280	+16	+36	+66	+126	+190	+396	+536
	-16	+4	+34	+94	+158	+315	+475
280) ... 315						+130	+606
						+98	+525
315) ... 355	+18	+40	+73	+144	+226	+479	+679
	-18	+4	+37	+108	+190	+390	+590
355) ... 400						+150	+749
						-114	+660
400) ... 450	+20	+45	+80	+166	+272	+587	+837
	-20	+3	+40	+126	+232	+490	+740
450) ... 500						+172	+917
						+132	+820

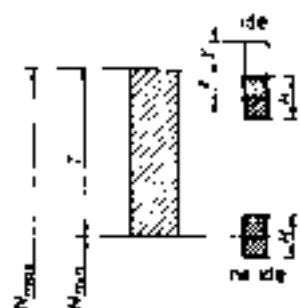
Nazivna mjera (mm)	A 11	C 11	D 10	E 9	F 8	G 7
... 3	+ 330 + 270	+ 120 + 60	- 60 + 20	+ 39 + 14	+ 20 + 6	- 12 + 2
3) ... 6	+ 345 + 270	+ 145 + 70	+ 78 + 30	+ 50 + 20	+ 28 + 10	+ 16 + 4
6) ... 10	+ 370 + 280	+ 170 + 80	+ 98 + 40	+ 61 + 25	+ 35 + 13	+ 20 + 3
10) ... 18	+ 400 + 290	+ 205 + 95	- 120 + 50	+ 75 + 32	+ 43 + 16	+ 24 + 6
18) ... 30	+ 430 + 300	+ 240 + 110	+ 149 + 65	+ 92 + 40	+ 53 + 20	+ 28 + 7
30) ... 40	+ 470 + 310	+ 280 + 120	+ 180	- 112	+ 64	+ 34
40) ... 50	+ 480 + 320	+ 290 + 130	+ 80	- 50	+ 25	+ 9
50) ... 65	+ 530 + 340	+ 330 + 140	- 220	+ 134	+ 76	+ 40
65) ... 80	+ 530 + 360	+ 340 + 150	+ 100	+ 60	+ 30	+ 10
80) ... 100	+ 600 + 380	+ 390 + 170	+ 260	+ 159	+ 90	+ 47
100) ... 120	+ 630 + 410	+ 400 + 180	+ 120	+ 72	+ 36	+ 12
120) ... 140	+ 710 + 460	+ 450 + 200				
140) ... 160	+ 770 + 520	+ 460 + 210	- 305 + 145	+ 185 + 83	+ 106 + 43	+ 54 + 14
160) ... 180	+ 830 + 580	+ 480 + 230				
180) ... 200	+ 950 + 680	+ 530 + 240				
200) ... 225	+ 1030 + 740	+ 550 + 260	- 355 + 170	+ 215 + 100	+ 122 + 50	+ 61 + 15
225) ... 250	+ 1110 + 820	+ 570 + 280				
250) ... 280	+ 1240 + 920	+ 620 + 300	+ 400	+ 240	+ 137	+ 69
280) ... 315	+ 1370 + 1050	+ 650 + 330	+ 190	- 110	+ 56	+ 17
315) ... 355	+ 1560 + 1200	+ 720 + 360	+ 440	- 265	+ 151	+ 75
355) ... 400	+ 1710 + 1350	+ 760 + 400	+ 210	- 125	+ 62	+ 18
400) ... 450	+ 1900 + 1500	+ 840 + 440	+ 480	+ 290	+ 165	+ 83
450) ... 500	+ 2050 + 1650	+ 880 + 480	+ 230	+ 135	+ 68	+ 20

Nazivna mjera (mm)	H 6	H 7	H 8	H 9	H 11
... 3	- 6 0	- 10 0	+ 14 0	+ 25 0	+ 60 0
3) ... 6	- 8 0	- 12 0	+ 18 0	+ 30 0	+ 75 0
6) ... 10	- 9 0	- 15 0	+ 22 0	+ 36 0	+ 90 0
10) ... 18	+ 11 0	- 18 0	+ 27 0	+ 43 0	+ 110 0
18) ... 30	+ 13 0	+ 21 0	+ 33 0	+ 52 0	+ 130 0
30) ... 40	- 16 0	+ 25 0	+ 39 0	+ 62 0	+ 160 0
40) ... 50					
50) ... 65	- 19 0	+ 30 0	+ 46 0	+ 74 0	+ 190 0
65) ... 80					
80) ... 100	- 22 0	+ 35 0	+ 54 0	+ 87 0	+ 220 0
100) ... 120					
120) ... 140					
140) ... 160	+ 25 0	+ 40 0	- 63 0	+ 100 0	+ 250 0
160) ... 180					
180) ... 200					
200) ... 225	+ 29 0	- 46 0	+ 72 0	+ 115 0	+ 290 0
225) ... 250					
250) ... 280	- 32 0	+ 52 0	+ 81 0	+ 130 0	+ 320 0
280) ... 315					
315) ... 355	+ 36 0	- 57 0	+ 89 0	+ 140 0	+ 360 0
355) ... 400					
400) ... 450	+ 40 0	+ 63 0	+ 97 0	+ 155 0	+ 400 0
450) ... 500					



### Tolerancije mjerila

#### Tolerancije mjerila za rukavce (JUS M.A1.310 - 1983)



- $N_{max}$  — najveća mjera rukavca
- $N_{min}$  — najmanja mjera rukavca
- $T (= N_{max} - N_{min})$  — tolerancija mjere rukavca
- $H$  — tolerancija izrade mjerila za rukavce
- $z$  — položaj tolerancijskog polja za novo mjerilo »ide« ispod najveće mjere  $N_{max}$
- $y$  — najveće odstupanje istrošenog mjerila »ide« iznad najveće mjere  $N_{max}$
- Mjerilo »ide« (dobro) mora ići preko rukavca.
- Odstupanja tog mjerila — mjerena od najveće mjere rukavca  $N_{max}$  — iznose:
  - odstupanja novog mjerila  $-z \pm H/2$
  - gornje odstupanje istrošenog mjerila  $-y$

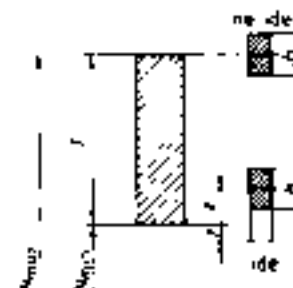
Mjerilo »ne ide« (odmetak) — označujemo ga crvenom bojom — ne smije ići preko rukavca. Odstupanja tog mjerila — mjerena od najmanje mjere rukavca  $N_{min}$  — iznose:  $\pm H/2$ .

Vrijednosti  $H$ ,  $z$  i  $y$  ( $\mu\text{m}$ ) mjerila za rukavce

Nazivna mjera mm	Vrijednosti	Red tolerancije IT				
		6	7	8	9	11
1) ... 3	$H$	2	2	3	3	4
	$z$	1,5	1,5	2	5	10
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
3) ... 6	$H$	2,5	2,5	4	4	5
	$z$	2	2	3	6	12
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
6) ... 10	$H$	2,5	2,5	4	4	6
	$z$	2	2	3	7	14
	$y$	1,5	1,5	3	0	0
10) ... 18	$H$	3	3	5	5	8
	$z$	2,5	2,5	4	8	16
	$y$	2	2	4	0	0
18) ... 30	$H$	4	4	6	6	9
	$z$	3	3	5	9	19
	$y$	3	3	4	0	0
30) ... 50	$H$	4	4	7	7	11
	$z$	3,5	3,5	6	11	22
	$y$	3	3	5	0	0
50) ... 80	$H$	5	5	8	8	13
	$z$	4	4	7	13	25
	$y$	3	3	5	0	0
80) ... 120	$H$	6	6	10	10	15
	$z$	5	5	8	15	28
	$y$	4	4	6	0	0
120) ... 180	$H$	8	8	12	12	18
	$z$	6	6	9	18	32
	$y$	4	4	6	0	0

#### Tolerancije mjerila za provrte (JUS M.A1.310 - 1983)

- $N_{max}$  — najveća mjera provrta
- $N_{min}$  — najmanja mjera provrta
- $T (= N_{max} - N_{min})$  — tolerancija mjere provrta
- $H$  — tolerancija izrade mjerila za provrt
- $z$  — položaj tolerancijskog polja za novo mjerilo »ide« iznad najmanje mjere  $N_{min}$
- $y$  — najveće odstupanje istrošenog mjerila »ide« ispod najmanje mjere  $N_{min}$



Mjerilo »ide« (dobro) mora pristajati u provrt. Odstupanja tog mjerila — mjerena od najmanje mjere provrta  $N_{min}$  — iznose:

- odstupanja novog mjerila  $+z \pm H/2$
- donje odstupanje istrošenog mjerila  $-y$

Mjerilo »ne ide« (odmetak) — označujemo ga crvenom bojom — ne smije pristajati u provrt. Odstupanja tog mjerila — mjerena od najveće mjere provrta  $N_{max}$  — iznose:  $\pm H/2$ .

Vrijednosti  $H$ ,  $z$  i  $y$  ( $\mu\text{m}$ ) mjerila za provrte

Nazivna mjera mm	Vrijednosti	Red tolerancije IT					
		6	7	8	9	10	11
1) ... 3	$H$	1,2	2	2	2	2	4
	$z$	1	1,5	2	5	5	10
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
3) ... 6	$H$	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
	$z$	1,5	2	3	6	6	12
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
6) ... 10	$H$	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	6
	$z$	1,5	2	3	7	7	14
	$y$	1	1,5	3	0	0	0
10) ... 18	$H$	2	3	3	3	3	8
	$z$	2	2,5	4	8	8	16
	$y$	1,5	2	4	0	0	0
18) ... 30	$H$	2,5	4	4	4	4	9
	$z$	2	3	5	9	9	19
	$y$	1,5	3	4	0	0	0
30) ... 50	$H$	2,5	4	4	4	4	11
	$z$	2,5	3,5	6	11	11	22
	$y$	2	3	5	0	0	0
50) ... 80	$H$	3	5	5	5	5	13
	$z$	2,5	4	7	13	13	25
	$y$	2	3	5	0	0	0
80) ... 120	$H$	4	6	6	6	6	15
	$z$	3	5	8	15	15	28
	$y$	3	4	6	0	0	0
120) ... 180	$H$	5	8	8	8	8	18
	$z$	4	6	9	18	18	32
	$y$	3	4	6	0	0	0

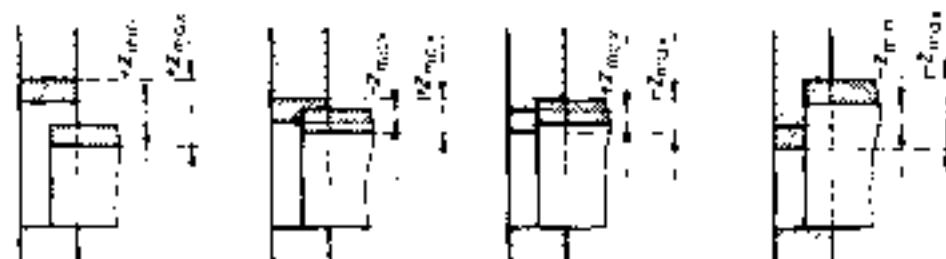
## Dosjedi (nalijeganja)

### a) Osnovni pojmovi

Dosjed	— oznaka međusobne podudarnosti dvaju strojnih dijelova, određena »zračnošću« ili »prisnošću«.
Zračnost (zazor) $z$	— razlika između unutarnje mjere većega vanjskog dijela (npr. provrta) i vanjske mjere manjega unutarnjeg dijela (npr. rukavca).
Najveća zračnost $z_{max}$	— razlika između najveće mjere vanjskog dijela i najmanje mjere unutarnjeg dijela.
Najmanja zračnost $z_{min}$	— razlika između najmanje mjere vanjskog dijela i najveće mjere unutarnjeg dijela.
Prisnost (preklap) $-z$	— »negativna zračnost« — razlika između vanjske mjere većega unutarnjeg dijela i unutarnje mjere manjega vanjskog dijela (prije sastavljanja obaju dijelova).
Najveća prisnost $-z_{max}$	— razlika između najveće mjere unutarnjeg dijela i najmanje mjere vanjskog dijela.
Najmanja prisnost $-z_{min}$	— razlika između najmanje mjere unutarnjeg dijela i najveće mjere vanjskog dijela.
Tolerancija dosjeda	— razlika između najveće i najmanje zračnosti (prisnosti). Jednaka je zbroju tolerancija vanjskog i unutarnjeg dijela.

### b) Vrste dosjeda

Labavi dosjed	ima uvijek zračnost (+z).
Prelazni dosjed	ima ovisno o stvarnoj mjeri obaju dijelova — zračnost (+z) ili prisnost (-z).
Čvrsti ili prisni dosjed	ima uvijek prisnost (-z).



Labavi dosjed

Prelazni dosjed

Čvrsti dosjed

### c) Sustavi dosjeda

Sustav jedinstvenog provrta ima provrte s tolerancijskim poljem u položaju H. Dosjedi su u tom sustavu određeni položajem tolerancijskog polja rukavca a...zc, i to:

a...h — labavi dosjedi  
j...zc — prelazni i čvrsti dosjedi.

Sustav jedinstvenog rukavca ima rukavce s tolerancijskim poljem u položaju h. U tom sustavu dosjedi određeni položajem tolerancijskog polja provrta A...ZC, i to:

A...H — labavi dosjedi  
J...ZC — prelazni i čvrsti dosjedi.

### d) Izbor dosjeda

Prema preporuci ISO (JUS M.A1.200/201 — 1968) prednost imaju sljedeći dosjedi:

#### Prednostni dosjedi u sustavu jedinstvenog provrta

	1. prednost	2. prednost	3. prednost
H6		j6, k6	g5, h5, j5, k5, m5, n5, p5, r5
H7	f6, h6, n6, r6	g6, j6, k6, v6	f6, m6, p6
H8	f7, h7, u8, x8	d9, e8	c9, f8, h8
H9	h9	c11, h11	d10, e9, f8, h8
H11	h9	a11, c11, d9, h11	b11, d11
H12			h12
H13			h13

#### Prednostni dosjedi u sustavu jedinstvenog rukavca

	1. prednost	2. prednost	3. prednost
h5			G6, H6, J6, K6, M6, N6, P6, R6
h6	F8, H7	G7	F7, J7, K7, M7, N7, P7, R7, S7
h8	F8, H8		B9, C9, D9, E8, F7, H9
h9	C11, D10, F9, F8, H8	H11	H9
h11	C11, D10	A11, H11	B11, D9, D11, H9
h12			H12
h13			H13

Neki dosjedi s 3. prednosti, koji se preporučuju samo za ograničenu područja promjera, nisu ovdje navedeni.

Tolerancije dosjeda s 1 i 2 prednosti, sabrane su na str. 496 do 499

Tolerancije dosjeda u sustavu jedinstvenog rukavca ( $\mu\text{m}$ )

Nazivna mjera mm	A11 h11	C11 h11	D10 h11	C11 h9	D10 h9	E9 h9	F8 h9	F8 h8	F8 h6	G7 h6
3	+390 -270	+180 +60	+120 -20	+145 -60	+85 +20	+64 -14	+45 +6	-34 -6	+26 +6	+18 +2
3)...6	+420 -270	+220 +70	+153 -30	+175 +70	+108 +20	+80 +10	+58 +10	+46 -10	+36 +10	+24 +4
6)...10	+460 -280	+260 +80	+188 -40	+206 +80	+134 +40	+97 +25	+71 -13	+57 -13	+44 +13	+29 +5
10)...18	+510 -290	+315 +95	+230 +50	+248 +95	+163 +50	+118 +32	+86 +16	+70 -16	+54 -16	+35 +6
18)...30	+560 +300	+370 +110	+279 +65	+292 -110	+201 +65	+144 +40	+105 -20	+86 +20	+66 +20	+41 +7
30)...40	+630 -310	+440 +120	+342 -120	+342 -120	+242 +80	+174 +50	-126 +25	-103 -25	+80 +25	+50 +9
40)...50	+640 +320	+450 +130	+352 -130	+352 -130	+242 +80	+174 +50	-126 +25	-103 -25	+80 +25	+50 +9
50)...65	+720 +340	+520 +140	+404 -140	+404 -140	+294 +100	+208 -60	+150 +30	-122 +30	+95 +30	+59 +10
65)...80	+740 +360	+530 +150	+414 -150	+414 -150	+294 +100	+208 -60	+150 +30	-122 +30	+95 +30	+59 +10
80)...100	+820 +380	+610 +170	+477 -170	+477 -170	+347 +120	+246 -72	+177 -36	+144 -36	+112 +36	+69 +12
100)...120	+850 -410	+620 +180	+487 -180	+487 -180	+347 +120	+246 -72	+177 -36	+144 -36	+112 +36	+69 +12
120)...140	+960 -460	+700 +200	+550 -200	+550 -200	+405 +145	+285 -85	+206 -43	+169 -43	+131 +43	+79 +14
140)...160	+1020 +520	+710 +210	+555 +145	+560 +210	+405 +145	+285 -85	+206 -43	+169 -43	+131 +43	+79 +14
160)...180	+1080 -580	+730 +230	+580 +230	+580 +230	+405 +145	+285 -85	+206 -43	+169 -43	+131 +43	+79 +14
180)...200	+1240 +660	+820 +240	+645 +240	+645 +240	+405 +145	+285 -85	+206 -43	+169 -43	+131 +43	+79 +14
200)...225	+1320 -740	+840 +260	+645 +170	+665 +260	+470 +170	+330 +100	+237 +50	+194 +50	+131 +50	+90 -15
225)...250	+1400 +820	+860 +280	+685 +280	+685 +280	+470 +170	+330 +100	+237 +50	+194 +50	+131 +50	+90 -15
250)...280	+1560 +920	+940 +300	+750 +300	+750 +300	+530 +190	+370 +110	+267 +56	+218 +56	+169 +56	+101 +17
280)...315	+1690 +1050	+970 +330	+790 +330	+790 +330	+530 +190	+370 +110	+267 +56	+218 +56	+169 +56	+101 +17
315)...355	+1920 +1200	+1080 +360	+860 +360	+860 +360	+580 +210	+405 +125	+291 +62	+240 +62	+187 +62	+111 +18
355)...400	+2070 +1350	+1120 +400	+800 +400	+900 +400	+580 +210	+405 +125	+291 +62	+240 +62	+187 +62	+111 +18
400)...450	+2300 +1500	+1240 +440	+880 +440	+995 +440	+635 +230	+445 +135	+320 +68	+262 +68	+205 +68	+123 +20
450)...500	+2450 +1650	+1280 +480	+880 +480	+1035 +480	+635 +230	+445 +135	+320 +68	+262 +68	+205 +68	+123 +20

Tolerancije dosjeda H h ( $\mu\text{m}$ )

Nazivna mjera mm	H11 h11	H9 h11	H9 h9	H8 h9	H8 h8	H7 h6
1...3	+120 0	-85 0	+50 0	+50 0	+28 0	+16 0
3)...6	+150 0	-105 0	+60 0	+60 0	+36 0	+20 0
6)...10	+180 0	-126 0	+72 0	+72 0	+44 0	+24 0
10)...14	+220 0	+153 0	+86 0	+86 0	+54 0	+29 0
14)...18	+260 0	+182 0	+104 0	+104 0	+66 0	+34 0
18)...24	+320 0	+222 0	+124 0	+124 0	+78 0	+41 0
24)...30	+380 0	+264 0	+148 0	+148 0	+92 0	+49 0
30)...40	+440 0	+307 0	+174 0	+174 0	+108 0	+57 0
40)...50	+500 0	+350 0	+200 0	+200 0	+126 0	+65 0
50)...65	+580 0	+405 0	+210 0	+210 0	+144 0	+75 0
65)...80	+640 0	+450 0	+260 0	+260 0	+162 0	+84 0
80)...100	+720 0	+510 0	+280 0	+280 0	+178 0	+93 0
100)...120	+800 0	+555 0	+310 0	+310 0	+194 0	+101 0
120)...140	+880 0	+600 0	+330 0	+330 0	+210 0	+110 0
140)...160	+960 0	+645 0	+350 0	+350 0	+226 0	+119 0
160)...180	+1040 0	+690 0	+370 0	+370 0	+242 0	+128 0
180)...200	+1120 0	+735 0	+390 0	+390 0	+258 0	+137 0
200)...225	+1200 0	+780 0	+410 0	+410 0	+274 0	+146 0
225)...250	+1280 0	+825 0	+430 0	+430 0	+290 0	+155 0
250)...280	+1360 0	+870 0	+450 0	+450 0	+306 0	+164 0
280)...315	+1440 0	+915 0	+470 0	+470 0	+322 0	+173 0
315)...355	+1520 0	+960 0	+490 0	+490 0	+338 0	+182 0
355)...400	+1600 0	+1005 0	+510 0	+510 0	+354 0	+191 0
400)...450	+1680 0	+1050 0	+530 0	+530 0	+370 0	+200 0
450)...500	+1760 0	+1095 0	+550 0	+550 0	+386 0	+209 0

Nazivna mjera mm	H 6 j 6	H 6 k 6	H 7 j 7	H 7 k 6	H 7 j 6	H 7 k 6	H 7 j 6	H 7 k 6	H 7 j 6
1 ... 3	+8 -4	+6 -6	+26 +6	+18 +2	+12 -4	+10 -6	+6 -10	+0 +16	+4 -20
31 ... 6	+10 -6	+7 -9	+34 +10	+24 +4	+14 -6	+11 -9	+4 +16	+3 -23	+7 -27
61 ... 10	+11 -7	+8 -10	+43 +13	+29 -5	+17 -7	+14 -10	+5 -19	+4 -28	+8 -32
101 ... 18	+14 +8	+10 -12	+52 +16	+35 -6	+21 -8	+17 -12	+6 -23	+5 +34	+10 +39
181 ... 30	+17 -9	+11 -15	+62 +30	+41 -7	+25 -9	+19 -15	+6 -28	+7 +43	+14 +48
301 ... 40	+21 -11	+14 +18	+75 +25	+50 -9	+30 -11	+23 +18	+8 +33	+9 -50	+18 -59
401 ... 50								+11 -23	
501 ... 65	+26 -12	+17 +21	+90 +30	+59 -10	+37 -12	+28 +21	+10 +19	+60 +73	+71 +29
651 ... 80								+62 +78	
801 ... 100	+31 -13	+19 +25	+106 +36	+74 -12	+44 -13	+32 +25	+12 +45	+73 +94	+93 +44
1001 ... 120								+76 +101	
1201 ... 140								+88 +117	
1401 ... 160	+36 -14	+22 +28	+133 +43	+79 +34	+51 -14	+37 -28	+13 +52	+25 +90	+60 +175
1601 ... 180								+98 +121	
1801 ... 200								+106 +151	
2001 ... 225	+42 -16	+25 +33	+142 +50	+90 +15	+59 -16	+42 +33	+19 +60	+34 +109	+84 +159
2251 ... 250								+78 +111	+94 +149
2501 ... 280	+48 -16	+28 +36	+160 +56	+101 +37	+68 -16	+48 -36	+18 -66	+128 +46	+190 +318
2801 ... 315								+130 +130	+202
3151 ... 355	+54 -18	+32 +40	+176 +62	+111 -18	+75 -18	+53 +40	+20 -73	+144 +57	+226 +351
3551 ... 400								+150 +63	+244 +269
4001 ... 450	+60 -20	+35 -45	+194 +68	+123 +20	+83 -20	+58 -45	+23 -80	+166 -69	+272 +189
4501 ... 500								+172 +292	

Nazivna mjera mm	H 11 a 11	H 11 c 11	H 11 d 9	H 9 c 11	H 8 d 9	H 8 c 8	H 8 f 7	H 8 u 8	H 8 x 8
1 ... 3	+390 +270	+180 -60	+105 +20	+145 +60	+59 +20	+42 +14	+30 +6		+6 -34
31 ... 6	+420 +270	+220 +70	+135 +30	+175 +70	+78 -30	+58 +20	+40 +10		+10 -46
61 ... 10	+460 +280	+260 +80	+166 +40	+206 +80	+98 +40	+69 +25	+50 +13		+12 -56
101 ... 14	+510 +290	+315 +95	+203 +50	+248 +95	+120 +50	+86 +32	+61 +16		+13/-67 +18/-72
141 ... 18									+21/-87
181 ... 24	+560 -300	+370 -110	+247 +65	+292 +110	+150 +65	+106 +40	+74 +20		+51/-81 +31/-97
301 ... 40	+630 -310	+440 +120	+302 +80	+342 +120	+181 +80	+128 +50	+89 +25		+21 -99 -119
401 ... 50	+640 +320	+450 -130		+352 +130					+31 -109 -136
501 ... 65	+720 -340	+520 +140		+404 +140					+41 -133 -169
651 ... 80	+740 -360	+530 -150	+100	+414 +150	+220 +100	+152 +60	+106 +30		+56 -148 -192
801 ... 100	+820 -380	+610 +170		+477 +170					+70 -178 -232
1001 ... 120	+850 -410	+620 -180	+427 +120	+477 +180	+261 +120	+180 +72	+125 +36		+90 -198 -264
1201 ... 140	+960 -460	+700 +200		+550 +200					+107 -233 -311
1401 ... 160	+1020 +520	+710 -210	+495 -145	+560 +210	+308 +145	+211 +85	+146 +43		+127 -253 -343
1601 ... 180	+1080 +580	+730 -230		+580 +230					+147 -273 -373
1801 ... 200	+1240 +660	+820 +240		+645 +240					+164 -308 -422
2001 ... 225	+1320 +740	+840 +260	+575 +170	+665 +260	+357 +170	+244 +100	+168 +50		+186 -330 -457
2251 ... 250	+1400 +820	+860 -280		+685 +280					+212 -356 -497
2501 ... 280	+1560 +920	+940 -300		+750 +300					+234 -396 -556
2801 ... 315	+1690 +1050	+970 +330	+640 -190	+780 +310	+401 +190	+272 +110	+189 +56		+269 -431 -606
3151 ... 355	+1920 +1200	+1080 +360		+860 +360					+301 -479 -679
3551 ... 400	+2070 +1350	+1120 +400	+710 -210	+900 +400	+479 +210	+303 +125	+208 +62		+346 -524
4001 ... 450	+2300 +1500	+1240 +440		+995 +440					+393 -587
4501 ... 500	+2450 +1650	+1280 +480	+230	+1035 +480	+482 +230	+329 +135	+228 +68		+443 +637

**POVRŠINSKA HRAPAVOST**  
(JUS M.A1.020/021 — 1964)

Površinska hrapavost su mikogeometrijske nepravilnosti na površini predmeta koje su mnogo puta manje od dimenzija promatranog dijela površine.

Pod pojmom hrapavost ne svrstavamo makrogeometrijskih nepravilnosti površine kojih se dimenzije približuju duljinskoj mjeri promatrane površine ili je premašuju, npr. valovitost.



$p$  — profil je presjek promatrane površine presječne određenom ravninom

$l$  — referentna duljina je (dogovorena) duljina dijela profila izabranog za određivanje hrapavosti.

Referentne duljine  $l$  izabiremo prema vrsti i finoci obrade i mjernoj metodi:

Postupak obrade	Prikladna referentna duljina $l$ (mm)
blanjanje	2,5 8 25
glodanje, bušenje	0,8 2,5 8
tokarenje, razvrtavanje	0,8 2,5
hrušenje	0,25 0,8 2,5
honanje, lepanje	0,25 0,8

**Sistem srednje linije**

$m$  — srednja linija profila siječe profil  $p$  tako da je u granicama referentne duljine  $l$  — zbroj kvadrata udaljenosti  $y$  svih točaka profila od srednje linije jednak minimumu.



Prosječno odstupanje profila  $R_a$  je srednja aritmetička udaljenost profila od srednje linije

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Približna vrijednost prosječnog odstupanja profila iznosi

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$y$  odn.  $y_i$  uzimamo u apsolutnim vrijednostima — bez obzira na predznak — ili —.

**Visine neravnina**



$p$  — profil  
 $l$  — referentna duljina  
 $m$  — srednja linija profila  
 $m_c$  — paralela sa srednjom linijom koja ne siječe profil

Prosječna visina neravnina  $R_z$  (mjerena u 10 točaka) je razlika između srednjih aritmetičkih vrijednosti udaljenosti  $R_1$  i 10 5 najviših i 5 najnižih točaka profila — u granicama referentne duljine  $l$  — od bilo koje linije koja ne siječe profila, a paralelna je sa srednjom linijom

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})}{5}$$

Najveća visina neravnina  $R_{max}$  je razmak između dvaju pravaca paralelnih sa srednjom linijom, koji dotiču u granicama referentne duljine  $l$  — najviše odnosno najniže točke profila

$$R_{max} = R_1 - R_2$$

Kao orijentacija služe izrazi:

$$R_z \approx 4 R_a \quad R_{max} \approx 1,6 R_z (\approx 6,4 R_a)$$

**Nošenje profila**



$p$  — profil  
 $l$  — referentna duljina  
 $m$  — srednja linija profila  
 $m_c$  — paralela sa srednjom linijom, udaljena od najviše točke profila za razmak  $c$

Duljina nošenja profila  $l_n$  je zbroj odsječaka  $l_{n_i}$  — u granicama referentne duljine  $l$  — profil odsijeca na paraleli sa srednjom linijom, a koji su udaljeni od najviše točke profila za razmak  $c$

$$l_n = l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_r}$$

Za razmak  $c$  preporučuju se vrijednosti ovisno o najvećoj visini neravnina  $R_{max}$ :

$R_{max}$ ( $\mu m$ )	... 1	1) ... 2,5	2,5) ... 4	4) ... 6
$c$ ( $\mu m$ )	0,1	0,25	0,6	1,6

Postotak nošenja profila  $p_n$

$$p_n = \frac{l_n}{l} 100 (\%)$$

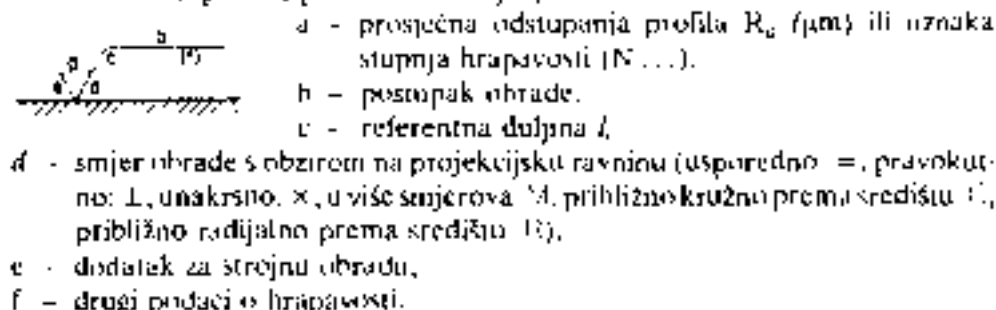
U strojogradnji postotak nošenja neka ne bude veći od 40%.

Stupanj površinske hrapavosti (JUS M.A0.065 - 1981) u ovisnosti o najvećem prosječnom odstupanju profila  $R_a$

$R_a$ max $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti	$R_a$ max $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti	$R_a$ max $\mu\text{m}$	Stupanj hrapavosti
0,025	N 1	0,4	N 5	6,3	N 9
0,05	N 2	0,8	N 6	12,5	N 10
0,1	N 3	1,6	N 7	25	N 11
0,2	N 4	3,2	N 8	50	N 12

Oznake površinske hrapavosti u nacrtima (JUS M.A0.065 - 1981)

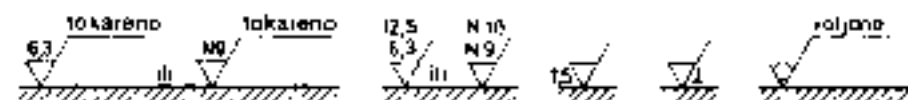
Oznake hrapavosti pri obradi odvajanjem čestica:



Oznaka hrapavosti bez obrade odvajanjem čestica.



Primjeri:



Odnos reda tolerancije i stupnja hrapavosti

(JUS M.A1.025 - 1981 in M.A0.065 - 1981)

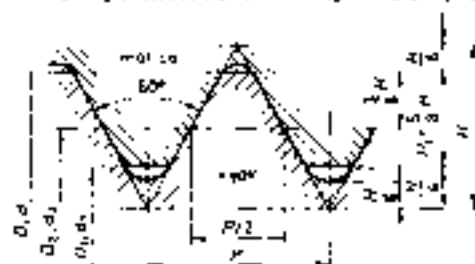
Red tolerancije (ISO)	Stupanj hrapavosti						
	za nazivne mjere (mm)						
	3	3)	15	18	80	250	250)
IT 5	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9
IT 6	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10
IT 7	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11
IT 8	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12
IT 9	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12	
IT 10	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12		
IT 11	N 9	N 10	N 11	N 12			
IT 12	N 10	N 11	N 12				
IT 13	N 11						
IT 14	N 12						

Postupak obrade u ovisnosti od stupnja hrapavosti

Postupak obrade	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) 0,012	Razred hrapavosti N.												$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	100	200	400	800	
Ručna obrada																		
- grubo turpijanje																		
- fino turpijanje																		
Lijevanje																		
- u pjesak																		
- u kokilu																		
- u školjku																		
Kovanje																		
- toplo, slobodno																		
- toplo u ukovnju																		
- hladno u ukovnju																		
Valjanje																		
- toplo																		
- hladno																		
Pjescarenje																		
Tokarenje																		
- grubo																		
- fino																		
Blatanje																		
- grubo																		
- fino																		
Glodanje																		
- grubo																		
- fino																		
Bušenje svrdlom																		
Razvrtavanje																		
Brušenje																		
- grubo																		
- fino																		
Poliranje																		
- mehaničko																		
- električno																		
Bolanje, lepanje																		
«Superfiniš»																		
Obrada navoja																		
- rezanje																		
- brušenje																		
Obrada zuhaca																		
- blatanje																		
- glodanje																		
- brušenje																		

Metarski navoji s trokutnim profilom ISO

Profil metarskih navoja ISO (JUS M 80 010 — 1972)



Korak navoja:  $P$   
Teoretska dubina navoja

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P = 0,866 025 P$$

Nosiva dubina navoja

$$H_1 = \frac{5}{8} H = 0,541 266 P$$

$d, d_1, d_2$  - promjeri unutarnjeg navoja (vijka)

$D, D_1, D_2$  - promjeri vanjskog navoja (matice)

$$d - D \quad d_1 - D_1 \quad d - 2H_1 \quad d_2 - D_2 - d - 3/4 \cdot H_2$$

Mjere u mm

$P$	$H$	$(5/8) H$	$(3/8) H$	$H/4$	$H/6$	$H/8$
0,2	0,1732	0,1083	0,0650	0,0433	0,0289	0,0217
0,25	0,2165	0,1353	0,0812	0,0541	0,0361	0,0271
0,3	0,2598	0,1624	0,0974	0,0650	0,0433	0,0325
0,35	0,3031	0,1894	0,1137	0,0758	0,0505	0,0379
0,4	0,3464	0,2165	0,1299	0,0866	0,0577	0,0433
0,45	0,3897	0,2436	0,1461	0,0974	0,0650	0,0487
0,5	0,4330	0,2706	0,1624	0,1083	0,0722	0,0541
0,6	0,5196	0,3248	0,1949	0,1299	0,0866	0,0650
0,7	0,6062	0,3789	0,2273	0,1516	0,1010	0,0758
0,75	0,6495	0,4060	0,2436	0,1624	0,1083	0,0812
0,8	0,6928	0,4330	0,2598	0,1732	0,1155	0,0866
1	0,8660	0,5413	0,3248	0,2165	0,1441	0,1083
1,25	1,0825	0,6766	0,4059	0,2706	0,1804	0,1353
1,5	1,2990	0,8119	0,4871	0,3248	0,2165	0,1624
1,75	1,5155	0,9472	0,5683	0,3789	0,2526	0,1894
2	1,7321	1,0825	0,6495	0,4330	0,2887	0,2165
2,5	2,1651	1,3532	0,8119	0,5413	0,3608	0,2706
3	2,5981	1,6238	0,9743	0,6495	0,4330	0,3248
3,5	3,0311	1,8944	1,1367	0,7578	0,5052	0,3789
4	3,4641	2,1651	1,2990	0,8660	0,5774	0,4330
4,5	3,8971	2,4357	1,4614	0,9743	0,6495	0,4871
5	4,3301	2,7063	1,6238	1,0825	0,7217	0,5413
5,5	4,7631	2,9770	1,7862	1,1908	0,7939	0,5954
6	5,1962	3,2476	1,9486	1,2990	0,8660	0,6495

Oznaka*	$P$ mm	$d - D$ mm	$d_2 - D_2$ mm	$d_1 - D_1$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
M 1	0,25	1	0,838	0,729	0,377
M 1,1	0,25	1,1	0,938	0,829	0,494
M 1,2	0,25	1,2	1,038	0,929	0,626
M 1,4	0,3	1,4	1,205	1,075	0,836
M 1,6	0,35	1,6	1,371	1,221	1,08
M 1,8	0,45	1,8	1,573	1,421	1,47
M 2	0,4	2	1,740	1,567	1,79
M 2,2	0,45	2,2	1,908	1,713	2,13
M 2,5	0,45	2,5	2,208	2,013	2,98
M 3	0,5	3	2,675	2,459	4,48
M 3,5	0,6	3,5	3,110	2,850	6,00
M 4	0,7	4	3,545	3,242	7,45
M 4,5	0,75	4,5	4,013	3,688	10,1
M 5	0,8	5	4,480	4,134	12,7
M 6	1	6	5,350	4,917	17,9
(M 7)	1	7	6,350	5,917	26,3
M 8	1,25	8	7,188	6,647	32,8
(M 9)	1,25	9	8,188	7,647	43,8
M 10	1,5	10	9,026	8,376	52,3
(M 11)	1,5	11	10,026	9,376	65,9
M 12	1,75	12	10,863	10,106	76,2
M 14	2	14	12,701	11,835	105
M 16	2	16	14,701	13,835	144
M 18	2,5	18	16,376	15,294	175
M 20	2,5	20	18,376	17,294	225
M 22	2,5	22	20,176	19,294	282
M 24	3	24	22,051	20,752	325
M 27	3	27	25,051	23,752	427
M 30	3,5	30	27,727	26,211	519
M 33	4	33	30,727	29,211	647
M 36	4	36	33,402	31,670	759
M 39	4	39	36,402	34,670	913
M 42	4,5	42	39,077	37,329	1045
M 45	4,5	45	42,077	40,329	1224
M 48	5	48	44,752	42,587	1377
M 52	5	52	48,752	46,587	1652
M 56	5,5	56	52,428	50,046	1905
M 60	5,5	60	56,428	54,046	2227
M 64	6	64	60,103	57,505	2520
M 68	6	68	64,103	61,505	2888

\* Deblje tiskane oznake su navoji koji u upotrebi imaju prvu prednost, a obično tiskane oznake su navoji koji imaju drugu prednost. Navoji u zagradama imaju treću prednost i valja ih upotrebljavati samo iznimno u prijeko potrebnim slučajevima.

Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>2)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka <sup>1)</sup> $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm
M 1 × 0,2	0,870	0,783	(M 15 × 1,5)	14,026	13,376	(M 35 × 1,5) <sup>**</sup>	34,026	33,376	(M 58 × 4)	55,402	54,670
M 1,1 × 0,2	0,970	0,883	(M 15 × 1)	14,350	13,917	M 36 × 3	34,051	32,752	(M 58 × 3)	56,051	54,752
M 1,2 × 0,2	1,070	0,983	M 16 × 1,5	15,026	14,376	M 36 × 2	34,701	33,835	(M 58 × 2)	56,701	55,835
M 1,4 × 0,2	1,270	1,183	M 16 × 1	15,350	14,917	M 36 × 1,5	35,026	34,376	(M 58 × 1,5)	57,026	56,376
M 1,6 × 0,2	1,470	1,383	(M 17 × 1,5)	16,026	15,376	(M 38 × 1,5)	37,026	36,376	M 60 × 4	57,402	56,670
M 1,8 × 0,2	1,670	1,583	(M 17 × 1)	16,350	15,917	M 39 × 3	37,051	35,752	M 60 × 3	58,051	56,752
M 2 × 0,25	1,870	1,729	M 18 × 2	16,701	15,835	M 39 × 2	37,701	36,835	M 60 × 2	58,701	57,835
M 2,2 × 0,25	2,070	1,929	M 18 × 1,5	17,026	16,376	M 39 × 1,5	38,026	37,376	M 60 × 1,5	59,026	58,376
M 2,5 × 0,35	2,273	2,121	M 18 × 1	17,350	16,917	(M 40 × 1)	38,051	36,752	(M 62 × 4)	59,402	57,670
M 3 × 0,35	2,773	2,621	M 20 × 2	18,701	17,835	(M 40 × 2)	38,701	37,835	(M 62 × 3)	60,051	58,752
M 3,5 × 0,35	3,273	3,121	M 20 × 1,5	19,026	18,376	(M 40 × 1,5)	39,026	38,376	(M 62 × 2)	60,701	59,835
M 4 × 0,5	3,675	3,459	M 20 × 1	19,350	18,917	M 42 × 4	39,402	37,670	(M 62 × 1,5)	61,026	60,376
M 4,5 × 0,5	4,175	3,959	M 22 × 2	20,701	19,835	M 42 × 3	40,051	38,752	M 64 × 4	61,402	59,670
M 5 × 0,5	4,675	4,459	M 22 × 1,5	21,026	20,376	M 42 × 2	40,701	39,835	M 64 × 3	62,051	60,752
(M 5,5 × 0,5)	5,175	4,959	M 22 × 1	21,350	20,917	M 42 × 1,5	41,026	40,376	M 64 × 2	62,701	61,835
M 6 × 0,75	5,573	5,188	M 24 × 2	22,701	21,835	M 45 × 4	42,402	40,670	M 64 × 1,5	63,026	62,376
(M 7 × 0,75)	6,573	6,188	M 24 × 1,5	23,026	22,376	M 45 × 3	43,051	41,752	(M 65 × 4)	62,402	60,670
M 8 × 1	7,350	6,917	M 24 × 1	23,350	22,917	M 45 × 2	43,701	42,835	(M 65 × 3)	63,051	61,752
M 8 × 0,75	7,513	7,188	(M 25 × 2)	23,701	22,835	M 45 × 1,5	44,026	43,376	(M 65 × 2)	63,701	62,835
(M 9 × 1)	8,350	7,917	(M 25 × 1,5)	24,026	23,376	M 48 × 4	45,402	43,670	(M 65 × 1,5)	64,026	63,376
(M 9 × 0,75)	8,513	8,188	(M 25 × 1)	24,350	23,917	M 48 × 3	46,051	44,752	M 68 × 4	65,402	63,670
M 10 × 1,25	9,188	8,647	(M 26 × 1,5)	25,026	24,376	M 48 × 2	46,701	45,835	M 68 × 3	66,051	64,752
M 10 × 1	9,350	8,917	M 27 × 2	25,701	24,835	M 48 × 1,5	47,026	46,376	M 68 × 2	66,701	65,835
M 10 × 0,75	9,513	9,188	M 27 × 1,5	26,026	25,376	(M 50 × 3)	48,051	46,752	M 68 × 1,5	67,026	66,376
(M 11 × 1)	10,350	9,917	M 27 × 1	26,350	25,917	(M 50 × 2)	48,701	47,835	(M 70 × 6)	66,103	63,505
(M 11 × 0,75)	10,513	10,188	(M 28 × 2)	26,701	25,835	(M 50 × 1,5)	49,026	48,376	(M 70 × 4)	67,402	65,670
M 12 × 1,5	11,026	10,376	(M 28 × 1,5)	27,026	26,376	M 52 × 4	49,402	47,670	(M 70 × 3)	68,051	66,752
M 12 × 1,25	11,188	10,647	(M 28 × 1)	27,350	26,917	M 52 × 3	50,051	48,752	(M 70 × 2)	68,701	67,835
M 12 × 1	11,350	10,917	(M 30 × 3) <sup>1)</sup>	28,051	26,752	M 52 × 2	50,701	49,835	(M 70 × 1,5)	69,026	68,376
M 14 × 1,5	13,026	12,376	M 30 × 2	28,701	27,835	M 52 × 1,5	51,026	50,376	M 72 × 6	68,103	65,505
(M 14 × 1,25) <sup>2)</sup>	13,188	12,647	M 30 × 1,5	29,026	28,376	(M 55 × 4)	52,402	50,670	M 72 × 4	69,402	67,670
M 14 × 1	13,350	12,917	M 30 × 1	29,350	28,917	(M 55 × 3)	53,051	51,752	M 72 × 3	70,051	68,752
			(M 32 × 2)	30,701	29,835	(M 55 × 2)	53,701	52,835	M 72 × 2	70,701	69,835
			(M 32 × 1,5)	31,026	30,376	(M 55 × 1,5)	54,026	53,376	M 72 × 1,5	71,026	70,376
			(M 33 × 3) <sup>2)</sup>	31,051	29,752	M 56 × 4	53,402	51,670	(M 75 × 4)	72,402	70,670
			M 33 × 2	31,701	30,835	M 56 × 3	54,051	52,752	(M 75 × 3)	73,051	71,752
			M 33 × 1,5	32,026	31,376	M 56 × 2	54,701	53,835	(M 75 × 2)	73,701	72,835
						M 56 × 1,5	55,026	54,376	(M 75 × 1,5)	74,026	73,376

<sup>1)</sup> Vidi napomenu na str. 505. — <sup>2)</sup> Samo za svjeđe motora s unutarnjom izgaranjem.  
Po mogućnosti ne upotrebljavati!

<sup>\*\*</sup> Samo za matice za učvršćivanje valjnih ležaja.



Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm	Oznaka* $d (= D) \times P$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1 = D_1$ mm
M 76 × 6	72,103	69,505	M 115 - 3	111,051	111,752	M 170 × 6	166,103	163,505	(M 230 × 6)	226,103	223,505
M 76 × 4	73,402	71,670	M 115 × 2	113,701	112,835	M 170 × 4	167,402	165,670	(M 230 × 4)	227,402	225,670
M 76 × 3	74,051	72,752	M 120 - 6	116,103	113,505	M 170 × 3	168,051	166,752	(M 230 × 3)	228,051	226,752
M 76 × 2	74,701	73,835	M 120 × 4	117,402	115,670	(M 175 × 6)	171,103	168,505	(M 235 × 6)	231,103	228,505
M 76 × 1,5	75,026	74,376	M 120 × 3	118,051	116,752	(M 175 × 4)	172,402	170,670	(M 235 × 4)	232,402	230,670
(M 78 × 2)	76,701	75,835	M 120 × 2	118,701	117,835	(M 175 × 3)	173,051	171,752	(M 235 × 3)	233,051	231,752
M 80 × 6	76,103	73,505	M 125 × 6	121,103	118,505	M 180 × 6	176,103	173,505	M 240 × 6	236,103	233,505
M 80 × 4	77,402	75,670	M 125 × 4	122,402	120,670	M 180 × 4	177,402	175,670	M 240 × 4	237,402	235,670
M 80 × 3	78,051	76,752	M 125 × 3	123,051	121,752	M 180 - 3	178,051	176,752	M 240 × 3	238,051	236,752
M 80 × 2	78,701	77,835	M 125 × 2	123,701	122,835	(M 185 × 6)	181,103	178,505	(M 245 × 6)	241,103	238,505
M 80 × 1,5	79,026	78,376	M 130 × 6	126,103	123,505	(M 185 × 4)	182,402	180,670	(M 245 × 4)	242,402	240,670
(M 82 × 2)	80,701	79,835	M 130 × 4	127,402	125,670	(M 185 × 3)	183,051	181,752	(M 245 × 3)	243,051	241,752
M 85 × 6	81,103	78,505	M 130 × 3	128,051	126,752	M 190 × 6	186,103	183,505	M 250 × 6	246,103	243,505
M 85 × 4	82,402	80,670	M 130 × 2	128,701	127,835	M 190 × 4	187,402	185,670	M 250 × 4	247,402	245,670
M 85 × 3	83,051	81,752	(M 135 × 6)	131,103	128,505	M 190 × 3	188,051	186,752	M 250 × 3	248,051	246,752
M 85 × 2	83,701	82,835	(M 135 × 4)	132,402	130,670	(M 195 × 6)	191,103	188,505	(M 255 × 6)	251,103	248,505
M 90 × 6	86,103	83,505	(M 135 × 3)	133,051	131,752	(M 195 × 4)	192,402	190,670	(M 255 × 4)	252,402	250,670
M 90 × 4	87,402	85,670	(M 135 × 2)	133,701	132,835	(M 195 × 3)	193,051	191,752	M 260 × 6	256,103	253,505
M 90 × 3	88,051	86,752	M 140 × 6	136,103	133,505	M 200 × 6	196,103	193,505	M 260 × 4	257,402	255,670
M 90 × 2	88,701	87,835	M 140 × 4	137,402	135,670	M 200 × 4	197,402	195,670	(M 265 × 6)	261,103	258,505
M 95 × 6	91,103	88,505	M 140 × 3	138,051	136,752	M 200 × 3	198,051	196,752	(M 265 × 4)	262,402	260,670
M 95 × 4	92,402	90,670	M 140 × 2	138,701	137,835	(M 205 × 6)	201,103	198,505	(M 270 × 6)	266,103	263,505
M 95 × 3	93,051	91,752	(M 145 × 6)	141,103	138,505	(M 205 × 4)	202,402	200,670	(M 270 × 4)	267,402	265,670
M 95 × 2	93,701	92,835	(M 145 × 4)	142,402	140,670	(M 205 × 3)	203,051	201,752	(M 275 × 6)	271,103	268,505
M 100 × 6	96,103	93,505	(M 145 × 3)	143,051	141,752	M 210 × 6	206,103	203,505	(M 275 × 4)	272,402	270,670
M 100 × 4	97,402	95,670	(M 145 × 2)	143,701	142,835	M 210 × 4	207,402	205,670	M 280 × 6	276,103	274,505
M 100 × 3	98,051	96,752	M 150 × 6	146,103	143,505	M 210 × 3	208,051	206,752	M 280 × 4	277,402	275,670
M 100 × 2	98,701	97,835	M 150 × 4	147,402	145,670	(M 215 × 6)	211,103	208,505	(M 285 × 6)	281,103	278,505
M 105 × 6	101,103	98,505	M 150 × 3	148,051	146,752	(M 215 × 4)	212,402	210,670	(M 285 × 4)	282,402	280,670
M 105 × 4	102,402	100,670	M 150 × 2	148,701	147,835	(M 215 × 3)	213,051	211,752	(M 290 × 6)	286,103	283,505
M 105 × 3	103,051	101,752	(M 155 × 6)	151,103	148,505	M 220 × 6	216,103	213,505	(M 290 × 4)	287,402	285,670
M 105 × 2	103,701	102,835	(M 155 × 4)	152,402	150,670	M 220 × 4	217,402	215,670	(M 295 × 6)	291,103	288,505
M 110 × 6	106,103	103,505	(M 155 × 3)	153,051	151,752	M 220 × 3	218,051	216,752	(M 295 × 4)	292,402	290,670
M 110 × 4	107,402	105,670	M 160 × 6	156,103	153,505	(M 225 × 6)	221,103	218,505	M 300 × 6	296,103	293,505
M 110 × 3	108,051	106,752	M 160 × 4	157,402	155,670	(M 225 × 4)	222,402	220,670	M 300 × 4	297,402	295,670
M 110 × 2	108,701	107,835	M 160 × 3	158,051	156,752	(M 225 × 3)	223,051	221,752			
M 115 × 6	111,103	108,505	(M 165 × 6)	161,103	158,505						
M 115 × 4	112,402	110,670	(M 165 × 4)	162,402	160,670						
			(M 165 × 3)	163,051	161,752						

\* Vidi napomenu na str. 505.

\* Vidi napomenu na str. 505!

**Tolerancije metarskih navoja (ISO)**  
(JUS M.B0.220 — 1967, 221 — 1974)

Nazivni promjeri navoja jesu promjeri profila navoja ISO (vidi str. 514 do 519). To su:

veliki nazivni promjeri  $d, D$  srednji nazivni promjeri  $d_2, D_2$

mali nazivni promjeri  $d_1, D_1$

Malim slovima označujemo vanjski navoj (vijak), a velikima unutarnji navoj (matica).

Sevorni promjeri navoja su promjeri koje određujemo mjerenjem izrađenog navoja, a sadrže netočnosti mjerenja.

Granični promjeri navoja su najveći i najmanji promjeri koje još dopuštamo.

Gornje odnosno donje odstupanje je razlika između najvećeg odnosno najmanjeg promjera i nazivnog promjera navoja.

Gornja odstupanja velikog, srednjeg i malog promjera navoja: Donja odstupanja velikog, srednjeg i malog promjera navoja:

vijka	$a_{max}$	$a_{2max}$	$a_{1min}$	vijka	$a_{min}$	$a_{2min}$	$a_{1min}$
matica	$A_{max}$	$A_{2max}$	$A_{1max}$	matica	$A_{min}$	$A_{2min}$	$A_{3min}$

Tolerancija promjera navoja je razlika između gornjeg i donjeg odstupanja (odn. između najvećeg i najmanjeg promjera).

Tolerancija je određena veličinom i položajem s obzirom na nazivni promjer.

Veličine tolerancija su određene sa 7 stupnjeva, koje označujemo brojkama 3 do 9, od kojih upotrebljavamo:

za promjere	veličine tolerancija
$d$	4, 6, 8
$d_2, d_1$	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
$D_2, D_1$	4, 5, 6, 7, 8

Tolerancije velikoga promjera navoja matice  $D$  nisu propisane.

Položaj tolerancije s obzirom na nazivni promjer označujemo slovima. Određeno je:

5 položaja za navoje vijaka: e, g, h, k, p i 2 položaja za navoje matice: G, H

Ti su položaji tolerancija: e, g — ispod nazivnog promjera vijka, h — tik ispod nazivnog promjera vijka, k, p — iznad nazivnog promjera vijka, G — iznad nazivnog promjera matice, H — tik iznad nazivnog promjera matice.

Oznaka tolerancije je kombinacija oznaka za veličinu tolerancije i njezin položaj (npr. 6h).

Primjer oznake tolerancije:

- za metarski vijčani navoj M20 s tolerancijom 6h: M20h - 6h
- za isti navoj, ali s tolerancijom 4k za srednji promjer i 6h za veliki promjer: M20h - 4k 6h
- za metarski navoj M20 s tolerancijom 6H: M20 - 6H.

Nosiva duljina  $l$  (tj. duljina dodira između matice i vijka u smjeru osi) određena je korakom  $P$  i srednjim nazivnim promjerom vijka  $d$

Normalna nosiva duljina  $l_N$

$d$ mm	$P$ mm	$l_N^*$ mm	$d$ mm	$P$ mm	$l_N^*$ mm
0,99) ... 1,4	0,2	0,5) ... 1,4	11,2) ... 22,4	2	8) ... 24
	0,25	0,6) ... 1,7		2,5	10) ... 30
	0,3	0,7) ... 2		1	4) ... 12
1,4) ... 2,8	0,2	0,5) ... 1,5	22,4) ... 45	1,5	6,3) ... 19
	0,25	0,6) ... 1,9		2	8,5) ... 25
	0,35	0,8) ... 2,6		3	12) ... 36
	0,4	1) ... 3		1,5	15) ... 45
	0,45	1,3) ... 3,8		4	18) ... 53
2,8) ... 5,6	0,35	1) ... 3	45) ... 90	4,5	21) ... 63
	0,5	1,5) ... 4,5		1,5	7,5) ... 22
	0,6	1,7) ... 5		2	9,5) ... 28
	0,7	2) ... 6		3	15) ... 45
	0,75	2,2) ... 6,7		4	19) ... 56
	0,8	2,5) ... 7,5		5	24) ... 71
5,6) ... 11,2	0,75	2,4) ... 7,1	90) ... 180	5,5	28) ... 85
	1	3) ... 9		6	32) ... 95
	1,25	4) ... 12		2	12) ... 36
11,2) ... 22,4	1,5	5) ... 15	180) ... 355	3	18) ... 53
	1,75	6) ... 18		4	24) ... 71
	1	3,8) ... 11		6	36) ... 106

\* Kratka nosiva duljina  $l_s < l_{Nmin}$ , duga nosiva duljina  $l_L > l_{Nmax}$ .

Preporučene tolerancije (ovisno o kvaliteti tolerancije i nosivoj duljini  $l$ )

Kvaliteta izrade navoja	Preporučene tolerancije					
	za navoj vijka			za navoj matice		
	Nosiva duljina			Nosiva duljina		
	$l_s$	$l_N$	$l_L$	$l_s$	$l_N$	$l_L$
fina	— bez labavosti	3h 4h	4h 5h 4h	4H	5H	6H
	— mala prirnost	4k 6h*	4k 6h*			
	— veća prirnost	3p 4h	3p 4h			
srednja	— velika labavost		6c 7e 6c	5G	6G	7G
	— mala labavost	5g 6g	6g 7g 6g			
	— bez labavosti	5h 6h	6h 7h 6h			
gruba	— mala labavost		8g 9g 8g	7G	8G	9G
	— bez labavosti					

\* Također 3k 4h.

Odstupanja (po JUS M.B0.230 — 1967 i M.B0.232 — 1974) za preporučene tolerancije uz nosivu duljinu  $l$ , sabrana su na str. 512 do 518.

Tolerancije srednjega  
Gornje i donje

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $F$ mm	Tolerancije						
		fc	fg	6g	6h	4k6h	3p4h	
1,5) ... 2,8	0,2	---	-17	0	0	---	---	
	---	---	-67	-50	-32	---	---	
	0,25	---	-18	0	0	---	---	
	---	---	-74	-56	-36	---	---	
	0,35	---	-19	0	0	---	---	
	---	---	-82	-63	-40	---	---	
	0,4	---	-19	0	0	---	---	
	---	---	-86	-67	-42	---	---	
	0,45	---	-20	0	0	---	---	
	---	---	-91	-71	-45	---	---	
2,8) ... 5,6	0,5	-50	-	-20	0	0	-32	+68
	---	-125	---	-95	-75	-48	-16	+30
	0,6	-53	-	-21	0	0	+39	+73
	---	-138	---	-106	-85	-53	-14	+31
	0,7	-56	-	-22	0	0	+44	+77
	---	-146	---	-112	-90	-56	-12	+12
	0,75	-56	-	-22	0	0	+44	+77
	---	-146	---	-112	-90	-56	-12	+32
	0,8	-60	-24	-24	0	0	+48	+82
	---	-155	-174	-119	-95	-60	-12	+34
5,6) ... 11,2	0,75	-56	-	-22	0	0	+51	+82
	---	-156	---	-122	-100	-64	-12	+32
	1	-60	-26	-26	0	0	+63	+92
	---	-172	-206	-138	-112	-73	-8	+36
	1,25	-63	-28	-28	0	0	+70	+98
	---	-181	-218	-146	-118	-75	-5	+38
	1,5	-67	-32	-32	0	0	+82	+109
	---	-199	-244	-164	-132	-85	-1	+42
	1	-60	-26	-26	0	0	+75	+96
	---	-178	-216	-144	-118	-75	0	+36
11,2) ... 22,4	1,25	-63	-28	-28	0	0	+85	+105
	---	-195	-240	-160	-132	-85	0	+38
	1,5	-67	-32	-32	0	0	+90	+113
	---	-207	-256	-172	-140	-90	0	+42
	1,75	-71	-34	-34	0	0	+95	+119
	---	-221	-270	-184	-150	-95	0	+44
	2	-71	-34	-34	0	0	+100	+128
	---	-231	-288	-198	-160	-100	0	+48
	2,5	-80	-42	-42	0	0	+106	+137
	---	-250	-307	-212	-170	-106	0	+52

promjera navoja vijka  $d_2$   
odstupanje  $a_{2max}$  i  $a_{2min}$  ( $\mu m$ )

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $F$ mm	Tolerancije						
		fc	fg	6g	6h	4k6h	3p4h	
22,4) ... 45	1	-60	-26	-26	0	0	+80	+99
	---	-185	-226	-151	-125	-80	0	+36
	1,5	-67	-32	-32	0	0	+95	+117
	---	-217	-268	-182	-150	-95	0	+42
	2	-71	-38	-38	0	0	+106	+131
	---	-241	-301	-208	-170	-106	0	+48
	3	-85	-48	-48	0	0	+125	+158
	---	-285	-365	-248	-200	-125	0	+58
	4,5	-90	-53	-53	0	0	+132	+169
	---	-302	-388	-265	-212	-132	0	+63
45) ... 90	4	-95	-60	-60	0	0	+140	+182
	---	-319	-415	-284	-224	-140	0	+70
	4,5	-100	-63	-63	0	0	+150	+191
	---	-346	-438	-299	-236	-150	0	+73
	1,5	-67	-32	-32	0	0	+100	+122
	---	-227	-282	-192	-160	-100	0	+42
	2	-73	-38	-38	0	0	+112	+138
	---	-251	-318	-218	-180	-112	0	+48
	3	-85	-48	-48	0	0	+132	+164
	---	-297	-383	-260	-212	-132	0	+58
90) ... 180	4	-95	-60	-60	0	0	+150	+188
	---	-331	-435	-296	-236	-150	0	+70
	5	-106	-71	-71	0	0	+160	+206
	---	-356	-471	-321	-250	-160	0	+81
	5,5	-112	-75	-75	0	0	---	---
	---	-377	-500	-340	-265	-170	---	---
	6	-118	-80	-80	0	0	---	---
	---	-398	-530	-360	-280	-180	---	---
	2	-73	-38	-38	0	0	+118	+141
	---	-261	-338	-228	-190	-118	0	+48
180) ... 355	3	-85	-48	-48	0	0	+140	+170
	---	-309	-403	-272	-224	-140	0	+58
	4	-95	-60	-60	0	0	+160	+195
	---	-345	-460	-310	-250	-160	0	+70
	6	-118	-80	-80	0	0	---	---
	---	-418	-555	-380	-300	-190	---	---
	1	-85	-48	-48	0	0	+160	+181
	---	-335	-448	-298	-250	-160	0	+58
	4	-95	-60	-60	0	0	+180	+210
	---	-375	-510	-340	-280	-180	0	+70
6	-118	-80	-80	0	0	---	---	
---	-433	-580	-395	-315	-200	---	---	

Tolerancije srednjega promjera navoja matice  $D_2$

Gornje odstupanje  $A_{2max}$  ( $\mu m$ )

(Donje odstupanje  $A_{2min}$  za sve tolerancije H je 0)

Nazivni promjer $D = d$ mm	Korak $P$ mm	Tolerancije				
		7G	6G	7H	6H	5H
1,5) ... 2,8	0,2	—	—	—	—	—
	0,25	—	—	—	—	— 60
	0,35	—	+104	+19	+ 85	+ 67
	0,4	—	+109	+19	+ 90	+ 71
	0,45	—	+115	+20	+ 95	+ 75
2,8) ... 5,6	0,35	—	+109	+19	+ 90	+ 71
	0,5	+145	+20	+125	+100	+ 80
	0,6	+161	+21	+133	+112	+ 90
	0,7	+172	+22	+140	+118	+ 95
	0,75	+172	+22	+140	+118	+ 95
5,6) ... 11,2	0,8	+184	+24	+160	+125	+100
	0,75	+192	+22	+170	+132	+106
	1	+216	+26	+190	+150	+118
	1,25	+228	+28	+200	+160	+125
	1,5	+256	+32	+224	+180	+140
11,2) ... 22,4	1	+226	+26	+200	+160	+125
	1,25	+252	+28	+224	+180	+140
	1,5	+268	+32	+236	+190	+150
	1,75	+284	+34	+250	+200	+160
	2	+303	+38	+265	+212	+170
22,4) ... 45	2,5	+322	+42	+280	+224	+180
	1	+238	+26	+212	+170	+132
	1,5	+282	+32	+250	+200	+160
	2	+318	+38	+280	+224	+180
	3	+383	+48	+335	+265	+212
45) ... 90	3,5	+408	+53	+355	+280	+224
	4	+435	+60	+375	+300	+236
	4,5	+463	+63	+400	+315	+250
	1,5	+297	+32	+265	+212	+170
	2	+338	+38	+300	+236	+190
90) ... 180	3	+403	+48	+355	+280	+224
	4	+460	+60	+400	+315	+250
	5	+496	+71	+425	+335	+265
	5,5	+525	+75	+450	+355	+280
	6	+555	+80	+475	+375	+300
180) ... 355	2	+353	+38	+315	+250	+200
	3	+423	+48	+375	+300	+236
	4	+485	+60	+425	+335	+265
	6	+580	+80	+500	+400	+315
	3	+473	+48	+425	+335	+265
4	+535	+60	+475	+375	+300	
6	+610	+80	+555	+425	+335	

Tolerancije velikog promjera navoja vijka  $d$

Gornje i donje odstupanje  $a_{max}$  i  $a_{min}$  ( $\mu m$ )

Korak $P$ mm	Tolerancije						
	6c	5g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
0,2	—	—	+17	0	0	0	—
	—	—	+71	+56	+26	+56	—
0,25	—	—	+18	0	0	0	—
	—	—	+85	+67	+42	+67	—
0,35	—	—	+19	0	0	0	0
	—	—	+104	+85	+53	+85	+53
0,4	—	—	+19	0	0	0	0
	—	—	+114	+95	+60	+95	+60
0,45	—	—	+20	0	0	0	0
	—	—	+120	+100	+61	+100	+63
0,5	+50	—	+20	0	0	0	0
	+156	—	+126	+106	+67	+106	+67
0,6	+53	—	+21	0	0	0	0
	+178	—	+146	+125	+80	+125	+80
0,7	+56	—	+22	0	0	0	0
	+196	—	+162	+140	+90	+140	+90
0,75	+56	—	+22	0	0	0	0
	+196	—	+162	+140	+90	+140	+90
0,8	+60	+24	+24	0	0	0	0
	+210	+260	+174	+150	+95	+150	+95
1	+60	+26	+26	0	0	0	0
	+240	+306	+206	+180	+112	+180	+112
1,25	+63	+28	+28	0	0	0	0
	+275	+362	+240	+212	+132	+212	+132
1,5	+67	+32	+32	0	0	0	0
	+302	+407	+268	+236	+150	+236	+150
1,75	+71	+34	+44	0	0	0	0
	+376	+459	+299	+265	+170	+265	+170
2	+71	+38	+38	0	0	0	0
	+451	+488	+318	+280	+180	+280	+180
2,5	+80	+42	+42	0	0	0	0
	+415	+572	+377	+315	+212	+315	+212
3	+85	+48	+48	0	0	0	0
	+460	+648	+427	+375	+236	+375	+236
3,5	+90	+51	+57	0	0	0	0
	+515	+723	+478	+425	+265	+425	+265
4	+95	+60	+60	0	0	0	0
	+570	+810	+515	+475	+300	+475	+300
4,5	+100	+63	+63	0	0	0	0
	+600	+863	+563	+500	+315	+500	+315
5	+106	+71	+71	0	0	0	0
	+656	+921	+601	+530	+335	+530	+335
5,5	+112	+75	+75	0	0	0	0
	+672	+975	+635	+560	+355	+560	+355
6	+118	+80	+80	0	0	0	0
	+718	+1030	+680	+600	+375	+600	+375

Tolerancije malog  
Gornje i donje

promjera navoja vijka  $d_1$   
odstupanje  $a_1 \max$  i  $a_1 \min$  ( $\mu\text{m}$ )

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	Tolerancije						
		6e	8g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
1,5) ... 2,8	0,2	—	—	46	29	— 29	—	—
		—	—	130	91	— 75	—	—
	0,25	—	—	54	36	— 36	—	—
		—	—	128	110	— 90	—	—
	0,35	—	—	70	51	— 51	—	—
		—	—	158	139	— 116	—	—
	0,4	—	—	77	58	— 58	—	—
		—	—	173	154	— 129	—	—
	0,45	—	—	85	65	— 65	—	—
		—	—	188	168	— 142	—	—
0,5	—	—	70	51	— 51	—	—	
	—	—	162	143	— 118	—	—	
2,8) ... 5,6	0,5	122	—	92	72	— 72	— 124	— 78
		— 233	—	203	183	— 156	— 208	— 152
	0,6	140	—	108	87	— 87	— 144	— 99
		— 268	—	236	215	— 183	— 240	— 184
	0,7	157	—	123	103	— 103	— 163	— 119
		— 297	—	261	241	— 207	— 269	— 214
	0,75	164	—	130	108	— 108	— 174	— 130
		— 308	—	274	252	— 218	— 284	— 229
	0,8	176	— 140	140	116	— 116	— 185	— 139
		— 329	— 348	293	269	— 234	— 303	— 241
0,75	164	—	130	108	— 108	— 174	— 130	
	— 318	—	284	262	— 225	— 291	— 234	
5,6) ... 13,2	1	204	— 170	170	144	— 144	— 224	— 180
		— 388	— 422	354	328	— 287	— 367	— 308
	1,25	243	— 208	208	180	— 180	— 275	— 232
		— 451	— 488	416	388	— 345	— 440	— 382
	1,5	284	— 249	249	217	— 217	— 327	— 282
		— 524	— 569	489	457	— 410	— 520	— 457
	1	204	— 170	170	144	— 144	— 224	— 180
		— 394	— 432	360	334	— 291	— 371	— 312
	1,25	243	— 208	208	180	— 180	— 275	— 232
		— 465	— 510	430	402	— 355	— 450	— 389
1,5	284	— 249	249	217	— 217	— 327	— 282	
	— 512	— 581	497	465	— 415	— 515	— 461	
11,2) ... 22,4	1,75	324	— 287	287	253	— 253	— 378	— 344
		— 600	— 649	563	529	— 474	— 599	— 535
	2	360	— 327	327	289	— 289	— 432	— 384
		— 664	— 721	631	593	— 533	— 676	— 608
	2,5	441	— 404	404	361	— 361	— 540	— 488
		— 791	— 848	753	711	— 647	— 826	— 751

Nazivni pro- mjer $d$ mm	Korak $P$ mm	Tolerancije						
		6e	8g	6g	6h	4h	4k6h	3p4h
22,4) ... 45	1	204	— 170	— 170	— 144	— 144	— 224	— 180
		— 401	— 442	— 367	— 341	— 296	— 376	— 315
	1,5	284	— 249	— 249	— 217	— 217	— 327	— 282
		— 542	— 593	— 507	— 475	— 420	— 530	— 465
	2	360	— 327	— 327	— 289	— 289	— 432	— 384
		— 674	— 736	— 641	— 603	— 549	— 682	— 613
	3	518	— 481	— 481	— 433	— 433	— 648	— 590
		— 934	— 1012	— 897	— 849	— 774	— 989	— 906
	3,5	595	— 558	— 558	— 505	— 505	— 756	— 693
		— 1059	— 1145	— 1022	— 969	— 889	— 1140	— 1051
4	672	— 637	— 637	— 577	— 577	— 864	— 794	
	— 1184	— 1280	— 1149	— 1089	— 1005	— 1292	— 1194	
4,5	750	— 713	— 713	— 650	— 650	— 972	— 899	
	— 1310	— 1412	— 1273	— 1210	— 1124	— 1446	— 1341	
45) ... 90	1,5	284	— 249	— 249	— 217	— 217	— 327	— 282
		— 552	— 607	— 517	— 485	— 425	— 535	— 470
	2	360	— 327	— 327	— 289	— 289	— 432	— 384
		— 684	— 751	— 651	— 613	— 545	— 688	— 618
	3	518	— 481	— 481	— 433	— 433	— 648	— 590
		— 946	— 1032	— 909	— 861	— 781	— 996	— 912
	4	672	— 637	— 637	— 577	— 577	— 864	— 794
		— 1196	— 1300	— 1161	— 1101	— 1015	— 1302	— 1200
	5	828	— 793	— 793	— 722	— 722	— 1080	— 999
		— 1438	— 1553	— 1403	— 1332	— 1242	— 1600	— 1484
5,5	906	— 869	— 869	— 794	— 794	—	—	
	— 1567	— 1690	— 1530	— 1455	— 1360	—	—	
6	984	— 946	— 946	— 866	— 866	—	—	
	— 1696	— 1828	— 1658	— 1578	— 1478	—	—	
90) ... 180	2	360	— 327	— 327	— 289	— 289	— 432	— 384
		— 694	— 771	— 661	— 621	— 551	— 694	— 623
	3	518	— 481	— 481	— 433	— 433	— 648	— 590
		— 958	— 1052	— 923	— 873	— 789	— 1004	— 918
	4	672	— 637	— 637	— 577	— 577	— 864	— 794
		— 1210	— 1325	— 1175	— 1115	— 1025	— 1312	— 1207
	6	984	— 946	— 946	— 866	— 866	—	—
		— 1716	— 1853	— 1678	— 1598	— 1488	—	—
	3	518	— 481	— 481	— 433	— 433	— 648	— 590
		— 984	— 1097	— 947	— 899	— 809	— 1024	— 931
4	672	— 637	— 637	— 577	— 577	— 864	— 794	
	— 1240	— 1375	— 1205	— 1145	— 1045	— 1332	— 1222	
6	984	— 946	— 946	— 866	— 866	—	—	
	— 1731	— 1878	— 1693	— 1613	— 1498	—	—	

Tolerancije malog promjera navoja matice  $D_2$

Gornje odstupanje  $A_{1max}$  ( $\mu m$ )

(Donje odstupanje  $A_{1min}$  za sve tolerancije H je 0)

Korak $P$ mm	Tolerancije					
	7 G		6 G		7 H	6 H ; 5 H
0,2						
0,25						- 56
0,35			+ 119	+ 19		- 100
0,4			+ 131	+ 19		- 112
0,45			+ 145	+ 20		- 125
0,5	+ 200	- 20	+ 160	+ 20	+ 180	+ 140
0,6	+ 221	- 21	+ 181	+ 21	+ 200	+ 160
0,7	+ 246	- 22	+ 202	+ 22	+ 224	+ 180
0,75	+ 258	+ 22	+ 212	+ 22	+ 236	+ 190
0,8	+ 274	+ 24	+ 224	+ 24	+ 250	+ 200
1	+ 326	- 26	+ 262	+ 26	+ 300	+ 236
1,25	+ 363	+ 28	+ 293	+ 28	+ 335	+ 265
1,5	+ 407	+ 32	+ 332	+ 32	+ 375	+ 300
1,75	+ 459	- 34	+ 369	- 34	+ 425	+ 335
2	+ 513	+ 38	+ 411	+ 38	+ 475	+ 375
2,5	+ 602	- 42	+ 492	- 42	+ 560	+ 450
3	+ 678	+ 48	+ 548	+ 48	+ 630	+ 500
3,5	+ 763	+ 53	+ 613	+ 53	+ 710	+ 560
4	+ 810	- 60	+ 660	+ 60	+ 750	+ 600
4,5	+ 913	+ 63	+ 711	+ 63	+ 850	+ 670
5	+ 971	- 71	+ 781	- 71	+ 900	+ 710
5,5	+ 1025	+ 75	+ 825	+ 75	+ 950	+ 750
6	+ 1080	- 80	+ 880	+ 80	+ 1000	+ 800

Navojni dosjedi

Pod navojnim dosjedom razumijevamo međusobnu podudarnost vijka i matice.

Zračnost (zazor) navojnog dosjeda je razlika između većeg promjera matice i manjeg promjera vijka

Prisnost (preklap) navojnog dosjeda je razlika između manjeg promjera matice i većeg promjera vijka.

Tolerancija navojnog dosjeda je razlika između najveće i najmanje zračnosti (odnosno prisnosti) navojnog dosjeda.

Vrste navojnih dosjeda

Labavi navojni dosjedi: H/c, H/g

Npr. vijci i matice za opću upotrebu

— gruba kvaliteta 7H/8g - srednja kvaliteta 6H/6e, 6H/6g

-- fina kvaliteta 5H/4h

Prelazni navojni dosjedi: H/h

Čvrsti navojni dosjedi: H/k, H/p

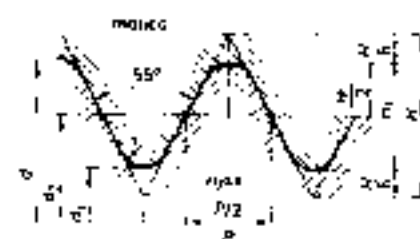
Npr. za čvrsto (s prisnošću) pritegnute vijke i matice

— čvrsto pritezanje 6H/4k6h vrlo čvrsto pritezanje 5H/3p4h

Cijevni navoji

(JUS M.B0.056 - 1952)

Profil cijevnih navoja (Whitworth)



Broj navoja na 25,4 mm  $n$

Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$

Teoretska dubina navoja

$$H = 0,96049 P$$

Nosiva dubina navoja

$$H_1 = 0,64033 P$$

Zaobljenost

$$r = 0,13733 P$$

Veliki promjer navoja  $d$

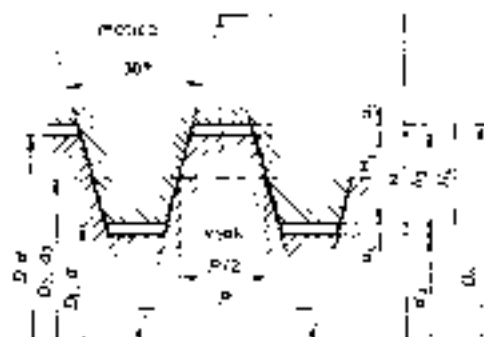
Mali promjer navoja  $d_1 = d - 2 H_1$

Srednji promjer navoja  $d_2 = d - H_1$

Oznaka*	$d$ mm	$n$	$P$ mm	Oznaka*	$d$ mm	$n$	$P$ mm
R 1/8	9,728	28	0,907	R 3 1/2	100,330	11	2,309
R 1/4	13,157	19	1,337	R 3 3/4	106,680	11	2,309
R 3/8	16,662	19	1,337	R 4	114,030	11	2,309
R 1/2	20,955	14	1,814	R 4 1/2	125,730	11	2,309
R 5/8	22,911	14	1,814	R 5	138,430	11	2,309
R 3/4	26,441	14	1,814	R 5 1/2	151,130	11	2,309
R 7/8	30,201	14	1,814	R 6	163,830	11	2,309
R 1	33,249	11	2,309	R 7	189,230	10	2,540
(R 1 1/8)	37,897	11	2,309	R 8	214,630	10	2,540
R 1 1/4	41,910	11	2,309	R 9	240,030	10	2,540
(R 1 3/8)	44,323	11	2,309	R 10	265,430	10	2,540
R 1 1/2	47,803	11	2,309	R 11	290,830	8	3,175
R 1 3/4	53,746	11	2,309	R 12	316,230	8	3,175
R 2	59,614	11	2,309	R 13	347,472	8	3,175
R 2 1/4	65,710	11	2,309	R 14	372,872	8	3,175
R 2 1/2	75,184	11	2,309	R 15	398,272	8	3,175
R 2 3/4	81,534	11	2,309	R 16	423,672	8	3,175
R 3	87,884	11	2,309	R 17	449,072	8	3,175
R 3 1/8	93,980	11	2,309	R 18	474,472	8	3,175

\* Oznaka (nazivni promjer) daje približan unutarnji promjer cijevi u (napu-  
štenim) cijevima. -- Treba se po mogućnosti kloniti dimenzija u zagradama.

*Profil trapezних navoja*



Korak navoja  $P$   
 Dubina osnovnoga profila navoja  
 (= nosiva dubina)  
 $H_1 = 0,5 P$   
 Nazivna dubina navoja  
 — vijka  $h_1 = H_1 + a_c$   
 — matice  $H_4 = H_1 + a_c$   
 Zračnost  $a_c$   
 Zaobljenost  
 — na tjemenu  $R_1$   
 u korijenu  $R_2$

*Mjere profila trapeznoga navoja (mm)*

$P$	$H_1$	$a_c$	$h_1$	$H_4$	$R_{1max}$	$R_{2max}$	$P$	$H_1$	$a_c$	$h_1$	$H_4$	$R_{1max}$	$R_{2max}$
1,5	0,75	0,15	0,9	0,975	0,15	1	14	7	1	8	0,5	1	
2	1	0,25	1,25	0,125	0,25	1	16	8	1	9	0,5	1	
3	1,5	0,25	1,75	0,125	0,25	1	18	9	1	10	0,5	1	
4	2	0,25	2,25	0,125	0,25	1	20	10	1	11	0,5	1	
5	2,5	0,25	2,75	0,125	0,25	1	22	11	1	12	0,5	1	
6	3	0,25	3,25	0,125	0,25	1	24	12	1	13	0,5	1	
7	3,5	0,25	3,75	0,125	0,25	1	26	13	1	14	0,5	1	
8	4	0,25	4,25	0,125	0,25	1	28	14	1	15	0,5	1	
9	4,5	0,25	4,75	0,125	0,25	1	30	15	1	16	0,5	1	
10	5	0,25	5,25	0,125	0,25	1	32	16	1	17	0,5	1	
12	6	0,25	6,25	0,125	0,25	1	36	18	1	19	0,5	1	
						1	40	20	1	21	0,5	1	
						1	44	22	1	23	0,5	1	

Veliki promjer navoja — vijka  $d$  ( $= D$ )

— matice  $D_4 = d + 2a_c$

Mali promjer navoja — vijka  $d_1 = d - 2h_1$

— matice  $D_2 = d - 2H_1$  ( $= d_1$ )

Srednji promjer navoja  $d_2 = D_2 = d - H_1$

Presjek jezgre  $A = d_1^2 \pi / 4$

*Viševojni trapezni navoji*

Korak navoja  $P$   $n$ -vojnih navoja veći je  $n$ -puta od koraka jednovojnog navoja, dok sve druge mjere ostaju nepromijenjene.

\*

Trapezne navoje upotrebljavamo posebno za radna vretena  
 Mjere standardiziranih trapezних navoja su na str. 521 do 523.

Oznaka*	$P$ mm	$d$ mm	$d_2 = D_2$ mm	$d_1$ mm	$D_1$ mm	$D_4$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
Tr 8 × 1,5	1,5	8	7,25	6,2	6,5	8,3	10,2
Tr 9 × 2	2	9	8	6,5	7	9,5	11,2
Tr 10 × 1,5	1,5	10	9,25	8,2	8,5	10,3	12,8
Tr 10 × 2	2	10	9	7,5	8	10,5	14,2
Tr 11 × 2	2	11	10	8,5	9	11,5	16,7
Tr 12 × 2	2	12	11	9,5	10	12,5	20,9
Tr 12 × 3	3	12	10,5	8,5	9	12,5	16,7
Tr 14 × 3	3	14	12,5	10,5	11	14,5	26,6
Tr 16 × 2	2	16	15	13,5	14	16,5	143
Tr 16 × 4	4	16	14	11,5	12	16,5	104
Tr 18 × 4	4	18	16	13,5	14	18,5	143
Tr 20 × 2	2	20	19	17,5	18	20,5	241
Tr 20 × 4	4	20	18	15,5	16	20,5	189
Tr 22 × 5	5	22	19,5	16,5	17	22,5	214
Tr 24 × 3	3	24	22,5	20,5	21	24,5	330
Tr 24 × 5	5	24	21,5	18,5	19	24,5	269
Tr 24 × 8	8	24	20	15	16	25	177
Tr 26 × 5	5	26	23,5	20,5	21	26,5	330
Tr 28 × 3	3	28	26,5	24,5	25	28,5	471
Tr 28 × 5	5	28	25,5	22,5	23	28,5	398
Tr 28 × 8	8	28	24	19	20	29	284
Tr 30 × 6	6	30	27	23	24	31	415
Tr 32 × 3	3	32	30,5	28,5	29	32,5	638
Tr 32 × 6	6	32	29	25	26	33	491
Tr 32 × 10	10	32	27	21	22	33	346
Tr 34 × 6	6	34	31	27	28	35	573
Tr 36 × 3	3	36	34,5	32,5	33	36,5	830
Tr 36 × 6	6	36	33	29	30	37	661
Tr 36 × 10	10	36	31	25	26	37	491
Tr 38 × 7	7	38	34,5	30	31	39	707
Tr 40 × 3	3	40	38,5	36,5	37	40,5	1046
Tr 40 × 7	7	40	36,5	32	33	41	804
Tr 40 × 10	10	40	35	29	30	41	661
Tr 42 × 7	7	42	38,5	34	35	43	908
Tr 44 × 3	3	44	42,5	40,5	41	44,5	1288
Tr 44 × 7	7	44	40,5	36	37	45	1018
Tr 44 × 10	10	44	38	31	32	45	755
Tr 46 × 8	8	46	42	37	38	47	1075

\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednostnim korakom.

Trapezni navoji (nastavak)

Oznaka*	P mm	d mm	$d_1 - D_1$ mm	$d_1$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	A mm <sup>2</sup>	Oznaka*	P mm	d mm	$d_1 - D_1$ mm	$d_1$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	A mm <sup>2</sup>
Tr 48 × 3	3	48	46,5	44,5	45	48,5	1 555	(Tr 145 × 14)	14	145	138	129	131	147	13 070
Tr 48 × 8	8	48	44	39	40	49	1 195	Tr 150 × 16	16	150	142	132	134	152	13 685
Tr 48 × 12	12	48	42	35	36	49	962	(Tr 155 × 16)	16	155	147	137	139	157	14 741
Tr 50 × 8	8	50	46	41	42	51	1 320	Tr 160 × 6	6	160	157	153	154	161	18 385
Tr 52 × 3	3	52	50,5	48,5	49	52,5	1 847	Tr 160 × 16	16	160	152	142	144	162	15 837
Tr 52 × 8	8	52	48	43	44	53	1 452	Tr 160 × 28	28	160	146	130	132	162	13 273
Tr 52 × 12	12	52	46	39	40	53	1 195	(Tr 165 × 16)	16	165	157	147	149	167	16 972
Tr 55 × 9	9	55	50,5	45	46	56	1 590	Tr 170 × 16	16	170	162	152	154	172	18 146
Tr 60 × 3	3	60	58,5	56,5	57	60,5	2 507	(Tr 175 × 16)	16	175	167	157	159	177	19 359
Tr 60 × 9	9	60	55,5	50	51	61	1 963	Tr 180 × 8	8	180	176	171	172	181	22 966
Tr 60 × 14	14	60	53	44	46	62	1 521	Tr 180 × 18	18	180	171	160	162	182	20 106
Tr 65 × 10	10	65	60	54	55	66	2 290	Tr 180 × 28	28	180	166	150	152	182	17 671
Tr 70 × 4	4	70	68	65,5	66	70,5	3 370	(Tr 185 × 18)	18	185	176	165	167	187	21 382
Tr 70 × 10	10	70	65	59	60	71	2 734	Tr 190 × 18	18	190	181	170	172	192	22 698
Tr 70 × 16	16	70	62	52	54	72	2 124	(Tr 195 × 18)	18	195	186	175	177	197	24 053
Tr 75 × 10	10	75	70	64	65	76	3 217	Tr 200 × 8	8	200	196	191	192	201	28 652
Tr 80 × 4	4	80	78	75,5	76	80,5	4 477	Tr 200 × 20	20	200	191	180	182	202	25 447
Tr 80 × 10	10	80	75	69	70	81	3 739	Tr 200 × 33	33	200	184	166	168	202	21 642
Tr 80 × 16	16	80	72	62	64	82	3 019	Tr 210 × 20	20	210	200	188	190	212	27 759
Tr 85 × 12	12	85	79	72	73	86	4 072	Tr 220 × 8	8	220	216	211	212	221	34 967
Tr 90 × 4	4	90	88	85,5	86	90,5	5 741	Tr 220 × 20	20	220	210	198	200	222	30 791
Tr 90 × 12	12	90	84	77	78	91	4 657	Tr 220 × 36	36	220	202	182	184	222	26 016
Tr 90 × 18	18	90	81	70	72	92	3 848	Tr 230 × 20	20	230	220	208	210	232	33 979
Tr 95 × 12	12	95	89	82	83	96	5 281	Tr 240 × 8	8	240	236	231	232	241	41 910
Tr 100 × 4	4	100	98	95,5	96	100,5	7 163	Tr 240 × 22	22	240	229	216	218	242	36 644
Tr 100 × 12	12	100	94	87	88	101	5 945	Tr 240 × 36	36	240	222	202	204	242	32 047
Tr 100 × 20	20	100	90	78	80	102	4 778	Tr 250 × 22	22	250	239	226	228	252	40 115
(Tr 105 × 12)	12	105	99	92	93	106	6 648	Tr 260 × 12	12	260	254	247	248	261	47 916
Tr 110 × 12	12	110	104	97	98	111	7 390	Tr 260 × 22	22	260	249	236	238	262	43 744
(Tr 115 × 14)	14	115	108	99	101	117	7 698	Tr 260 × 40	40	260	240	218	220	262	37 325
Tr 120 × 6	6	120	117	113	114	121	10 029	Tr 270 × 24	24	270	258	244	246	272	46 759
Tr 120 × 14	14	120	113	104	106	122	8 495	Tr 280 × 12	12	280	274	267	268	281	55 990
Tr 120 × 22	22	120	109	96	98	122	7 238	Tr 280 × 24	24	280	268	254	256	282	50 671
(Tr 125 × 14)	14	125	118	109	111	127	9 331	Tr 280 × 40	40	280	260	238	240	282	44 488
Tr 130 × 14	14	130	123	114	116	132	10 207	Tr 290 × 24	24	290	278	264	266	292	54 739
(Tr 135 × 14)	14	135	128	119	121	137	11 122	Tr 300 × 12	12	300	294	287	288	301	64 892
Tr 140 × 6	6	140	137	133	134	141	13 893	Tr 300 × 24	24	300	288	274	276	302	58 965
Tr 140 × 14	14	140	133	124	126	142	12 076	Tr 300 × 44	44	300	278	254	256	302	50 671
Tr 140 × 24	24	140	128	114	116	142	10 207								

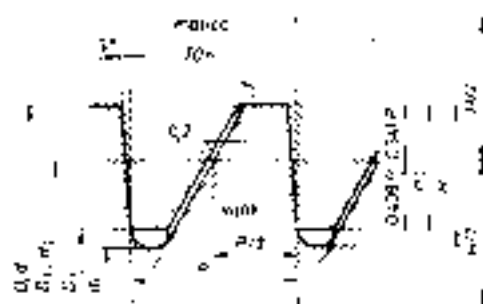
\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednosnim korakom.

\* Uzeti su u obzir svi navoji prve prednosti (debelo tiskani), od navoja druge prednosti samo oni s prednosnim korakom.



**Pilasti navoји**  
(JUS M B0 070 1981)

*Profil pilastih navoja*



- Korak navoja  $P$
- Teoretska dubina navoja  $H = 1,732\ 05\ P$
- Dubina navoja na vijku  $H_1 = 0,867\ 77\ P$
- Dubina navoja na matici (— nosiva dubina navoja)  $H_2 = 0,75\ P$
- Zračnost  $b = 0,117\ 77\ P$
- Zaobljenost  $r = 0,124\ 27\ P$

*Mjere profila pilastog navoja (mm)*

$P$	$H_1$	$H_2$	$b$	$r$	$P$	$H_1$	$H_2$	$b$	$r$
2	1,736	1,5	0,236	0,249	16	13,884	12	1,884	1,988
3	2,609	2,25	0,353	0,375	18	15,620	13,5	2,120	2,237
4	3,471	3	0,471	0,497	20	17,355	15	2,355	2,485
5	4,339	3,75	0,589	0,621	22	19,091	16,5	2,591	2,734
6	5,207	4,5	0,707	0,746	24	20,826	18	2,826	2,982
7	6,074	5,25	0,824	0,870	26	22,562	19,5	3,062	3,231
8	6,942	6	0,942	0,994	28	24,298	21	3,298	3,480
9	7,810	6,75	1,060	1,118	32	27,769	24	3,769	3,937
10	8,678	7,5	1,178	1,243	36	31,240	27	4,240	4,474
12	10,413	9	1,413	1,491	40	34,711	30	4,711	4,971
14	12,149	10,5	1,649	1,740	44	38,182	33	5,182	5,468

Veliki promjer navoja — vijka  $d$

— matice  $D - d$

Mali promjer navoja

vijka  $d_2 = d - 2H_1$

matice  $D_1 = D - 2H_2$

Srednji promjer

$d_2 = d + 1,050\ 14\ P - H$

$= D_1 - 0,913\ 96\ P + H$

Presjek jezgre

$A = d_1^2 \pi / 4$

*Viševojni pilasti navoји*

Korak navoja  $P$   $n$ -vojnih pilastih navoja veći je  $n$ -puta od koraka jednovojnog navoja, dok sve druge mjere navoja ostaju nepromijenjene.

Pilasti navoj upotrebljavamo za vretena koja mnogo rade, a prenose veliku silu, ali samo u jednom smislu.

Razlikujemo tri prednosna stupnja pilastog navoja: prvi je za običajnu upotrebu, drugi za posebne slučajeve, a treći još samo u starijim konstrukcijama.

**Pilasti navoји prve prednosti**

Oznaka*	$P$ mm	$d$ mm	$D$ mm	$d_2$ mm	$D$ mm	$D_1$ mm	$A$ mm <sup>2</sup>
S 10 × 2	2	10	6,528	8,636	10	7	33,5
S 12 × 2	2	12	8,538	10,636	12	9	57,1
S 12 × 3	3	12	6,794	9,954	12	7,5	36,3
S 16 × 2	2	16	12,528	14,636	16	12	123
S 16 × 4	4	16	9,058	13,272	16	10	61,4
S 20 × 2	2	20	16,528	18,636	20	17	215
S 20 × 4	4	20	13,058	17,272	20	14	124
S 24 × 3	3	24	18,794	21,954	24	19,5	277
S 24 × 5	5	24	15,322	20,590	24	18,5	184
S 24 × 8	8	24	10,136	18,545	24	12	80,4
S 28 × 3	3	28	22,794	25,954	28	23,5	408
S 28 × 5	5	28	19,322	24,590	28	20,5	293
S 28 × 8	8	28	14,116	22,545	28	16	156
S 32 × 3	3	32	26,794	29,954	32	27,5	564
S 32 × 6	6	32	21,586	27,909	32	23	370
S 32 × 10	10	32	14,644	25,181	32	17	164
S 36 × 3	3	36	30,794	33,954	36	31,5	745
S 36 × 6	6	36	25,586	31,909	36	27	514
S 36 × 10	10	36	18,644	29,181	36	21	273
S 40 × 3	3	40	34,794	37,954	40	35,5	951
S 40 × 7	7	40	27,852	36,227	40	29,5	609
S 40 × 10	10	40	22,644	33,181	40	25	405
S 44 × 3	3	44	38,794	41,954	44	39,5	1 182
S 44 × 7	7	44	31,852	39,227	44	37,5	797
S 44 × 12	12	44	23,174	35,817	44	26	422
S 48 × 3	3	48	42,794	45,954	48	43,5	1 438
S 48 × 8	8	48	34,116	42,545	48	36	914
S 48 × 12	12	48	27,174	39,817	48	30	580
S 52 × 3	3	52	46,794	49,954	52	47,5	1 720
S 52 × 8	8	52	38,116	46,545	52	40	1 141
S 52 × 12	12	52	31,174	43,817	52	34	763
S 60 × 3	3	60	54,794	57,954	60	55,5	2 358
S 60 × 9	9	60	44,380	53,863	60	46,5	1 537
S 60 × 14	14	60	35,702	50,453	60	39	1 001
S 70 × 4	4	70	63,058	67,272	70	64	3 123
S 70 × 10	10	70	52,644	63,181	70	55	2 177
S 70 × 16	16	70	42,232	59,089	70	46	1 401

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

Pilasti navoji prve prednosti (nastavak)

Oznaka*	P mm	d mm	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	D mm	D <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
S 80 × 4	4	80	73,058	77,272	80	74	4 192
S 80 × 10	10	80	62,644	73,181	80	65	3 082
S 80 × 16	16	80	52,232	69,089	80	56	2 143
S 90 × 4	4	90	83,058	87,272	90	84	5 416
S 90 × 12	12	90	69,174	81,817	90	72	3 758
S 90 × 18	18	90	58,760	77,726	90	64	2 712
S 100 × 4	4	100	93,058	97,272	100	94	6 801
S 100 × 12	12	100	79,174	91,817	100	82	4 921
S 100 × 20	20	100	65,290	86,362	100	70	3 348
S 120 × 6	6	120	109,586	115,909	120	111	9 432
S 120 × 14	14	120	95,702	110,453	120	99	7 193
S 120 × 22	22	120	81,818	104,998	120	87	5 258
S 140 × 6	6	140	129,586	135,909	140	131	13 189
S 140 × 14	14	140	115,702	130,453	140	119	10 514
S 140 × 24	24	140	98,348	123,634	140	104	7 597
S 160 × 6	6	160	149,586	155,909	160	151	17 574
S 160 × 16	16	160	132,232	149,089	160	136	13 733
S 160 × 28	28	160	111,404	140,907	160	118	9 747
S 180 × 8	8	180	166,116	174,545	180	168	21 674
S 180 × 18	18	180	148,760	167,726	180	153	17 381
S 180 × 28	28	180	131,404	160,907	180	138	13 562
S 200 × 8	8	200	186,116	194,545	200	188	27 206
S 200 × 18	18	200	168,760	187,726	200	173	22 768
S 200 × 32	32	200	144,462	178,179	200	152	16 391
S 220 × 8	8	220	206,116	214,545	220	208	34 167
S 220 × 20	20	220	185,290	206,362	220	190	26 965
S 220 × 36	36	220	157,520	193,451	220	166	19 488
S 240 × 8	8	240	226,116	234,545	240	228	40 156
S 240 × 22	22	240	201,818	224,998	240	207	31 990
S 240 × 36	36	240	177,520	215,451	240	186	24 751
S 260 × 12	12	260	239,174	251,817	260	242	44 928
S 260 × 22	22	260	221,818	244,998	260	227	38 644
S 260 × 40	40	260	190,578	232,724	260	200	28 526
S 280 × 12	12	280	259,174	271,817	280	262	52 756
S 280 × 24	24	280	238,348	263,634	280	244	44 618
S 280 × 40	40	280	210,578	252,724	280	220	34 827
S 300 × 12	12	300	279,174	291,817	300	282	61 213
S 300 × 24	24	300	258,348	283,634	300	264	52 420
S 300 × 44	44	300	223,636	269,996	300	234	39 280

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

Pilasti navoji prve prednosti

Oznaka	P mm	d mm	d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	D mm	D <sub>1</sub> mm	A mm <sup>2</sup>
S 340 × 12	12	340	319,174	331,817	340	322	80 010
S 340 × 44	44	340	263,636	309,996	340	274	54 588
S 380 × 12	12	380	359,174	371,817	380	362	101 321
S 420 × 18	18	420	388,760	407,726	420	393	118 701
S 460 × 18	18	460	428,760	447,726	460	433	144 384
S 500 × 18	18	500	468,760	487,726	500	473	172 580
S 540 × 24	24	540	498,348	523,634	540	504	195 053
S 580 × 24	24	580	538,348	563,634	580	544	227 622
S 620 × 24	24	620	578,348	603,634	620	584	262 704

Pilasti navoji druge prednosti\*

S 14 × 2	S 38 × 3	S 75 × 4	S 170 × 6	S 290 × 12
S 14 × 3	S 38 × 7	S 75 × 10	S 170 × 16	S 290 × 24
	S 38 × 10	S 75 × 16	S 170 × 28	S 290 × 44
S 18 × 2	S 42 × 3	S 85 × 4	S 190 × 8	S 320 × 12
S 18 × 4	S 42 × 7	S 85 × 12	S 190 × 18	
	S 42 × 10	S 85 × 18	S 190 × 32	S 320 × 44
S 22 × 3	S 46 × 3	S 95 × 4	S 210 × 8	S 360 × 12
S 22 × 5	S 46 × 8	S 95 × 12	S 210 × 20	
S 22 × 8	S 46 × 12	S 95 × 18	S 210 × 36	S 400 × 12
S 26 × 3	S 50 × 3	S 110 × 4	S 230 × 8	S 440 × 18
S 26 × 5	S 50 × 8	S 110 × 12	S 230 × 20	
S 26 × 8	S 50 × 12	S 110 × 20	S 230 × 36	S 480 × 18
S 30 × 3	S 55 × 3	S 130 × 6	S 250 × 12	S 520 × 24
S 30 × 6	S 55 × 9	S 130 × 14	S 250 × 22	
S 30 × 10	S 50 × 14	S 130 × 22	S 250 × 40	S 560 × 24
S 34 × 3	S 65 × 4	S 150 × 6	S 270 × 12	S 600 × 24
S 34 × 6	S 65 × 10	S 150 × 16	S 270 × 24	
S 34 × 10	S 65 × 16	S 150 × 24	S 270 × 40	S 640 × 24

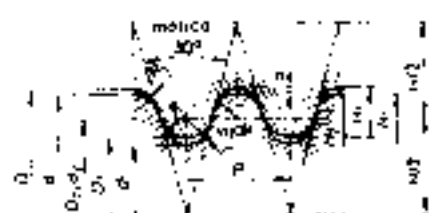
Pilasti navoji treće prednosti\*

S 105 × 4	S 125 × 6	S 145 × 6	S 165 × 6	S 185 × 8
S 105 × 12	S 125 × 14	S 145 × 14	S 165 × 16	S 185 × 18
S 105 × 20	S 125 × 22	S 145 × 24	S 165 × 28	S 185 × 32
S 115 × 6	S 135 × 6	S 155 × 6	S 175 × 8	S 195 × 8
S 115 × 14	S 135 × 14	S 155 × 16	S 175 × 16	S 195 × 18
S 115 × 22	S 135 × 24	S 155 × 24	S 175 × 28	S 195 × 32

\* Upotrebljavati treba u prvom redu debelo označene navoje

**Obli navoji**  
(JUS M.B0.081 1952)

Profil oblih navoja



Broj navoja na 25,4 mm  
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Teoretska dubina navoja  $H = 1,86603 P$   
 Dubina navoja vijka i matice  $H_1 = 0,5 P$   
 Nosiva dubina navoja  $H_2 = 0,08350 P$   
 Zračnost  $a = 0,05 P$   
 Zaobljenost — vijka  $r = 0,23851 P$   
 — matice  $R = 0,25397 P$   
 $R_1 = 0,22105 P$

Mjere profila oblog navoja (mm)

n	P	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	r	R	R <sub>1</sub>	a
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	2,540	1,270	0,212	0,606	0,650	0,561	0,12700
8	3,175	1,588	0,265	0,757	0,813	0,702	0,15875
6	4,233	2,117	0,353	1,010	1,084	0,936	0,21165
4	6,350	3,175	0,530	1,515	1,625	1,404	0,31750

Veliki promjer navoja vijka  $d$   
 matice  $D = d - 2a$   
 Mali promjer navoja vijka  $d_1 = d - 2H_1$   
 matice  $D_1 = D - 2H_1$   
 Srednji promjer  $d_2 = d - H_1 = d_1 + H_1$   
 Presjek jezgic  $A = d_1^2 \pi / 4$

Obli normalni navoji (JUS M.B0.081 — 1952)

Oznaka	n	P	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D	D <sub>1</sub>	A
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>
Rd 8 × 1/10	10	2,540	8	5,460	6,730	8,254	5,714	23,4
Rd 9 × 1/10	10	2,540	9	6,460	7,730	9,254	6,714	32,8
Rd 10 × 1/10	10	2,540	10	7,460	8,730	10,254	7,714	43,7
Rd 11 × 1/10	10	2,540	11	8,460	9,730	11,254	8,714	56,2
Rd 12 × 1/10	10	2,540	12	9,460	10,730	12,254	9,714	70,3
Rd 14 × 1/8	8	3,175	14	10,825	12,412	14,318	11,142	92,0
Rd 16 × 1/8	8	3,175	16	12,825	14,412	16,318	13,142	129
Rd 18 × 1/8	8	3,175	18	14,825	16,412	18,318	15,142	172
Rd 20 × 1/8	8	3,175	20	16,825	18,412	20,318	17,142	222
Rd 22 × 1/8	8	3,175	22	18,825	20,412	22,318	19,142	278
Rd 24 × 1/8	8	3,175	24	20,825	22,412	24,318	21,142	340
Rd 26 × 1/8	8	3,175	26	22,825	24,412	26,318	23,142	409
Rd 28 × 1/8	8	3,175	28	24,825	26,412	28,318	25,142	484
Rd 30 × 1/8	8	3,175	30	26,825	28,412	30,318	27,142	565
Rd 32 × 1/8	8	3,175	32	28,825	30,412	32,318	29,142	652
Rd 36 × 1/8	8	3,175	36	32,825	34,412	36,318	33,142	846
Rd 40 × 1/6	6	4,233	40	35,767	37,883	40,423	36,190	1005
Rd 44 × 1/6	6	4,233	44	39,767	41,883	44,423	40,190	1242
Rd 48 × 1/6	6	4,233	48	43,767	45,883	48,423	44,190	1505
Rd 52 × 1/6	6	4,233	52	47,767	49,883	52,423	48,190	1792

Obli normalni navoji (nastavak)

Oznaka	n	P	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D	D <sub>1</sub>	A
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>
Rd 55 × 1/6	6	4,233	55	50,767	52,883	55,423	51,190	2024
Rd 60 × 1/6	6	4,233	60	55,767	57,883	60,423	56,190	2443
Rd 65 × 1/6	6	4,233	65	60,767	62,883	65,423	61,190	2900
Rd 70 × 1/6	6	4,233	70	65,767	67,883	70,423	66,190	3397
Rd 75 × 1/6	6	4,233	75	70,767	72,883	75,423	71,190	3933
Rd 80 × 1/6	6	4,233	80	75,767	77,883	80,423	76,190	4509
Rd 85 × 1/6	6	4,233	85	80,767	82,883	85,423	81,190	5123
Rd 90 × 1/6	6	4,233	90	85,767	87,883	90,423	86,190	5777
Rd 95 × 1/6	6	4,233	95	90,767	92,883	95,423	91,190	6471
Rd 100 × 1/6	6	4,233	100	95,767	97,883	100,423	96,190	7207
Rd 110 × 1/4	4	6,350	110	103,650	106,825	110,635	104,285	8438
Rd 120 × 1/4	4	6,350	120	113,650	116,825	120,635	114,285	10145
Rd 130 × 1/4	4	6,350	130	123,650	126,825	130,635	124,285	12008
Rd 140 × 1/4	4	6,350	140	133,650	136,825	140,635	134,285	14029
Rd 150 × 1/4	4	6,350	150	143,650	146,825	150,635	144,285	16207
Rd 160 × 1/4	4	6,350	160	153,650	156,825	160,635	154,285	18542
Rd 170 × 1/4	4	6,350	170	163,650	166,825	170,635	164,285	21034
Rd 180 × 1/4	4	6,350	180	173,650	176,825	180,635	174,285	23683
Rd 190 × 1/4	4	6,350	190	183,650	186,825	190,635	184,285	26489
Rd 200 × 1/4	4	6,350	200	193,650	196,825	200,635	194,285	29453

Obli grubi navoj za željeznička vozila (JUS M.B0.082 — 1952)

Profil se toga navoja razlikuje od profila normalnoga oblog navoja time što mu kut nosivih površina teoretskog profila iznosi 15° 56'.  
 Dimenzije grubog oblog navoja:  
 $P = 7$  mm,  $H_1 = 4,5$  mm,  $r = 1,65$  mm,  $R = 1,55$  mm,  $R_1 = 1,75$  mm

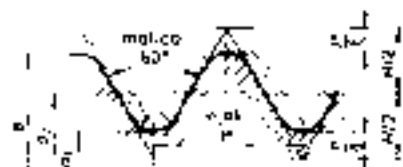
Oznaka	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>
Rd 34 × 7	34	25	29,5	34,4	25,4	31,143	491
Rd 39 × 7	39	30	34,5	39,4	30,4	36,143	707
Rd 44 × 7	44	35	39,5	44,4	35,4	41,143	962
Rd 49 × 7	49	40	44,5	49,4	40,4	46,143	1256
Rd 54 × 7	54	45	49,5	54,4	45,4	51,143	1590
Rd 59 × 7	59	50	54,5	59,4	50,4	56,143	1963
Rd 64 × 7	64	55	59,5	64,4	55,4	61,143	2376
Rd 69 × 7	69	60	64,5	69,4	60,4	66,143	2827
Rd 74 × 7	74	65	69,5	74,4	65,4	71,143	3318
Rd 79 × 7	79	70	74,5	79,4	70,4	76,143	3848

Obli navoj za željeznička spojnke (JUS M.B0.083 — 1952)

Profil toga navoja u principu je isti kao u normalnoga oblog navoja s promjerom vijka 50 mm i korakom navoja 7 mm.  
 Oznaka: Rd 50 × 7 (odn. Rd 50 × 7 lijevi)  
 Dimenzije:  
 $P = 7$  mm,  $r = 1,67$  mm,  $d = 50$  mm,  $D = 50,6$  mm  
 $H_1 = 1,5$  mm,  $R = 1,635$  mm,  $d_1 = 43$  mm,  $D_1 = 43,6$  mm  
 $H_2 = 0,75$  mm,  $R_1 = 1,704$  mm,  $d_2 = 46,5$  mm,  $D_2 = 47,3$  mm  
 ( $D_2$  je srednji promjer matice.)

### Navoji za bicikle (JUS M.B0.95 — 1957)

Profil navoja

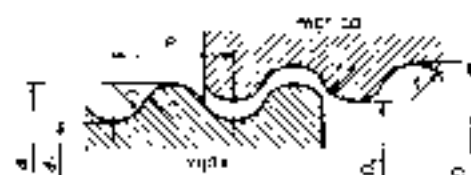


Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Dubina navoja  $H_1 = 0,5327 P$   
 Zaobljenost  $r = P/6$   
 Veliki promjer  $d$   
 Srednji promjer  $d_2 = d - H_1$   
 Mali promjer  $d_1 = d - 2H_1$

Oznaka	$d$ mm	$n$	$P$ mm	$H_1$ mm	$r$ mm	$d_2$ mm	$d_1$ mm
B1 2,2	9,525	26	0,977	0,520	0,163	9,004	8,484
B1 0,415	10,550	26	0,977	0,520	0,163	10,029	9,509
B1 0,7	14,288	20	1,270	0,677	0,212	13,611	12,934
B1 1,29	32,766	24	1,058	0,564	0,176	32,202	31,638
B1 1,37	34,798	24	1,058	0,564	0,176	34,234	33,670

### Edisonovi navoji (JUS M.B0.086 — 1952)

Profil navoja



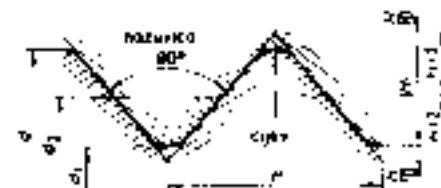
Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Zaobljenost  $r$   
 Veliki promjer vijka  $d$   
 Mali promjer vijka  $d_1$   
 Veliki promjer matice  $D$   
 Mali promjer matice  $D_1$

Oznaka	$n$	$P$ mm	$r$ mm	$d^*$ mm	$d_1^*$ mm	$D^*$ mm	$D_1^*$ mm
E 10	14	1,814	0,531	9,53 9,36	8,51 8,34	9,78 9,61	8,76 8,59
E 14	9	2,822	0,822	13,89 13,70	12,29 12,10	14,16 13,97	12,56 12,37
E 27	7	3,629	1,025	26,45 26,15	24,26 23,96	26,85 26,55	24,66 24,36
E 31	6	4,233	1,187	33,05 32,65	30,45 30,05	33,55 33,15	30,95 30,55
E 40	4	6,350	1,850	39,50 39,05	35,90 35,45	40,05 39,60	36,45 36,00

\* Gornji i donji brojevi označuju granične vrijednosti.

### Navoji za oklopne cijevi (JUS M.B0.090 — 1952)

Profil navoja

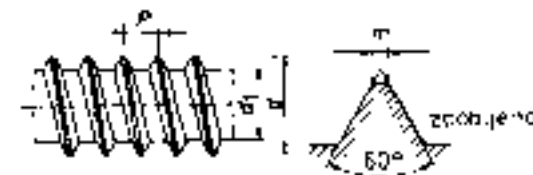


Broj navoja na 25,4 mm  $n$   
 Korak navoja (mm)  $P = 25,4/n$   
 Teoretska dubina navoja  $H = 0,595875 P$   
 Stvarna dubina navoja  $H_1 = 0,4767 P$   
 Zaobljenost  $r = 0,107 P$   
 Veliki promjer navoja  $d$   
 Mali promjer navoja  $d_1 = d - 2H_1$   
 Srednji promjer navoja  $d_2 = d - H_1$

Oznaka	$n$	$P$ mm	$d$ mm	$d_1$ mm	$d_2$ mm	$H_1$ mm	$r$ mm
Re 7	20	1,27	12,50	11,28	11,89	0,61	0,14
Re 9	18	1,41	15,20	13,86	14,53	0,67	0,15
Re 11	18	1,41	18,60	17,26	17,93	0,67	0,15
Re 13,5	18	1,41	20,40	19,06	19,73	0,67	0,15
Re 16	18	1,41	22,50	21,16	21,83	0,67	0,15
Re 21	16	1,588	28,30	26,78	27,54	0,76	0,17
Re 29	16	1,588	37,00	35,48	36,24	0,76	0,17
Re 36	16	1,588	47,00	45,48	46,24	0,76	0,17
Re 42	16	1,588	54,00	52,48	53,24	0,76	0,17
Re 48	16	1,588	59,30	57,78	58,54	0,76	0,17

### Navoji samoreznih vijaka (JUS M.B0.100 — 1983)

Profil navoja



Veliki promjer  $d$   
 Mali promjer  $d_1$   
 Korak navoja  $P$   
 Širina vrha navoja  $m$

Oznaka	$d$ mm	$d_1$ mm	$P$ mm	$m$ mm	Oznaka	$d$ mm	$d_1$ mm	$P$ mm	$m$ mm
NI 2,2	2,2	1,6	0,79	0,1	NI 4,8	4,8	3,6	1,59	0,15
NI 2,9	2,9	2,2	1,06	0,1	NI 5,5	5,5	4,2	1,81	0,15
NI 3,5	3,5	2,6	1,27	0,1	NI 6,3	6,3	4,9	1,81	0,15
NI 3,9	3,9	2,9	1,34	0,1	NI 8	8	6,2	2,12	0,15
NI 4,2	4,2	3,1	1,41	0,1	NI 9,6	9,6	7,8	2,12	0,15

## DOPUŠTENA NAPREZANJA

U konstrukcijama se ne smiju pojaviti trajne plastične deformacije, već mora svaka konstrukcija stalno ostati u području elastičnih deformacija. To znači, da dopuštena naprezanja u materijalu ne smiju prijeći granicu elastičnosti. No, zbog sigurnosti (u slučaju pojavljivanja nepredviđenih dodatnih opterećenja, npr. dinamičkih) materijal nećemo naprezati ni do granice elastičnosti. (Iznimke su posebni slučajevi, kada određenom plastičnom deformacijom postignemo djelomično ukroćivanje materijala.)

U praksi su uvedena dopuštena naprezanja, određena koeficijentom sigurnosti  $\gamma$ , tj. omjerom (vlačne) čvrstoće i dopuštenog naprezanja materijala. Taj se koeficijent mijenja – prema zahtijevanoj sigurnosti – od 2 do 10

Dopušteno naprezanje  $\sigma_{dop} = R_{\sigma} / \gamma$

Dopušteno naprezanje ovisi o osnovnim vrstama opterećenja pa različujemo dopuštena naprezanja:

na vlak	$\sigma_{dop}$
na tlak	$\sigma_{dop}$
na savijanje	$\sigma_{dop}$
na smik (tangencijalno)	$\tau_{dop}$
na torziju (uvijanje)	$\tau_{dop}$

Dopušteno naprezanje, dakako, veoma ovisi i o posebnim faktorima koji utječu na čvrstoću materijala, napose o koeficijentu oblika te o trajnom (statičkom i dinamičkom) opterećenju (str. 537 do 542).

Za određivanje dopuštenog naprezanja posebno je važno stanje materijala. Zdrav materijal mora biti homogen i ne smije imati unutarnjih grešaka (šupljina, mjehura, nakupina itd.), koje smanjuju nosive presjeka i mogu izazvati znatna zatezna naprezanja.

Osim toga, treba pri određivanju dopuštenog naprezanja uzeti u obzir još i druge okolnosti koje utječu na čvrstoću, kao što je na primjer smanjenje presjeka zbog gubitka materijala pri habanju, koroziji itd.

Za proračunavanje konstrukcijskih dijelova jednostavnih i iskušanih oblika, na koje djeluju potpuno poznata opterećenja, ovizetno upotrebljivi dopuštena naprezanja koje je iskustvom određeno za slične slučajeve. Tako postupamo u praksi pri proračunu jednostavnih strojnih elemenata uzimajući dopuštena naprezanja prema iskustvu (sabrana u tablicama na str. 533 do 535). Pri proračunu čeličnih konstrukcija uzimamo za njih posebna dopuštena naprezanja (vidi tablicu na str. 536)

Međutim, za sve novo oblikovane konstrukcijske dijelove, napose za komplicirane oblike i opterećenja, takav način proračunavanja nije više dovoljan. U takvim slučajevima treba čvrstoću i dopuštena naprezanja odrediti posebnim studijskim proračunima i ispitivanjima.

## Dopuštena naprezanja najvažnijih kovinskih materijala

U slijedećim tablicama znače

- $R_{p0,2}$  – (dogovorno) naprezanje tečenja
- $R_m$  – čvrstoću na vlak,
- $\sigma_{10}$  – trajnu dinamičku čvrstoću za savijanje (slučaj III),
- $\sigma_{dop}$  – dopušteno naprezanje na tlak, i to:
  - I – pri mirnom opterećenju,
  - II – pri kolebanju opterećenja između maksimalne vrijednosti i nule,
  - III – pri kolebanju opterećenja između pozitivne i negativne maksimalne vrijednosti.

Sva naprezanja vrijede pri temperaturi okoline

Oznaka po JUS	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{dop}$						
	N/mm <sup>2</sup>									
					I		II		III	

Sivi lijev (JUS C.12.020 – 1973) neobrađen

SL 15	110 .. 180	60 .. 80	40 .. 55	30 .. 45	25 .. 30
SL 20	160 .. 240	75 .. 110	55 .. 70	45 .. 60	25 .. 40
SL 25	210 .. 280	100 .. 140	80 .. 100	60 .. 80	40 .. 60
SL 30	250 .. 300	110 .. 160	80 .. 110	65 .. 90	40 .. 70

Temperirani lijev (JUS C.12.021 – 1958)

BTel. 35	320 .. 460	210 .. 340	80 .. 110	50 .. 80	40 .. 50
BTel. 40	200 .. 240	380 .. 410	130 .. 170	90 .. 120	45 .. 60
CTel. 45	350 .. 380	80 .. 110	70 .. 85	40 .. 60	30 .. 40
CTel. 38	1200 .. 240	480 .. 400	160 .. 130	80 .. 100	50 .. 75

Čelični lijev (JUS C.13.011 – 1973) – normalno žareni

ČL 0300	180 .. 240	380 .. 450	160 .. 190	100 .. 130	80 .. 110	50 .. 75
ČL 0400	220 .. 280	450 .. 520	180 .. 220	110 .. 160	90 .. 120	60 .. 85
ČL 0500	250 .. 320	510 .. 600	200 .. 240	130 .. 180	100 .. 150	70 .. 95
ČL 0600	280 .. 360	600 .. 700	220 .. 260	140 .. 200	110 .. 150	80 .. 110

Opći konstrukcijski čelci (JUS C.10.500 – 1970 i 1972) – normalno žareni

Č 0263	200 .. 270	340 .. 420	160 .. 200	110 .. 130	90 .. 120	75 .. 95
Č 0362	220 .. 250	370 .. 450	170 .. 200	120 .. 140	100 .. 130	80 .. 100
Č 0461	240 .. 280	420 .. 500	190 .. 250	140 .. 150	110 .. 140	90 .. 110
Č 0562	340 .. 420	520 .. 620	300 .. 350	180 .. 210	140 .. 180	110 .. 150
Č 0545	280 .. 340	500 .. 600	220 .. 270	150 .. 180	120 .. 160	95 .. 120
Č 0645	420 .. 580	600 .. 720	280 .. 330	180 .. 210	150 .. 185	105 .. 140
Č 0745	340 .. 420	700 .. 850	300 .. 380	210 .. 250	160 .. 200	115 .. 170

Značenje oznaka naprezanja – vidi str. 533

Oznaka po JUS	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{pr}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$
	N/mm <sup>2</sup>								

Čelici za cementiranje (JUS C B9 020 - 1974) nakon kaljenja

(Podaci vrijede za svojstva jezgri pri debljini ispitnog uzorka 15 do 40 mm)

Č 1120	250	300	420	520	220	280	110	150	90	120	70	90
Č 1121												
Č 1220	300	360	500	650	250	300	140	170	120	150	90	110
Č 1221												
Č 1120	400	600	600	850	300	360	200	260	140	200	120	170
Č 4320	600	800	800	1100	320	400	300	360	230	320	150	220
Č 4321	700	950	1000	1300	350	420	320	420	260	360	180	240
Č 4721	750	950	1100	1450	360	460	320	420	250	350	160	250
Č 5420	650	800	800	1200	320	420	300	380	240	320	160	230
Č 5421	800	1000	1200	1450	400	480	340	440	270	370	190	260

Čelici za poboljšanje (JUS C B9 021 - 1974) poboljšani

Č 1330	300	380	500	650	220	270	140	170	120	150	90	115
Č 1331												
Č 1430	370	450	550	800	270	320	170	200	170	170	100	125
Č 1431												
Č 1530	360	500	600	850	300	340	190	220	150	200	110	150
Č 1531												
Č 1730	440	600	700	1000	340	400	220	260	170	240	130	170
Č 1731												
Č 3130	500	650	750	1000	360	480	260	340	200	260	160	230
Č 4130	550	800	800	1050	400	500	280	350	220	280	180	250
Č 4131	550	800	800	1100	400	500	300	360	230	290	200	260
Č 4730	450	700	700	1050	320	400	210	270	150	200	130	180
Č 4731	550	800	800	1100	380	480	260	330	210	250	170	230
Č 4732	650	900	950	1200	460	530	300	380	230	280	200	260
Č 4733	700	950	1000	1350	500	580	320	380	230	280	210	260
Č 4734	800	1100	1100	1450	520	650	320	400	240	300	220	280
Č 4830	650	950	900	1250	450	580	310	380	250	300	200	270
Č 5430	650	900	950	1200	480	580	300	380	230	280	200	260
Č 5431	700	950	1000	1350	500	600	320	380	240	280	210	260
Č 5432	800	1100	1100	1450	520	620	320	400	250	300	220	280

Sva naprezanja vrijede pri temperaturi okoline.

Oznaka po JUS*	$R_{p0,2}$	$R_m$	$\sigma_{pr}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$	$\sigma_{dop}$
	N/mm <sup>2</sup>								

Čelici za opruge (JUS C B0 551 - 1984) poboljšani

Č 2135	1100	1400	1300	1500	550	650	720	850	420	500	300	380
Č 4840	1200	1600	1350	1700	580	700	750	900	420	520	320	400

Aluminijske slitine za lijevanje (JUS C C3 300 - 1983)

Al Si 12,01	70	90	140	200	60	90	40	70	30	60	20	40
Al Si 12,02	80	110	150	200	70	100	40	70	30	60	20	40
Al Si 6 Cu 4 01	100	150	160	200	60	90	40	70	30	60	20	40
Al Si 6 Cu 4 02	110	160	170	220	70	100	40	70	30	60	20	40
Al Mg 5 Si 01	50	130	170	250	60	80	40	70	30	60	20	40

Aluminijske slitine za gnječenje (JUS C C2 100 - 1967)

Al Cu 1 Si Mg	m	80	140	180	220	80	120	50	90	40	60	30	40
	u	220	320	280	450	120	180	90	130	60	90	50	70
Al Si Mg	m	50	80	110	150	50	70	30	50	20	40	20	30
	u	150	210	170	290	70	130	60	110	40	70	30	60
Al Mg <sub>2</sub>	m	70	120	180	220	70	120	50	80	30	60	30	50
	u	140	180	230	260	100	170	70	110	50	70	40	60

Čista bakra (JUS C D1 002 - 1972)

Cu - ljevan	70	120	140	200	40	50	30	40	20	30	10	20
- žaren	40	80	200	250	80	120	30	40	30	50	20	40
- vačen	300	400	380	440	100	120	90	120	40	60	20	40

Bakrene slitine za lijevanje (JUS C D2 300/301 - 1982)

P CuZn 33Pb 2 01	60	80	150	200	50	70	20	40	20	30	20	
K CuZn 10Pb 02	80	150	250	350	70	100	30	50	20	40	20	30

Bakrene slitine za gnječenje (JUS C D2 100/101/102 - 1982)

CuZn 30Pb 2	m	100	150	370	480	130	170	80	90	60	80	50	60
	t	120	160	510	610	180	220	120	150	90	110	70	80
CuZn 28	m	70	100	250	300	90	120	50	60	40	50	20	40
	t	210	260	380	460	140	180	100	130	70	90	50	60
CuZn 10	m	70	100	240	290	80	120	50	60	40	60	30	50
	t	220	280	350	430	140	180	110	140	70	90	50	70
CuSn		60	120	120	150	90	120	70	90	50	70		

\* Posobne oznake znače: m - meko, t - tvrdo, u - očvršnuto, h - hladno očvršnuto

### Dopušteno naprezanje za čelične konstrukcije

Dopušteno naprezanje za kovinske dijelove

Sastavni dio konstrukcije	Dopuštena naprezanja na						Bočni pritisak*	
	vlak $\sigma_{dop}$		tlak $\sigma_{dop}$		smik $\tau_{dop}$		B	
	N/mm <sup>2</sup>						a	h
Nosaji od Č.0000	120	120	120	120	96	96	1	1
	140	160	140	160	112	128		
Zakovnice u nosačima od Č.0246					120	120	240	240
	od Č.0000				140	160	280	320
Vijci u nosačima od Č.0246					96	96	240	240
	od Č.0000	85	85		112	128	280	320
Izmetlji vijci od Č.0000								
	od Č.0370	100	110					
Dijelovi težača od Č.1430	200	220	200	220			950	1200
	od ČL.0511	180	200	180	200			850
uzglobova od SL.15	45	50	100	110			500	600

\* Pod običnim pritiskom- podrazumijevamo pritisak zakovine ili vijka na došljedni površini provrt (rupa)

Vrijednosti u tablici vrijede pri temperaturi okoline 20°C i to:

a) za opterećenje glavnim silama: vlastitom težinom, korisnom težinom težinom stijega;

b) za opterećenje koje se ne sastoji samo od glavnih sila (kao pod a), već i od dodatnih: sile vjetrova, kočne sile, horizontalnih bučnih sila, sile zbog temperaturnog rastezanja.

Odlučan je ovaj proračun opterećenja koji daje veće nosive presjke.

\*

Dopušteno naprezanje za nekovinske materijale

Materijal	Modul elastičnosti E	Dopuštena naprezanja na			
		vlak $\sigma_{dop}$	tlak $\sigma_{dop}$	smik $\tau_{dop}$	smik $\tau_{dop}$
N/mm <sup>2</sup>					
Drvo	14000	10,5	7...12	8...14	1
		0,5	3		2,5
cračevica	11000	9	6...11	7...13	0,9
		5,3	2		1
Beton	14000...36000	-	1,5...8		

### Utjecaj oblika predmeta

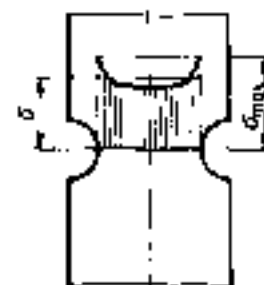
Kod predmeta, kojima se presjek znatno mijenja, nije razdioba naprezanja više jednolika po cijelom presjeku, već se na mjestima gdje se presjek mijenja (osobito kod naglih prijelaza), javlja znatno veće naprezanje  $\sigma_{max}$  koje može biti nekoliko puta veće od nazivnog naprezanja  $\sigma$ , koje zamišljamo da je jednoliko raspodijeljeno po cjelokupnom presjeku.

»Koefficient oblika«  $\alpha_k$

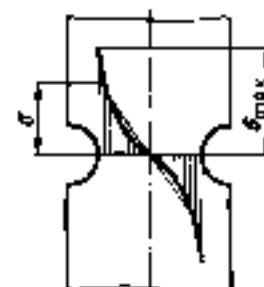
$$\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 1 \dots 7 (\dots 10)$$

Koefficient oblika  $\alpha_k$  praktički ovisi samo o načinu opterećenja i vanjskom obliku predmeta, a osobito o dubini zarez a i zakrivljenosti njegova tjemena, dakle općenito o oštrom zarezu. U običnim slučajevima koefficient oblika dostiže vrijednost 3, a u posebnim slučajevima i do 10.

Veliki porast naprezanja zbog oblika doveo je nužno do opsežnih sistematskih ispitivanja »zarezne čvrstoće«.



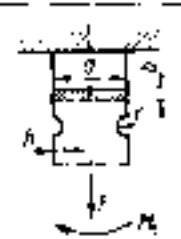
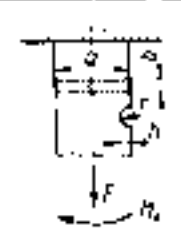
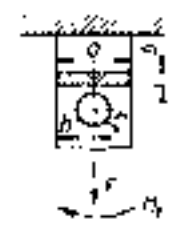
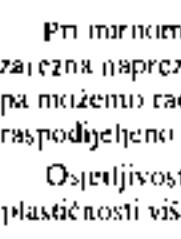
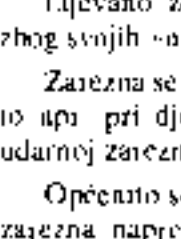
Razdioba naprezanja pri vlatku



Razdioba naprezanja pri savijanju

Koefficienti oblika  $\alpha_k$  za najobičnije slučajeve

Oblik zarez a	Vrsta opterećenja	Nazivno naprezanje	r/D	Koefficient oblika $\alpha_k$ za h/D =				
				0,025	0,05	0,1	0,2	
	vlak	4 F	0,01	2,1	2,4	2,6	2,64	
		$\pi(D-2h)^2$	0,05	1,55	1,85	1,95	1,9	
			0,1	1,38	1,55	1,7	1,54	
	savijanje		32 M <sub>1</sub>	0,01	2,0	2,22	2,3	2,2
			$\pi(D-2h)^2$	0,05	1,5	1,7	1,78	1,65
				0,1	1,32	1,43	1,48	1,42
torzija		16 T	0,01	1,5	1,6	1,65	1,65	
		$\pi(D-2h)^2$	0,05	1,22	1,35	1,4	1,3	
			0,1	1,13	1,2	1,3	1,2	
			0,2	1,1	1,13	1,12	1,1	

Oblika zareza	Vrsta opterećenja	Nazivno naprezanje	$r/\rho$	Koeficijent oblika $\sigma_k$ za $h/a$			
				0,025	0,05	0,1	0,2
	vlak	$\frac{F}{b(a-2h)}$	0,01	2,2	2,5	2,8	2,9
			0,05	1,65	1,95	2,1	2,15
			0,1	1,45	1,6	1,6	1,7
			0,2	1,35	1,45	1,55	1,5
	savijanje	$\frac{h M_x}{b(a-2h)^2}$	0,01	2,05	2,3	2,5	2,3
			0,05	1,55	1,8	1,85	1,8
			0,1	1,4	1,5	1,5	1,45
			0,2	1,25	1,3	1,3	1,28
	vlak	$\frac{F}{b(a-h)}$	0,025	1,8	2,0	2,15	2,18
			0,05	1,55	1,8	1,98	1,88
			0,1	1,32	1,55	1,6	1,6
			0,2	1,23	1,28	1,4	1,4
	savijanje	$\frac{a M_x}{b(a-h)^2}$	0,025	1,92	2,2	2,45	2,58
			0,05	1,6	1,95	2,15	2,25
			0,1	1,43	1,62	1,8	1,9
			0,2	1,31	1,44	1,52	1,6
	vlak	$\frac{F}{b(a-2r)}$	$-\frac{h}{a}$		2,15	2,1	2,05
			savijanje	$\frac{3 M_x h}{2b \left[ \frac{a}{2} - h \right]^2}$	$-\frac{h}{a}$		1,56

Pri mirnom opterećenju većina žilavih materijala nije posebno osjetljiva na zarezna naprezanja, tako da vršna opterećenja često ne treba ni uzimati u obzir pa možemo računati s nazivnim naprezanjem, koje zamišljamo da je jednoliko raspodijeljeno po cijelom presjeku.

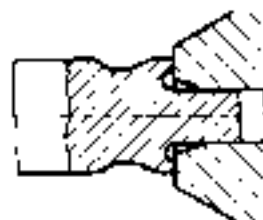
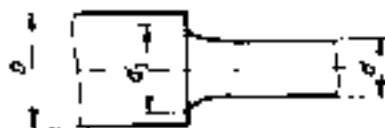
Osjetljivost čelika prema zareznom naprezanju je veća ako mu je granica plastičnosti viša, pa je tvrdi čelik mnogo osjetljiviji prema zarezima od mekoga.

Ujevano željezo praktički nije osjetljivo prema zareznom naprezanjima zbog svojih «unutarnjih zarezova» (grafitni listići!)

Zarezna se osjetljivost jako povećava ako opterećenje nije mirno, kao što je to upu pri djelovanju udara. U tom slučaju govorimo o «dinamičkoj ili udarnoj zareznoj čvrstoći».

Općenito se pri promjenljivom opterećenju znatno povećava osjetljivost za zarezna naprezanja, što nužno traži dublje istraživanje i studij o razdobi naprezanja.

Da smanjimo zarezno naprezanje  $\sigma_{max}$  u konstrukcijama se dosljedno klonimo oštrih zarezova i prijelaza pa izvodimo što je moguće postupnije prijelaze:



postupni prijelaz (paraboličnog ili bar kružnog oblika) od promjera  $d$  do promjera  $d_1$ ,

– rasteročeni prijelaz sa zaobljenom udubinom na predmetima gdje se ne može načiniti pristupni prijelaz

Ne možemo li izbjeći oštri prijelaz, valja takvo mjesto pojačati većim dimenzijama ili upotrijebiti čvrsti materijal, kako bismo uspješno spriječili zarezno djelovanje.

### Utjecaj trajanja opterećenja

Pri opterećivanju do određenog naprezanja ne moraju se sve deformacije pojaviti odmah, već djelomično tek nakon dužeg vremena. Tu pojavu vremenskog zaostajanja deformacija iza opterećenja nazivamo puženjem materijala.

Puženje sprečavamo tako da materijal opteretimo manje nego je to dopušteno za kratkotrajno opterećenje. Čvrstoća materijala dakle ovisi o trajanju opterećenja pa je ona to manja što opterećenje duže traje. Svakom trajanju opterećenja odgovara određena čvrstoća materijala, a nazivamo je *vremenskom statičkom čvrstoćom*.

Pri stanovitom manjem opterećenju puženje može prestati. Odgovarajuću čvrstoću materijala koja više ne ovisi o trajanju opterećenja nazivamo *trajnom statičkom čvrstoćom* (vidi str. 320).

### Utjecaj promjenljivog opterećenja

Čvrstoća materijala znatno opada ako opterećenje nije jednoliko, već se neprestano mijenja (koleba, titra). To kolebanje opterećenja uzrokuje i kolebanje naprezanja u materijalu.

Pri promjenljivom naprezanju čvrstoća se smanjuje s povećanjem broja titraja. Pri vrlo velikom broju titraja čvrstoća se približava vrijednosti pri kojoj više ne ovisi o broju titraja. Nazivamo je «*dinamičkom čvrstoćom*» (vidi str. 321).

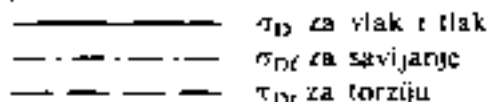
Dinamička čvrstoća ovisi o tome kako se kolebaju naprezanja. Najčešće određujemo «*pužirajuću (titranju) dinamičku čvrstoću*», pri kolebanju naprezanja od 0 do neke vrijednosti vlaka ili tlaka, i «*njihajnu (kolebljivu) dinamičku čvrstoću*», pri kolebanju naprezanja između apsolutno jednakih vrijednosti vlaka i tlaka.

Dijagrami dinamičke čvrstoće (Smithovi dijagrami, str. 321) za neke konstrukcijske čelike sabrani su na str. 541 do 542.



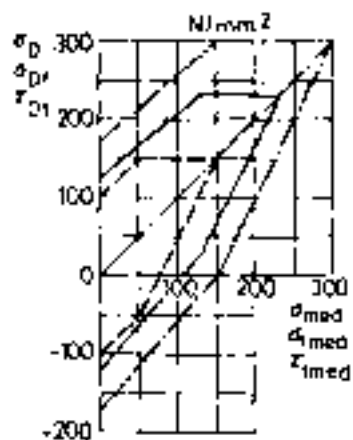
## Dijagrami dinamičke čvrstoće

U dijagramima dinamičke čvrstoće nekih konstrukcijskih čelika označene krivulje predstavljaju

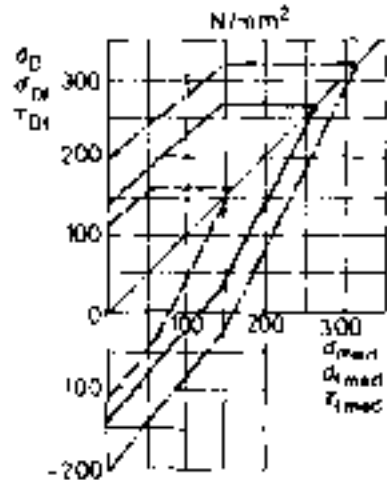


i to ovisno o srednjim naprezanjima  $\sigma_{med}$ ,  $\sigma'_{med}$ ,  $\tau_{med}$ .

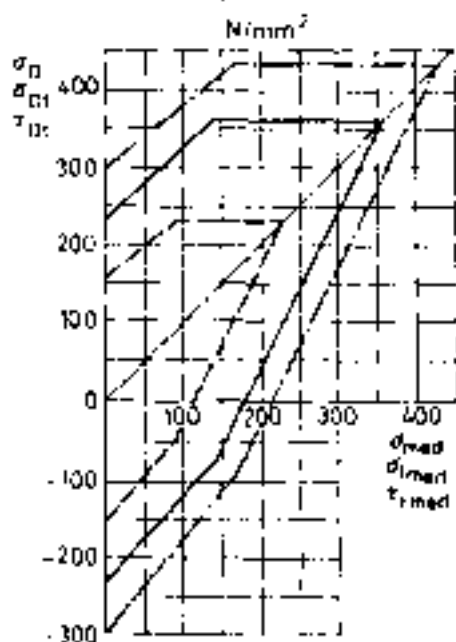
Sva su naprezanja u dijagramima dana u  $N/mm^2$ .



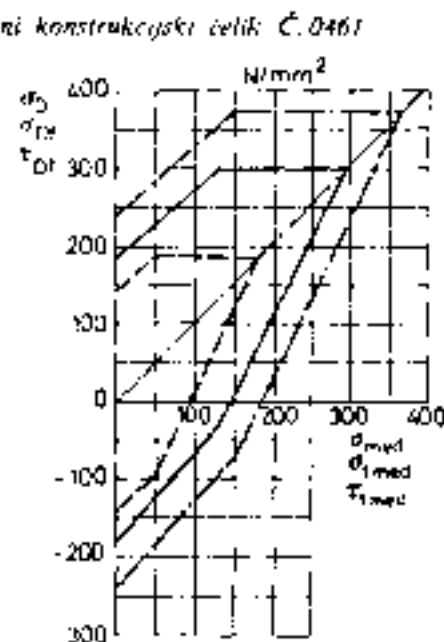
Obični konstrukcijski čelik Č. 0361



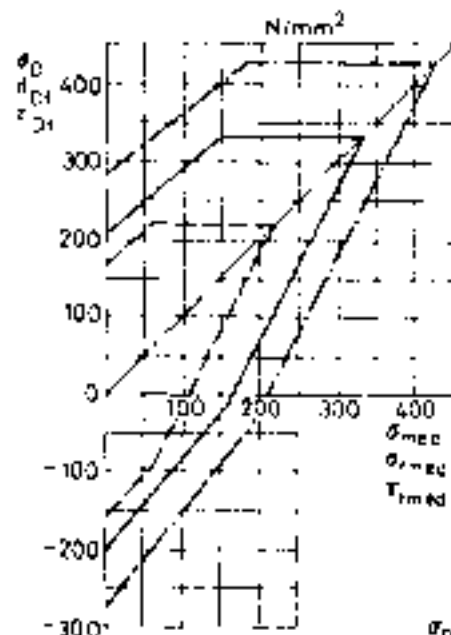
Obični konstrukcijski čelik Č. 0461



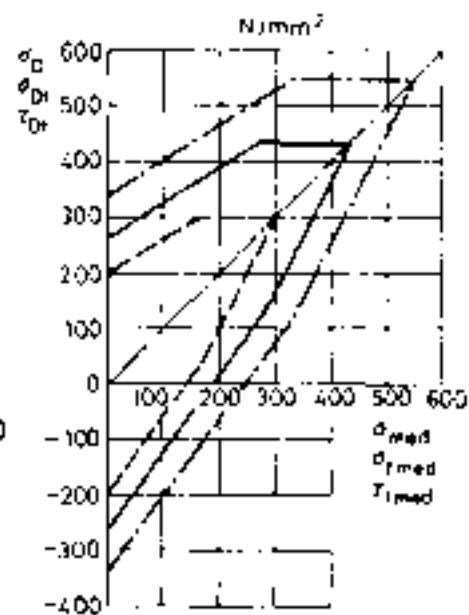
Obični konstrukcijski čelik Č. 0561



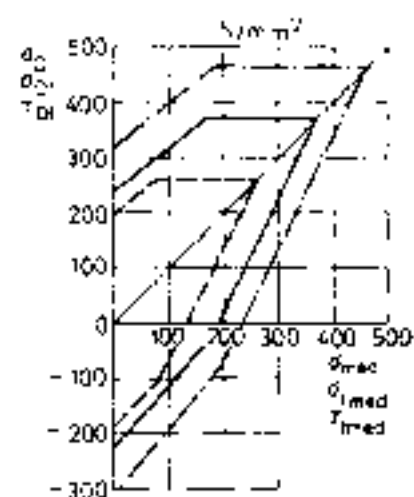
Konstrukcijski čelik Č. 0545



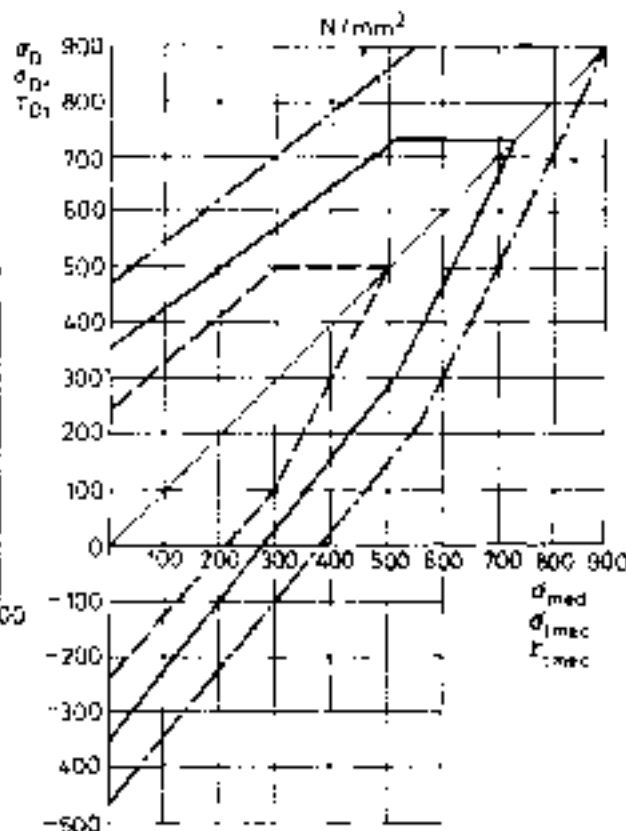
Konstrukcijski čelik Č. 0645



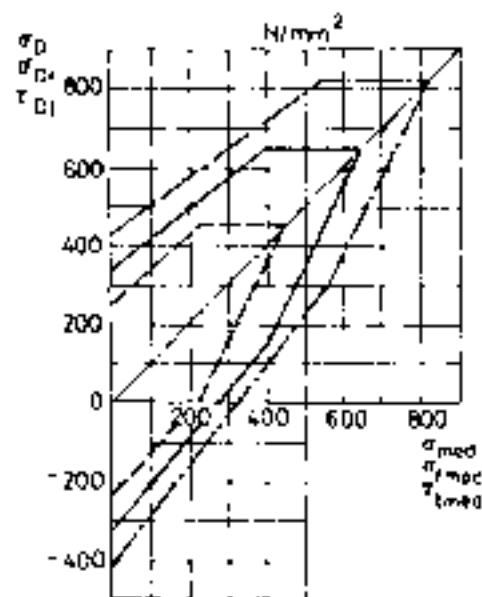
Nelegirani čelik sa  
poboljšanje Č. 1530



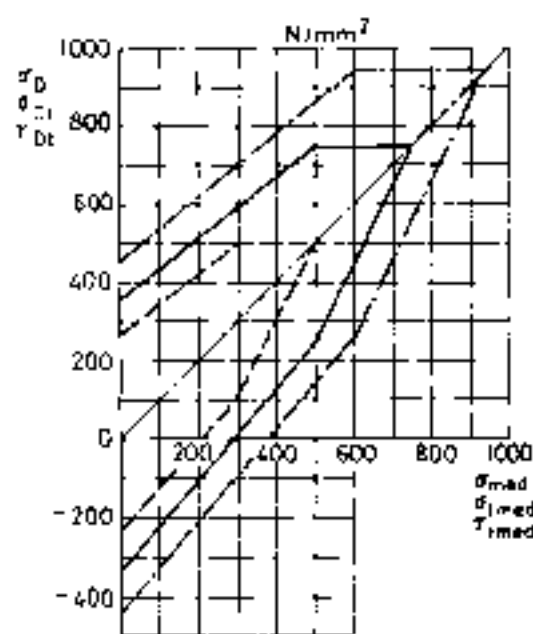
Konstrukcijski čelik Č. 0754



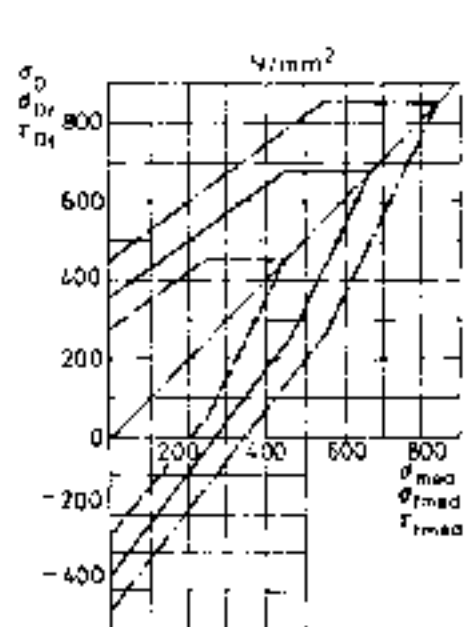
Malo legirani Mn-Si čelik sa  
poboljšanje Č. 1130



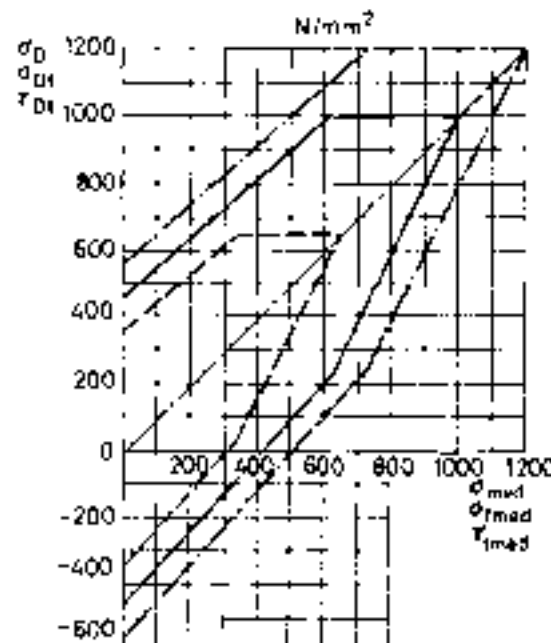
Legirani Cr-želik za poboljšanje Č. 4130



Legirani Cr-V-želik za poboljšanje Č. 4830



Legirani Cr-Mo-želik za poboljšanje Č. 4731



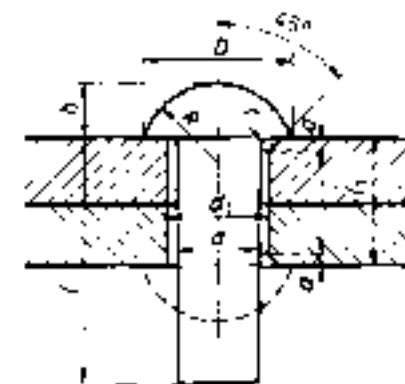
Legirani Cr-Mo-V-želik za poboljšanje Č. 4734

Zakovični spojevi

Zakovice s polukruglom glavom za čelične konstrukcije (JUS M B3.021 - 1984). (lijevi dio slike), za kotlove pod tlakom (desni dio slike)

Nazivni promjer (sirove) zakovice  $d$   
 Promjer zakovane zakovice  $d_1$   
 Presjek zakovane zakovice  $A = d \cdot z \cdot l$

Dimenzije zakovica se vide u donjoj tabeli. Duljina sirove zakovice  $l$  ovisi o ukupnoj debljini limova  $l_1$



d mm	d <sub>1</sub> mm	Zakovice za čelične konstrukcije				Zakovice za kotlove pod tlakom				A mm <sup>2</sup>	
		D mm	h mm	R mm	r mm	D mm	h mm	R mm	r mm		
10	11	16	6,5	8	0,4	18	7	9,5	1	1	95
13	14	21	8,5	11	0,6	23	9	12	1,5	1,5	154
16	17	26	10	13,5	0,8	30	12	15,5	2	2	227
19	20	30	12	15,5	0,8	35	14	18	2	2	324
22	23	35	14	18	1	40	16	20,5	2	2	415
25	26	40	16	20,5	1	45	18	23	2,5	2,5	531
28	29	45	18	23	1	50	20	25,5	3	3	661
31	32	50	20	25,5	1,5	55	22	28	3	3	804
34	35	55	22	28	1,5	60	24	30,5	3,5	3,5	967
37	38	60	24	30,5	1,5	67	26	34,5	4	4	1134

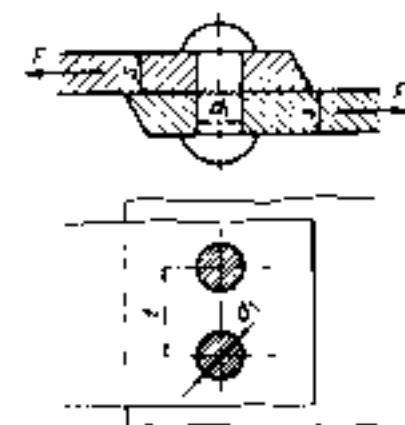
Proračun zakovanih spojeva

Zakovice računamo s obzirom na presjek  $A$  u zakovanom stanju, tj. prema promjeru rupe  $d_1$ , što je zakovica pri zakivanju gotovo sasvim ispunjena.

Sila  $F$ , koju može preneti limena traka debljine  $s$  i širine, jednaku razmaku  $z$  među zakovicama u redu, je

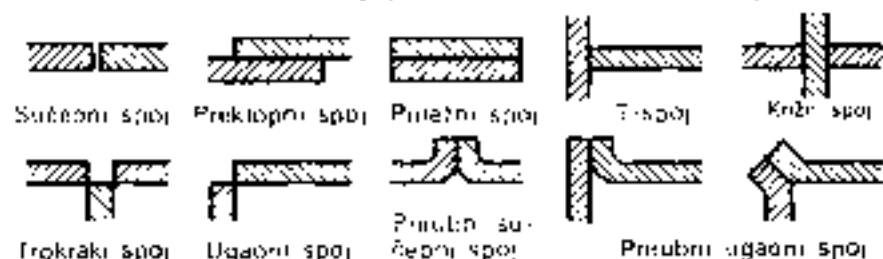
$$F = (t - d_1) \cdot \sigma_{\text{dop}} = A \cdot \tau_{\text{dop}} = d_1 \cdot \rho \cdot p_{\text{dop}}$$

gdje  $\sigma_{\text{dop}}$  - dopušteno vlačno naprezanje zakovice,  $\tau_{\text{dop}}$  - dopušteno smično naprezanje zakovice,  $p_{\text{dop}}$  - dopušten bočni pritisak (između zakovice i lima).



## Zavari

### Oblici zavarenih spojeva (JUS C.T3.001 — 1971)



### Vrste šavova i njihovi znakovi (JUS C.T3.011 — 1980)

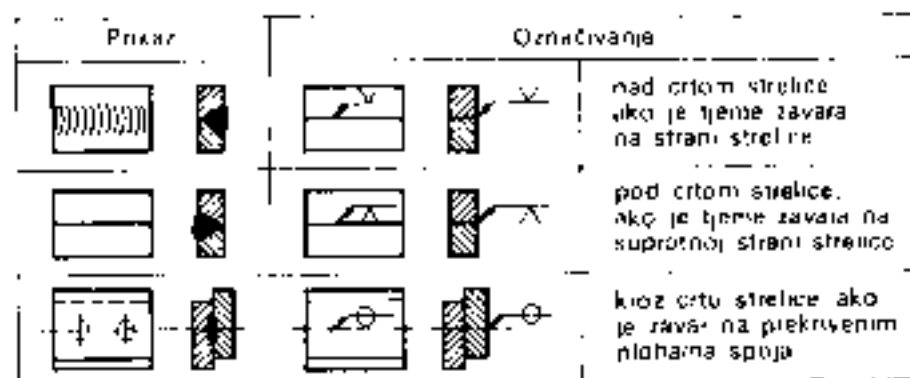
Naziv šava	Presjek	Znak	Naziv šava	Presjek	Znak
I šav			Šav iz priroba		
V šav		∇			
Polovični V šav		∇	Kutni šav		
Y šav		Y			
Polovični Y šav		Y	Kružasti šav		
U šav		U	Točkasti šav		
Polovični U šav		U			
X šav		X	Kolunski šav		
Kolunski zavari					

Dopunske oznake za oblik površine šava:

ravna: — ispupčena: udubljena:

V šav s ravnom tjemenom		X šav s ispupčanim tjemenom	
Kutni šav s udubljenim tjemenom		U šav s ravnom kolunjskim zavaranom	

### Označivanje zavara na nacrtima — strelicom



### Proračun zavarenih spojeva

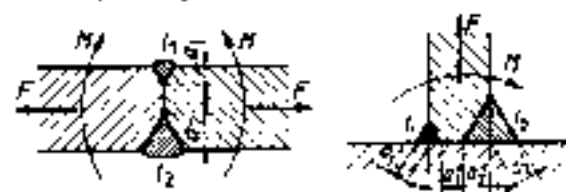
Naprezanja na vlak (tlak)  $\sigma$  zbog djelovanja sile  $F$  i naprezanje na savijanje  $\sigma_f$  zbog djelovanja momenta  $M$  iznose u osnovnim slučajevima zavarenih spojeva debljine zavora  $a$  i duljine  $l$ :



$$\sigma = \frac{F}{al}$$

$$\sigma_f = \frac{6M}{a^2l}$$

Naprezanja u dvostranim zavarima:



$$\sigma = \frac{F}{a_1l_1 + a_2l_2}$$

$$a_1 = a_1' + a_1''$$

$$a_2 = a_2' + a_2''$$

$$\sigma_f = \frac{M}{W}$$

gdje je  $W$  — moment otpora zavora.

Dopuštena naprezanja u zavaru  $\sigma_{dop,zav}$  znatno su manja od normalnih dopuštenih naprezanja  $\sigma_{dop}$ :  $\sigma_{dop,zav} = \alpha \sigma_{dop}$ .

Koeficijent zavarivanja  $\alpha$  veoma ovisi o statičkom i dinamičkom opterećenju, vrsti zavarenog spoja i izvedbi zavora. Njegove su vrijednosti približno u sljedećim granicama:

Statičko opterećenje	sušćoni spoj	Vlak (tlak)		Savijanje		Smik
		0,7...1,0	0,8...1,0	0,6...0,7	0,65	
Dinamičko opterećenje	T-spoj	0,6	0,7	0,6...0,7	0,65	
	sušćoni spoj	0,5	0,9	0,6...0,9	0,6	
	T-spoj — jednostrani	0,2...0,6	0,1...0,3	0,4		
	— dvostrani	0,3...0,7	0,6...0,8	0,6		

Pri običnoj izvedbi zavarenog spoja te se vrijednosti mogu smanjiti i do 50%.

O lemovima v. str. 414 i 415

#### Proračun lemljenih spojeva

Lemljene spojeve računamo uglavnom na smik, iznimno na vlak.

Sila  $F$ , koju prenosi lemljeni spoj opterećen na smik, iznosi

$$F = b l \tau_s$$

gdje su:  $b$  – širina spoja,  $l$  – duljina spoja.

Naprezanje  $\tau_s$  u spoju, opterećenom na smik, ne smije biti veće od dopuštenog naprezanja  $\tau_{s,dop}$

$$\tau_s \leq \tau_{s,dop}$$

Čvrstoća na smik je najveća pri debljini lemnog sloja 0,05 ... 0,2 mm.

Meki lemovi pri opterećenju puze; njihova čvrstoća s vremenom jako popušta (npr. meki lem S.Sr. 40 ima kratkotrajnu čvrstoću na smik 35 N/mm<sup>2</sup>, a nakon 10<sup>4</sup> h samo još 2 N/mm<sup>2</sup>). Čvrstoća mekih leмова veoma ovisi o temperaturi (pa npr. pri 150 °C može iznositi još samo 15% od vrijednosti pri 20 °C).

Čvrstoća lemljenih spojeva mnogo ovisi također o dinamičkom opterećenju (npr. srebrni lem pri 10<sup>4</sup> titraja ima čvrstoću 210 N/mm<sup>2</sup>, a pri 10<sup>6</sup> titraja, samo još 170 N/mm<sup>2</sup>.)

#### Lijepljeni spojevi

Lijepljem se spojevi upotrebljavaju pri spajanju kovina i nekovina (drveta, umjetnih tvari, gume, stakla, porculana itd.). Za međusobno spajanje kovina dolazi u obzir lijepljenje narokito tamo gdje treba sprečiti gubitak svojstava, postignutih termičkom obradom (npr. kod termički obrađenog duralumina) ili kod vrlo tankih dijelova.

Kao ljepila se upotrebljavaju tvari na bazi umjetnih smola (trgovačka imena: araldit, reduks, bostik, metalon itd.). Pri njihovoj upotrebi treba se strogo pridržavati uputa proizvođača.

Čvrstoća lijepljenih spojeva posljedica je adhezije između ljepila i sljepljenog dijela (dok je zadržanje mehaničkog usidrenja mnogo manje). Deblji sloj ljepila ima manju čvrstoću (pri debljini 0,05 mm može iznositi npr. 38 N/mm<sup>2</sup>, a pri debljini 1 mm još samo 15 N/mm<sup>2</sup>).

Čvrstoća se lijepljenog spoja mnogo smanjuje pri višim temperaturama (ako npr. između -50 i +80 °C iznosi oko 25 N/mm<sup>2</sup>, pri +150 °C može se smanjiti na samo 2 N/mm<sup>2</sup>.)

Nadalje čvrstoća lijepljenog spoja mnogo ovisi o broju titraja (pa se može između 10<sup>3</sup> i 10<sup>6</sup> titraja smanjiti za 80%, a da pri 10<sup>9</sup> titraja još nije postignuta trajna dinamička čvrstoća).

Stezne spojeve dobivamo navlačenjem obruča unutarne promjera  $d_2$  na rukavac većeg vanjskog promjera  $D_1$ , i to – obično – hlađenjem rukavca i zagrijavanjem obruča

Relativna deformacija  $\varepsilon$  rukavca i obruča (s obzirom na prvobitni promjer rukavca) iznosi

$$\varepsilon = (D_1 - d_2)/D_1 = \Delta d/D$$

Pritisak  $p$  na plohi između rukavca i obruča u steznom stanju ovisi o dopuštenim naprezanjima u rukavcu  $\sigma_{1,dop}$  i obruču  $\sigma_{2,dop}$

$$p \leq \sigma_{1,dop} [1 - (d_1/D_1)^2]/2 \quad p \leq \sigma_{2,dop} [1 - (d_2/D_2)^2]/2$$

Po Hookovu zakonu vrijedi za rukavac i obruč

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{1}{E_1} \left[ \frac{1 + (d_1/D_1)^2}{1 - (d_1/D_1)^2} - \frac{1}{m_1} \right] + \frac{1}{E_2} \left[ \frac{1 + (d_2/D_2)^2}{1 - (d_2/D_2)^2} - \frac{1}{m_2} \right]$$

gdje su:  $E_1$  i  $E_2$  – moduli elastičnosti za rukavac i obruč,  $m_1$  i  $m_2$  – Poissonovi koeficijenti za rukavac i obruč.

Stezna deformacija

$$\Delta d = D_1 p / \sigma_1 p$$

Temperaturne razlike, potrebne pri navlačenju:

Hlađenje rukavca za temperaturnu razliku  $T_0 - T_1$  uzrokuje suženje rukavca za  $\Delta d_1$ , dok zagrijavanje obruča za temperaturnu razliku  $T_2 - T_0$  uzrokuje proširenje obruča za  $\Delta d_2$ :

$$\Delta d_1 = \alpha_1 D_1 (T_0 - T_1) \quad \Delta d_2 = \alpha_2 d_2 (T_2 - T_0)$$

gdje su:  $T_0$  – temperatura okoline,  $T_1$  – temperatura ohlađenog rukavca,  $T_2$  – temperatura zagrijanog obruča,  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  – koeficijenti temperaturnog rastezanja rukavca i obruča (v. str. 157)

Ukupna promjena promjera treba da je veća od tražene stezne deformacije

$$\Delta d_1 + \Delta d_2 > \Delta d$$

Prijenosna sila  $F$  steznog spoja je

$$F = \mu D_1 \pi l p$$

gdje je  $l$  duljina korisne prienosne površine rukavca

Koeficijent trenja  $\mu$  na plohi između rukavca i obruča u steznom stanju iznosi 0,05 ... 0,19 (za srednje čvrdi čelik oko 0,16).

Prijenosni moment  $M_1$  steznog spoja je

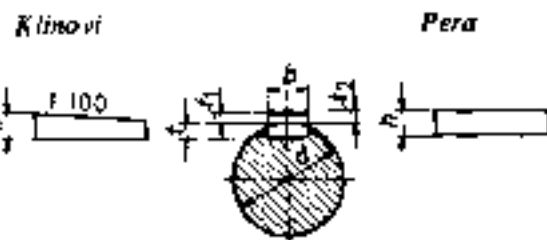
$$M_1 = (d_2/2) F$$



## RASTAVLJIVI SPOJEVI

### Spojevi klinovima

Razlikujemo klinove (s nagibom 1:100) i pera.



$d$  — promjer osovine  
 $b$  — širina  
 $h$  — visina  
 } klina odn. pera  
 dubina utora:  
 $r$  — na osnovini  
 $t_1$  — na glavini za klinove  
 $t_2$  — na glavini za pera

Osnovni standardizirani klinovi i pera prema JUS:

Klinovi (JUS M.C.2.020 — 1957). — Plosnati klinovi (JUS M.C.2.021 — 1957). — Pera, visoka (JUS M.C.2.060 — 1957). — Pera, niska (JUS M.C.2.061 — 1957).

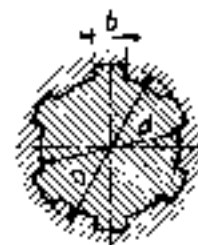
$d$ mm	$h$ mm	JUS M.C.2.020		JUS M.C.2.060		JUS M.C.2.021		JUS M.C.2.061			
		$h$ mm	$r$ mm	$t_1$ mm	$r$ mm	$t_2$ mm	$h$ mm	$r$ mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	
6) ... 8	2	2	1,1	0,6	1,1	1,0	—	—	—	—	
8) ... 10	3	3	1,7	1,0	1,7	1,4	—	—	—	—	
10) ... 12	4	4	2,4	1,3	2,4	1,7	—	—	—	—	
12) ... 17	5	5	2,9	1,8	2,9	2,2	3	—	1,9	1,2	
17) ... 22	6	6	3,5	2,1	3,5	2,6	4	—	2,5	1,6	
22) ... 30	8	7	4,1	2,4	4,1	3,0	5	1,3	3,2	3,1	2,0
30) ... 36	10	8	4,7	2,8	4,7	3,4	6	1,8	3,7	3,7	2,4
36) ... 44	12	8	4,9	2,6	4,9	3,2	6	1,8	3,7	3,9	2,2
44) ... 50	14	9	5,5	2,9	5,5	3,6	6	1,4	4,0	4,0	2,1
50) ... 58	16	10	6,2	3,2	6,2	3,9	7	1,9	4,5	4,7	2,4
58) ... 65	18	11	6,8	3,5	6,8	4,3	7	1,9	4,5	4,8	2,3
65) ... 75	20	12	7,4	3,9	7,4	4,7	8	1,9	5,5	5,4	2,7
75) ... 85	22	14	8,5	4,8	8,5	5,6	9	1,8	6,1	6,0	3,1
85) ... 95	25	14	8,7	4,6	8,7	5,4	9	1,9	6,4	6,2	2,9
95) ... 110	28	16	9,9	5,4	9,9	6,2	10	2,4	6,9	6,9	3,2
110) ... 130	32	18	11,1	6,1	11,1	7,1	11	2,3	7,9	7,6	3,5
130) ... 150	36	20	12,3	6,9	12,3	7,9	12	2,8	8,4	8,3	3,8
150) ... 170	40	22	13,5	7,7	13,5	8,7	14	4,0	9,1	—	—
170) ... 200	45	25	15,3	8,9	15,3	9,9	16	4,7	10,4	—	—
200) ... 230	50	28	17,0	10,1	17,0	11,2	18	5,2	11,7	—	—
230) ... 260	56	32	19,3	11,8	19,3	12,9	—	—	—	—	—
260) ... 290	63	32	19,6	11,5	19,6	12,6	—	—	—	—	—
290) ... 330	70	36	22,0	13,1	22,0	14,2	—	—	—	—	—
330) ... 380	80	40	24,6	14,5	24,6	15,6	—	—	—	—	—
380) ... 440	90	45	27,5	16,6	27,5	17,7	—	—	—	—	—
440) ... 500	100	50	30,4	18,7	30,4	19,8	—	—	—	—	—

Za klinove i pera upotrebljavamo čelik čvrstoće  $R_m \geq 600 \text{ N/mm}^2$ .

## Utorni spojevi

Utorni spojevi s ravnim bokovima (JUS M.C.1.410 — 1958)

Unutarnji promjer  $d$   
 Vanjski promjer  $D$   
 — za laku izvedbu  $D_1$   
 — za srednju izvedbu  $D_2$   
 Širina utora  $b$   
 Broj utora  $n$



$d$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$b$ mm	$n$	$d$ mm	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$b$ mm	$n$
11	—	14	3	6	42	46	48	8	8
13	—	16	3,5	6	46	50	54	9	8
16	—	20	4	6	52	58	60	10	8
18	—	22	5	6	56	62	65	10	8
21	—	25	5	6	62	68	72	12	8
23	26	28	6	6	72	78	82	12	10
26	30	32	6	6	82	88	92	12	10
28	32	34	7	6	92	98	102	14	10
32	36	38	6	8	102	108	112	16	10
36	40	42	7	8	112	120	125	18	10

### Svornjaci

### Spojevi svornjacima i zaticima

Standardizirani promjeri  $d$

3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30
32	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Obrađeni { bez glave (JUS M.C.3.040 — 1954)  $d = 3 \dots 100 \text{ mm}$   
 svornjaci { s malom glavom (JUS M.C.3.020 — 1954)  $d = 3 \dots 100 \text{ mm}$   
 Poluobrađeni { s velikom glavom (JUS M.C.3.021 — 1954)  $d = 6 \dots 100 \text{ mm}$   
 svornjaci { s malom glavom (JUS M.C.3.022 — 1954)  $d = 5 \dots 100 \text{ mm}$

### Zatici

Standardizirani promjeri  $d$

0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25	30	40	50
-----	-----	---	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

### Cilindrični zatici

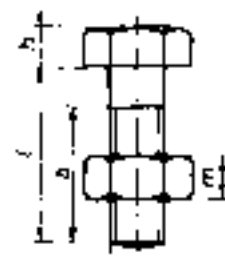
— u tolerancijskom polju h8 (JUS M.C.2.201 — 1952)  $d = 0,8 \dots 50 \text{ mm}$   
 — u tolerancijskom polju h11 (JUS M.C.2.202 — 1952)  $d = 0,8 \dots 50 \text{ mm}$   
 — u tolerancijskom polju m6 (JUS M.C.2.203 — 1952)  $d = 1 \dots 50 \text{ mm}$

### Zakaljeni cilindrični zatici (60 HRC)

— u tolerancijskom polju m6 (JUS M.C.2.204 — 1952)  $d = 0,8 \dots 20 \text{ mm}$   
 Konični zatici (1:50), (promjer  $d$  mjeri se na užem kraju) (JUS M.C.2.205 — 1952)  $d = 0,6 \dots 50 \text{ mm}$

## Vijetani spojevi

Standardiziranih vijaka i matice ima mnogo. Najobičniji su vijci sa šestokutnom glavom i maticom (ISO).



Nazivne duljine tijela vijka i duljine navoja  
(JUS M.B1.019 — 1972)

Duljine tijela $l$ (mm):								
2	(7)	14	(28)	45	75	(105)	140	200
2,5	8	16	30	50	80	110	150	220
3	(9)	(18)	(32)	55	85	(115)	160	240
4	10	20	35	60	90	120	170	260
5	(11)	(22)	(38)	65	(95)	(125)	180	280
6	12	25	40	70	100	130	190	300

Treba se kloniti duljina tijela u zgradama.\*

Duljine navoja  $b$ : za  $l \leq 125$  mm  $b = 2d + 6$  mm  
za  $l = 125, 200$  mm  $b = 2d + 12$  mm  
za  $l > 200$  mm  $b = 2d + 25$  mm

Ako je  $l \leq b$ , navoj se izvodi do glave vijka.

Vijci sa šestokutnom glavom — izrade C i B (JUS M.B1.050/051 — 1976)

Šestokutne matice za opće svrhe (JUS M.B1.600 — 1965)

Material: čelik ili mjed — bez propisanih mehaničkih svojstava. Mjere u mm

Nazivni promjer $d$	Normalne duljine tijela $l$	Duljina navoja vijka*			Dimenzije glave vijka i matice			
		$l_1$	$l_2$	$l_3$	$h$	$m$	$s$	$e$
M 5	20...50	16	—	—	3,5	4	8	8,63
M 6	25...80	18	—	—	4	5	10	10,89
M 8	30...100	22	—	—	5,5	6,5	13	14,20
M 10	35...200	26	32	—	7	8	17	18,72
M 12	40...220	30	36	—	8	10	19	20,88
(M 14)	45...220	34	40	—	9	11	22	23,91
M 16	50...220	38	44	57	10	13	24	26,17
(M 18)	55...220	42	48	61	12	15	27	29,56
M 20	60...220	46	52	65	13	16	30	32,95
(M 22)	60...220	50	56	69	14	18	32	35,03
M 24	60...220	54	60	73	15	19	36	39,55
(M 27)	70...220	60	66	79	17	22	41	45,20
M 30	80...220	66	72	85	19	24	46	50,85
(M 33)	100...220	72	78	91	21	26	50	55,37
M 36	100...220	78	84	97	23	29	55	60,79
(M 39)	100...220	84	90	103	25	31	60	66,44
M 42	120...220	90	96	109	26	34	65	72,09
(M 45)	140...220	—	102	115	28	36	70	77,74
M 48	150...220	—	108	121	30	38	75	83,39
(M 52)	180...220	—	116	129	33	42	80	89,04

\* Prema JUS M.B1.019 — 1972:  $l_1 \leq 125$  mm,  $l_2 = 125, 200$  mm,  $l_3 > 200$  mm.

Vijci sa šestokutnom glavom izrade A: JUS M.B1.052 — 1976, s navojem do glave JUS M.B1.053/055 — 1976, s finim navojem: JUS M.B1.057/060 — 1976.

## Kvalitetni vijci i matice (JUS M.B1.023 — 1983 i 028 — 1975)

Razred čvrstoće	Naprez. tučenja		Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postot. prod. $A_5$ %	Tvrdoća		Razred čvrstoće	Čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Tvrdoća HV
	$R_e$ N/mm <sup>2</sup>	$R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>							
4.6	240		400...500	25	120	170 HB	4	400	302
4.8	320			14					
5.6	300		500...700	20	140	215 HB	5	500	302
5.8	400			20					
6.6	360		600...800	16			6	600	302
6.8	480			8	170	245 HB			
6.9	540			12					
8.8	640		800...1000	12	225	300 HV	8	800	302
10.9	940			9	280	370 HV			
12.9	1080		1200...1400	8	330	440 HV	10	1000	354
14.9	1260			7	400	510 HV			
			1400...1600	7			14	1400	380

\* Nelegirani čelik (P ≤ 0,06%, S ≤ 0,07%) i čelik za automatske (P ≤ 0,12%, S ≤ 0,34%, Pb ≤ 0,35%).

† Poboljšani čelik, nelegirani (C = 0,32...0,5%) i legirani (C = 0,19...0,52%).

Razred čvrstoće: K 4 10.9 12.9 14.9  
Cr + Mo + Ni + V ≥ 0 0,5 0 0,9 0,9 1,5 1,5...2,5

\* Nelegirani čelik (C ≤ 0,5%, P ≤ 0,110%, S ≤ 0,150%)

† Mn — čelik (C ≤ 0,58%, Mn ≥ 0,30...0,45%)

Preporučeni promjeri svrdla za rupe pred navoženjem navojem  
(JUS M.B1.003 — 1972)

Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm	Oznaka navoja	Promjer svrdla mm
M 1	0,75	M 1,5	1,9	M 12	10,2	M 36	32
M 1,1	0,85	M 4	3,3	M 14	12	M 39	35
M 1,2	0,95	M 4,5	3,7	M 16	14	M 42	37,5
M 1,4	1,1	M 5	4,2	M 18	15,5	M 45	40,5
M 1,6	1,25	M 6	5	M 20	17,5	M 48	43
M 1,8	1,45	M 7	6	M 22	19,5	M 52	47
M 2	1,6	M 8	6,8	M 24	21	M 56	50,5
M 2,2	1,75	M 9	7,8	M 27	24		
M 2,5	2,05	M 10	8,5	M 30	26,5		
M 3	2,5	M 11	9,5	M 33	29,5		

Promjeri provrta za vijke s metarskim navojem  
(JUS M.B1.004 1986)

Oznaka navoja	Promjer provrta*			Oznaka navoja	Promjer provrta*			Oznaka navoja	Promjer provrta*		
	l	s	g		l	s	g		l	s	g
M 1	1,1	1,2	1,3	M 14	5	15,5	16,5	M 64	66	70	74
M 1,2	1,3	1,4	1,5	M 16	17	17,5	18,5	M 65	70	74	78
M 1,4	1,5	1,6	1,8	M 18	19	20	21	M 72	74	78	82
M 1,6	1,7	1,8	2	M 20	21	22	24	M 76	78	82	86
M 1,8	2,0	2,1	2,2	M 22	23	24	26	M 80	82	86	90
M 2	2,2	2,4	2,6	M 24	25	26	28	M 85	87	91	96
M 2,5	2,7	2,9	3,1	M 27	28	30	32	M 90	93	96	101
M 3	3,2	3,4	3,6	M 30	31	33	35	M 95	98	101	107
M 3,5	3,7	3,9	4,2	M 33	33	36	38	M 100	104	107	112
M 4	4,3	4,5	4,8	M 36	37	39	42	M 105	109	112	117
M 4,5	4,8	5	5,3	M 39	40	42	45	M 110	114	117	122
M 5	5,3	5,5	5,8	M 42	43	45	48	M 125	129	132	137
M 6	6,4	6,6	7	M 45	46	48	52	M 130	134	137	142
M 7	7,4	7,6	8	M 48	50	52	56	M 125	129	132	137
M 8	8,4	9	10	M 52	54	56	62	M 130	134	137	142
M 10	10,5	11	12	M 56	58	62	66	M 140	144	147	153
M 12	13	13,5	14,5	M 60	62	66	70	M 150	155	158	165

\* l - fina izrada (za fina mehanika, precizne strojeve i alat); s - osrednja izrada (za opće strojarstvo); g - gruba izrada (za grube dijelove, ljevano rupe).

Proračun vijaka

a) Vijci za pričvršćivanje

Maksimalna sila  $F_{max}$ , koje može prenositi vijak presjeka  $A$  (s promjerom jezgre navoja  $d_1$ ), iznosi  $F_{maks} \leq A \sigma_{dop}$   $A = d_1^2 \pi/4$

Dopušteno naprezanje  $\sigma_{dop}$  za vijke određujemo obično ovisno o naprezanju tečenja  $R_e$  ( $R_p 0,2$ )  $\sigma_{dop} = 0,3 R_e$

Za prednapregnute vijke uzimamo  $F_{max} = (1,3 \dots 1,6) F$ , gdje je  $F$  vanjska sila, kojom opteređujemo vijak na vlak

b) Vijci za prijenos gibanja (obično s trapeznim ili pilastim navojem)

Nosiva sila  $F$  određuje se - osim proračunom čvrstoće (kao pod a) - još i s obzirom na bočni pritisak  $p$  dodirnih ploha u navoju

$$F_{maks} \leq \frac{(d^2 - d_1^2)\pi}{4} p \alpha$$

gdje su  $d$  - vanjski promjer vijka;  $n$  - broj nosivih navoja.

Bočni pritisak  $p$  kod brončanih matica iznosi:

$$\begin{aligned} \text{za vijke od mekog čelika} & p \leq 7,5 \text{ N/mm}^2 \\ \text{za vijke od tvrdog čelika} & p \leq 16 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

STROJNI DIJELOVI ZA PRIJENOS KRUŽNIH GIBANJA

Osovine

Okrugle osovine promjera  $d$  mogu prenositi moment vrtnje  $T$

$$T = W_p \tau_{dop}$$

gdje je  $W_p$  - polarni moment otpora okrugle osovine

$$W_p = (\pi/32)d^3 = 0,2 d^3$$

a  $\tau_{dop}$  je dopušteno naprezanje na torziju

Za osovine uzimamo čelik čvrstoće  $R_m = 420 \dots 700 \text{ N/mm}^2$ . Ako dodatni momenti savijanja nisu poznati, računamo s dopuštenim naprezanjem na torziju  $\tau_{dop}$  ovisno o promjeru osovine  $d$

$d$ (mm)	25	25	50	50	80	80
$\tau_{dop}$ (N/mm <sup>2</sup> )	10	20	30	40		

Ako su, međutim, momenti savijanja poznati, treba osovinu računati pomoću sastavljenih opterećenja (v. str. 122).

Za prijenos momenta vrtnje  $T$  treba promjer osovine  $d$  biti

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{T}{\tau_{dop}}} = \sqrt[3]{\frac{5 T}{\tau_{dop}}}$$

Moment vrtnje možemo izraziti snagom  $P$ , koju osovina prenosi, i brzinom vrtnje osovine  $n$

$$T = \frac{P}{2\pi n}$$

Remenski prijenos

Zbog trenja između remena i remenice sila  $F_1$  u vuđnoj strani remena veća je od sile  $F_2$  u povratnoj strani

$$F_1 > F_2; \quad \frac{F_1 - F_2}{F_2 - F_c} = e^{\mu \alpha} \quad F_c = m_1 v^2 = \rho A v^2$$

gdje su:  $e$  - baza prirodnih logaritama,  $\mu$  - koeficijent trenja,  $\alpha$  - obuhvatni kut (rad) remena na remenici,  $F_c$  - sila u remenu zbog centrifugalne sile,  $m_1$  - duljinska masa remena (kg/m),  $\rho$  - gustoća remena,  $A$  - presjek remena,  $v$  - brzina remena.

Vrijednosti izraza  $e^{\mu \alpha}$

$\mu$	120°	140°	160°	180°	200°	220°
0,2	1,52	1,63	1,75	1,88	2,01	2,16
0,4	2,31	2,66	3,06	3,51	4,04	4,65
0,6	3,51	4,33	5,34	6,59	8,12	10,0
0,8	5,34	7,06	9,34	12,4	16,3	21,6

**Obodna sila  $F$**

$$F = F_1 - F_2 = (F_1 - F_2)(e^{\mu \alpha} - 1) / e^{\mu \alpha} = (F_1 - F_2)(e^{\mu \alpha} - 1)$$

Snaga  $P$ , koju remen prenosi pri obodnoj brzini  $v = u \pi n$

$$P = Fv = (F_1 - F_2) \pi n u$$

Sila  $F_1$ , kojom je remen napregnut (u vučnom dijelu):

$$F_1 = (F_1 - F_2) e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1) + F_2 = A \sigma_{adm}$$

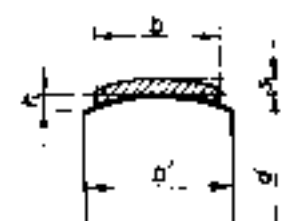
gdje su:  $A$  – presjek remena,  $\sigma_{adm}$  – dopušteno naprezanje remena.

Prijenosni omjer  $i$  je omjer brzine vrtnje  $n_1$  pogonske remenice i brzine vrtnje  $n_2$  gonjene remenice  $i = n_1/n_2$

**a) Plosnati remeni**

izrađuju se od kože, gume, tekstila, umjetnih masa itd.

**Širine remena i remenica (JUS M.C1.231 – 1965)**



Mjere u mm									
b	b'	b	b'	b	b'	b	b'	b	b'
16	20	50	63	100	112	180	200	315	355
20	25	63	71	112	125	200	224	355	400
25	32	71	80	125	140	224	250	400	450
32	40	80	90	140	160	250	280	450	500
40	50	90	100	160	180	280	315	500	560
									630

**Promjeri remenica  $d$  (mm) (JUS M.C1.241 – 1965)**

40	56	80	112	160	224	315	450	630	900	1250	1800
45	63	90	125	180	250	355	500	710	1000	1400	2000
50	71	100	140	200	280	400	560	800	1120	1600	

**Izbočenost vijenca remenice  $h$  (JUS M.C1.242 – 1965) Mjere u mm**

$d$	$h$	$d$	$h$	$d$	$h$
40 ... 112	0,3	160, 180	0,5	250, 280	0,8
125, 140	0,4	300, 324	0,6	315, 355	1,0

Izbočenost za  $d = 400 \dots 2000$  mm iznosi između 1 i 6 mm (ovisi o širini remenice  $b'$ )

Specifična snaga  $P/A$ , tj. prijenosna snaga remena  $P$  po jedinici presjeka  $A$ , ovisi o materijalu remena, obuhvatnom kutu  $\alpha$ , relativnoj debljini  $t/d$  ( $t$  = debljina remena,  $d$  = promjer remenice) i o obodnoj brzini  $v$ .

**Specifična snaga  $P/A$  za plosnati kožni remen pri obuhvatnom kutu  $\alpha = 180^\circ$**

$d$	$P/A$ (kW/mm <sup>2</sup> )								
	$v$ (m/s)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
1 - 400	0,013	0,025	0,036	0,047	0,056	0,063	0,065	0,063	
1 - 200	0,012	0,023	0,034	0,045	0,053	0,060	0,062	0,059	
1 - 100	0,011	0,021	0,032	0,042	0,049	0,055	0,057	0,053	
1 - 50	0,010	0,019	0,029	0,037	0,043	0,047	0,048	0,042	

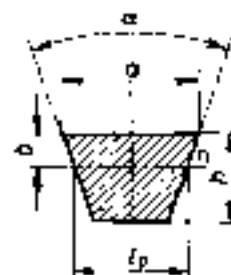
Prijenosni je omjer kod plosnatih remena:  $i \leq 5$ .

**b) Beskonačni klinasti remeni**

Profil klinastih remena je trapez širine (dulje) manjice  $a$  i visine  $h$ , dok bočne stranice zatvaraju kut od  $40^\circ$ .

**Normalni klinasti remeni (JUS G.F.2.053 – 1964)**

Oznaka profila	Dimenzije (mm)				
	$a$	$h$	$b$	$l_e$	$L_e$
Y	6	4	1,6	5,3	200 ... 1250
Z	10	6	2,4	8,5	400 ... 2800
A	13	8	3,1	11	560 ... 4000
B	17	11	4,1	14	800 ... 6300
C	22	14	5,6	19	1400 ... 9000
D	32	19	8,2	27	2240 ... 18000
E	38	25	9,7	32	3150 ... 18000



$n$  – neutralna os  
 $\alpha \rightarrow 40^\circ \pm 1^\circ$

**Uski klinasti remeni**

Oznaka profila	Dimenzije (mm)				
	$a$	$h$	$b$	$l_e$	$L_e$
SPZ	9,7	8	2	8,5	630 ... 3550
SPA	12,7	10	2,75	11	800 ... 4500
SPB	16,3	13	3,5	14	1250 ... 8000
SPC	22	18	4,8	19	2000 ... 12500

**Računske duljine  $L_p$  (mm) (JUS G.F.2.053 – 1964)**

200	355	630	1120	2000	3550	6300	11200
224	400	710	1250	2240	4000	7100	12500
250	450	800	1400	2500	4500	8000	14000
280	500	900	1600	2800	5000	9000	16000
315	560	1000	1800	3150	5600	10000	18000

Snaga  $P$ , što je prenosi klinasti remen, ovisi o obuhvatnom kutu  $\alpha$ , o najmanjem promjeru remenice  $d_{min}$  i o obodnoj brzini  $v$ .

**Snaga  $P$  klinastog remena pri obuhvatnom kutu  $\alpha = 180^\circ$**

Oznaka profila	$d_{min}$ (mm)	$P$ (kW)							
		$v$ (m/s)							
		2	4	6	10	14	18	22	26
Y	32	0,037	0,074	0,11	0,16	0,19	0,19	0,15	0,058
Z	63	0,14	0,27	0,41	0,64	0,81	0,88	0,88	0,74
A	90	0,27	0,55	0,81	1,25	1,6	1,9	2,0	1,9
B	125	0,51	0,96	1,4	2,3	2,9	3,4	3,5	3,3
C	210	0,89	1,75	2,6	4,1	5,3	6,1	6,4	5,9
D	345	1,7	3,3	4,8	7,7	10,0	11,5	12,1	11,2
E	490	2,6	5,2	7,7	11,9	15,4	18,1	18,9	17,5

Pri manjem obuhvatnom kutu  $\alpha$  valja vrijednosti za snagu  $P$  množiti s faktorom  $k$

$\alpha^\circ$	170	160	150	140	130	120	110	100	90
$k$	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68

Prijenosni je omjer kod klinastih remena  $i \leq 10$  (... 15).



## Lančani prijenos

Obojna sila  $F_c$  proizlazi iz snage  $4\pi$  je prenosi lanac po brzini  $v$ , odnosno iz momenta vrtinje  $T$  lančanika (lančanog zupčanika) i promjera njegove diohene kružnice  $d_h$

$$F_c = \frac{P}{v} = \frac{2T}{d_h}$$

prej čemu brzina lanca, koja je jednaka obojnoj brzini na diohennom valjku, ovisi o brzini vrtinje  $n$

$$v = d_h \pi n$$

U lancu djeluje još i komponenta centrifugalne sile

$$F_k = m_l v^2$$

gdje je  $m_l$  duljinska masa lanca (kg/m).

Ukupna sila, kojom je opterećen lanac, iznosi

$$F = F_c + F_k$$

Bočni pritisak  $p$  na dodirne plohe članaka  $A$

$$p = \frac{F}{A} < p_{dop}$$

Dopušteni bočni pritisak  $p_{dop}$  ovisi o brzini lanca  $v$ , a iznosi pri uobičajenim pogonskim prilikama:

$v$ (m/s)	0,1	0,5	1,0	1,5	2	3	4	5,5	7	9	12
$p$ (N/mm <sup>2</sup> )	3100	2800	2600	2400	2250	2050	1850	1600	1400	1250	1000

Lančanijei

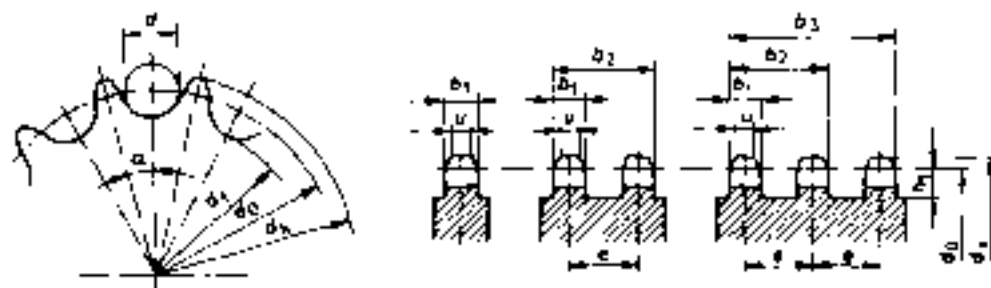
Promjer diohennog valjka  $d_h$

$$d_h = \frac{h}{\sin \alpha} = hN \quad \alpha = \frac{180^\circ}{z}$$

gdje su:  $h$  - korak lanca,  $\alpha$  (°) - polovični kut među susjednim zupcima;  $z$  - broj zuba lančanika.

Vrijednosti  $N$

$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$	$z$	$N$
6	2,0000	16	5,1258	26	8,2962	36	11,4737	46	14,6537
7	2,3048	17	5,4422	27	8,6038	37	11,7919	47	14,9717
8	2,6131	18	5,7588	28	8,9314	38	12,1096	48	15,2898
9	2,9238	19	6,0755	29	9,2491	39	12,4275	49	15,6079
10	3,2361	20	6,3925	30	9,5668	40	12,7454	50	15,9260
11	3,5495	21	6,7095	31	9,8845	41	13,0635	51	16,2441
12	3,8637	22	7,0267	32	10,2023	42	13,3815	52	16,5622
13	4,1786	23	7,3439	33	10,5201	43	13,6995	53	16,8803
14	4,4940	24	7,6613	34	10,8384	44	14,0176	54	17,1984
15	4,8097	25	7,9787	35	11,1558	45	14,3356	55	17,5165

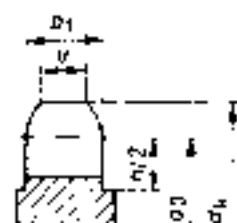


Tjemeni valjak	za $z = 7 \dots 12$	$d_k = d_o + (0,5 \dots 0,6)d$
	za $z = 13 \dots 25$	$d_k = d_o + (0,6 \dots 0,7)d$
	za $z \geq 26$	$d_k = d_o + (0,7 \dots 0,8)d$

Lančanijei za člankaste lance s valjcima

Lanac (mm)		Dimenzije lančanika (mm)				
$h$	$e$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$u$	$h_1$ min
6	5,5	2,5	8	-	1,3	3,5
8	5,64	2,7	8,3	-	1,5	5
12,7	-	3	-	-	2	8
12,7	-	4,4	-	-	5	8
25,4	31,88	15,4	47	79	11	17
25,4	31,4	15,4	53	40,2	11	17
31,75	36,45	18	54,5	91	13	19
38,1	48,36	23	71,4	120	16	25
44,45	59,56	28	87,6	147	20	28
50,8	58,55	28	86,6	145	20	31
63,5	72,29	34	106	178	24	41
76,2	91,21	41	132	233	29	48

Lančanijei za člankaste lance s tuljcima i svornjacima



Tjemeni valjak lančanika

za lance s tuljcima

$$d_k = d_o + (0,8 \dots 1)d$$

- za lance sa svornjacima

$$d_k = d_o + (3 \dots 4 \text{ mm})$$

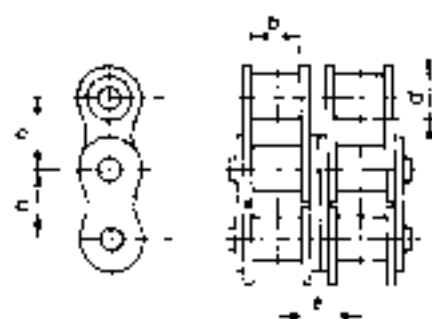
\*

$$h = 0,9 b \quad u = 11,6 b$$

$b$  je nosiva širina lanca (vidi str. 558 i 559).

## Člankasti lanci

su lanci s valjcima, tuljcima i svornjacima.



h - korak  
b - nosiva širina članka  
d - nosivi promjer članka  
e - razmak među članima

Člankasti lanci s valjcima (JUS M.CI.820 - 1960), jedno-, dvo- i troredni

Dimenzije (mm)				Prekidna sila (kN)			Duljin. masa (kg/m)		
h	b	d	e	jedno- redni	dvo- redni	tro- redni	jedno- redni	dvo- redni	tro- redni
6	2,8	4	5,64	3	—	—	0,12	—	—
8	3	5	—	5	9	—	0,18	0,36	—
12,7	3,3	7,75	—	8	—	—	0,40	—	—
12,7	4,88	7,75	—	8	—	—	0,44	—	—
25,4	17,02	15,88	31,88	45	80	115	2,7	5,4	8
(30)	17,02	15,88	—	45	—	—	2,5	—	—
31,75	19,56	19,05	36,15	55	100	140	3,6	7,2	11
38,1	25,4	25,4	48,46	120	215	300	6,7	13,5	21
44,45	30,99	27,94	59,56	140	250	360	8,3	16,6	25
50,8	30,99	29,21	58,55	180	320	450	10,5	21	32
55,5	38,1	39,37	72,29	270	480	680	16	32	48
76,2	45,75	48,26	91,21	400	700	1000	25	50	75

### Člankasti lanci s valjcima:

- za povećano opterećenje (JUS M.CI.821 - 1960)
- s dugim članima (JUS M.CI.822 - 1960)
- za poljoprivredne strujeve (JUS M.CI.827 - 1960)

## Člankasti lanci s tuljcima (JUS M.CI.830 - - 1960) - jednoredni

Dimenzije (mm)					Dimenzije (mm)				
h	b	d	Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)	h	b	d	Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)
15	14	9	12,5	1,20	55	45	30	125	13,6
20	16	12	25	2,15	60	50	32	160	14,9
25	18	15	31,5	2,55	65	55	36	200	18,9
30	20	17	40	4,00	70	65	42	250	24,7
35	22	18	50	4,30	80	70	44	315	31,0
40	25	20	63	5,50	90	80	50	400	41,8
45	30	22	80	7,55	100	90	56	500	48,4
50	35	26	100	9,04					

Člankasti (Gallovi) lanci sa svornjacima (JUS M.CI.840/841-1960) — jednoredni

Dimenzije (mm)					Dimenzije (mm)				
h	b	d	Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)	h	b	d	Prekidna sila (kN)	Dulj. masa (kg/m)
<i>Laki lanci</i>									
20	8	7	2,5	0,26	50	20	11	40	2,76
25	12	5	5	0,35	60	22	12	60	3,14
35	15	8	12,5	0,69	70	25	14	80	3,31
40	18	10	25	1,25	80	30	17	100	4,50
<i>Teški lanci</i>									
3,5	2	2	0,75	0,07	45	30	17	100	6,4
6	4	3	1,25	0,16	50	35	22	150	10,6
8	6	3,5	1,5	0,25	55	40	24	200	15,5
10	8	4	2,5	0,40	60	45	26	250	18,0
15	12	5	5	0,70	70	50	32	375	33,5
20	15	8	12,5	1,10	80	60	36	500	38,2
25	18	10	25	1,75	90	70	40	750	53,0
30	20	11	40	3,4	100	80	45	1000	76,6
35	22	12	60	4,5	110	90	50	1250	90,0
40	25	14	80	4,7	120	100	55	1500	112

### Broj članaka lanca x

$$x = 2 \frac{a}{h} + \frac{z_1 + z_2}{2} \pm \frac{h}{a} \left( \frac{z_2 - z_1}{2} \right)^2$$

pri čemu znače: a — razmak osi; h — korak lanca;  $z_1$  — broj zubaca malog lančanika;  $z_2$  — broj zubaca velikog lančanika.

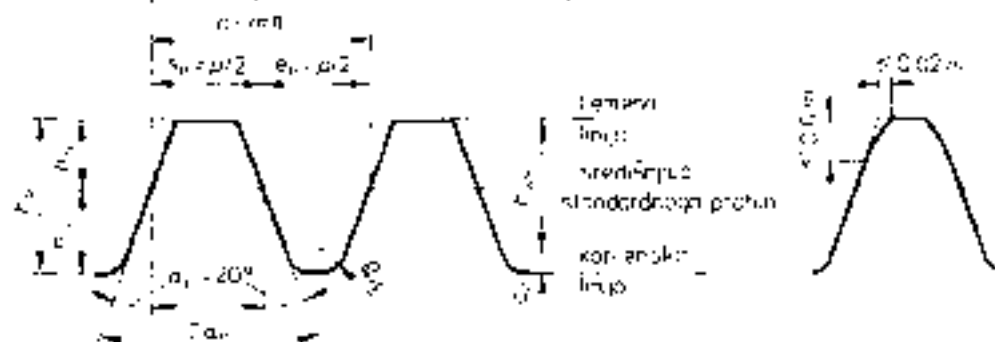
### Zupčani prijenos

Prijenosni omjer  $i$  je omjer brzine vrtnje pogonskog zupčanika  $n_1$  i gonjenog zupčanika  $n_2$ , odnosno broja zuba gonjenog zupčanika  $z_2$  i malog pogonskog  $z_1$

$$i = n_1/n_2 = z_2/z_1$$

$i > 1$  – prijenos na manju brzinu;  $i < 1$  – prijenos na veću brzinu

Standardni profil evolventnih zupčanika (JUS M.C1.016 – 1958) – s novijim oznakama po ISO (DIN 876) osim oznaka po JUS:



Standardni profil koji treba upotrebljavati pri projektiranju i izradi evolventnih zupčanika (cilindričnih zupčanika)

Korekcija profila kopa, a slučajno potrebe, treba izvesti samo na glavi zupca

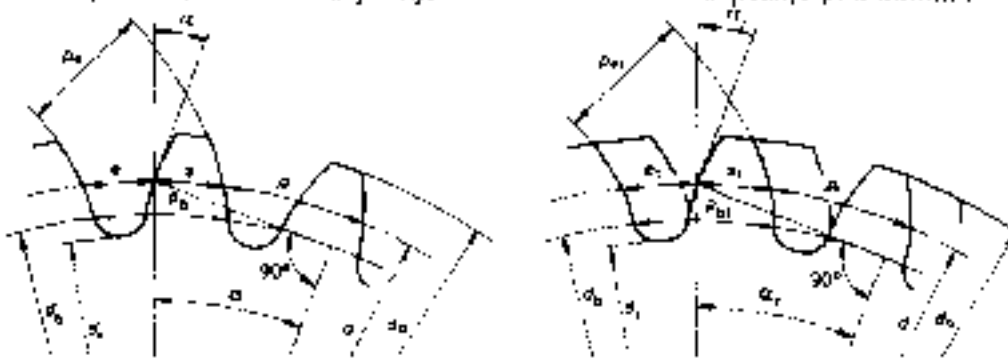
Veličina	Oznaka	
	ISO	JUS
standardni modul	$m = d/z$	$m_n$
korak	$p = m \pi$	$p_n$
visina zubnog vrha	$h_{zP} = m$	$h_z$
visina zubnog kotijera	$h_{zK} = m + c$	$h_k$
visina vanjske dijela	$h_{wP} = 2 m$	$h_w$
visina zankruženja	$f_p = 0,17 m; 0,25 m; 0,3 m$	$f_n m_n$
poluprijer zankruženja	$f_{zP} = 0,25 m; 0,38 m; 0,45 m$	$f_n$
visina zuba	$h_P = 2 m - c$	$h$
kut nagiba	$\alpha_P = 20^\circ$	$\alpha$
bučni kut	$2\alpha_P$	-

Standardni moduli  $m$  (mm) po ISO (JUS M.C1.015 – 1965)

1	1,375	2	2,75	3,5	4,5	6	8	11	16	22	32	45
1,125	1,5	2,25	3	(3,75)	5	(6,5)	9	12	18	25	36	50
1,25	1,75	2,5	(3,25)	4	5,5	7	10	14	20	28	40	

Upotrebljavati valja u prvom redu debelo tiskane vrijednosti modula (1. prednost), tanko tiskane u slučaju opravdanih razloga (2. prednost), a vrijednosti u zagradama samo iznimno (3. prednost).

Parovi čelnika (cilindričnih zupčanika) (JUS M.C1.012 – 1958) (s oznakama po ISO) – *ravno ozupčanje* – *koso ozupčanje pod kutom  $\beta$*



Veličina parova čelnika	ravno ozupčanje	koso ozupčanje
Modul	$m = m_n^*$	$m_n = m_n \cos \beta$
Zuhvatni kut	$\alpha = (\alpha_P - 20^\circ)$	$\alpha = \arctan(\tan \alpha_P \cos \beta)$
Debljina cilindara		
- promjer	$d = m z$	$d = m_n z = m_n z \cos \beta$
- korak	$p = m \pi$	$p_n = m_n \pi = m_n \pi \cos \beta$
- osnovni korak	$p_b = p \cos \alpha$	$p_{bn} = p_n \cos \alpha_n = p_n$
- korak među evolventnim čokovima	$p_c = p \cos \alpha = p_b$	$p_{cn} = p_n \cos \alpha_n = p_{bn}$
Debljina zupca		
- pri vanjskom ozupčanju	$s = p/2 + 2 m \tan \alpha$	$s_n = p_n/2 + 2 m_n \tan \alpha_n$
- pri unut. ozupčanju	$s = p/2 - 2 m \tan \alpha$	$s_n = p_n/2 - 2 m_n \tan \alpha_n$
Širina međuzubja	$e = p - s$	$e_n = p_n - s_n$
Promjeri korijenskih cilindara		
- pri vanjskom ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fP} - x_1 m)$	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fP} - x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{fP} - x_2 m)$	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{fP} - x_2 m_n)$
- pri unut. ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fP} + x_1 m)$	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{fP} + x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{f2} = d_2 + 2(h_{fP} + x_2 m)$	$d_{f2} = d_2 + 2(h_{fP} + x_2 m_n)$
Promjeri osnovnih cilindara		
Promjeri geometrijskih cilindara		
- pri vanjskom ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{a1} = 2(a - 0,5 d_{f2} - c_1)$	$d_{a1} = d_1 - 2(h_{fP} - x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{a2} = 2(a - 0,5 d_{f1} - c_2)$	
- pri unut. ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{a1} = d_{f2} - 2(a + c_1)$	$d_{a1} = d_1 - 2(h_{fP} + x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{a2} = d_{f1} + 2(a + c_2)$	
Promjeri kinematičkih cilindara		
- pri vanjskom ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{w1} = 2a(i + 1)$	$d_{w1} = d_1 - 2(h_{fP} - x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{w2} = 2a(i - 1) - d_{w1}$	
- pri unut. ozupčanju		
za pogonski zupčanik	$d_{w1} = 2a(i - 1)$	$d_{w1} = d_1 - 2(h_{fP} + x_1 m_n)$
za gonjeni zupčanik	$d_{w2} = 2a(i + 1) - d_{w1}$	

\*  $m_n$  – normalni modul (modul u normalnoj ravni presjeka).

Pomak profila osnovne ozubnice izražava se umnoškom koeficijenta pomaka profila osnovne ozubnice  $x$  (koji je ovisan od broja zubača i upadnog kuta  $\alpha$ ) i modula.

$$\begin{aligned} \text{pri ravnom ozupćanju:} & \quad xm & \quad ix_{\text{min}} &= 1 - 0,5 z \sin^2 \alpha \\ \text{pri kosom ozupćanju:} & \quad xm_1 & \quad ix_{\text{min}} &= 1 - 0,5 z \sin^2 \alpha_1 \end{aligned}$$

Pomakom profila osnovne ozubnice povećava se nosivost, sprečava podre zivanje pri malom broju zubača ( $z \leq 17$ ), a smanjuje relativna brziina klizanja

#### Razmak osa

$$\begin{aligned} & \text{pri ravnom ozupćanju} & & \text{pri kosom ozupćanju} \\ - \text{ pri vanjskom ozupćanju} & & & \\ a &= 0,5 m(z_1 + z_2) \cos \alpha' \cos \alpha_a & a &= 0,5 m_1(z_1 + z_2) \cos \alpha_1' \cos \alpha_{a1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ pri unutarnjem ozupćanju:} & & & \\ a &= 0,5 m(z_2 - z_1) \cos \alpha' \cos \alpha_a & a &= 0,5 m_1(z_2 - z_1) \cos \alpha_1' \cos \alpha_{a1} \end{aligned}$$

dok za pigonski zahvatni kut  $\alpha_a$  odn.  $\alpha_{a1}$  vrijedi:

$$\begin{aligned} - \text{ pri vanjskom ozupćanju} & & & \\ \text{inv } \alpha_a &= 2(x_2 - x_1) / (z_1 + z_2) \cdot & \text{inv } \alpha_{a1} &= 2(x_1 + x_2) / (z_1 + z_2) \cdot \\ & \quad \tan \alpha + \text{inv } \alpha & & \quad \tan \alpha_1 + \text{inv } \alpha_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ pri unutarnjem ozupćanju:} & & & \\ \text{inv } \alpha_a &= 2(x_2 - x_1) / (z_2 - z_1) \cdot & \text{inv } \alpha_{a1} &= 2(x_2 - x_1) / (z_2 - z_1) \cdot \\ & \quad \tan \alpha + \text{inv } \alpha & & \quad \tan \alpha_1 + \text{inv } \alpha_1 \end{aligned}$$

Vrijednost evolventne funkcije  $\text{inv } \alpha$  i  $\tan \alpha - \alpha$  - vidi str. 33!

#### Mjerni broj zubača

$$k = \frac{z}{\pi} \left( \tan \alpha_a - \text{inv } \alpha \right) - \frac{2x \tan \alpha}{\pi} + 0,5$$

$$k = \frac{z}{\pi} \left( \frac{\tan \alpha_a}{\cos^2 \beta_b} - \text{inv } \alpha \right) - \frac{2x \tan \alpha_1}{\pi} + 0,5$$

pri čemu je

$$\tan \alpha_a = \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{4(x/z)(1 - x/z)}{\cos^2 \alpha}}$$

$$\tan \alpha_{a1} = \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \frac{4(x/z)(1 - x/z)}{\cos^2 \alpha_1}}$$

$$\sin \beta_b = \sin \beta \cos \alpha_1$$

pri čemu je  $\alpha_1 = \alpha \varphi$

Mjerni broj zubača  $k$  zaokružujemo na najbliži cijeli broj.

Ako je  $x = 0$ , dobivamo:

$$k = z \alpha_1 + \tan \alpha_1 \cdot \tan^2 \beta_b) \pi + 0,5$$

Mjera pomoću zubača:

$$W = m \cos \alpha (\pi(k - 0,5) + z \text{inv } \alpha) + z x \tan \alpha$$

$$W = m \cos \alpha_1 (\pi(k - 0,5) + z \text{inv } \alpha_1 + 1 - 2x \tan \alpha_1) \cos \beta_b$$

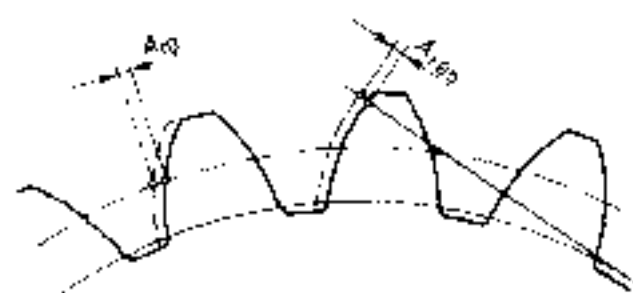
### Tolerancije parova evolventnih čelnika (ISO)

(JCS M.C1.031 - 1966)

Za sve tolerancije parova čelnika s evolventnim zupcima predviđeno je 12 kvaliteta - osim za tolerancije razmaka osa, za koje je predviđeno 6 kvaliteta. Kvaliteta izražava stupanj točnosti, tj. odgovarajuću veličinu tolerancije

Granična odstupanja koraka zubnog profila  $A_{fp}$  i dopušteni zbroj odstupanja koraka zubnog profila  $TT_{fp}$

Kvaliteta	$A_{fp}$		$TT_{fp}$ ( $\mu\text{m}$ )
	gornje $A_{fp,g}$ ( $\mu\text{m}$ )	donje $A_{fp,d}$ ( $\mu\text{m}$ )	
1	$0,06 q_p + 0,90$	$A_{fp,d} = -A_{fp,g}$	$0,25 \sqrt[3]{N} + 0,60$
2	$0,10 q_p + 1,25$		$0,40 \sqrt[3]{N} + 1,00$
3	$0,16 q_p + 2,00$		$0,63 \sqrt[3]{N} + 1,60$
4	$0,25 q_p + 3,20$		$1,00 \sqrt[3]{N} + 2,50$
5	$0,40 q_p + 5,00$		$1,60 \sqrt[3]{N} + 4,00$
6	$0,63 q_p + 8,00$		$2,50 \sqrt[3]{N} + 6,00$
7	$0,90 q_p + 12,00$		$3,98 \sqrt[3]{N} + 8,00$
8	$1,25 q_p + 16,00$		$5,00 \sqrt[3]{N} + 12,00$
9	$1,80 q_p + 22,00$		$7,10 \sqrt[3]{N} + 17,00$
10	$2,50 q_p + 32,00$		$10,00 \sqrt[3]{N} + 25,00$
11	$3,55 q_p + 45,00$		$14,00 \sqrt[3]{N} + 35,00$
12	$5,00 q_p + 63,00$		$20,00 \sqrt[3]{N} + 50,00$
	$q_p = m_p + 0,25 \sqrt[3]{d^3}$		$N = 0,5 z \pi$ $m$ (mm)



Granična odstupanja pri osnovnom koraku bakova zubača

- za zupčanike s ravnim zupcima

$$A_{1Bb,g} = A_{fp,g} \quad A_{1Bb,d} = A_{fp,d}$$

- za zupčanike s kosim zupcima

$$A_{1Bb,g} = A_{fp,g} \cdot \cos \beta_b \quad A_{1Bb,d} = A_{fp,d} \cdot \cos \beta_b$$

Tolerancije profila  $T_{ev}$  i bočne linije zupca  $T_F$

Kvalitetni razred	$T_{ev}$ ( $\mu\text{m}$ )	$T_F$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,06 \varphi_p - 2,00$	$0,355 \sqrt{d} - 1,60$
2	$0,10 \varphi_p + 2,50$	$0,40 \sqrt{d} - 2,00$
3	$0,16 \varphi_p + 3,00$	$0,50 \sqrt{d} - 2,50$
4	$0,25 \varphi_p + 4,00$	$0,63 \sqrt{d} - 3,00$
5	$0,40 \varphi_p + 5,00$	$0,80 \sqrt{d} + 4,00$
6	$0,63 \varphi_p + 6,30$	$1,00 \sqrt{d} - 5,00$
7	$1,00 \varphi_p + 8,00$	$1,25 \sqrt{d} - 6,00$
8	$1,60 \varphi_p - 10,00$	$2,00 \sqrt{d} - 10,00$
9	$2,50 \varphi_p + 16,00$	$3,15 \sqrt{d} - 16,00$
10	$4,00 \varphi_p - 25,00$	$5,00 \sqrt{d} - 25,00$
11	$6,30 \varphi_p + 40,00$	$8,00 \sqrt{d} - 40,00$
12	$10,00 \varphi_p + 63,00$	$12,50 \sqrt{d} - 63,00$
	$\varphi_p = m_n + 0,1 \sqrt{d}$ $m_n$ (mm), $d$ (mm)	$d$ (mm)



Tolerancije kružnog toka  $T_r$

Kvalitetni razred	$T_r$ ( $\mu\text{m}$ )	Kvalitetni razred	$T_r$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,224 \varphi_p - 3,00$	7	$3,15 \varphi_p + 40,00$
2	$0,355 \varphi_p - 4,50$	8	$4,00 \varphi_p + 50,00$
3	$0,56 \varphi_p - 7,00$	9	$5,00 \varphi_p - 63,00$
4	$0,90 \varphi_p + 15,00$	10	$6,30 \varphi_p - 80,00$
5	$1,40 \varphi_p + 18,00$	11	$8,00 \varphi_p + 100,00$
6	$2,24 \varphi_p - 28,00$	12	$10,00 \varphi_p - 125,00$
	$\varphi_p = m_n + 0,25 \sqrt{d}$	$m_n$ (mm), $d$ (mm)	

Tolerancije pri tangencijalnoj kontroli zahvatom

tj. pri kontroli zahvatom u etalonski zupčanik s konstantnim nazivnim razmakom osi. (Registriramo odstupanja stvarnog kuta rotacije gonjenog zupčanika.)

$A_1'$  - odstupanje s obzirom na 1 okretaj

$\Delta A_1'$  - odstupanje s obzirom na 1 korak

- tolerancija odstupanja  $T_1' = TT_{10} + T_{ev}$

tolerancija porasta odstupanja  $\Delta T_1' = A_{10} \varphi + T_{ev}$

Tolerancije pri radijalnoj kontroli zahvatom

tj. pri kontroli zahvatom u etalonski zupčanik bez bočne zračnosti - što postizemo elastičnim radijalnim pritiskanjem zupčanika na etalonski zupčanik stalnom silom. (Registriramo odstupanja razmaka osi.)

$A_1''$  - odstupanje s obzirom na 1 okretaj

$\Delta A_1''$  - odstupanje s obzirom na 1 korak

Kvalitetni razred	$T_1''$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta T_1''$ ( $\mu\text{m}$ )
1	$0,32 \varphi_p + 4,00$	$0,16 \varphi_p - 2,00$
2	$0,50 \varphi_p - 6,00$	$0,224 \varphi_p - 3,00$
3	$0,80 \varphi_p + 10,00$	$0,32 \varphi_p - 4,00$
4	$1,25 \varphi_p + 16,00$	$0,45 \varphi_p - 6,00$
5	$2,00 \varphi_p - 25,00$	$0,56 \varphi_p + 9,00$
6	$3,20 \varphi_p + 40,00$	$0,90 \varphi_p + 12,00$
7	$4,50 \varphi_p - 56,00$	$1,25 \varphi_p - 16,00$
8	$5,60 \varphi_p - 75,00$	$1,80 \varphi_p + 22,00$
9	$7,10 \varphi_p + 90,00$	$2,24 \varphi_p + 28,00$
10	$9,00 \varphi_p + 112,00$	$2,80 \varphi_p + 36,00$
11	$11,20 \varphi_p + 140,00$	$3,55 \varphi_p + 45,00$
12	$14,00 \varphi_p + 180,00$	$4,50 \varphi_p + 56,00$
	$\varphi_p = m_n - 0,25 \sqrt{d}$	$m_n$ (mm), $d$ (mm)

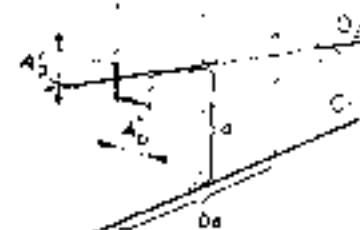
Tolerancija paralelnosti osi

Inklinacija osi  $A_p'$  je komponentno odstupanje paralelnosti osi u ravni, koja je određena jednom osi i okomicom na nju do druge osi.

Dozvoljena inklinacija  $T_p' = T_F$

Devijacija osi  $A_p''$  je komponentno odstupanje paralelnosti osi u ravni, koja je paralelna s jednom osi i okomita na inklinacijsku ravninu.

Dozvoljena devijacija  $T_p'' = T_p'/2$



$a$  - razmak osi  
 $d_a$  - aktivna širina zupčanika  
 $O_1, O_2$  - osi

Tolerancije za mjeru površine zubata označujemo dvoma slovnima iz niza  $f, r, t$ , od kojih označuje

prvi – gornje granično odstupanje  $A_{Wg}$

drugo – donje granično odstupanje  $A_{Wd}$

Odstupanja dobivamo tako da gornje granično odstupanje koraka  $A_{Wg}$  pomnožimo sljedećim koeficijentima:

niz	j	h	g	f	e	d	c	b	a
koeficijent	+1	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14
niz	z'	y'	x'	w'	v'	u'	t'	s'	r'
koeficijent	-18	-22	-26	-30	-34	-38	-42	-46	-50

Primer označivanja kvalitete tolerancije za mjeru površine zubaca: npr. 5fa.

### Granična odstupanja razmaka osi

Odstupanje razmaka osi  $A_f$  je algebarska razlika između stvarnog i nazivnog razmaka osi

Kvalitetni razred	Gornje odstupanje $A_{fg}$ ( $\mu m$ )	Kvalitetni razred	Donje odstupanje $A_{fd}$ ( $\mu m$ )
1	0,5 IT 4	4	0,5 IT 8
2	0,5 IT 6	5	0,5 IT 9
3	0,5 IT 7	6	0,5 IT 11

Donje odstupanje:  $A_{fd} = -A_{fg}$

### Kružna zračnost

– za zupčanike s ravnim zupcima

$$f_{rmax} = (A_{Wd1} + A_{Wd2}) \cos \alpha_w + 2A_{fg} \tan \alpha_w$$

$$f_{rmin} = - (A_{Wg1} + A_{Wg2}) \cos \alpha_w + 2A_{fd} \tan \alpha_w$$

– za zupčanike s kosim zupcima

$$f_{rmax} = \frac{A_{Wd1} + A_{Wd2}}{\cos \alpha_{w1} \cos \beta_b} + 2A_{fg} \tan \alpha_w$$

$$f_{rmin} = \frac{A_{Wg1} + A_{Wg2}}{\cos \alpha_{w1} \cos \beta_b} - 2A_{fd} \tan \alpha_w$$

Da spriječimo interferenciju (istodobno prekrivanje) zubnih bokova, mora biti

$$f_{rmin} > 2(T_1 + T_2) \tan \alpha_w$$

Orijentacijske vrijednosti za kružnu zračnost u ovisnosti o standardnom modulu  $m_f$

$$f = k(m_f + 1) \quad m_f \text{ (mm)} \quad f \text{ (}\mu m\text{)}$$

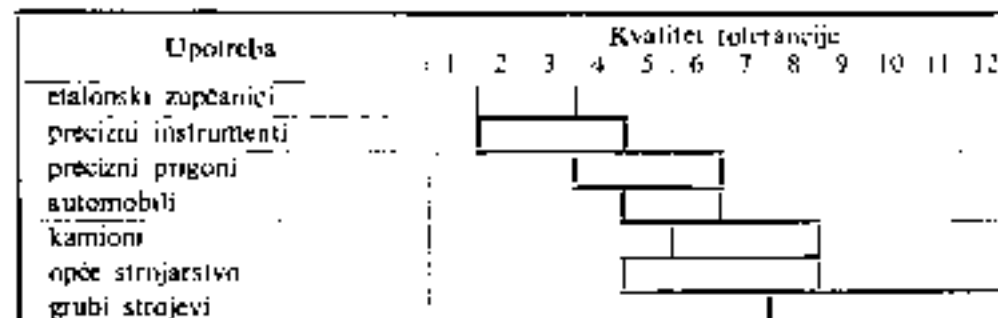
pri čemu faktor  $k$  iznosi:

- $k = 26 \dots 35$  – bez posebnih zahtjeva
- $k = 18 \dots 32$  – za alatne strojeve
- $k = 18 \dots 50$  – u automatskoj industriji

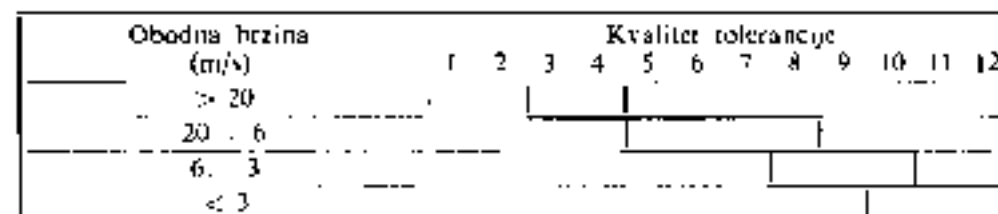
### Izbor kvalitete tolerancije zupčanika

Kvalitet tolerancije zupčanika odabiremo s obzirom na upotrebu, obodnu brzinu i način obrade.

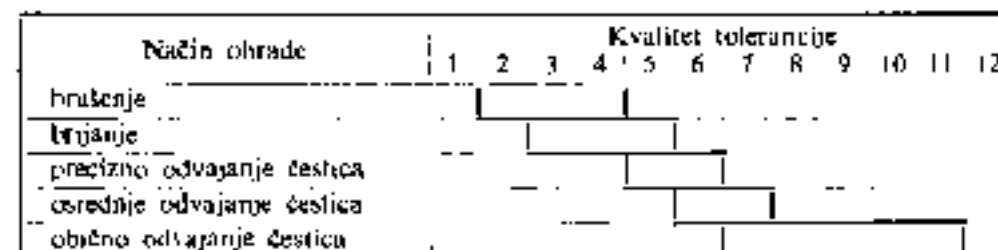
#### Izbor s obzirom na upotrebu



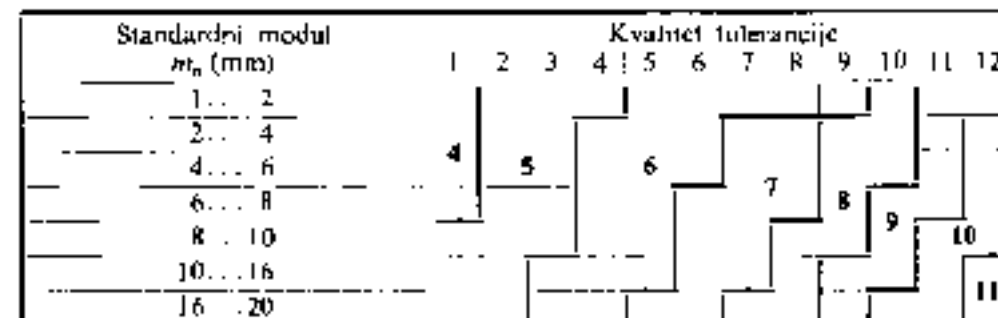
#### Izbor s obzirom na obodnu brzinu



#### Izbor s obzirom na način obrade



#### Razred površinske obrade (orijentacijski)



### Proračun čvrstoće čelika (pri DIN 3990)

Prvi proračun za osnovu

Za poznati okretni moment na pogonskom zupčaniku  $T_1$  izračunavamo:

- promjer diobene kružnice pogonskog zupčanika

$$d_1 \geq \sqrt[3]{1,2 \frac{T_1 \cdot (1+i)}{b_k} \frac{S_{Hmin}}{\sigma_{Hlim}} Z_M \cdot Q_H}$$

modul

$$m \geq 2 \frac{T_1}{b_k d_1} \frac{S_{Fmin}}{\sigma_{Flim}} Y_F \cdot Q_F$$

gdje su:

- $b_k$  - širina korisnog dijela boka zupca
- $i$  - prijenosni omjer
- $S_{Hmin}$  - najmanji koeficijent sigurnosti s obzirom na jamčenje ( $\geq 1,4$ )
- $S_{Fmin}$  - najmanji koeficijent sigurnosti s obzirom na trapan lom ( $\geq 1,7$ )
- $\sigma_{Hlim}$  - dinamička čvrstoća za bočni tlak (Hertzov tlak)

Materijal	Tvrd. HV	$\sigma_{Hlim}$ (N/mm <sup>2</sup> )
čelik za cementiranje	650...750	1450...1650
čelik za poboljšanje, nelegiran	140...200	500...610
legiran	200...400	1,25 HV + (245...355)
čelični ljev, legiran	200...400	1,10 HV + (210...310)

$\sigma_{Flim}$  - dinamička čvrstoća za naprezanje u korijenu zupca

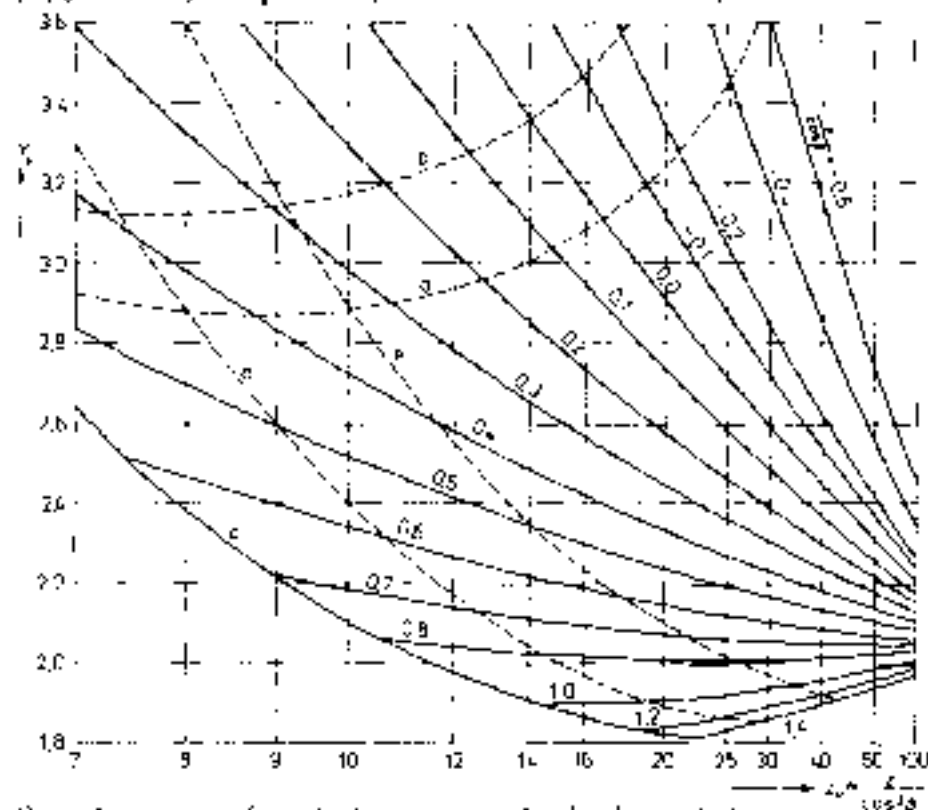
Materijal	Tvrd. HV	$\sigma_{Flim}$ (N/mm <sup>2</sup> )
čelik za cementiranje	650...750	350...500
čelik za poboljšanje, nelegiran	140...200	0,67 HV + (55...115)
legiran	200...400	0,43 HV + (115...195)
čelični ljev, legiran	200...400	0,40 HV + (40...120)

$Z_M$  - karakteristika materijala

$$Z_M = \sqrt[3]{\frac{1}{E_1} \left( 1 - \frac{\mu_1^2}{E_1} \right) + \frac{1}{E_2} \left( 1 - \frac{\mu_2^2}{E_2} \right)}$$

Kombinacije materijala	$Z_M$ (V <sup>3</sup> /Nmm <sup>2</sup> )
čelik - čelik	268
čelik - čelični ljev	267
čelik - sivi ljev	234
čelik - bronca	219

$Y_F$  - koeficijent oblika zupca (ovisi o broju zuba  $z$ , kutu nagiba bočne linije  $\beta$  i koeficijentu pomaka profila osnovne ozubnice  $x$ )



Ograničenje za interferenciju bokova: a - računsko, b - praktično

Ograničenje za filjasti vrh: c:  $r_k = 0$ ; d:  $r_k = 0,2 m_n$ ; e:  $r_k = 0,4 m_n$

$Q_H, Q_F$ - korekcijski faktori	Tečno ozupčanje	Grubo ozupčanje
$Q_H = \frac{Q_{HA} Q_{HB}}{Q_{HM}}$		
$Q_{HA}$	$\geq 1$	$\geq 1$
$Q_{HB}$ ( $\beta = 0^\circ$ )	1,45...1,50	1,77
$Q_{HB}$ ( $\beta = 30^\circ$ )	1,20...1,30	1,77
$Q_{HO}$	0,80...1,20	0,5...1
$Q_F = \frac{Q_{FA} Q_{FB}}{Q_{FD}}$		
$Q_{FA} (\leq Q_{HA})$	$\geq 1$	$\geq 1$
$Q_{FB}$	0,55...0,75	1
$Q_{FD}$ ( $\rho_f \geq 0,25 m$ )	= 1	= 1
$Q_{FD}$ ( $\rho_f < 0,25 m$ )	< 1	< 1

<sup>1)</sup>  $\beta$  - kut nagiba bočne linije,  $\rho_f$  - zaobljenost u korijenu - <sup>2)</sup> Ako u prijelaznim dijelovima bokova zupca nema zareza - <sup>3)</sup> Ako su u prijelaznim dijelovima bokova zupca zarezi (tj. stepenica pri bušenju)

Kontrola podataka iz prvog proračuna

Koeficijenti sigurnosti moraju biti:

s obzirom na jamičenje

$$S_H = \sqrt{\frac{d_{01}}{2 T_1} \frac{\sigma_{H \text{ lim}}}{Z_M} \frac{1}{Q_H'}} \geq S_{H \text{ min}}$$

s obzirom na trajni lom

$$S_F = \frac{m}{2 \frac{T_1}{b_k d_{01}}} \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{Y_F} \frac{1}{Q_F'} \geq S_{F \text{ min}}$$

pri čemu su:

$$Q_H' = \frac{1}{Z_H Z_R} \frac{K_L K_{H\beta}}{\sqrt{K_T K_\alpha K_{H\beta} K_{H\epsilon}}} \frac{1}{Y_F Y_L} \frac{K_{F\beta}}{K_1 K_\alpha K_{F\beta} K_{F\epsilon}}$$

dok pojedini (bezdimenzijski) koeficijenti iznose:<sup>1)</sup>

$Z_L$  - koeficijent brzine ( $\approx 1$ )<sup>\*</sup>

$Z_R$  - koeficijent hrpavosti ( $\approx 0,8 \dots 1$ )<sup>\*</sup>

$Z_H$  - koeficijent oblika hoka zupca

$$Z_H = \sqrt{\frac{\cos \beta_n}{\tan \alpha} \frac{1}{\cos \alpha}} \quad \begin{array}{l} \alpha - \text{kot zahvata} \\ \beta_n - \text{kut zavojnice na osnovnom valjku} \end{array}$$

$Z_\epsilon$  - koeficijent zahvata

$$Z_\epsilon = \sqrt{\left[ \frac{4}{3} \epsilon_p (1 - \epsilon_q) - \frac{\epsilon_H}{\epsilon_H} \right] \cos \beta_n}$$

$$\epsilon_p = \frac{r_1}{2} (\tan \alpha_{k1} + \tan \alpha_{k2}) + (1 + i) \tan \alpha$$

$$\tan \alpha_k = \sqrt{(d_k^2/d_b)^2 - 1}$$

$d_k$  - promjer tjemelog valjka

$d_b$  - promjer osnovnog valjka

$$\epsilon_q = \frac{b_A \sin \beta_0}{m_F \pi}$$

$b_A$  - širina aktivnog dijela bokova zupca

$Y_F$  - koeficijent zateza ( $\approx 1$ )<sup>\*</sup>

$Y_\beta$  - koeficijent nagiba zupca

$$Y_\beta = 1 - \beta_0/120 \geq 0,75$$

$Y_L$  - koeficijent razdiobe sile

$$Y_L = 1/\epsilon_p$$

$K_L$  - koeficijent maziva ( $\approx 0,82 \dots 1,1$ )<sup>\*</sup>

$K_{H\epsilon}$  - veličinski koeficijent ( $\approx 1$ )<sup>\*</sup>

$K_{F\beta}$  - veličinski koeficijent ( $\approx 1$ )<sup>\*</sup>

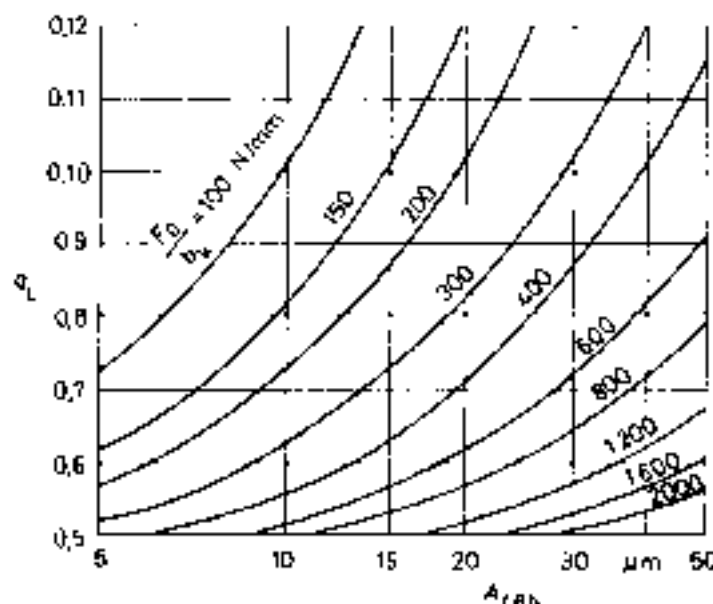
$K_1$  - koeficijent udarnog opterećenja

Rad pogonskog stroja	Rad radnog stroja		
	jednoliki	nejednoliki	udarni
jednoliki	1,00	1,25	1,75
nejednoliki	1,10	1,35	1,80
udarni	1,25	1,50	1,85

$K_\alpha$  - dinamički koeficijent ( $\approx 1$ )<sup>\*</sup>

$K_{H\beta}$  - koeficijent razdiobe sile u ravni profila

$$K_{H\beta} = 1 + 2(1/Z_\epsilon^2 - 1)(q_L - 0,5)$$



$K_{F\epsilon}$  - koeficijent razdiobe sile u ravni profila

$$K_{F\epsilon} = 1 + 2(\epsilon_p - 1)(q_L - 0,5)$$

$K_{H\beta}$  - koeficijent razdiobe sile po širini zupca

$$K_{H\beta} = 1,5 b_k/b_A$$

$K_{F\beta}$  - koeficijent razdiobe sile po širini zupca pri jednolikoj razdiobi opterećenja

$$K_{F\beta} = (1 + K_{H\beta})/2 \quad 1 < K_{H\beta} < 2$$

pri nejednolikoj razdiobi opterećenja

$$1 < K_{F\beta} \leq 0,75 K_{H\beta} \quad K_{H\beta} = 2 b_k/b_A$$

<sup>1)</sup> Vrijednosti označene zvjezdicom \* samo su orientacijske.



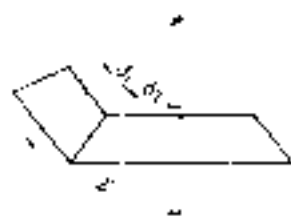
### Parovi stožnika (DIN 3971 - 1980)

Prijenosni omjer je

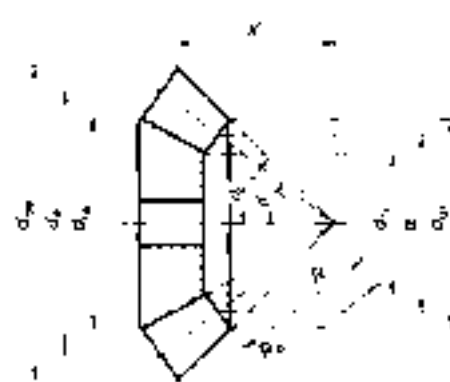
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

gdje su:  $n_1$  i  $n_2$  - brzine vrtnje pogonskog i gonjenog zupčanika,  $z_1$  i  $z_2$  - brojevi zubača pogonskog i gonjenog zupčanika

Kutovi kinematičkih stožaca  $\delta_1$  i  $\delta_2$  usive o prijenosnom smjeru  $i$  te o kutu među osima  $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$



Mjere stožnika



$$\delta_1 = \arctan \frac{\sin \Sigma}{i + \cos \Sigma}$$

$$\delta_2 = \arctan \frac{i \sin \Sigma}{1 + i \cos \Sigma}$$

$$\sin \delta_1 = i = \frac{z_2}{z_1}$$

Promjeri kinematičkih kružnica:

$$\text{vanjski } d_e = 2 R_e \sin \delta$$

$$\text{unutarnji } d_i = 2 R_i \sin \delta$$

gdje su duljine izvodnice stošca

$R_e$  - vanjska,  $R_i$  - unutarnja

$$R_e = \frac{d_e}{2 \sin \delta} = \frac{z_1 m_n}{2 \sin \delta}$$

Promjeri tjemena kružnica:

$$d_w = d_e + 2 h_w \cos \delta$$

$$d_i = d_i - 2 h_i \cos \delta$$

Promjeri korjenskih kružnica:

$$d_{k1} = d_e - 2 h_{k1} \cos \delta$$

$$d_{k2} = d_i - 2 h_{k2} \cos \delta$$

$h_{k1}(h_{k1})$  i  $h_{k2}(h_{k2})$  su visine vrha (ixln. korjena) zubača za vanjske i unutarnje duljine izvodnice stošca

Udaljenost vanjske tjemene kružnice

$$K = R_e \cos \delta = \frac{z_1 m_n \sin \delta}{2} = \frac{d_e}{2} \cdot \cos \delta = h_w \sin \delta$$

Kut tjemenaog stošca  $\delta_w = \delta + \theta_w$   $\theta_w = \arctan (h_w / R_e)$

Kut podnožnog stošca  $\delta_i = \delta - \theta_i$   $\theta_i = \arctan (h_i / R_i)$

Korak - kutni  $\tau = 2 \pi / z$   $z_1 \tau_1 = z_2 \tau_2 = \tau$

- lažni  $\rho_1 = z d / 2$   $d \tau_1 = m_n \pi$

Modul  $m_n = p_n / \pi = d / z$

### Parovi hiperboloidnih zupčanika

Evoventni hiperboloidni parovi zupčanika

Prijenosni omjer je

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

gdje su:  $n_1$  i  $n_2$  - brzine vrtnje pogonskog i gonjenog zupčanika,  $z_1$  i  $z_2$  - brojevi zubača pogonskog i gonjenog zupčanika,

Kut među osima iznosi

$$\Sigma = \beta_{01} + \beta_{02}$$

gdje su  $\beta_{01}$  i  $\beta_{02}$  kutovi nagiba bočnih linija u pogonskog i gonjenog zupčanika.

Promjeri diobenih kružnica:

- pogonskog zupčanika

$$d_{01} = \frac{z_1 m_n}{2 \cos \beta_{01}}$$

gonjenog zupčanika

$$d_{02} = \frac{z_2 m_n}{2 \cos \beta_{02}}$$



Za kut među osima  $\Sigma = \beta_{01} + \beta_{02} = 90^\circ$  iznose:

- razmak asi  $a$

$$a = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{m_n}{2} \left( \frac{z_1}{\cos \beta_{01}} + \frac{z_2}{\cos \beta_{02}} \right)$$

$$a = \frac{z_1 m_n}{2} \left( \frac{1}{\cos \beta_{01}} + \frac{i}{\sin \beta_{01}} \right)$$

- kutovi nagiba bočne linije  $\beta_{01}$  i  $\beta_{02}$

$$\left. \begin{aligned} \tan \beta_{01} &\geq \sqrt{i} \\ \beta_{02} &= 90^\circ - \beta_{01} \end{aligned} \right\} \text{ako je } \frac{1}{\cos \beta_{01}} + \frac{i}{\sin \beta_{01}} = \frac{2a}{z_1 m_n}$$

- razmak asi za prijenosni omjer  $i = 1$

$$a = \frac{z_1 m_n}{\sin 2\beta_{01}} (\sin \beta_{01} + \cos \beta_{01})$$

pri čemu je

$$\sin \beta_{01} = \frac{1}{2K^2} (1 + \sqrt{1 - 4K^2})$$

$$K = a / z_1 m_n$$

**Cilindrični pužni prijenos (ISO)  
(DIN 3975 - 1976)**

S obzirom na oblik bokova zupaca pužnog vijka, koji je ovisan o postupku obrade, razlikuju se parovi cilindričnog pužnog prijenosa ZA (oblika bokova A), ZN (oblika bokova N), ZL (oblika bokova L) i ZK (oblika bokova K)

Prijenosni omjer je  $i = n_1/n_2 = z_2/z_1$

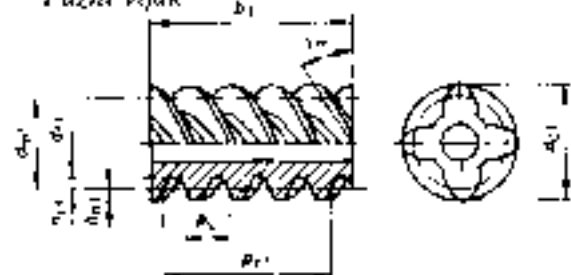
pri čemu su:  $n_1$  i  $n_2$  - brzine vrtnje pužnog vijka i pužnog kola,  $z_1$  i  $z_2$  - brojevi zupaca pužnog vijka i pužnog kola.

Kut među osima  $\Sigma$  je po valjku, obično je  $\Sigma = 90^\circ$

Modul  $m$  (mm)

1	1,25	1,5	2	2,5	3	4
5	6	8	10	12	16	20

Pužni vijak



Promjer središnjeg valjka  
 $d_m = m q$

Pužna karakteristika $q$	1. prednost	8	10	12	16	20
	2. prednost	7	9	11	14	18

Kut središnje zavojnice

$$\gamma_m = \arctan \{c_1/q\} = \arctan \{m/z_1(d_m)\}$$

Obni korak

$$p_z = m \pi$$

Debljina zupca (širina međuzublja) na središnjem valjku u ravni presjeka kroz os

$$s_{mx} = e_{mx} = m \pi / 2$$

Korak zavojnice

$$p_x = v, p_x = z_1 m \pi$$

Visina zupčanog vrha

$$h_a = m$$

U posebnim slučajevima može visina vrha zupca biti nešto veća ili manja od  $m$ .

Visina korijena zupca

$$h_f = m(1 - c_1)$$

pri čemu je  $c_1 = 0,1 \dots 0,3$  ( $c_1 \approx 0,2$ ).

Promjer tjemennog valjka

$$d_{a1} = d_m + 2 h_a$$

Promjer podnožnog valjka

$$d_{f1} = d_m - 2 h_f$$

Pužno kolo

Promjer diobene kružnice  $d_2 = z_2 m$

Korak  $p_2 = m \pi = d_2 \pi / z_2$

Promjer tjemene kružnice

$$d_{a2} = d_2 + 2 m(1 + x)$$

Promjer tjemennog valjka

$$d_{f2} = d_{a2} + m$$

Promjer anuloidne kružnice

$$r_k = a - (d_{a2}/2)$$

Promjer podnožne kružnice

$$d_{f2} = d_{a2} - 2 m(2 + c_2)$$

Visina zupca

$$h_2 = h_{a2} + h_{f2}$$

Visina zupčanog vrha

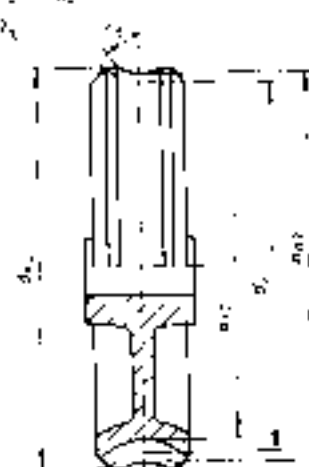
$$h_{2v} = m(1 - c)$$

Visina zupčanog korijena

$$h_{2f} = m(1 - x + c_2)$$

pri čemu su:  $c_2 = 0,1 \dots 0,3$  ( $c_2 \approx 0,2$ );  $x$  - koeficijent pomaka profila

Razmak osi  $a = 0,5(d_{m1} + d_2) + x m$



Izbor veličina za pužni prijenos

Broj zupaca pužnog vijka $z_1$ i mehanička korisnost $\eta_m$ ovise o prijenosnom omjeru $i$	$i$	5	10	10	15	15	30	$\geq 30$
	$z_1$	4	3	2	1	1	1	1
$\eta_m$	0,78	0,90	0,75	0,88	0,65	0,85	0,55	0,80

Okretni moment na pužnom kolu  $T_2$  proizlazi iz okretnog momenta na pužnom vijku  $T_1$ , prijenosnog omjera  $i$  i mehaničke korisnosti  $\eta_m$

$$T_2 = i T_1 \eta_m$$

Modul procjenjujemo prema jednadžbi

$$m = 0,43 \sqrt[3]{\frac{T_2}{\rho z_1}}$$

$m$  (mm)  
 $T_2$  (N · mm)  
 $\rho$  (N/mm<sup>3</sup>)

pri čemu ocjenjujemo bočni pritisak s obzirom na materijal pužnog kola:

materijal	$\rho$ (N/mm <sup>3</sup> )
sivi ljev	2 ... 3
bakrene slitine s kositrom	5 ... 8
aluminijske slitine	4 ... 7

Promjer središnjeg valjka pužnog vijka  $d_m$  ocjenjujemo s obzirom na modul  $m$  i broj zupaca pužnog vijka  $z_1$ : za puni pužni vijak  $d_m = 2 m (1,4 + 2\sqrt{z_1})$  za navučeni pužni vijak  $d_m = 2 m (5,3 + 0,1 z_1)$  a zaum ga odabiremo s obzirom na  $d_m = m q$  (str. 574).

## Klizni ležaji

U stanju mirovanja klizne se plohe rukavca i blazinice ležaja dodiruju neposredno. Zbog toga se u početku pogona pojavljuje «suha trenja» s razmjerno velikim koeficijentom trenja  $\mu = 0,1 \dots 0,2$ . U tom je stanju potrebno ulje upskivati pod tlakom u ležaj.

Kako se brzina vrtnje  $n$  povećava, stvara se između rukavca i blazinice uljni film i podmazivanje prelazi postupno u hidrodinamičko, u kojem se koeficijent trenja snižuje na  $\mu = 0,005 \dots 0,01$  (a zatim s povećanjem brzine vrtnje opet raste).

Prosječni pritisak  $p_{med}$  u ležaju je

$$p_{med} = F/dl$$

gdje su:  $F$  – sila, koja djeluje okomito na ležaj,  $d$  – promjer rukavca,  $l$  – debljina blazinice,  $l = (0,5 \dots 1)d$

Prosječni pritisak  $p_{med}$  za različite materijale blazinica približno je u sljedećim granicama:

materijal	$p_{med}$ (N/mm <sup>2</sup> )	materijal	$p_{med}$ (N/mm <sup>2</sup> )
bijela kovina	5 ... 15	staklo	$\leq 0,8$
olovna bronca	15 ... 35	guma (u vodi)	$\leq 0,4$

Relativna zračnost  $\psi$  u ležaju, potrebna za nastajanje uljnog filma, iznosi

$$\psi = (D - d)/d$$

gdje su:  $D$  – promjer blazinice,  $d$  – promjer rukavca.

Relativna zračnost  $\psi$  ovisi o prosječnom pritisku  $p_{med}$  i brzini vrtnje  $n$ . Vrijednosti relativne zračnosti vide se u sljedećoj tablici:

Brzina vrtnje $n$	Relativna zračnost $\psi$	
	malog $p_{med}$	velik $p_{med}$
masena	$(0,2 \dots 1,2) 10^{-3}$	$(0,3 \dots 0,6) 10^{-3}$
velika	$(2 \dots 3) 10^{-3}$	$(1,5 \dots 2,5) 10^{-3}$

Uzimanju u obzir različite koeficijente temperaturnog razuzavanja, preporučljivo je odabrati sljedeće relativne zračnosti prema materijalu blazinice:

materijal	$\psi$	materijal	$\psi$
bijela kovina	$(0,5 \dots 1) 10^{-3}$	stinerovano željezo	$(1,5 \dots 2) 10^{-3}$
olovna bronca	$(1 \dots 1,5) 10^{-3}$	umjetne tvari	$(3 \dots 4) 10^{-3}$
aluminjske sluzbe	$(2 \dots 3) 10^{-3}$		

## T-plava trenja

Triploski tek  $\Phi$ , koji nastaje zbog trenja pri obodnoj brzini rukavca  $n$ , iznosi

$$\Phi = \mu F n$$

u prelazi uglavnom na mazivo. Zbog čega se mazivo mora hladiti.

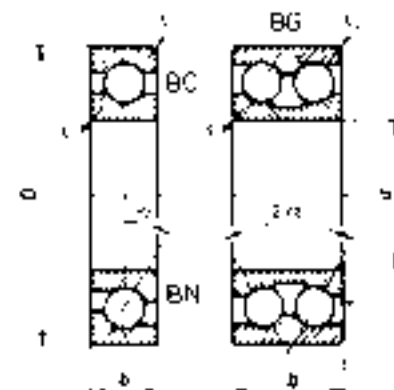
## Kuglični ležaji

Nizovi BC, BN i BG  
(JUS M.C. 601/611/621 - 1968)

Uz BC – jednovredni kuglični ležaj, obični ( $\alpha = D$  vidj. str. 597)

Uz BN – jednovredni kuglični ležaj s koškim dodirnim

Uz BG – dvovredni kuglični ležaj s koškim dodirnim



## Jednovredni kuglični ležaji

Oznaka	D	Dimenzije (mm)		Nosivost (kN)	
		$r$	$r_1$	$C_0$	$C_{10}$
N, BC 10					
10 BC 10	10	7,6	0,5	9	3,4
12	12	28	0,5	12	3,7
15	15	32	0,5	2,55	4,2
17 BC 10	17	35	0,5	2,85	4,5
20	20	47	1	4,5	6,45
25	25	47	1	5	7,5
30 BC 10	30	52	1,5	7	10
35	35	62	1,5	8,6	12
40	40	68	1,5	9,4	12,7
45 BC 10	45	75	1,5	12,4	16,5
50	50	80	1,5	13,4	17
55	55	90	2	17,3	22
60 BC 10	60	95	2	19,5	22,5
65	65	100	2	21,2	24
70	70	110	2	24,5	30
75 BC 10	75	115	2	26,6	31,5
80	80	125	2	31	37,5
85	85	130	2	34	39
90 BC 10	90	140	2,5	40	45,5
95	95	145	2,5	44	48
100	100	150	2,5	48	48
105 BC 10	105	160	3	56,5	57
110	110	170	3	59	61
120	120	180	3	62,5	67
N, BN 02					
10 BN 02	10	30	1	9,5	3,4
12	12	32	1	11	3,3
15	15	35	1	12,6	3,85

Jednoredni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	d	D	b	r	C <sub>10</sub>	C
<i>Niz BC 02</i>						
17 BC 02	17	40	12	1,5	4,4	7,2
20	20	47	14	1,5	6,55	9,8
25	25	52	15	1,5	7,1	10,4
30 BC 02	30	62	16	1,5	10	14,6
35	35	72	17	2	13,7	19,6
40	40	80	18	2	16	22,4
45 BC 02	45	85	19	2	18,3	25
50	50	90	20	2	21	27
55	55	100	21	2,5	26	32,5
60 BC 02	60	110	22	2,5	32	40
65	65	120	23	2,5	35,5	44
70	70	125	24	2,5	39	46,5
75 BC 02	75	130	25	2,5	42,5	50
80	80	140	26	3	45,5	55
85	85	150	28	3	55	61
90 BC 02	90	160	30	3	63	71
95	95	170	32	3,5	72	80
100	100	180	34	3,5	81,5	90
<i>Niz BC 03</i>						
10 BC 03	10	35	11	1	3,6	6,55
12	12	37	12	1,5	4,3	8
15	15	42	13	1,5	5,2	8,8
17 BC 03	17	47	14	1,5	6,3	10,4
20	20	52	15	2	7,65	12,5
25	25	62	17	2	10,4	16,6
30 BC 03	30	72	19	2	14,6	22
35	35	80	21	2,5	17,6	26
40	40	90	23	2,5	22	31,5
45 BC 03	45	100	25	2,5	30	40,5
50	50	110	27	3	35,5	47,5
55	55	120	29	3	42,5	54
60 BC 03	60	130	31	3,5	48	61
65	65	140	33	3,5	55	69,5
70	70	150	35	3,5	63	78
75 BC 03	75	160	37	3,5	72	85
80	80	170	39	3,5	80	93
85	85	180	41	4	88	102
90 BC 03	90	190	43	4	98	110
95	95	200	45	4	112	120
100	100	215	47	4	132	137
<i>Niz BC 04</i>						
17 BC 04	17	62	17	2	12,1	19,3
20	20	72	19	2	16,9	26
25	25	80	21	2,5	19,7	29
30	30	90	23	2,5	24,3	34,5

Jednoredni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	d	D	b	r	C <sub>10</sub>	C
<i>Niz BC 04</i>						
35 BC 04	35	100	25	2,5	31,5	43
40	40	110	27	3	37,5	51,5
45	45	120	29	3	47	61,2
50 BC 04	50	130	31	3,5	53	70
55	55	140	33	3,5	63	79
60	60	150	35	3,5	71	86
65 BC 04	65	160	37	3,5	79,5	90
70	70	180	42	4	106	118
75	75	190	45	4	136	127
80 BC 04	80	200	48	4	127	137
85	85	210	52	5	138	143
90	90	225	54	5	148	153

Jednoredni kuglični ležaji s kosim dodirom

Oznaka	Dimen- zije (mm) d, D, b	Nosivost (kN)		Oznaka	Dimen- zije (mm) d, D, b	Nosivost (kN)					
		C <sub>10</sub>	C			C <sub>10</sub>	C				
<i>Niz BN 02</i>											
15 BN 02	kao kod niza BC 02										
17								4,35	6,2	7,8	11,8
20								5,3	7,65	9,3	13,7
25								7,35	10,4	14,3	19,6
30								8,8	11,6	19,3	25
35								12,7	16,3	23,2	30
40								17,3	21,6	29	35,5
45								21,2	26	39	46,5
50								24,5	29	45,5	54
55								26,5	30,5	54	62
60								33,5	38	62	69,5
65								41,5	45,5	72	78
70								49	51	83	88
75								53	56	93	96,5
<i>Niz BN 03</i>											
17 BN 03	kao kod niza BC 03										
20								7,8	11,8	9,3	13,7
25								14,3	19,6	19,3	25
30								19,3	25	23,2	30
35								23,2	30	29	35,5
40								29	35,5	39	46,5
45								39	46,5	45,5	54
50								45,5	54	54	62
55								54	62	62	69,5
60								62	69,5	72	78
65								72	78	83	88
70								83	88	93	96,5
75								93	96,5	104	106
80								104	106	116	116
85	116	116	129	127							
90	129	127	143	137							
95	143	137	170	156							
100	170	156									
105 BN 02	d = 105	120	112	105 BN 03	d = 105	186	170				
	D = 190				D = 225						
	b = 36				b = 49						
110 BN 02	d = 110	134	122	110 BN 03	d = 110	216	190				
	D = 200				D = 240						
	b = 38				b = 50						

Dvoredni kuglični ležaji (s kosim dodirnom)

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	d	D	b	r	C	C'
Niz BG 12						
10 BG 12	10	30	14,0	1	4,55	6,95
12	12	32	15,9	1	5,6	7,8
15	15	35	15,9	1	5,6	7,8
17 BG 32	17	40	17,5	1,5	8,5	11
20	20	47	20,6	1,5	11	15,3
25	25	52	20,6	1,5	13,7	17,3
30 BG 32	30	62	23,8	1,5	20,4	25
35	35	72	27,0	2	28	33,5
40	40	80	30,2	2	32,5	38
45 BG 32	45	85	30,2	2	37,5	42,5
50	50	90	30,2	2	41	47,5
55	55	100	33,4	2,5	49	54
60 BG 32	60	110	36,5	2,5	63	66,5
65	65	120	38,1	2,5	69,5	71
70	70	125	39,7	2,5	71	71
75 BG 32	75	130	41,3	2,5	80	76
80	80	140	44,4	3	96,5	95
85	85	150	49,2	3	106	102
90 BG 32	90	160	52,4	3	127	118
95	95	170	55,6	3,5	150	137
100	100	180	60,3	3,5	160	146
Niz BG 33						
15 BG 33	15	42	19,0	1,5	9,3	13,7
17	17	47	22,2	1,5	12,9	18,6
20	20	52	22,2	2	14	18,6
25 BG 33	25	62	25,4	2	20	26
30	30	72	30,2	2	27	34,5
35	35	80	34,9	2,5	36	43
40 BG 33	40	90	36,5	2,5	45,5	55
45	45	100	39,7	2,5	56	65,5
50	50	110	44,4	3	73	80
55 BG 33	55	120	49,2	3	80	86,5
60	60	130	54,0	3,5	96,5	100
65	65	140	58,7	3,5	112	114
70 BG 33	70	150	63,5	3,5	129	132
75	75	160	68,3	3,5	140	137
80	80	170	68,3	3,5	160	156
85 BG 33	85	180	73,0	4	180	173
90	90	190	73,0	4	212	196
95	95	200	77,8	4	240	216
100 BG 33	100	215	82,6	4	265	236
105	105	225	87,3	4	300	255
110	110	240	92,1	4	320	275

Valjkasti ležaji

Nizovi RU, RN, RJ, RT, RA in RD-K

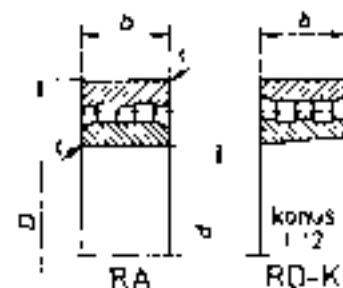
(JUS M C 3 631/632/635/636/637/641/642 1966)

Niz RU: u oboja smjera aksijalno pomični ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

Niz RN: u oboja smjera aksijalno pomični ležaji s vodećim unutarnjim prstenom\*

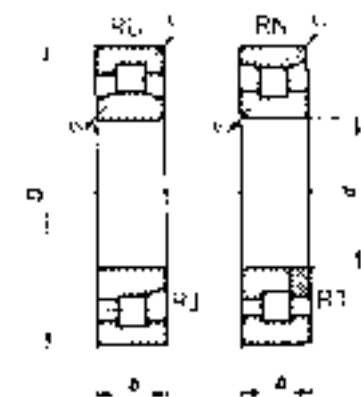
Niz RJ: u jednom smjeru aksijalno pomični ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

Niz RT: aksijalno nepomični ležaji\*



Jednoredni valjkasti ležaji

Oznaka	Dimenzije (mm)					Nosivost (kN)	
	d	D	b	r	r <sub>1</sub>	C	C'
Niz RU 10							
25 RU 10	25	47	12	1	0,5	7,5	10
30	30	55	13	1,5	0,8	10,4	13,2
35	35	62	14	1,5	0,8	13,7	16
40 RU 10	40	68	15	1,5	1	15,3	18,6
45	45	75	16	1,5	1	19,6	24,4
50	50	80	16	1,5	1	21,2	24
55 RU 10	55	90	18	2	1,5	24	27,5
60	60	95	18	2	1,5	25	28,5
65	65	100	18	2	1,5	26,5	29
70 RU 10	70	110	20	2	1,5	31,5	42,5
75	75	115	20	2	1,5	34	44
80	80	125	22	2	1,5	47,5	53
85 RU 10	85	130	22	2	1,5	55	58,5
90	90	140	24	2,5	2	60	65,5
95	95	145	24	2,5	2	63	68
100 RU 10	100	150	24	2,5	2	65,5	69,5
110	110	170	28	3	2	93	102
120	120	180	28	3	2	107	110



Niz RA: u oboja smjera aksijalno pomični dvoredni ležaji s vodećim vanjskim prstenom\*

Niz RD-K: u oboja smjera aksijalno pomični dvoredni ležaji s vodećim unutarnjim prstenom i koničnom rupom\*

\* Za savetovanje je pr. (vidi str. 597)

## Jednoredni valjkasti ležaji (nastavak)

Oznaka	d	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
		D	b	r	r <sub>1</sub>	C <sub>10</sub>	C
<i>Niz RU 02</i>							
20 RU 02	20	47	14	1,5	1	8	11,8
25	25	52	15	1,5	1	9,65	13,2
30	30	62	16	1,5	1	12,9	17,6
35 RU 02	35	72	17	2	1	18,6	25,9
40	40	80	18	2	2	24,5	33,5
55	45	85	19	2	2	27	34,9
50 RU 02	50	90	20	2	2	29	36,8
55	55	100	21	2,5	2	34,5	44
60	60	110	22	2,5	2,5	41,5	53
65 RU 02	65	120	23	2,5	2,5	49	62
70	70	125	24	2,5	2,5	52	64
75	75	130	25	2,5	2,5	61	75
80 RU 02	80	140	26	3	3	69,5	85
85	85	150	28	3	3	80	98
90	90	160	30	3	3	93	118
95 RU 02	95	170	32	3,5	3,5	110	137
100	100	180	34	3,5	3,5	122	151
<i>Niz RU 03</i>							
20 RU 03	20	52	15	2	1	10,6	14,6
25	25	62	17	2	2	15	22,4
30	30	72	19	2	2	20,4	30
35 RU 03	35	80	21	2,5	2	25	36
40	40	90	23	2,5	2,5	32,5	45,5
45	45	100	25	2,5	2,5	40	58,5
50 RU 03	50	110	27	3	3	51	71
55	55	120	29	3	3	58,5	83
60	60	130	31	3,5	3,5	72	102
65 RU 03	65	140	33	3,5	3,5	81,5	114
70	70	150	35	3,5	3,5	90	123
75	75	160	37	3,5	3,5	108	158
80 RU 03	80	170	39	3,5	3,5	118	160
85	85	180	41	4	4	129	180
90	90	190	43	4	4	153	208
95 RU 03	95	200	45	4	4	166	224
100	100	215	47	4	4	191	260
110	110	240	50	4	4	220	300
120	120	260	55	4	4	270	355

Nizovi RN 02, RJ 02 i RT 02 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 02.

Nizovi RN 03, RJ 03 i RT 03 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 03.

## Jednoredni valjkasti ležaji (nastavak)

Oznaka	d	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
		D	b	r	r <sub>1</sub>	C <sub>10</sub>	C
<i>Niz RU 04</i>							
30 RU 04	30	90	24	2,5	2,5	32	51
35	35	100	25	2,5	2,5	41,5	63
40	40	110	27	3	3	53	80
45 RU 04	45	120	29	3	3	60	90
50	50	130	31	3,5	3,5	73,5	112
55	55	140	33	3,5	3,5	81,5	118
60 RU 04	60	150	35	3,5	3,5	98	141
65	65	160	37	3,5	3,5	108	156
70	70	180	42	4	4	137	200
75 RU 04	75	190	45	4	4	160	232
80	80	200	48	4	4	183	265
85	85	210	52	5	5	208	305
90 RU 04	90	225	54	5	5	232	345
95	95	240	58	5	5	255	363
100	100	250	58	5	5	285	405
110 RU 04	110	280	65	5	5	320	455
120	120	310	72	6	6	355	500
<i>Niz RU 22</i>							
25 RU 22	25	52	18	1,5	1	13,2	16,6
30	30	62	20	1,5	1	19	23,2
35	35	72	23	2	1	28,5	35,5
40 RU 22	40	80	23	2	2	34,5	41,5
45	45	85	23	2	2	37,5	44
50	50	90	23	2	2	40,5	45,5
55 RU 22	55	100	25	2,5	2	47,5	54
60	60	110	28	2,5	2,5	62	71
65	65	120	31	2,5	2,5	75	85
70 RU 22	70	125	31	2,5	2,5	80	90
75	75	130	31	2,5	2,5	86,5	96,5
80	80	140	33	3	3	102	114
85 RU 22	85	150	36	3	3	118	132
90	90	160	40	3	3	134	155
95	95	170	43	3,5	3,5	163	183
100 RU 22	100	180	46	3,5	3,5	186	204
110	110	200	51	3,5	3,5	224	255
120	120	215	58	3,5	3,5	265	300

Nizovi RN 04, RJ 04 i RT 04 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 04.

Nizovi RJ 22 i RT 22 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 22.

*Jednoredni valjkasti ležajji (nastavak)*

*Dvoredni valjkasti ležajj*

Oznaka	Dimenzije (mm)					Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>C</i>	<i>C'</i>
Niz RU 23							
25 RU 23	25	62	24	2	2	23,2	31,5
30	30	72	27	2	2	28,5	37,5
35	35	80	31	2,5	2	34	44
40 RU 23	40	90	33	2,5	2,5	49	61
45	45	100	36	2,5	2,5	57	75
50	50	110	40	3	3	73,5	91
55 RU 23	55	120	43	3	3	83	108
60	60	130	46	3,5	3,5	106	132
65	65	140	48	3,5	3,5	110	143
70 RU 23	70	150	51	3,5	3,5	134	170
75	75	160	55	3,5	3,5	166	212
80	80	170	58	3,5	3,5	183	224
85 RU 23	85	180	60	4	4	196	245
90	90	190	64	4	4	220	270
95	95	200	67	4	4	235	310
100 RU 23	100	215	73	4	4	300	365
110	110	240	80	4	4	405	500
120	120	260	86	4	4	510	620
Niz RU 49							
10 RU 49	10	22	11	0,5		4,3	5,3
12	12	24	13	0,5		5,1	5,85
15	15	28	13	0,5		6,55	7,5
17 RU 49	17	30	13	0,5		6,55	7,5
20	20	37	17	0,5		12	13,7
22	22	39	17	0,5		12	13,7
25 RU 49	25	42	17	0,5		13,7	15
28	28	45	17	0,5		15,6	16,3
30	30	47	17	0,5		15,6	16,3
32 RU 49	32	52	20	1		22	24
35	35	55	20	1		24,5	26
40	40	62	22	1		31	32,5
45 RU 49	45	68	22	1		34,5	35,5
50	50	72	22	1		38	37,5
55	55	80	25	1,5		47,5	48,5
60 RU 49	60	85	25	1,5		52	49
65	65	90	25	1,5		56	51
70	70	100	30	1,5		78	73,5
75 RU 49	75	105	30	1,5		85	78
80	80	110	30	1,5		88	78
85	85	120	35	2		108	96
90 RU 49	90	125	35	2		116	104
95	95	130	35	2		116	104

Nizovi RU 23 i RT 23 imaju iste dimenzije i nosivosti po tablici kao niz RU 23

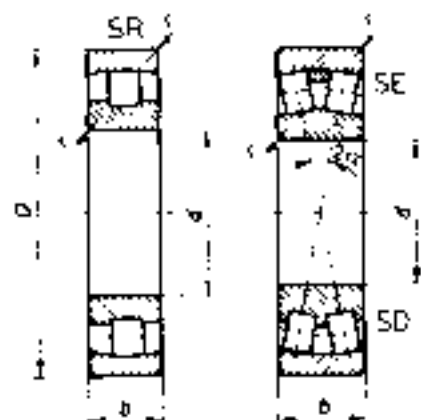
Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i>	<i>C'</i>
Niz RA 49						
100 RA 49	100	140	40	2	104	98
105	105	143	40	2	108	100
110	110	150	40	2	110	102
120 RA 49	120	165	45	2	137	125
130	130	180	50	2,5	166	153
140	140	190	50	2,5	176	160
150 RA 49	150	210	60	3	224	208
160	160	220	60	3	216	214
170	170	230	60	3	245	220
180 RA 49	180	250	69	3	305	285
190	190	260	69	3	325	290
200	200	280	80	3,5	390	365
220 RA 49	220	300	80	3,5	415	380
240	240	320	80	3,5	455	400
260	260	360	100	3,5	640	600
280 RA 49	280	380	100	3,5	680	620
300	300	420	118	4	900	830
320	320	440	118	4	915	850

Niz RD 30 K*						
Oznaka	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C</i>	<i>C'</i>
30 RD 30 K	30	55	19	1,5	21,2	25
35	35	62	20	1,5	26,5	31
40	40	68	21	1,5	34,5	39
45 RD 30 K	45	75	23	1,5	42,5	46,5
50	50	80	23	1,5	46,5	49
55	55	90	26	2	57	62
60 RD 30 K	60	95	26	2	63	65,5
65	65	100	26	2	67	67
70	70	110	30	2	83	85
75 RD 30 K	75	115	30	2	86,5	88
80	80	125	34	2	102	106
85	85	130	34	2	110	110
90 RD 30 K	90	140	37	2,5	129	132
95	95	145	37	2,5	134	134
100	100	150	37	2,5	140	137
110 RD 30 K	110	170	45	3	200	208
120	120	180	46	3	216	216
130	130	200	52	3	275	275
140 RD 30 K	140	210	53	3	285	285
150	150	225	56	3,5	335	325
160	160	240	60	3,5	375	365

\* Niz RD 30 K ima koničnu rupu s konusom 1:12. Vrijednosti za unutarnji promjer *d* odnose se na užu stranu rupe.

**Brčvasti ležaji**

Nizovi SR, SE in SD  
(JUS M.C3.651/655/657 - 1966)



Niz SR: jednoredni samopodesivi ležaji s radijalnim dodrom i vodečim notarnim prstenom ( $b_c = 0$ , vidi str. 5971)

Niz SE: dvoredni samopodesivi ležaji s kosim dodrom i prstenastim uloškom

Niz SD: dvoredni samopodesivi ležaji s radijalnim dodrom i vodečim notarnim prstenom

**Jednoredni brčvasti ležaji (nastavak)**

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
Niz SR 03						
20 SR 03	20	52	15	2	14,6	16
25	25	62	17	2	20	21,6
30	30	72	19	2	28	30
35 SR 03	35	80	21	2,5	34,5	36,5
40	40	90	23	2,5	46,5	50
45	45	100	25	2,5	53	56
50 SR 03	50	110	27	3	68	71
55	55	120	29	3	78	81,5
60	60	130	31	3,5	96,5	100
65 SR 03	65	140	33	3,5	112	116
70	70	150	35	3,5	122	129
75	75	160	37	3,5	146	146
80 SR 03	80	170	39	3,5	163	166
85	85	180	41	4	183	186
90	90	190	43	4	204	212
95 SR 03	95	200	45	4	224	232
100	100	215	47	4	245	250
110	110	240	50	4	290	300
120 SR 03	120	260	55	4	345	355
130	130	280	58	5	400	400
140	140	300	62	5	475	475
150	150	320	65	5	530	540
Niz SR 04						
25 SR 04	25	80	21	2,5	34,5	36,5
30	30	90	23	2,5	46,5	48
35	35	100	25	2,5	53	58,5
40 SR 04	40	110	27	3	68	71,5
45	45	120	29	3	78	85
50	50	130	31	3,5	96,5	106
55 SR 04	55	140	33	3,5	112	120
60	60	150	35	3,5	122	129
65	65	160	37	3,5	146	150
70 SR 04	70	180	42	4	183	190
75	75	190	45	4	204	212
80	80	200	48	4	224	250
85 SR 04	85	210	52	5	255	280
90	90	230	54	5	270	310
95	95	240	55	5	290	335
100 SR 04	100	250	58	5	340	375
110	110	280	65	5	380	430

*Jednoredni brčvasti ležaji*

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>r</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
Niz SR 02						
25 SR 02	25	52	15	1,5	14,3	15
30	30	62	16	1,5	16,3	17,3
35	35	72	17	2	24,5	25
40 SR 02	40	80	18	2	30	30
45	45	85	19	2	32	32
50	50	90	20	2	38	37,5
55 SR 02	55	100	21	2,5	48	47,5
60	60	110	22	2,5	56	55
65	65	120	23	2,5	64	62
70 SR 02	70	125	24	2,5	73,5	71
75	75	130	25	2,5	78	75
80	80	140	26	3	90	85
85 SR 02	85	150	28	3	112	100
90	90	160	30	3	122	120
95	95	170	32	3,5	146	140
100 SR 02	100	180	34	3,5	160	156
110	110	200	38	3,5	208	196
120	120	215	40	3,5	228	216
130 SR 02	130	230	40	4	245	232
140	140	250	42	4	290	275
150	150	270	45	4	335	310



Dvoredni bačvasti ležaji

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>C<sub>1</sub></i>	<i>C<sub>2</sub></i>
Niz SE 13						
20 SE 13	20	52	15	2	19	28,4
25	25	62	17	2	27	30,5
30	30	72	19	2	38	43
35 SE 13	35	80	21	2,5	45	49
40	40	90	23	2,5	60	67
45	45	100	25	2,5	78	76,5
50 SE 13	50	110	27	3	83	88
55	55	120	29	3	98	104
60	60	130	31	3,5	114	118
65 SE 13	65	140	33	3,5	137	140
70	70	150	35	3,5	156	160
75	75	160	37	3,5	176	180
80 SE 13	80	170	39	3,5	196	196
85	85	180	41	4	220	220
90	90	190	43	4	245	240
95 SE 13	95	200	45	4	265	260
100	100	215	47	4	310	300
105	105	225	49	4	340	325
110	110	240	50	4	375	360

Prema JUS M.C3.655 - 1966 standardizirani su još i dvoredni bačvasti ležaji (samo podsestvi)

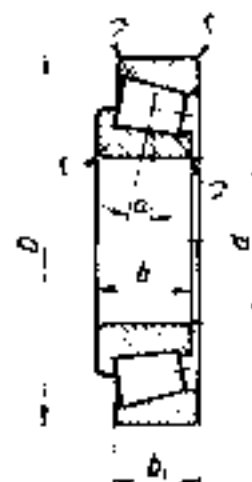
niz SD 22:	<i>d</i> = 25 ... 200 mm
	<i>D</i> = 52 ... 360 mm
	<i>b</i> = 18 ... 98 mm
niz SD 23:	<i>d</i> = 40 ... 200 mm
	<i>D</i> = 90 ... 420 mm
	<i>b</i> = 33 ... 138 mm
niz SD 30:	<i>d</i> = 110 ... 400 mm
	<i>D</i> = 170 ... 600 mm
	<i>b</i> = 45 ... 148 mm
niz SD 31:	<i>d</i> = 110 ... 360 mm
	<i>D</i> = 180 ... 600 mm
	<i>b</i> = 56 ... 192 mm
niz SD 32:	<i>d</i> = 90 ... 500 mm
	<i>D</i> = 160 ... 920 mm
	<i>b</i> = 52,4 ... 136 mm
niz SD 40:	<i>d</i> = 120 ... 360 mm
	<i>D</i> = 180 ... 540 mm
	<i>b</i> = 60 ... 180 mm
niz SD 41:	<i>d</i> = 110 ... 300 mm
	<i>D</i> = 180 ... 500 mm
	<i>b</i> = 69 ... 200 mm

Standardi JUS za te ležaje ne propisuju nosivost *C<sub>1</sub>* i *C<sub>2</sub>*.

Stožasti ležaji  
Niz KB  
(JUS M.C3.735 — 1966)

Niz KB.

Stožasti ležaji podnose velika sastavljena (radijalna i aksijalna) opterećenja. Vanjski i unutarnji prsten mogu se montirati posebice.



Oznaka	Dimenzije (mm)						Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>r</i>	<i>r<sub>1</sub></i>	<i>C<sub>1</sub></i>	<i>C<sub>2</sub></i>
Niz KB 02								
20 KB 02	20	47	14	12	1,5	0,5	12,9	18,3
25	25	52	15	13	1,5	0,5	15,6	19
30	30	62	16	14	1,5	0,5	20,8	26
35 KB 02	35	72	17	15	2	0,8	26,5	32,5
40	40	80	18	16	2	0,8	31	38
45	45	85	19	16	2	0,8	36	42,5
50 KB 02	50	90	20	17	2	0,8	40,5	46,5
55	55	100	21	18	2,5	0,8	52	56
60	60	110	22	19	2,5	0,8	56	62
65 KB 02	65	120	23	20	2,5	0,8	65,5	73,5
70	70	125	24	21	2,5	0,8	71	78
75	75	130	25	22	2,5	0,8	81,5	85
80 KB 02	80	140	26	22	3	1	88	96,5
85	85	150	28	24	3	1	106	114
90	90	160	30	26	3	1	120	127
95 KB 02	95	170	32	27	3,5	1,2	132	137
100	100	180	34	29	3,5	1,2	156	160
105	105	190	36	30	3,5	1,2	170	176
110 KB 02	110	200	38	32	3,5	1,2	196	196
120	120	215	40	34	3,5	1,2	216	220
130	130	230	40	34	4	1,5	232	240
140 KB 02	140	250	42	36	4	1,5	280	280
150	150	270	45	38	4	1,5	325	310

**Slojasti ležaji (nastavak)**

Oznaka	Dimenzije (mm)						Nosivost (kN)	
	$d$	$D$	$b$	$b_1$	$r$	$r_1$	$C$	$C_1$
Niz KB 03								
20 KB 03	20	52	15	13	2	0,6	16	22,4
25	25	62	17	15	2	0,8	21,6	30
30	30	72	19	16	2	0,8	28,5	37,5
35 KB 03	35	80	21	18	2,5	0,8	37,5	48
40	40	90	23	20	2,5	0,8	45	56
45	45	100	25	22	2,5	0,8	57	68
50 KB 03	50	110	27	21	3	1	67	78
55	55	120	29	23	3	1	78	90
60	60	130	31	26	3,5	1,2	91,5	108
65 KB 03	65	140	33	28	3,5	1,2	108	125
70	70	150	35	30	3,5	1,2	122	140
75	75	160	37	31	3,5	1,2	137	156
80 KB 03	80	170	39	33	3,5	1,2	153	173
85	85	180	41	34	4	1,5	170	193
90	90	190	43	36	4	1,5	190	212
95 KB 03	95	200	45	38	4	1,5	228	250
100	100	215	47	39	4	1,5	255	275
105	105	225	49	41	4	1,5	270	290

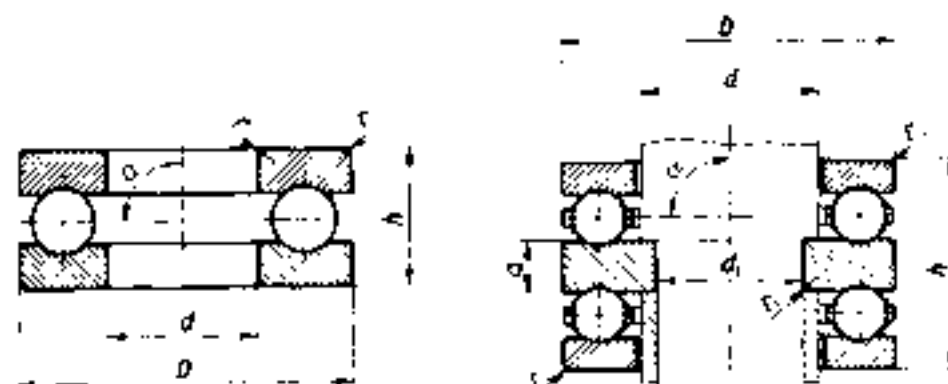
Oznaka	Širina (mm)		Nosivost (kN)		Oznaka	Širina (mm)		Nosivost (kN)	
	$b$	$b_1$	$C$	$C_1$		$b$	$b_1$	$C$	$C_1$
Niz KB 22*					Niz KB 23**				
30 KB 22	20	17	27,5	32	20 KB 23	21	18	22,8	29
35	23	19	36,5	43	25	24	20	32	40
40	23	19	40,5	47,5	30	27	23	43	52
45 KB 22	23	19	46,5	52	35 KB 23	31	23	54	64
50	21	19	48	53	40	33	27	67	75
55	25	21	63	67	45	36	30	81,5	90
60 KB 22	28	24	76,5	80	50 KB 23	40	33	102	110
65	31	27	93	98	55	43	35	120	127
70	31	27	93	98	60	46	37	140	146
75 KB 22	31	27	102	104	65 KB 23	48	39	160	170
80	33	28	116	120	70	51	42	183	190
85	36	30	137	137	75	55	45	212	216
90 KB 22	40	34	166	163	80 KB 23	58	48	236	240
95	43	37	186	186	85	60	49	275	275
100	46	39	212	208	90	64	51	315	315
105 KB 22	50	43	245	240	95 KB 23	67	53	345	345
110	55	46	275	260	100	73	60	405	390
120	58	50	340	305	105	77	63	450	430

\* Promjeri  $d$  i  $D$  te polupromjeri  $r$  i  $r_1$  isti su kao kod odgovarajućih veličina niza KB 02.

\*\* Promjeri  $d$  i  $D$  te polupromjeri  $r$  i  $r_1$  isti su kao kod odgovarajućih veličina niza KB 03.

**Aksijalni kuglični ležaji**

Nizovi TA i TDC (JUS M.C3.701/705 -- 1966)



TA

Niz TA: jednorodni aksijalni kuglični ležaji (podnose aksijalna opterećenja u jednom smjeru).

TDC

Niz TDC: dvoredni aksijalni kuglični ležaji (podnose aksijalna opterećenja u oba smjera).

**Jednorodni aksijalni kuglični ležaji**

Oznaka	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)	
	$d$	$D$	$b$	$r$	$C$	$C_1$
Niz TA 11						
10 TA 11	10	24	9	0,5	11,4	5,7
12	12	26	9	0,5	12,5	6,1
15	15	28	9	0,5	17,7	6,9
17 TA 11	17	30	9	0,5	16	7,2
20	20	35	10	0,5	22	9,65
25	25	42	11	1	29	12,2
30 TA 11	30	47	11	1	32,5	13,2
35	35	52	12	1	39	14,6
40	40	60	13	1	52	19,6
45 TA 11	45	65	14	1	57	20,8
50	50	70	14	1	62	22,4
55	55	78	16	1	76,5	27
60 TA 11	60	85	17	1,5	93	32
65	65	90	18	1,5	96,5	33,9
70	70	95	18	1,5	104	34,5
75 TA 11	75	100	19	1,5	112	36,5
80	80	105	19	1,5	116	37,5
85	85	110	19	1,5	124	39
90 TA 11	90	120	22	1,5	156	50
100	100	135	25	1,5	220	69,5
110	110	145	25	1,5	236	73,9

Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	d	Dimenzije (mm)			Nosivost (kN)	
		D	b	r	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Niz TA 12						
10 TA 12	10	26	11	1	14	7,2
12	12	28	11	1	15,6	7,8
15	15	32	12	1	20,4	9,5
17 TA 12	17	35	12	1	22	10
20	20	40	14	1	31	14
25	25	47	15	1	41,5	18
30 TA 12	30	52	16	1	48	19,6
35	35	62	18	1,5	64	26,5
40	40	68	19	1,5	76,5	30,5
45 TA 12	45	73	20	1,5	86,5	32,5
50	50	78	22	1,5	91,5	34,5
55	55	90	25	1,5	132	49
60 TA 12	60	95	26	1,5	146	53
65	65	100	27	1,5	156	55
70	70	105	27	1,5	167	57
75 TA 12	75	110	27	1,5	173	58,5
80	80	115	28	1,5	180	61
85	85	125	31	1,5	220	72
90 TA 12	90	135	35	2	270	86,5
100	100	150	38	2	340	108
110	110	160	38	2	375	114

Niz TA 13

25 TA 13	25	92	18	1,5	51	22,8
30	30	60	21	1,5	65,5	28
35	35	68	24	1,5	86,5	36
40 TA 13	40	78	26	1,5	112	45
45	45	85	28	1,5	134	53
50	50	95	31	2	166	63
55 TA 13	55	105	35	2	204	76,5
60	60	110	35	2	220	81,5
65	65	115	36	2	236	85
70 TA 13	70	125	40	2	280	98
75	75	135	44	2,5	325	112
80	80	140	44	2,5	355	116
85 TA 13	85	150	49	2,5	405	132
90	90	155	50	2,5	405	132
100	100	170	55	2,5	490	156
110 TA 13	110	190	63	3	585	180
120	120	210	70	3,5	720	216
130	130	225	75	3,5	780	232
140 TA 13	140	240	80	3,5	910	260
150	150	250	80	3,5	1020	270
160	160	270	87	4	1200	320

Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	d	Dimenzije (mm)			Nosivost (kN)	
		D	b	r	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Niz TA 14						
25 TA 14	25	60	24	1,5	73,5	33,5
30	30	70	28	1,5	104	44
35	35	80	32	2	127	51
40 TA 14	40	90	36	2	170	68
45	45	100	39	2	200	78
50	50	110	43	2,5	250	95
55 TA 14	55	120	48	2,5	300	108
60	60	130	51	2,5	360	127
65	65	140	56	3	405	140
70 TA 14	70	150	60	3	455	153
75	75	160	65	3	510	170
80	80	170	68	3,5	560	183
85 TA 14	85	180	72	3,5	620	196
90	90	190	77	3,5	680	212
100	100	210	85	4	880	260
110 TA 14	110	230	95	4	1020	290
120	120	250	102	5	1100	310
130	130	270	110	5	1460	380
140 TA 14	140	280	112	5	1460	380
150	150	300	120	5	1630	415
160	160	320	130	6	2000	480

Jednoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)

Oznaka	d	Dimenzije (mm)				Nosivost (kN)			
		D	b	r	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>			
Niz TDC 22									
15 TDC 22	15	10	32	22	5	1	0,5	20,4	9,5
20	20	15	40	26	6	1	0,5	31	14
25	25	20	47	28	7	1	0,5	41,5	18
30 TDC 22	30	25	52	29	7	1	0,5	48	19,6
35	35	30	62	34	8	1,5	0,5	64	26,5
40	40	30	66	36	9	1,5	1	76,5	30,5
45 TDC 22	45	35	73	37	9	1,5	1	86,5	32,5
50	50	40	78	39	9	1,5	1	91,5	34,5
55	55	45	90	45	10	1,5	1	132	49
60 TDC 22	60	50	95	46	10	1,5	1	146	53
65	65	55	100	47	10	1,5	1	156	55
70	70	55	108	47	10	1,5	1,5	167	57
75 TDC 22	75	60	110	47	10	1,5	1,5	173	58,5
80	80	65	115	48	10	1,5	1,5	180	61
85	85	70	125	55	12	1,5	1,5	220	72

Dvoredni aksijalni kuglični ležaji (nastavak)

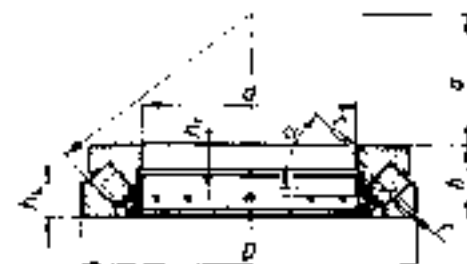
Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	$d$	$d$	$D$	$h$	$\rho$	$r$	$r_1$	$C$	$C_1$
<b>Niz TDC 22</b>									
90 TDC 22	90	75	135	62	14	2	1,5	270	86,5
100	100	85	150	67	15	2	1,5	340	108
110	110	95	160	67	15	2	1,5	375	114
120 TDC 22	120	100	170	68	15	2	2	390	118
130	130	110	190	80	18	2,5	2	510	150
140	140	120	200	81	18	2,5	2	540	156
<b>Niz TDC 23</b>									
25 TDC 23	25	20	52	34	8	1,5	0,5	51	22,8
30	30	25	60	38	9	1,5	0,5	65,5	28
35	35	30	68	44	10	1,5	0,5	86,5	36
40 TDC 23	40	30	78	49	12	1,5	1	112	45
45	45	35	85	52	12	1,5	1	134	53
50	50	40	95	58	14	2	1	166	63
55 TDC 23	55	45	105	64	15	2	1	204	76,5
60	60	50	110	64	15	2	1	220	81,5
65	65	55	115	65	15	2	1	236	88
70 TDC 23	70	55	125	72	16	2	1,5	280	98
75	75	60	135	79	18	2,5	1,5	325	112
80	80	65	140	79	18	2,5	1,5	355	116
85 TDC 23	85	70	150	87	19	2,5	1,5	405	132
90	90	75	155	88	19	2,5	1,5	405	132
100	100	85	170	97	21	2,5	1,5	490	156
110 TDC 23	110	95	190	110	24	3	1,5	585	190
120	120	100	210	125	27	3,5	2	720	216
130	130	110	225	130	30	3,5	2	780	232
140 TDC 23	140	120	240	140	31	3,5	2	930	260
150	150	130	250	140	31	3,5	2	1000	278
160	160	140	270	155	35	4	2	1200	320
<b>Niz TDC 24</b>									
25 TDC 24	25	15	60	45	11	1,5	1	73,5	33,5
30	30	20	70	52	12	1,5	1	104	44
35	35	25	80	59	14	2	1	127	53
40 TDC 24	40	30	90	65	15	2	1	170	68
45	45	35	100	72	17	2	1	200	78
50	50	40	110	78	18	2,5	1	255	95
55 TDC 24	55	45	120	87	20	2,5	1	300	108
60	60	50	130	93	21	2,5	1	360	127
65	65	50	140	101	23	3	1,5	405	140
70 TDC 24	70	55	150	107	24	3	1,5	455	153
75	75	60	160	115	26	3	1,5	510	170
80	80	65	170	120	27	3,5	1,5	560	183
85 TDC 24	85	65	180	128	29	3,5	2	620	196
90	90	70	190	135	30	3,5	2	680	212
100	100	80	210	150	33	4	2	880	260

Aksijalni bačvastí ležaji

Nizovi TS i TSA  
(JUS M C3.711/715 — 1966)

Niz TS: samopodesivi aksijalni ležaji s nesimetričnim bačvastim valjkicama.

Niz TSA: samopodesivi aksijalni ležaji sa simetričnim bačvastim valjkicama.



Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	$d$	$D$	$h$	$h_r$	$h_s$	$a$	$r$	$C$	$C_1$
<b>Niz TS 92</b>									
200 TS 92	200	280	48	15	24	108	3	1 140	425
220	220	300	48	15	24	117	3	1 250	470
240	240	340	60	19	30	130	3,5	1 800	630
260 TS 92	260	360	60	19	30	139	3,5	1 860	640
280	280	380	60	19	30	150	3,5	2 000	680
300	300	420	73	21	38	162	4	2 450	850
320 TS 92	320	440	73	21	38	172	4	2 600	880
340	340	460	73	21	38	183	4	2 700	915
360	360	500	85	25	38	194	5	3 250	1 160
380 TS 92	380	520	85	27	42	202	5	3 800	1 270
400	400	540	85	27	42	212	5	4 050	1 320
420	420	580	95	30	46	225	6	4 900	1 600
440 TS 92	440	600	95	30	46	235	6	5 000	1 660
460	460	620	95	30	46	245	6	5 200	1 660
480	480	650	105	33	55	259	6	5 700	1 900
500	500	670	105	33	55	268	6	6 000	1 930
<b>Niz TS 93</b>									
100 TS 93	100	170	42	14	20,8	58	2,5	585	280
110	110	190	48	16	23	64	3	750	345
120	120	210	54	18	26	70	3,5	950	430
130 TS 93	130	225	58	19	28	76	3,5	1 080	490
140	140	240	60	20	29	82	3,5	1 250	550
150	150	250	60	20	29	87	3,5	1 290	570
160 TS 93	160	270	67	23	32	92	4	1 500	655
170	170	280	67	23	32	96	4	1 560	670
180	180	300	73	25	35	103	4	1 860	800
190	190	320	78	27	38	110	5	2 160	930
200 TS 93	200	340	85	29	41	116	5	2 580	1 060
220	220	360	85	29	41	125	5	2 650	1 080
240	240	380	85	29	41	135	5	2 800	1 120
260	260	420	95	32	45	148	6	3 600	1 460

**Aksijalni bučvasti ležaji (nastavak)**

Oznaka	Dimenzije (mm)							Nosivost (kN)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>f</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>u</i>	<i>r</i>	<i>C<sub>10</sub></i>	<i>C</i>
Niz TS 93									
280 TS 93	280	440	95	32	46	158	6	3 750	1 500
300	300	480	109	37	50	168	6	4 500	1 800
320	320	500	109	37	53	180	6	4 750	1 890
340 TS 93	340	540	122	41	59	192	6	5 600	2 200
360	360	560	122	41	59	202	6	5 850	2 240
380	380	600	132	44	63	216	8	7 100	2 700
400 TS 93	400	620	132	44	64	225	8	7 350	2 800
420	420	650	140	48	68	235	8	7 650	2 900
440	440	680	145	49	70	245	8	8 500	3 250
460 TS 93	460	710	150	51	72	257	8	9 500	3 550
480	480	730	150	51	72	270	8	9 650	3 600
500	500	750	150	51	74	280	8	10 200	3 650
Niz TS 94									
60 TS 94	60	130	42	15	20	38	2,5	404	232
65	65	140	45	16	21	42	3	520	275
70	70	150	48	17	23	44	3	570	300
75 TS 94	75	160	51	18	24	47	3	670	345
80	80	170	54	19	26	50	3,5	720	375
85	85	180	58	21	28	54	3,5	830	425
90 TS 94	90	190	60	22	29	56	3,5	965	490
100	100	210	67	24	32	62	4	1 160	585
110	110	230	73	26	35	69	4	1 370	680
120 TS 94	120	250	78	29	37	74	5	1 600	780
130	130	270	83	31	41	81	5	1 860	915
140	140	280	85	31	41	86	5	2 000	950
150 TS 94	150	300	90	32	44	92	5	2 280	1 080
160	160	320	95	34	45	99	6	2 600	1 220
170	170	340	103	37	50	104	6	2 900	1 370
180 TS 94	180	360	109	39	52	110	6	3 250	1 530
190	190	380	115	41	55	117	6	3 600	1 660
200	200	400	122	43	59	122	6	4 050	1 840
220	220	420	122	43	59	132	8	4 250	1 900
240 TS 94	240	440	122	43	59	142	8	4 500	1 960
260	260	480	132	48	64	154	8	5 500	2 360
280	280	520	145	52	68	166	8	6 400	2 800
300	300	540	145	52	70	175	8	6 400	2 800

Standardizirani su (JUS M.C3.715 - 1966) još i sljedeći nizovi aksijalnih bučvastih ležaja:

- niz TSA 92: *d* = 240...500 mm, *D* = 340...670 mm,
- niz TSA 93: *d* = 120...500 mm, *D* = 210...750 mm,
- niz TSA 94: *d* = 60...300 mm, *D* = 110...540 mm.

Standardi JUS za te nizove ležaja ne propisuju nosivosti *C<sub>10</sub>* i *C*.

**Nosivost valjnih ležaja (prema ISO)**

Statička nosivost ležaja (JUS M.C3.851 - 1963).

Statička nosivost je nosivost u mirovanju, tj. ono radijalno (odn. aksijalno) (centrično) opterećenje radijalnih (odnosno aksijalnih) ležaja pri kojem nastaje ukupna plastična deformacija od  $10^{-4}$  promjera valjnog tijela.

Proračun statičke nosivosti (JUS M.C3.853 - 856 - 1965)

Statička nosivost *C<sub>10</sub>* za pojedine vrste ležaja dana je u tablicama (stl. 577 do 596)

Ekvivalentno statičko opterećenje *F<sub>0</sub>* ovisno je o radijalnom opterećenju *F<sub>r</sub>* i aksijalnom opterećenju *F<sub>a</sub>*.

a) Ekvivalentno statičko opterećenje za radijalne ležaje

— pri čistom radijalnom opterećenju (*F<sub>a</sub>* = 0)

$$F_0 = F_r$$

— uz istodobno radijalno i aksijalno opterećenje - uzimamo veću od sljedećih dviju vrijednosti

$$F_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad F_0 = F_r$$

Vrijednosti za *X<sub>0</sub>* i *Y<sub>0</sub>* iznose:

Vrsta radijalnog ležaja	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji	
	<i>X<sub>0</sub></i>	<i>Y<sub>0</sub></i>	<i>X<sub>0</sub></i>	<i>Y<sub>0</sub></i>
Kuglični ležaji s radijalnim dodirnim	0,6	0,5	0,6	0,5
Kuglični ležaji s kosim dodirnim				
α = 20°	0,5	0,42	1	0,84
α = 25°	0,5	0,38	1	0,76
α = 30°	0,5	0,33	1	0,66
α = 35°	0,5	0,29	1	0,58
α = 40°	0,5	0,26	1	0,52
Samopodesivi kuglični ležaji	0,5	0,22 cot α	1	0,44 cot α
Valjkasti ležaji	0,5	0,22 cot α	1	0,44 cot α

b) Ekvivalentno statičko opterećenje za aksijalne ležaje

— istodobno aksijalno i radijalno opterećenje\*

$$F_0 = F_a + 2,3 F_r \tan \alpha$$

(Za jednoredne aksijalne ležaje ta jednadžba više ne vrijedi točno ako je  $F_r > 0,44 F_a \cot \alpha$ )

Statička nosivost *C<sub>10</sub>* ne smije biti manja od ekvivalentnog statičkog opterećenja *F<sub>0</sub>*

$$C_{10} \geq F_0$$

\* α je kut dodira (kut između dodirne osi i okomice na os ležajnog povrta).

Dinamička nosivost ležaja (IUS M.C3.852 — 1963)

Trajnost valjnog ležaja određena je brojem okretaja (ili satima rada uz konstantnu brzinu vrtnje) pri kojem se pojavljuju prvi znakovni umora materijala.

Nazivno trajanje skupine jednakih ležaja je onaj broj okretaja (ili sati rada uz konstantnu brzinu vrtnje) što ga dostigne ili premaši 90% ležaja iz te skupine prije pojave prvih znakova umora materijala.

Dinamička nosivost radijalnog odn. aksijalnog ležaja je čisto radijalno odn. aksijalno konstantno opterećenje kojim možemo opteretiti skupinu jednakih ležaja s nazivnim trajanjem od  $10^6$  okretaja.

Procjena dinamičke nosivosti (IUS M.C3.857/858/859/860 — 1964).

Dinamička nosivost  $C$  za pojedine vrste ležaja dana je u tablicama (str. 577 do 596).

a) *Ekvivalentno dinamičko opterećenje*  $F$  pri radijalnom opterećenju  $F_r$  i aksijalnom opterećenju  $F_a$  — za aksijalne ležaje

$$F = V \cdot X F_r + Y F_a$$

pri čemu faktor  $V$  iznosi

Vrsta radijalnog ležaja	Unutarnji prsten se okreće	
	miruje	miruje
kuglični ležaji		
— s radijalnim dodirnom	1	1,2
— s kosim dodirnom	1	1,2
— samopodesivi	1	1
— jednoredni s radijalnim dodirnom, rastavljivi	1	1
valjkasti ležaj	1	1,2

Vrijednosti  $X$  i  $Y$  za radijalne kuglične ležaje s radijalnim dodirnom

$F_a$	$C_u$	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji			
		$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$		$F_a/VF_r > e$	
		$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$
0,014	0,19		2,30				2,30
0,028	0,22		1,99				1,99
0,056	0,26		1,71				1,71
0,084	0,28		1,55				1,55
0,11	0,30	0,56	1,45	1	0	0,56	1,45
0,17	0,34		1,31				1,31
0,28	0,38		1,15				1,15
0,42	0,42		1,04				1,04
0,56	0,44		1,00				1,00

Za rastavljive jednoredne radijalne kuglične ležaje s radijalnim dodirnom vrijedi

$$F_a/VF_r > 0,2 \begin{cases} X = 0,50 \\ Y = 2,5 \end{cases}$$

Vrijednosti  $X$  i  $Y$  za radijalne kuglične ležaje s kosim dodirnom

$\alpha$	$F_a/C_u$	$e$	Jednoredni ležaji		Dvoredni ležaji		
			$F_a/VF_r \leq e$ $X$	$Y$	$F_a/VF_r \leq e$ $X$	$Y$	
5°	0,014	0,23			2,78	3,74	
	0,028	0,26			2,40	3,23	
	0,056	0,30			2,07	2,78	
	0,085	0,34			1,87	2,52	
	0,11	0,36			1,75	2,36	
	0,17	0,40			1,58	2,13	
	0,28	0,45			1,39	1,87	
	0,42	0,50			1,26	1,69	
	0,56	0,52			1,21	1,63	
10°	0,014	0,29		1,88	2,18	3,06	
	0,029	0,32		1,71	1,98	2,78	
	0,057	0,36		1,52	1,76	2,47	
	0,086	0,38		1,41	1,61	2,29	
	0,11	0,40	0,46	1,34	1,55	2,18	
	0,17	0,44		1,23	1,42	2,00	
	0,29	0,49		1,10	1,27	1,79	
	0,43	0,54		1,01	1,17	1,64	
	0,57	0,54		1,00	1,16	1,63	
15°	0,015	0,38		1,47	1,65	2,39	
	0,029	0,40		1,40	1,57	2,28	
	0,058	0,43		1,30	1,46	2,11	
	0,087	0,46		1,23	1,38	2,00	
	0,12	0,47	0,44	1,19	1,34	1,93	
	0,17	0,50		1,12	1,26	1,82	
	0,29	0,55		1,02	1,14	1,66	
	0,44	0,56		1,00	1,12	1,63	
	0,58	0,56		1,00	1,12	1,63	
20°		0,57	0,43	1,00	1,09	0,70	1,63
25°		0,68	0,41	0,87	0,92	0,67	1,41
30°		0,80	0,39	0,77	0,78	0,63	1,24
35°		0,95	0,37	0,68	0,66	0,60	1,07
40°		1,14	0,35	0,57	0,55	0,57	0,93

\*  $i$  — broj redova kuglica u jednom ležaju.

Vrijednosti  $X$  i  $Y$  za samopodesive radijalne ležaje

Vrsta radijalnog ležaja	$F_a/VF_r \leq 1,5 \tan \alpha$		$F_a/VF_r > 1,5 \tan \alpha$	
	$X$	$Y$	$X$	$Y$
Samopodesivi kuglični ležaji				
— jednorodni	—	—	0,40	$0,4 \cot \alpha$
— dvoredni	1	$0,42 \cot \alpha$	0,65	$0,65 \cot \alpha$
Samopodesivi valjkasti ležaji				
— jednorodni	1	0	0,4	$0,4 \cot \alpha$
— dvoredni	1	$0,45 \cot \alpha$	0,67	$0,67 \cot \alpha$

Za  $\alpha = 0$ :  $F_a = 0$ ,  $X = 1$

b) *Ekvivalentno dinamičko opterećenje*  $F$  pri radijalnom opterećenju  $F_r$  i aksijalnom opterećenju  $F_a$  — za aksijalne ležaje

$$F = XF_r + YF_a$$

Vrijednosti  $X$  i  $Y$

Vrsta aksijalnog ležaja	$e$	Jednosmj. ležaji		Dvosmjerni ležaji			
		$F_a/F_r \leq e$	$Y$	$F_a/F_r \leq e$	$Y$	$F_a/F_r > e$	$Y$
Kuglični ležaj s kosim dodirnom							
$\alpha = 45^\circ$	1,25	0,66	1	1,18	0,59	0,66	1
$\alpha = 60^\circ$	2,17	0,92	1	1,90	0,54	0,92	1
$\alpha = 75^\circ$	4,67	1,66	1	3,89	0,52	1,66	1
Samopodesivi valjkasti ležaj	$1,5 \tan \alpha$	$\tan \alpha$	1	$1,5 \tan \alpha$	0,67	$\tan \alpha$	1

Za  $\alpha = 90^\circ$ :  $F_r = 0$ ,  $Y = 1$

\*

*Trajnost ležaja*  $L$  ovisi o dinamičkoj nosivosti  $C$  i ekvivalentnom opterećenju  $F$  te iznosi

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^m \quad (10^6 \text{ okretaja})$$

pri čemu je eksponent  $m$ :

za kuglične ležaje  $m = 3$

za valjkaste ležaje  $m = 10/3$

MAZIVA

S obzirom na izvor maziva razlikujemo sljedeće vrste:

*Mineralna ulja* se najčešće upotrebljavaju kao maziva u tehnici. Dobivamo ih destilacijom iz sirovog zemnog ulja (nafta). Većinu destilata treba još i rafinirati. Rafinati su skuplji, no ujedno i trajniji te imaju dobru mazivost ako nisu previše rafinirani.

*Biljna i životinjska ulja* (košlano, ricinusovo, repičino ulje) veoma su masna pa bolje mažu od mineralnih, ali se pri upotrebi pretvaraju djelomice u smolu i razgrađuju. Stoga se vrlo rijetko upotrebljavaju posve sama.

*Zamušćena (kompandirana) ulja* mješavina su mineralnih i biljnih ili životinjskih ulja. Zato je njihova mazivost osobito dobra, ali brže stare nego čista mineralna ulja.

*Mineralna ulja s dodacima (aditivima)* imaju bolja svojstva od čistih mineralnih. Dodaci služe za poboljšanje mazivosti i viskoznosti, sprječavaju auto-okidaciju, koroziju, pjenjenje i rdanje, te omogućuju detergentsko djelovanje i mazanje pri visokom tlaku. Tzv. «detergentni disperzanti» osobito su potrebni za motorna ulja, jer sprječavaju nakupljanje taloga i izgorjelih čestica u motoru.

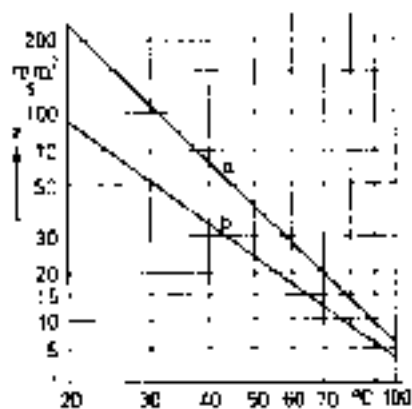
Neka se sintetska ulja (silikoni i sl.) sve više primjenjuju u savremenoj tehnici zbog specijalnih svojstava.

*Masti* (za strojeve i valjne ležaje) su smjese sapuna i mineralnih ulja. Uglavnom razlikujemo litijeve i natrijeve masti; poznat je, međutim, cio niz posebnih masti izrađenih npr. na osnovu aluminijeva ili drugog sapuna. Natrijeve masti tvore s vodom emulziju pa izdrže više temperature.

\*

Kvalitet maziva i mazivost prosuđujemo s obzirom na ovlaživanje i prijanjanje na kovinske površine i otpornost prema starenju. Pri izboru maziva za određenu svrhu odlučna su fizikalna i kemijska svojstva: gustoća, viskoznost, plamnište, krutište, kapljište, neutralizacijski broj i druga.

*Gustoća* pri  $15^\circ\text{C}$  gotovo je za sva ulja manja od  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Kvalitetna stabilna ulja na parafinskoj osnovi imaju gustoću oko  $870 \text{ kg/m}^3$ , naftina imaju nešto veću, a ulja s asfaltnom osnovom još veću gustoću. Sintetska ulja iz ugljenog katrana dosežu gustoću  $1100 \dots 1200 \text{ kg/m}^3$ . Općenito su gustoća i viskoznost tim manje što ugljikovodici, od kojih je sastavljeno dotično mineralno ulje, sadrže više volika.



Dijagram ovisnosti viskoznosti o temperaturi T

a — poluteška i srednje ulje,  
b — lako ulje.

**Plamnište** je temperatura pri kojoj se uljne pare prvi put zapale kad im se približavamo s otvorenim plamenom. Ako ulje nastavi dalje samo gorjeti, dosegli smo *gorište*, koje je 30 ili 40 stupnjeva više od plamništa. Plamnište moramo uzeti u obzir samo ako su pogonske temperature blizu plamništa. Ono veoma ovisi o tlaku: pri povećanom tlaku (npr. u kompresorima) plamnište je znatno više, dok je pri sniženom tlaku (npr. u vakuum-pumpama) znatno niže.

**Kapnište** je temperatura na kojoj se pojavi prva kaplja tekuće masti kad se ona zagrijava u određenoj posudi. Mnoge se masti razgrađuju već mnogo prije nego su dosegle kapnište, pa zato ono mora biti znatno više od pogonske temperature ležaja.

**Kvitište** je temperatura pri kojoj ulje više ne teče. Tim ocjenjujemo upotrebljivost ulja pri niskim temperaturama.

**Penetracija** je mjera za tvrdoću masti (tj. dubina do koje se, uz propisane uvjete, u uzorak masti utisne stožac određenih dimenzija).

**Neutralizacijski broj** Zbog upotrebe ulja pri visokim temperaturama i katalitičkog djelovanja kovina u prisustvu kisika iz zraka, u mineralnim se i zamašćenim uljima stvaraju nakon dužeg vremena slobodne organske kiseline, pa ulje «stare». Neutralizacijski broj jest broj mg kalijeva hidroksida (KOH) koji je potreban da se neutraliziraju slobodne organske kiseline u 1 g ulja.

\*

Budući da laboratorijska ispitivanja spomenutih fizikalnih i kemijskih karakteristika nisu uvijek dovoljna za ocjenu radnih svojstava, uvedena su i ispitivanja za specijalna maziva i neposredno na strojevima, a osobito na motorima s unutarnjim izgaranjem. Ispituju se odnosno ocjenjuju slijedeća svojstva: sposobnost pržanja i debljina sloja maziva na ploham, oksidacijska stabilnost, detergenost i dr. Te metode obično nisu standardizirane.

### Ležajna, vretenška, osovinska i cirkulacijska ulja

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Kvitište 0 °C maks.	Plamnište °C min.
<i>Ležajna ulje - destilat (JUS B.H3.313 ... 316 - 1956)</i>				
		pri 50 °C		
lako	LD - 30	21 ... 38	-5	140
srednje	LD - 45	40 ... 52	5	150
polutešku	LD - 60	55 ... 75	0	160
teško	LD - 100	80 ... 110	0	170
<i>Vretenško ulje (JUS B.H3.3000/301 - 1956) - za protočno mazanje</i>				
		pri 20 °C		
lako	VL	20 ... 45	-15	130
teško	VT	60 ... 85	-15	130
<i>Vretenško ulje - destilat (JUS B.H3.310/311 - 1956) - za protočno mazanje</i>				
lako				
teško				
<i>Osovinsko ulje (JUS B.H3.321/323 - 1956) - za osovine tračničkih vozila</i>				
		pri 50 °C		
lako	OL	45 ... 60	-15	150
teško	OT	90 ... 110	0	160
<i>Cirkulacijsko ulje (JUS B.H3.230 - 1973) - za upotrebno mazanje</i>				
		pri 50 °C		
super super lako	CP 2	1,6	-40	80
super lako	CP 3	3	-30	90
ekstra ekstra lako	CP 7	7	-20	110
ekstra lako	CP 9	9	-20	140
posebno lako	CP 14	14	-16	160
vrlo lako	CP 20	20	-15	165
lako	CP 27	27	-15	170
srednje	CP 37	37	-10	180
teško	CP 50	50	-10	200
vrlo teško	CP 75	75	-10	200
osobito teško	CP 100	100	-5	210
ekstra teško	CP 150	150	-5	215
ekstra ekstra teško	CP 215	215	-5	220
super teško	CP 300	300	5	230
super super teško	CP 425	425	-5	230



**Ulje za visoki tlak, zupčanike i zupčane prigone**

Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s			Krunište °C maks.	Plamnište °C stan.
	17,8°C	50°C	98,0°C		
<i>Ulje za visoki tlak (JUS B.H3.211... 215 — 1962)</i>					
UVP—75 <sup>1)</sup>	3268	22... 29		20	150
UVP—80 <sup>1)</sup>		53... 76	8,5... 12	15	165
UVP—90 <sup>2)</sup>		91... 190	14,2... 25,1	-12	180
UVP—140 <sup>2)</sup>			25,1... 42,9	-10	200
UVP—250 <sup>3)</sup>			42,9	0	220

*Ulje za otvorene zupčanike (JUS B.H3.270... 272 — 1955)*

OZ 5		33		190
OZ 10		72	—	190
OZ 15		125	—	190

*Ulje za zatvorene zupčane prigone (JUS B.H3.319 — 1973)*

ZU 40	40		25	180
ZU 55	55		-20	190
ZU 80	80		-18	200
ZU 110	110		-15	210
ZU 150	150		-12	220
ZU 190	190		12	230
ZU 230	230		-10	235
ZU 305	305		- 5	240
ZU 455	455		- 5	240

*Ulje za mehaničke prigone motornih vozila (JUS B.H3.302/303 — 1973)*

MP4—80	< 23000	9... 11,5	-20	170
MP4—90	—	16,8... 19,2	-15	190
MP4—140	—	25,5... 31,5	- 8	210
MP5—75	< 3300	> 4,2	—	150
MP5—80	< 11000	9... 11,5	(-25)	160
MP5—90	< 76000	16,8... 19,2	(-18)	180
MP5—140	—	25,5... 31,5	(- 7)	200

<sup>1)</sup> — za zupčane prigone, <sup>2)</sup> — za mjerila i diferencijale, <sup>3)</sup> — za pužne prigone.

**Hidrauličko, kompresorsko, turbinsko i cilindarsko ulje**

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Krunište	Plamnište
			°C maks.	°C min
<i>Hidrauličko ulje (JUS B.H3.120... 128 — 1963) za uljanohidrauličke naprave</i>				
pri 50°C				
ekstra lako	HU-EEL	10... 12	-35	81
ekstra lako	HU-EL	12... 14	-30	100
vrlo lako	HU-VL	17... 21	-25	160
lako	HU-L	30... 34	20	200
srednje	HU-S	38... 42	-15	210
teško	HU-T	49... 53	-10	220
vrlo teško	HU-VT	61... 75	10	230
posebno teško	HU-NT	80... 95	-10	240
<i>Kompresorsko ulje (JUS B.H3.151... 156 — 1962) — za stapne i rotacijske kompresore</i>				
pri 50°C				
lako	KU-L	35... 50	20	175
srednje	KU-S	52... 72	15	185
teško	KU-T	75... 105	-10	195
vrlo teško	KU-VT	110... 140	5	215
posebno teško	KU-NT	150... 200	5	230
ekstra teško	KU-ET	220... 270	- 5	250
<i>Ulje za rashladne kompresore (JUS B.H3.141... 144 — 1962) — za kompresore za NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, freone i sl</i>				
pri 50°C				
vrlo lako	KH-VL	10... 17	-40	135
lako	KH-L	18... 26	-35	160
srednje	KH-S	26... 36	- 25	180
teško	KH-T	36... 50	20	200
<i>Turbinsko ulje (JUS B.H3.210 — 1976) za vodne, parne i plinske turbine</i>				
pri 50°C				
vrlo lako	TU-VL	16... 24	-10	180
lako	TU-L	25... 33	- 8	190
srednje	TU-S	34... 42	- 8	210
teško	TU-T	44... 52	- 8	220
<i>Cilindarsko ulje (JUS B.H3.341 — 1956, 382 — 1970) — za parne cilindre</i>				
pri 100°C				
za zasićenu paru	CU 250	30... 52	+ 5	250
za pregrijanu paru	CU 300	44... 55	+ 5	310

**Motorno ulje**  
 JUS B.113.129/139/149/169 — 1974)

*Razdioba mineralnih motornih ulja po kvaliteti*

Klasifikaciju API su (1970/71) zajednički izdali API (American Petroleum Institute) i ASTM (American Society for Testing Materials)

Kvalitet po JUS	Klasifikacija API*	Karakteristika ulja	Upotreba
A	SB	inhibirano	laki } benzijski
B	SD	inhibirano, detergentsno	teži } motori
C	CC	jače detergentsno	laki } dizel-
D	CD	jače detergentsno	teži } motori

\* Klasifikacija API poznaje još i kvalitete: SA, SC i SE (od SA do SE s porastom dodatka) te CA i CB (od CA do CB za povećani stupanj kompresije motora)

Motorno ulje za dvotaktne benzinske motore je ulje s dodatcima, a upotrebljava se pomiješano s benzinom.

*Razdioba po viskoznosti*

Po SAE (Society of Automotive Engineers) motorna su ulja podijeljena u gradacije po viskoznosti (pri čemu nisu uzeti u obzir ni kvalitet ulja, ni ovisnost njegove viskoznosti o temperaturi).

Gradacija po SAE	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s		Krućešte °C maks.	Plamište °C min.
	-17,8°C	98,9°C		
<i>Zemlja ulja</i>				
SAE 10 Z	2400	5,4 ... 7,3	- 25	200
SAE 20 Z	9600	7,3 ... 9,0	20	305
<i>Ujetna ulja</i>				
SAE 20		7,3 ... 9,6	- 20	205
SAE 30		9,6 ... 12,9	15	220
SAE 40		12,9 ... 16,8	- 10	230
SAE 50		16,8 ... 22,7	10	240

«Sveszczonska ulja» obuhvaćaju viskoznosću više gradacija. (Ulje koje odgovara gradacijama SAE 10 Z i SAE 30, označeno je sa SAE 10 Z - 30)

**Vazelinsko, izolacijsko ulje i ulje za obradu**

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> /s	Krućešte °C maks.	Plamište °C min.
-------	--------	-------------------------------	-------------------	------------------

*Vazelinska ulje, tehnička* (JUS B.H3.160 ... 163 — 1958) — za precizne instrumente i lake radilice

vrlo lako	VZT-VL	pri 20°C	25	120
		20 ... 37		
lako	VZT-L	pri 50°C	20	120
		12 ... 17		
		18 ... 25		
srednje	VZT-S	15	140	
teško		VZT-T		-15

*Izolacijsko ulje* (JUS B.H3.561/562 — 1970)

za transformatore	IU-T	pri -30°C	pri 20°C	-45	130
		1800	30		
za sklopke	IU-P	pri -15°C	pri 20°C	30	140
		800	40		

Dielektrična čvrstoća izolacijskih ulja IU-T i IU-P iznosi, za neprerađeno ulje 30 kV, za prerađeno ulje 50 kV.

*Ulja i tekućine za obradu* — za hlađenje i mazanje alata pri odvajanju čestica s kovina

*Neemulgirajuća ulja* (JUS B.H3.526 — 1973)

neaktivna ulja	N 5	pri 50°C	20	90			
		3,0 ... 6,5					
		N 10			6,5 ... 12	20	100
		N 20			12 ... 37,5	10	140
aktivna ulja	N 20	12 ... 37,5	10	160			
		A 10	6,5 ... 12	-20	100		
		A 25	12 ... 37,5	-10	140		
		VA	12 ... 37,5	-10	140		

Emulgirajuća ulja i sintetične tekućine (JUS B.113.536 — 1974) — za emulzije s vodom u omjeru ulje/voda = 1 : 10 ... 1 : 40 (1 : 60), otopine u vodi u omjeru koncentracije/voda = 1 : 50 ... 1 : 1000

**Masti za mazanje**

Vrsta	Oznaka	Viskoznost mm <sup>2</sup> s 50 °C	Penetracija (po gne- čenju)	Krutište °C maks.	Kapljište °C min.
-------	--------	--	-----------------------------------	-------------------------	-------------------------

*Masti za otvorene zupčanike (JUS B.H3.273/274 — 1955)*

teška	OZ-20	—	310 ... 340	—	—
vrlo teška	OZ-41	—	290 ... 310	—	—

*Masti za visoki tlak i temperaturu — za klizne i valjne ležaje pri povišenim temperaturama i tlakovima (JUS B.H3.621 — 1974)*

vrlo meka	MVP-1	—	310 ... 340	—	175
meka	MVP-2	—	265 ... 295	—	180
srednja	MVP-3	—	220 ... 250	—	185

— za visoke temperature (JUS B.H3.644/648 — 1965)

tvrd	MVT-4	—	175 ... 205	—	160
briketna	MVT-B	—	< 80	—	180

*Masti na osnovi li-sapuna (JUS B.H3.634 — 1974) — za više namjena*

vrlo meka	VM-1	> 40	310 ... 340	-15	175
meka	VM-2	> 40	265 ... 295	-15	180
srednja	VM-3	> 40	220 ... 250	-15	185

*Masti na osnovi Na-sapuna (JUS B.H3.645 — 1974) — za valjne ležaje*

meka	MKL-2	> 35	265 ... 295	-15	140
srednja	MKL-3	> 35	220 ... 250	-15	150

*Grafitirana mast (JUS B.H3.661 — 1970)*

srednja	LMG-3	> 37	200 ... 250	-15	95
---------	-------	------	-------------	-----	----

Sadrži: 2 — 4% grafit, 8% pepela, 2% vode.

*Masti s molibdenovim disulfidom MoS<sub>2</sub> (JUS B.H3.666 — 1976)*

—	MMo-1	> 40	310 ... 340	-15	175
—	MMo-2	> 40	265 ... 295	-15	180

Sadrži: > 1% MoS<sub>2</sub>.

*Antikorozijski vazelin (JUS B.H3.681 — 1977)*

—	AV-55	—	200 ... 325	—	55
—	AV-65	—	90 ... 150	—	65
—	AV-75	—	30 ... 80	—	75

**Izbor maziva\***

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti		Maziva po JUS
	t — temperatura (°C)	n — brzina vrtnje (okr./min)	

**Ležaji**

*Klizni ležaji*

— podmazivanje uljem, ručno ili mazalicama	n < 50	LD-100
	n = 50 ... 200	LD-60
	n = 200 ... 700	LD-45

— podmazivanje uljem, cirkulacijsko ili prstenom	t > 0 °C:	
	n < 50	CP-100
	n = 50 ... 200	CP-75
	n = 200 ... 700	CP-50
	n = 700 ... 1500	CP-37
	n = 1500 ... 3000	CP-20
	n > 3000	CP-7
	t < 0 °C	KH-5

— podmazivanje mašču	t > 60 °C:	
	mazalicama	LMG-3
	tlačno	MVP-2
	t > 60 °C	MKL-3

*Valjni ležaji*

— podmazivanje uljem	t = 25 ... 40 °C	KH-T
	t = 0 ... 60 °C:	
	n < 700	CP-37
	n = 700 ... 3000	CP-20
	n > 3000	CP-7
		t = 60 ... 90 °C:

— podmazivanje mašču	n < 700 °C:	CP-100
	n = 700 ... 3000	CP-37
	n > 3000	CP-20

— podmazivanje mašču	t > 90 °C:	
	n < 700	CP-300
	n = 700 ... 3000	CP-215
	n > 3000	CP-75

— podmazivanje mašču	t = -20 ... 125 °C	
	normalno opterećenje	VM-3
	veliko opterećenje	MVP-3

\* Navedene su upute informativne. U pojedinim slučajevima, a napose pri većim zahtjevima, valja uzeti u obzir upute proizvođača stroja ili uređaja i proizvođača maziva.

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti		Maziva po JUS	Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti		Maziva po JUS
	$t$ — temperatura (°C)	$n$ — brzina vrtnje pogonskog zupčanika (okr./min)			$P$ — prenesena snaga (kW)	$t$ — temperatura (°C)	
Zupčani prijenosi Zatvoreni zupčanici	$t = 20 \dots 20^\circ\text{C}$ : velika opterećenje manje opterećenje		ZU-80 ZU-40	Vodne turbine Potporni ležaji — sa čvrstim potpornim prstenom	$t < 50^\circ\text{C}$ srednja i velika opterećenja, mala i srednja brzina		TU-T
— podmazivanje cirkulacijsko	$t = 0 \dots 70^\circ\text{C}$ : $n < 350$ : $P < 18$ $P = 18 \dots 65$ $P > 65$		ZU-55 ZU-80 ZU-190	— s pomičnim segmentima	$t < 60^\circ\text{C}$ : opterećenje $< 3,5 \text{ N/mm}^2$ mala opterećenja, velika brzina		TU-S
— podmazivanje u uljnoj kupelji	$n = 350 \dots 1000$ : $P < 11$ $P = 11 \dots 50$ $P > 50$		ZU-40 ZU-55 ZU-80	Horizontalni potporni i grebenasti ležaji Svornjaci statoskih lopatica, vodivi podvodni ležaji	$t < 15^\circ\text{C}$ mala i srednja opterećenja servomotor u osovini servomotor u glavini		TU-S LMG-3 CP-300 TU-S
— podmazivanje u uljnoj kupelji	$n < 350$ : $P < 18$ $P = 18 \dots 65$ $P > 65$		ZU-80 ZU-190 ZU-305	Glavine Kaplanovih turbina	$n > 3000$ $n = 1500 \dots 3000$		TU-VL TU-S
— podmazivanje cirkulacijsko ili u uljnoj kupelji	$n = 350 \dots 1000$ : $P < 11$ $P = 11 \dots 50$ $P > 50$		ZU-55 ZU-80 ZU-190	Parne turbine Ležaji	Temperatura pare: $t_p < 320^\circ\text{C}$ $t_n < 260^\circ\text{C}$		CU-300 CU-250
— podmazivanje cirkulacijsko ili u uljnoj kupelji	$n = 1000 \dots 2500$ : $P < 7$ $P = 7 \dots 37$ $P > 37$		ZU-40 ZU-55 ZU-80	Stapni parni strojevi Cilindri	$P_1 < 120 \text{ kW}$ $P_1 > 120 \text{ kW}$		D-SAE 30 D-SAE 40
— podmazivanje cirkulacijsko ili u uljnoj kupelji	$n = 2500 \dots 5000$ : $P < 4$ $P = 4 \dots 15$ $P > 15$		CP-20 ZU-40 ZU-55	Dizel-motori (stabilni) Vertikalni motori — cilindri i ležaji	$P_1 < 40 \text{ kW}$ $P_1 > 40 \text{ kW}$		D-SAE 20Z D-SAE 30
Otvoreni zupčanici Pažni prijenosi	$t < 60^\circ\text{C}$ $t$ — normalne niske		OZ-15 MP4-140 MP4-80	Horizontalni motori — cilindri i ležaji			
Lanci i užad Galfovi lanac	$t$ — normalne niske		MP4-90 KH-T	Regulatori Protučni regulatori Tačni regulatori	$t$ — normalne $t$ — normalne — niske		TU-S TU-S KH-L
Čelična užad	$t$ — normalne i niske		OZ-5	Stapni kompresori za regulatore	$t > 10^\circ\text{C}$ $t < 10^\circ\text{C}$		KU-T KU-S

Mjesto i način podmazivanja	Pogonski uvjeti		Maziva po JUS
	$t$ — konačna temperatura kompresije (°C)	$p$ — tlak (bar)	
<b>Hidraulički strojevi</b>			
Stapne pumpe	normalno opterećenje		HU-VL
Rotacijske pumpe	normalno opterećenje veliko opterećenje		HU-S HU-VT
<b>Stapni kompresori</b>			
<i>Cilindri i brtve</i>			
— mali jednostepeni zračni kompresor	$p < 6$ bar: vani — zimi — ljeti unutra		KU-L KU-S KU-S
— višestepeni kompresor za zrak, N <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> i sl.	$p < 100$ bar: $t < 140$ °C $t < 160$ °C $t < 190$ °C $t > 190$ °C		KU-S KU-T KU-NT KU-ET
— kompresori za koksin ili rasvjetni plin	$t < 140$ °C $t > 140$ °C		KU-S KU-T
— kompresori za metan, propan, butan	$t < 140$ °C		KU-T
— kompresori za vlažni zrak ili plin	$t < 135$ °C $t > 135$ °C		KU-S KU-VT
— rashladni kompresori za NH <sub>3</sub> i CO <sub>2</sub>			KH-S
— za freon i CH <sub>2</sub> Cl			KH-T
— za SO <sub>2</sub>			KH-T
<b>Ležaji i pogonski mehanizam</b>			
— cirkulacijsko podmazivanje			CP-75
— tlakno podmazivanje			CP-50
<b>Rotacijski kompresori</b>			
Jednostepeni	$p < 2,5$ bar $t < 140$ °C $p > 2,5$ bar $t < 180$ °C $t > 180$ °C		KU-S KU-VT KU-ET
Dvostepeni	$p < 8$ bar $t < 140$ °C $p > 8$ bar $t < 180$ °C $t > 180$ °C		KU-S KU-VT KU-EI
<b>Alatni strojevi</b>			
Vodila	malo opterećenje veliko opterećenje		LD-30 LD-60

## Lijevanje

Modeli po kojima se izrađuju kalupi za lijevanje dijele se na

*Vitekratno upotrebive modele* koje izrađujemo od kovine (čelik, sivi lijev, aluminij, mjed itd.), plastu, drveta ili sadre. Moraju biti dijeljivi i s kosim bočnim plohamu da ih nakon kalupljenja možemo izvući iz pješčanog kalupa.

Jezgrenici su modeli za izradu pješčanih jezgara.

— *Jednokratno upotrebivi modeli* izrađuju se od voska (kojeg poslije konačnoj izradi pješčanog kalupa istalimo zagrijavanjem) ili od plastu (UF ili pjenastoga PS koji se dodirom s vrućom talnom ispare).

Osnova za izradu modela je konstrukcijski nacrt. Pri dimenzioniranju modela valja uzeti u obzir kontrakciju ljeva pri skrućivanju i ohlađivanju. Stoga su dimenzije modela za nadmjernu povećane s obzirom na konstrukcijski nacrt.

Nadmjerna ljevova (JUS K 145 050 — 1959)

Ljev	Nadmjerna % manji veći odljeva odljeva		Ljev	Nadmjerna % manji veći odljeva odljeva	
	sivi lijev	1,0		0,75	ljevana bronca
nodularni lijev			ljevana Al bronca	2,1	1,8
— nežareni	2,0	1,5	ljevana mjed	1,7	1,5
— žareni	0,5	0,3	čišćen lijev	1,5	1,2
temperovani lijev			aluminijски lijev	1,2	1,0
— nežareni	2,0	2,0	Al-Mg lijev	1,5	1,3
— bijeli, žareni	1,8	—	— Al-Cu-Mg lijev	1,5	1,3
— crni, žareni	0,5	0,3			
čelični lijev	2,0	1,8	magnezijski lijev	1,4	1,3
ljevari Mn celika	2,3	2,1	bijela kovana	0,5	—

Na plohamu, koje se bei obrađene, treba na modela dodati za obradu:

Najveća dimenzija odljeva mm	Doklupak za obradu* u mm						
	svog ljeva		za odljevke od čeličnog ljeva		nečeličnih kovina		
	I	II	I	II	I	II	
200	2	3	3	4	2	3	4
300	2	3	4	5	2	3	4
400	3	4	5	6	3	4	5
500	3	4	5	6	3	4	5
600	3	4	5	6	3	4	5
700	3	4	5	6	3	4	5
800	3	4	5	6	3	4	5
900	3	4	5	6	3	4	5
1000	3	4	5	6	3	4	5
1200	3	4	5	6	3	4	5
1400	3	4	5	6	3	4	5
1600	3	4	5	6	3	4	5
1800	3	4	5	6	3	4	5
2000	3	4	5	6	3	4	5
2400	3	4	5	6	3	4	5
2800	3	4	5	6	3	4	5
3200	3	4	5	6	3	4	5
3600	3	4	5	6	3	4	5
4000	3	4	5	6	3	4	5

\* I — pri masovnoj izradi odljevaka, II — pri poslužilačnoj izradi

Zbog veće preglednosti pri izradi kalupa i upozorenje za kop je ljev predviđen pojedini model (nadmjere!) označuju se pojedine plohe na modelima posebnim bojama.

### Boje modela

Površine modela i jezgrenika	E l e v					
	sivi	plavo-ljubičasti	temperovani	čelični	lake kovine	teške kovine
površine na kojima ustaju odljevi neobrađeni	crveno	ljubičasti	sivo	modro	zeleno	žuto
površine na kojima će se odvijati obrada	žute crte*	žute crte*	žute crte*	žute crte*	žute crte*	crvene crte*
mjesta za rashladne ploče i uložene tinove	modro	crveno	crveno	crveno	crveno	modro
sastavi dijeljenih modela			crni zub			
jezgremi oslonci			crni			

\* Manje se plohe oboje tom bojom u cjelini.

Modeli nisu potrebni pri posebnom načinu lijevanja (tlačnom, kokilnom, centrifugalnom, kontinuiranom itd.).

Kalupi su pomoćno sredstvo u kojima se lijevena kovinska talina hladnjem skrćuje u odljevak.

Kalupi moraju izdržati visoke temperature taline, ne smiju s njom reagirati, moraju biti i kod tih temperatura dovoljno čvrsti i porozni za odvođenje nastalih plinova. Razlikujemo:

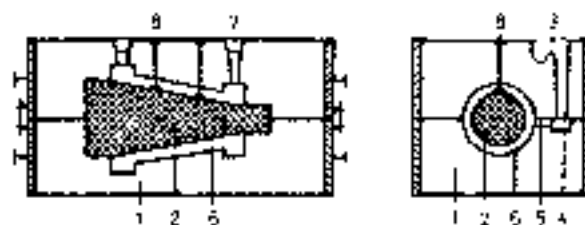
- *Kalupe za jednokratnu upotrebu*, koje izradujemo najjeftinijem ljevačkom pijesku.

Ljevački pijesak sastoji se pretežno od kremenitih zrnaca ( $SiO_2$ ), ima visoku tažšću (1720 °C) te postaje gnječav tek površ 1600 °C. Debljina zrna kreće se između 0,06 ... 0,5 mm (u ovisnosti od tražene glatkoće ploha odljevka i njegove veličine). Kremenova zrna sama su supka. Vezano ih dodatkom veziva. Najobičajenije vezivo je glina (2 ... 30%) uz dodatak vlage (5 ... 15%). Po količini gline u ljevačkom pijesku razlikujemo suhi, polumasti i masni pijesak. Suhi pijesak ima najveću propustivost za plinove, ali manju čvrstoću. Upotrebljavamo ga npr. za jezgre (do 5% gline). Polumasti pijesak upotrebljavamo za svježe kalupe, a masni - najveću čvrstoću - za sušene kalupe. Osim posebnih vrsta anorganskih veziva (gline s određenim mješavinom  $Al_2O_3$  i  $SiO_2$  uz dodatke K, Mg i sl.) upotrebljavamo i organska veziva (uljna, škrobna, od plasta - PF, UF i sl.), naročito pri izradi jezgara i ljevačkih maski (za velike serije malih odljevaka - po Croningu).

Kalupljenje može biti ručno (pri pojedinačnoj izradi odljevaka i pri velikim odljevcima) ili strojno (pri masovnoj izradi manjih odljevaka)

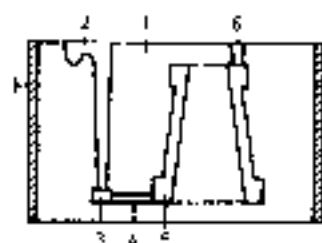
### Pješćani kalupi

Dijeljem kalup za model za višekratnu upotrebu



- 1 - kalup
- 2 - jezgra
- 3 - uljevnik
- 4 - razvodnik
- 5 - privodnik
- 6 - odljevnik
- 7 - pužilo
- 8 - jezgremi oslonac

Kalup za model (od plasta) za jednokratnu upotrebu:



- 1 - kalup
- 2 - uljevnik
- 3 - razvodnik
- 4 - privodnik
- 5 - odljevnik
- 6 - pužilo (odlušnik)

U pužilu (koje mora biti dovoljno veliko pri punim, debelim odljevcima) mora se talina održati tekućom (toplinskom izolacijom ili dodatnim zagrijavanjem) sve do skrućenja odljevka, da bi se sprečilo stvaranje lunkera u odljevku.

Za odvod zraka valja namjestiti na najvišim mjestima modela odušnike, koji mogu također preuzeti ulogu pužila. Pijesak u kalupu valja na mjestima probosti (zračnici), kako bi pri uljevanju nastalim plinovima olakšali izlaz.

Pri dijeljenom okviru za kalup moramo gorući dio čvrsto spojiti s donjim dijelom, da se ne bi dignuo zbog hidrostatskog uzgona. Da uzgon u talini ne bi skrivio ili seosio jezgre, učvršćujemo ih osloncima i opteretimo utezima.

*Kalupi za višekratnu upotrebu* izraduju se od kovina, grafitu ili keramike.

Kokile su kovinski kalupi (obično od čelika ili sivog lijeva) pomoću kojih je moguće izraditi vrlo točne odljevke (s toler. ±0,3 ... ±0,05 mm). U potpunim kokilama su i jezgre kovinske, u dijeljenim kokilama su jezgre od pijeska.

Talina se ulijeva u kokile otvorenim mlazom.

Zbog više cijene upotrebljavamo kokile pri masovnoj izradi odljevaka. Zbog velikih temperaturnih opterećenja je njihova primjena ograničena na izradu odljevaka od slitina nižeg tališta (Sn, Zn, Pb - Al, Mg, mjedi).

Centrifugalno lijevanje, pri kojemu se talina zbog rotacije kokile sabere uz vanjsku njenu stijenku, prikladno je za izradu lijevanih kotlova i cijevi.

Pri kontinuiranom lijevanju se kovinska talina ulijeva u jednostrano otvorenu kokilu (zatvorenu samo pri pričeku postupka). Talina se u kokili skrćuje toliko, da nastane dovoljno čvrsta vanjska kora, koja omogućuje izvlačenje odljevka. Postupak je prikladan za kontinuirano lijevanje punih ili stupljih profila (u duljinama koje ograničava samo vanjski uređaj radnih prostora).

*Dozvoljeno odstupanje pri dimenzijama neobrađ. odljevaka od sivog i čeličnog ljeva*

Preporučene smjernice (pri dimenzijama bez propisanih tolerancija i za odljevke u pješčane kalupe). — Mjere u mm.

Nazivna mjera	Svi ljev				Čelični ljev			
	kalupljenje*		kalupljenje*		kalupljenje*		kalupljenje*	
	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno
	vel.	deblj.	vel.	deblj.	vel.	deblj.	vel.	deblj.
6		+1,5		±1				
6) 10			±1		+3	+3		
10) 18	+2	±2,5		±2	-2	±4	+3	±2
18) 30	-1,5					±5		
30) 50		±3,5	+2	±2,5	-2	±7		±1
50) 80					-5	±8	-4	
		±4,5		±3,5	-3		-2	+4
80) 120					+6			
	+3		-2,5		-3		+5	
120) 180	2		±1,5		±7	±11		±5
					-4			
180) 250					±8	±12		
					-4		+7	±6
250) 315					+9	±13	-4	
	+4		+3		-4			
315) 400	3		-2		±10	±15	+8	±7
400) 500					-5	±16	-4	±8
500) 630			+4,5					
	-6		±2,5		±11			
630) 800					-6		+9	
					+12		-5	
800) 1000					-6			
	-7		±5		+13			
1000) 1250			-3		-7		-11	
					+15		-6	
1250) 1600	+10		±6		-8			
	7		-4		±16			
1600) 2000					-8		+14	
					±18		-7	
2000) 2500					-9			
	+13		±8		±20			
	-9		-5		-10			

\* vel. — odstupanje pri veličini odljevka (promjer, širina, duljina); deblj. — odstupanje pri debljini stijenki.

*Dozvoljena odstupanja pri dimenzijama za neobrađene odljevke neželjeznih kovina*

Preporučene smjernice (pri dimenzijama bez propisanih tolerancija i za odljevke u pješčanim kalupima). — Mjere u mm.

Nazivna mjera	Odljevci teških kovina				Odljevci lakih kovina			
	kalupljenje		kalupljenje		kalupljenje		kalupljenje	
	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno	ručno	strojno
	vel.	deblj.	vel.	deblj.	dij.	jez.	dij.	jez.
n		±1,5		±1	±1,2	±1,6	+0,6	+0,8
6) 10		+2		+1,5	±1,6	±2,5	+1,2	+1,5
	±1,5	±1,5		-1,5				
10) 18		+1,5		+2	±2	±3	±1,8	±2,2
		-1,5		-1,5				
18) 30	-2	+3		±2	jedn.	sast.	jedn.	sast.
		-2		-2				
30) 50		+3,5		+2,5	±1	±1,6	±0,8	±1
		2,5		2				
50) 80	±2,5	+4,5		-3	±1,2	±1,9	+0,9	+1,2
		-3		-2				
80) 120		+5			±1,4	±2,2	-1,1	+1,4
		-4						
120) 180	±3,5			±3	±1,8	±2,5	±1,2	±1,6
180) 250					±1,8	±2,9	±1,4	±1,8
250) 315					+2	±3,2	-1,6	±2
315) 400	±1			±3,5	±2,2	±3,6	±1,8	±2,2

Oznake za odstupanja:  
vel. — za veličinu odljevka; deblj. — za debljinu stijenki; dij. — pri dijeljenom kalupu; jez. — za kalupe s jezgama; jedn. — pri jednodijetnim kalupima; sast. — pri sastavljenim kalupima

- Čišćenje odljevaka**  
Postupak čišćenja odljevaka
- istresanje pijeska obavlja se ručno ili strojno (vibratorima);
  - grubim čišćenjem odstranjuje se sav pijesak i to ručno ili strojno (pneumatskim dljetima, u okretnim bubnjevima, pjeskanjem kremenovim ili čeličnim zrnjem — pneumatski ili mehaničkim bacačima, vodenim mlazom 25...150 bar);
  - priljevci (uljevci i pojila) odstranjuju se piljenjem, plamenim ili lučnim rezanjem, brusnom pločom,
  - brušenjem se poravnavaju neravnosti ploha po odstranjenju priljevaka i sl.
- Eventualne greške odljevaka popravljaju se isjecanjem ili zavarivanjem.

## Plastična obrada

Plastična obrada preoblikovanje je talni postupak u kojem krutom kovinskom materijalu (sirovom odljevku ili već prije preoblikovanim poluproizvodu, npr. limu) plastičnom (trajnom) deformacijom primijenimo oblik, pri čem se ujedno promijeni i struktura materijala.

Preoblikovanje se zbiva u području prsilažnog tečenja kovitne ili satne. S obzirom na temperaturu preoblikovanja razlikujemo:

- preoblikovanje u hladnom, tj. pod temperaturom rekristalizacije, pri čem materijal očvrstne (povećavaju se čvrstoća i tvrdoća uz smanjenje rastegljivosti).

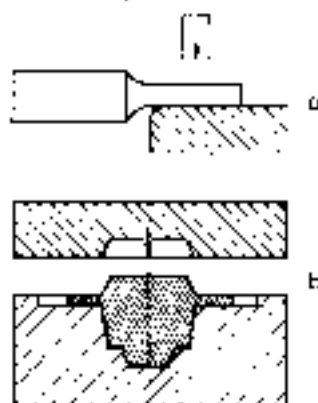
- preoblikovanje u toplom, tj. nad temperaturom rekristalizacije, pri čem materijal ne očvrstne, jer se pritom nastala naprezanja usput gube.

Porastom deformacije raste i naprezanja u materijalu. Pri prevelikoj deformaciji materijal se luda. Stoga je veličina deformacije pri preoblikovanju ograničena. Naprezanja, koja nastaju zbog očvršćavanja pri preoblikovanju u hladnom, mogu se zarenjem odstraniti, nakon čega se materijal može dalje preoblikovati. Na taj način možemo postepenim preoblikovanjem i međuzarenjem postići vrlo velike deformacije materijala.

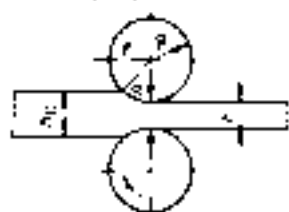
Značajna je brzina deformacije. Pri malenoj brzini deformacije materijal će se prognječiti do u dubinu presjeka, pri velikoj brzini stići će deformacija samo do manjih dubina.

Najznačajniji su primjeri preoblikovanja:

### Kovanje



### Valjanje



Kvalitetne dijelove komplikiranih oblika i s velikim razlikama presjeka izradujemo najjednostavnije kovanjem valjanih profila (štapova, traka) u otkovke. Kujemo obično u toplom. Pri kovanju u hladnom materijal jako očvrstne, a tada su moguće samo male deformacije.

Slobodno kovanje (a) – ručno ili strojno – sastoji se iz velikog broja udara, a upotrebljava se pri pojedinačnoj izradi i pri velikim otkovcima.

Kovanje u kalupu (b) sastoji se iz manjeg broja udara, daje točnije dimenzije otkovka, a upotrebljava se pri masovnoj izradi.

Pri valjanju lima ili profila među dvama valjcima smanjujemo debljinu izatka za razliku  $\Delta h$  ( $= h_0 - h$ ) koja je ovisna od promjera valjaka  $2R$  i koeficijenta trenja  $\mu$

$$\Delta h \leq 2R(1 - \cos \alpha) = 2R(1 - \sqrt{1 - \mu^2})$$

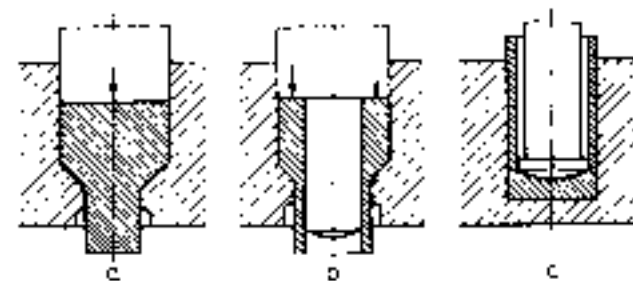
Fino valjanje (»glatanje«) je fina obrada tokrenih ili brušenih kovinskih pluta plastičnom deformacijom pri kojoj površinski sloj jako očvrstne.

### Utiskivanje

Utiskivanje matrice (utisnog alata pozitivnog oblika) u materijal izradujemo razne gravure ili udubine (negativnog oblika)

### Isuskivanje

Hladnim isuskivanjem materijala kroz matricu (ustosmjertno – a, b) ili protiv matrice (protosmjertno – c) oblikujemo štapove, profile, cijevi (u prvom redu od Sn, Pb, Zn, Al, Cu i st.)



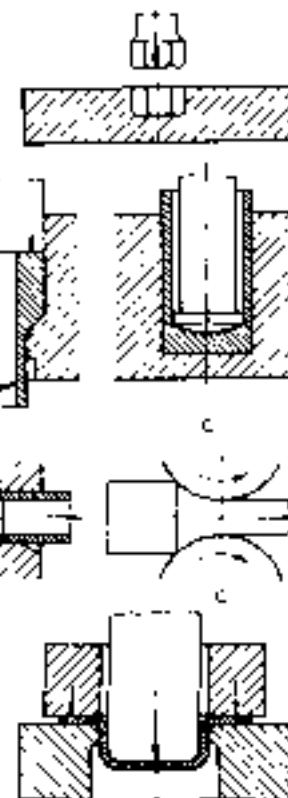
### Vučenje (kalibriranje)

Vučnjem odvaljaka kroz matrice (a, b) ili valjke (c) dobivamo sučene profile i žice.



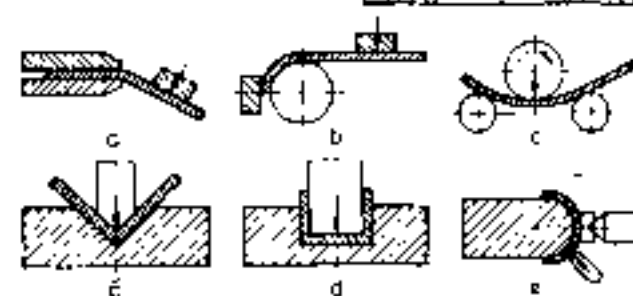
### Duboko izvlačenje

Duboko izvlačimo lim iz pripremljenih odrezaka (platina odn. kružno izrezanih rondela) – pri jedno stvarnim proizvodima u jednom stupnju, pri komplikiranijim u više stupnjeva.



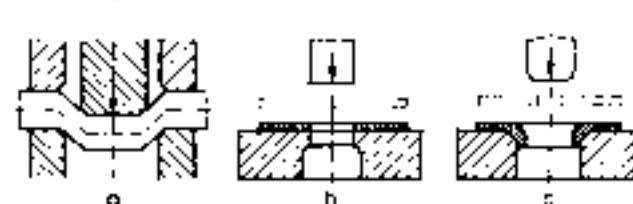
### Savijanje

Savijamo u prvom redu lim i trake i to slobodno (a, b), pomoću valjaka (c), u kalupima (d, e) ili postepenim razvlačenjem preko modela (f).



### Smično preoblikovanje

Smično preoblikovanje upotrebljavamo npr. za savijanje štapa u kuljenčastu osavinu (a), stvaranje rupa u limu – čisti (b) ili s prirubom (c).



### Odreživanje

Odreživanje je postupak pri kojem smičnim opterećenjem odvajamo čestice izatka.





## Oblikovanje plastu

Veći je dio oblikovanih proizvoda i poluproizvoda od plastu -- termoplast: od duroplastu ih je manje.

Termoplaste možemo lijevati (težinskim ili centrituzalnim postupkom), no mnogo više ih oblikujemo tlačenim lijevanjem u kokilama (proizvođa kabastog oblika) ili istiskivanjem kroz sapnice (profite, cijevi, ploče). Dodatnim razvlačenjem izrađuju se folije (debljine 0,02 . . . 0,3 mm).

Duroplaste lijevano ili prešamo u kalupima (tlakom 150 . . . 1000 bar pri temperaturama od 140 . . . 180 °C).

Primarni oblik plastu za preradu su prašak i zrnje

Pri tlačenom lijevu i istiskivanju materijal se potiskuje pužnim vijkom ili klipom, a za prešanje upotrebljavaju se prese (tijeskov) i to: ručne (50 . . . 800 kN), mehaničke (400 . . . 1500 kN) ili hidrauličke (150 . . . 10000 kN)

## SINTEROVANJE

Sinterovanjem spajamo materijale (kompozite) iz komponenata koji se drugim tehnološkim metodama ne daju spajati (ili veoma teško)

Mješavinu komponenata u obliku prašine (veličine zrna 1 . . . 500 μm) ponajprije stisnemo (hladno ili vruće) velikim tlakom (1 . . . 10 kbar) u konačni oblik, da bi ih nato pri visokim temperaturama sinterovali (difuzijski stopili).

Temperature sinterovanja su: za bakrene slitine 600 . . . 800 °C, za željezne slitine 1000 . . . 1300 °C, za karbidne tvrde metale 1400 . . . 1600 °C, za Mo, W, Ta i sl. 2000 . . . 2400 °C.

Veličinom zrna komponenata, tlakom pri tlačenju i temperaturom sinterovanja utičemo na poroznost sastavljenoga materijala:

volumenski udio pora	upotreba
do 60%	- filteri
do 30%	- klizni ležaji
15 . . . 20%	- strojni dijelovi
do 5%	- vrlo čvrsti strojni dijelovi

Primjeri upotrebe

- karbidni tvrde metale: sinterovanje tvrdih i krhkih volframovih, molibdenovih ili tantalovih karbida žilavim vezivom, npr. kobaltom;

- »dijamantne kovine«: sinterovanje dijamantnog zrnja (ili drugih tvrdih tvari, npr. korunda) kovinskim vezivom;

- slitine komponenata vrlo razolikih tališta: sinterovanje kovina razmjerno visokog tališta (Fe, Ni, Cu) s kovinama vrlo niskih tališta (Zn, Cd, Pb);

- slitine za tihare i klizne ležaje: sinterovanje kovina i kovinskih spojeva željene poroznosti (kod ležaja valja pora napojiti uljem);

- slitine za četkice kolektorskih električnih strojeva: sinterovanje grafita (klizavost) i bakra (vodljivost);

- slitine za električne kontakte: sinterovanje volframa ili molibdena (tvrdi) s bakrom ili srebrom (vodljivost).

## ZAVARIVANJE KOVINA

### Zavarivanje pritiskom (JUS C13.001 — 1971)

1. Kovačko zavarivanje. Dijelove zagrijemo u peći do bijelog žara, dezoksidiramo površine (npr. boraksom) te ih zavarimo udarcima čekićem.

2. Plameno zavarivanje pritiskom. Dijelove zagrijemo plamenom te ih zavarimo pritiskom.

3. Aluminotermijsko zavarivanje pritiskom. Dijelove zagrijemo toplinom egzotermne reakcije aluminija s oksidom kovine, koja se zavaruje, te ih zavarimo jakim pritiskom u prešama.

4. Čeono zavarivanje električnim otporom

a) *Zavarivanje pritiskom* je postupak u kojem propuštamo jaku električnu struju kroz oba dijela što ih zavarujemo, a koji su u stalnom dodiru. Na mjestu dodira stvara se Jouleova toplina pa se dodirno mjesto jako ugrije. Kad se postigne temperatura zavarivanja, oba dijela zavarimo jakim pritiskom.

b) *Zavarivanje iskrenjem* je postupak pri kojem propuštamo električnu struju kroz oba dijela što ih zavarujemo, a koji se izmjenično dotiču i razmiču, tako da se pojavi iskrenje zbog kojega se dodirno mjesto jako zagrije. Kad se dostigne temperatura zavarivanja, oba dijela zavarimo jakim pritiskom.

5. Preklopno zavarivanje električnim otporom

a) *Točkasto zavarivanje* je zavarivanje dvaju dijelova stisnutih između dva pritiskivača, kroz koje dovodimo električnu struju. Dodirno se mjesto obaju dijelova ugrije Jouleovom toplinom te se zavarit pod pritiskom. To ponavljanje na linu u stanovitim razmacima -- po točkama.

b) *Kolutno zavarivanje* srodno je točkastom zavarivanju, ali su pritiskivači uvedeni u obliku kotuta koji valjanjem po djelovima što ih treba zavariti daju neprekidni zavar.

c) *Bradavičasto zavarivanje* je točkasto zavarivanje na pojedinih posebno ispučenim mjestima linu (bradavicama) kroz koja prolazi električna struja.

6. Indukcijsko zavarivanje. Dijelove zagrijemo visokofrekventnom strujom te ih zavarimo pritiskom.

7. Zavarivanje trenjem. Dijelove zagrijemo trenjem između dodirnih ploha mirujućeg i rotirajućeg dijela te ih zavarimo pritiskom.

8. Hladno zavarivanje. Dijelove dovedemo do tjesnog dodira te ih jako stisnemo. Pri tom se pojavljuje međusobno prodiranje elementarnih čestica iz jednog dijela u drugi pa se oni kovinski spoje.

9. Zavarivanje ultrazvukom. Dijelovi se zagriju toplinom trenja zbog ultrazvučnog titanja, a zatim ih zavarimo pritiskom.

10. Zavarivanje difuzijom je spajanje kovina u kratom stanju u određeni čas pri odgovarajućoj temperaturi i umjerenom pritisku. Uvjet za uspješan difuzijski proces je vrlo čista dodirna površina, a katkada i zaštitna atmosfera.

11. Zavarivanje eksplozijom je spajanje dvaju dijelova pritiskom što ga stvara sila eksplozije.

## Zavarivanje taljenjem (JUS C.T3.001 - 1971)

1. Ljevačko zavarivanje upotrebljavamo uglavnom za popravak pokvarenih odljevaka. Pokvareni dio, ugrađen u poseban kalup, prelijevamo taljevinom dok se mjesto kvare ne zatali.

2. Aluminotermijsko zavarivanje taljenjem. Termički prašak, smjesa aluminija i željeznog oksida u prahu, izgara pri visokoj temperaturi uz oksidaciju aluminija i ostohlađanje željeza iz željeznog oksida. Rastaljenim se željezom zavaruju čelični dijelovi.

3. Zavarivanje plamenom. Za stvaranje plamena služe acetilen, rasvjetni plin, vodik ili teški ugljikovodici (benzen, teški benzin) s kisikom ili zrakom. Najbolji plamen daje acetilen s kisikom. Kao dodatni materijal služe žice za zavarivanje koje talimo u plamenu.

### 4. Lučno zavarivanje kovinskom elektrodom

Plameni luk nastaje između kovinske elektrode i predmeta koji zavarujemo. Ako se elektroda tali, služi još i kao dodatni materijal. Kovinske elektrode kojese ne tale (volfram), služe samo za stvaranje električnog luka, a ako je potreban dodatni materijal, dobiva se taljenjem dodatne žice u plamenu luka.

#### a) Lučno zavarivanje u slobodnoj atmosferi

- golom elektrodom
- elektrodom s plaštem
- elektrodom s jezgrom
- položenom elektrodom

#### b) Lučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi

- u inertnom plinu (Ar, He itd.)
- volframovom (tungsten) elektrodom (postupak TIG)
- kovinskom (metals) elektrodom (postupak MIG)
- u ugljičnom dioksidu (CO<sub>2</sub>)
- kovinskom elektrodom (postupak MAG — CO<sub>2</sub>)
- u vodenoj pari ili smjesi zaštitnih plinova
- pod zaštitnom praškom (postupak EPP)
- pod zaštitnom vodikom atomizacijom (disocijacijom vodikovih molekula i njihovim ponovnim spajanjem, što povisuje temperaturu na mjestu zavarivanja).

### 5. Lučno zavarivanje ugljenom elektrodom

Plameni luk nastaje između dviju ugljenih elektroda ili između elektrode i predmeta koji zavarujemo. Po potrebi dodajemo — žicom za zavarivanje — još i dodatni materijal. Postupak se može obavljati u slobodnoj ili zaštitnoj atmosferi, a upotrebljava se za tanke limove i za kutne zavare.

### 6. Zavarivanje pod troskom

Proces počinje kao kod postupka EPP. Kad se skupi dovoljno troske koja pokriva rastaljeniu kovinu, ugasi se plameni luk, a dodatnu žicu, koju primičemo, talimo Jouleovom toplinom što se razvija pri prolasku električne struje kroz trosku.

## 7. Posebni postupci zavarivanja

### a) Zavarivanje elektronskim snopom

Kinetička se energija ubrzanih elektrona pri udaru u kovinu pretvara u toplinu kojom talimo materijal.

### b) Zavarivanje plazmom

Kovinu talimo toplinskom energijom plazmenog luka. (Plazma nastaje disocijacijom i ionizacijom plina.) Rastaljena kovinu štavimo zaštitnim plinom.

### c) Zavarivanje laserom

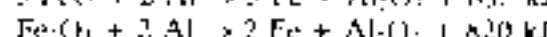
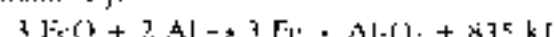
Kovinu talimo usmjeravanjem laserskog snopa na mjesto zavarivanja. Ne može se zavarivati neprekidno, već samo u točkama. Mogu se zavarivati vrlo sitni predmeti.

## Aluminotermijsko zavarivanje

Aluminotermijsko zavarivanje je postupak zavarivanja kemijskom energijom koja se oslobađa pri eksotermijskoj reakciji među aluminijem i željeznim oksidima

Reakcijska smjesa — termički — sastoji se od jednog dijela aluminijskog praška i triju dijelova željeznih oksida (okujina) — kao eksotermijskog dijela smjese — te sitnih čeličnih otpadaka i legurnih dodataka — za dodatnu kovinsku masu.

Pri eksotermijskoj reakciji (redukciji) termički reducira aluminij željezne okside te i sam oksidira, pri čemu se oslobađa znatna toplina (temperatura dostiže 2800...3000 °C):



Postupak je prikladan za zavarivanje teških strojnih dijelova, tračnica i sl.

## Otporno zavarivanje

Za zavarivanje potrebna toplina stvara se u dodiru među dijelovima koje treba zavareti kao Jouleova toplina

$$Q = UIt = I^2 R t$$

gdje su  $U$  — napon,  $I$  — struja,  $R$  — električni otpor i  $t$  — vrijeme.

U međusobnom dodiru obaju dijelova može se postići temperatura 1260...1480 °C, što je dovoljno da se materijal pod pritiskom zavari

Debljina pojedineg lima mm	Promjer elektrode mm	Debljina pojedineg lima mm	Pratjak elektrode	
			čisti lim	oksidirani lim
0,1...0,3	5	0,5	400	800
0,4...1,0	6...8	1	500	1000
		2	800	1500
1,2...2,0	8...10	3	1200	1900
		4	1500	2400
3	10...12	5	1900	2900
		6	2300	3500
iznad 3	12...15	6		

### Zavarivanje plamenom

Žice za zavarivanje plamenom (JUS C.H3.051 - 1981)

Za zavarivanje plamenom čelika upotrebljavamo četiri žice koje se označuju dvostrukom oznakom i to:

- općom oznakom P-
- dodatnom oznakom s tri simbola koji označuju mehanička svojstva žice i to (redom): vlačnu čvrstoću  $R_m$  u  $N/mm^2$ , postotno produljenje  $A$  u % i prekidnu energiju (udarnu žilavost)  $KV$  u J;

Čvrstoća $R_m$ $N/mm^2$	Simbol	Postotno produljenje $A$ %	Simbol	Prekidna energija $KV$ J	Simbol
340	O	-	O	-	-
340	Z	14	Z	30	Z
340	Y	-	-	-	-
400	1	14	1	30	1
430	2	18	2	60	2
470	3	22	3	90	3
510	4	26	4	120	4
550	5	30	5	150	5
590	b	-	-	-	-

Prijava:

svojstva žice:  $R_m = 480 N/mm^2$ ,  $A = 29\%$ ,  $KV = 100 J$   
oznaka P-343

Promjeri žica: (1,0) (1,6) 2,0 2,5 3,15 4,0 5,0 6,3 mm

Duljina žica: u komadima od 1000 mm, u svicima do mase 40 kg

### Zavarivanje acetylenkim plamenom

Debljina predmeta mm	Kisik		Acetylen potrošak l/h	Brzina zavarivanja m/h	
	pretlak bar	potrošak l/h		čelik	lake kov.
0,2... 0,5	0,5	50	50	10...12	12...15
0,5... 1	0,75	85	75	7...10	8...12
1... 2	1	165	150	6...8	7...9
2... 4	1,25	325	300	5...7	4...8
4... 6	1,5	500	475	4...6	4...6
6... 9	1,75	750	700	3...5	2...3
9... 14	1,75	1200	1100	2...3,5	2...2
14... 20	2	1760	1600	1,5...2,5	0,6...1,2
20... 30	2,25	2500	2350	1...2	-
30... 50	2,25	3500	3300	0,7...0,9	-
50... 70	3	4750	4500	0,5...0,7	-
70... 100	3,5	7350	7000	0,3...0,5	-

### Zavarivanje vodikovim plamenom

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak vodika l/h	Brzina zavarivanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/h		
0,2... 0,5	0,75	35	140	7...10
0,5... 1	1	75	300	6...9
1... 2	1	150	675	4...7
2... 4	1,25	300	1350	3...5
4... 6	1,5	500	2250	2...3,5

### Zavarivanje plamenom rasvjetnog plina

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak ras- vjetnog plina l/h	Brzina zavarivanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/h		
0,2... 0,5	1	50	200	4...7
0,5... 1	1,25	130	350	2...5
1... 2	1,5	270	600	1,5...3
2... 3,5	1,75	500	1200	1...2

### Rezanje kovina

Rezanje kovina plamenom (autogeno) upotrebljava se za čelik, pri čemu se iskoristava toplina izgaranja (oksidacijska) željeza. Upotrebljava vam gotovo sam kisik.

Posebno se lako plamenom reže nelegirani ili slabije legirani meki čelik  $C < 0,3\%$ , pri tvrdem čeliku  $C > 0,5\%$  je rezanjem plamenom moguće jedino dodatnim zagrijavanjem. Rezanje plamenom legiranih čelika ovisno je od pojedinih legiranih komponentara.

Različiti posebni postupci rezanja plamenom omogućuju rezanje i u slučajevima kad običan postupak nije upotrebljiv.

### Rezanje plamenom nelegiranih čelika

Debljina predmeta mm	Kisik		Potrošak acetylena l/h	Brzina rezanja m/h
	pretlak bar	potrošak l/h		
5	2,0	65	13,0	22
10	3,0	120	20,0	19,5
20	4,0	215	22,5	16
50	5,0	580	57,0	11
100	7,5	1240	111,0	7,5
150	9,0	2180	155,0	6
200	10,0	3125	190,0	5
300	13,0	5650	258,0	3,5

Svi lijev. bakar i lake kovine režemo protaljivanjem plamenom ili elektrodom (rezne površine nisu osobito čiste)

### Elektrolučno zavarivanje

Za elektro-zavarivanje čelika upotrebljavaju se čelične elektrode. S obzirom na vanjštinu razlikujemo – goli elektrode,  
elektrode s jezgrom,  
elektrode s plaštem (obložene).

*Obložene elektrode za ručno zavarivanje nelegiranih ili slabio legiranih čelika s malo ugljika (JUS C. H3.011 – 1982)*

Oznaku elektrode sastavljaju:

- opća oznaka,
- oznaka mehaničkih svojstava,
- oznaka tipa plašta,
- oznaka iskoristivosti,
- oznaka položaja zavarivanja,
- oznaka vrste struje.

1) Opća oznaka elektrode je: E

2) Oznaka mehaničkih svojstava:

Vlačna čvrstoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Postotno produženje A %	Temperatura koja odgovara udarnoj žilavosti KV <sub>28 J</sub> °C	Oznaka
430 ... 510	-	-	430
	20	+20	431
	22	0	432
	24	20	433
	24	-30	434
510 ... 610	24	-40	435
	-	+20	510
	18	0	511
	18	20	512
	20	-30	513
610 ... 710	20	-40	514
	20	-40	515

3) Oznaka vrste plašta

Vrsta plašta	Oznaka	Vrsta plašta	Oznaka
kiseo	A	oksidan	O
kiseo rutilan	AR	rutilan – osrednje debeo (TiO <sub>2</sub> )	R
bazičan	B	rutilan – debeo	RR
celuloznan	C	ostale vrste	S

4) Iskoristivost (JUS C. H3.020 – 1982) je omjer kovinske mase rastaljene dodatne tvari i ukupne mase (jezgre i plašta) ispitivane elektrode. Oznaka iskoristivosti navodi se samo u slučaju, ako je njena vrijednost veća od 105% i to uvijek zaokruženo na pune desetice, tj.:

110 – 120 – 130 – 140 itd.

### 5) Oznaka položaja zavarivanja:

Položaj pri zavarivanju	Oznaka
svi položaji	1
svi položaji osim okomito prema dolje	2
svi sučetni i kutni položaji u horizontalnom i horizontalno okomitom položaju	3
svi sučetni i kutni spojevi u horizontalnom položaju	4
svi položaji u korinastom položaju	5

### b) Oznaka vrste struje

Istosmjerna struja preporučeni polaritet	Izmjenična struja nazivni napon praznog hoda	Oznaka
+		11
+ ili -	50 V	1 2 3
+	70 V	4 5 6
+ ili -	90 V	7 8 9

Tablica vrijedi za elektrode promjera  $d \geq 2,5$  mm. Pri manjim je promjerima potreban viši napon praznog hoda.

7) Za bazične elektrode (B) označuje se i količina vodika u čistoj kovini zavara:

Količina vodika u ml u 100 g čiste kovine zavara ml/100 g	Oznaka
3 ... 5	11
1 ... 3	2 H
1	3 H

Primjeri za oznake elektroda:

Oplaštena elektroda s rutilnim plaštem osrednje debljine, vlačne čvrstoće  $R_m$  iznad 500 N/mm<sup>2</sup>, postot. produženja A iznad 23% i udarne žilavosti KV iznad 71 J pri +20 °C i iznad 20 J pri -20 °C, za zavarivanje u svim položajima izmjeničnom strujom i s naponom praznog hoda 50 V ili istosmjernom strujom na pozitivnom polu.

oznaka elektrode: E 43 2 R 13

Oplaštena elektroda s bazičnim plaštem, vlačne čvrstoće  $R_m$  iznad 560 N/mm<sup>2</sup>, postot. produženja A iznad 22% i udarne žilavosti KV iznad 47 J pri -20 °C, iskoristivosti 158%, za zavarivanje u svim položajima osim okomito prema dolje pomoću istosmjerne struje, uz količinu vodika u čistoj kovini zavara 1 ... 2 ml/100 g:

oznaka elektrode: E 51 3 B 160 20 2H

**Elektrode s plaštem za ručno zavarivanje sivog lijeva**  
(JUS C.H3.016 - 1984)

Oznaku elektroda tvore:

- opća oznaka
- oznaka kemijskog sastava
- oznaka vrste plašta
- oznaka položaja zavarivanja i vrsta struje.

1) Opća oznaka elektrode: E

2) Oznaka kemijskog sastava:

Vrsta elektrode skupina	Karakteristični sastav* u %	Vrsta slitine čiste kovine zavara	Oznaka elektrode
na osnovi željeza	Fe + 3,4 C; 2,9 Si	sivi lijev	FeC 1
	Fe + 0,15 C; 0,03 Si	sivi lijev, legiran iz plašta čelik	FeC 2 Fe
na osnovi nikla	Fe + 53 Ni; 4,0 Si	slitina nikla i željeza	NiFe
	55 Ni; 40 Cu; 4,5 Fe	slitina nikla i bakra	NiCu 1
	65 Ni; 50 Cu; 4,5 Fe		NiCu 2
85 Ni; 8 Fe; 4,0 Si	nikal	Ni	
na osnovi bakra	Cu + 10 Al	aluminijaska bronca	CuAl
	Cu + 5 Sn	kositrena bronca	CuSn 1
	Cu + 8 Sn		CuSn 2

\* Navedene su zakružene prosječne vjedoručke karakteristične sastavnice. Podroban kemijski sastav svih navedenih elektroda vidljiv je u standardu JUS C.H3.016 - 1984

3) Oznaka vrste plašta.

Vrsta plašta	Oznaka
bazičan	B
grafitni	G
bazičan s grafitom	BG
na osnovi soli i celuloze	S
ostale vrste	V

4) Oznaka položaja zavarivanja i vrsta struje

Ovdje vrijede jednake oznake kao kod elektroda za zavarivanje čelika - vidi str. 627 (pod 5 i 6).

Prijmje r oznake elektrode:

Elektroda s plaštem sa čistom kovinom zavara FeNi (55/45%), s grafitnim plaštem, samo za horizontalni položaj zavarivanja istosmjernom strujom na pozitivnom polu ili izmjeničnom strujom pri naponu praznog hoda 75 V:

oznaka elektrode: E (NiFe) G 49

**Potrebna jakost struje**

Čvrste elektrode, elektrode s tankim plaštem i elektrode s jezgrom		Elektrode s debelim plaštem	
promjer mm	jakost struje A	promjer mm	jakost struje A
2	50 - 70	2	50 - 80
3	90 - 130	2,5	60 - 110
4	140 - 190	3,25	90 - 160
5	190 - 250	4	130 - 200
6	240 - 330	5	180 - 260
		6	230 - 350

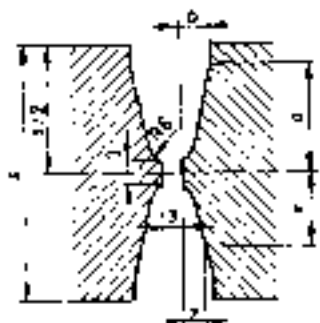
**Priprema čelika za zavarivanje (neki slučajevi)**

Slika	Debljina lima s mm	Razmak limova b mm	Promjeri elektrode mm	
			gole, s tankim plaštem, s jezgrom	s debelim plaštem
	1	0	2	2
	1,5	0,5	2	2
	2	1	2	2,5
	3	2	3	3,25
	4	2	4	4
	5	2	4	4
	6	1,5	4, 5	3,25, 4
	8	2	4, 5	3,25, 4, 5
	10	2	4, 5	3,25, 4, 5
	12	2	4, 5	3,25, 4, 5
	14	2	4, 5	4, 5, 6
	16	2	4, 5	4, 5, 6
	12	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	14	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	16	1,5	4, 5	3,25, 4, 5
	18	1,5	4, 5	4, 5, 6
	20	2	4, 5	4, 5, 6
	25	2	4, 5	4, 5, 6

**Priprema rubova za zavarivanje čelika pri većim debljinama**

Slika	Debljina lima s mm	Dubina otvora		Kut otvora	
		a mm	b mm	α °	β °
	50	30	20	60	60
	60	36	24	60	60
	70	42	28	50	60
	80	48	32	50	60
	90	54	36	50	50
	100	60	40	50	50
	120	66	44	45	50
	120	72	48	45	50

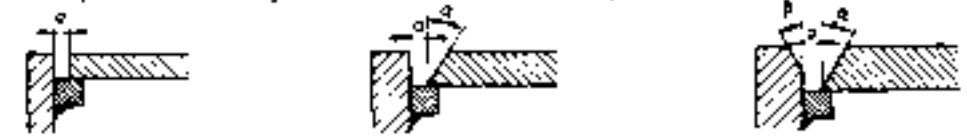
**Priprema rubova za zavarivanje za dvostruki U-zavar kod debelih ploča.**



Debljina ploča <i>s</i> mm	Otvor ulora		Obljak ulora	
	<i>a</i> mm	<i>b</i> mm	<i>r</i> mm	<i>v</i> mm
1-10	60	16	20 30 40 50	8 10 12 14
160	70	18	60 70*	16 18*

Samo kod debljine ploča *s* = 160 mm.

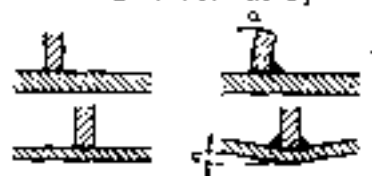
**Priprema čeličnih ploča za čelične konstrukcije**



<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	<i>a''</i>	<i>s</i> mm	<i>a</i> mm	<i>a''</i>	<i>β''</i>
5	2	8	2...3	30	15	3	30	30
6	2...3	10	3	35	18	3	30	35
		12	3	35				

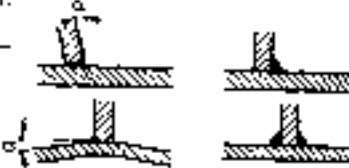
**Deformacije konstrukcija zbog skupljanja zvara**

**Uzdajna deformacija**



Zavar <i>a</i> mm	Kut deform. <i>α'</i>
5	1
7	3
9	7
12.5	13

**Izravnavanje deformacija**



**Upotrebljivost najzastupljivijih postupka zavarivanja i rezanja plamenom**

Način zavarivanja	Debljina mm		
	u materijal		
	čelik	lake kovine	ostale kovine
čelno iskrenjem	(0,2 - 40000 mm <sup>2</sup> )	(do 10000 mm <sup>2</sup> )	Cu, mjed (do 500 mm <sup>2</sup> )
točkasto	2 x 12	2 x 5	Cu slit. 2 x 2
kolutno	0,1... 2,5	0,1... 1,5	Cu slit. 0,1... 1,2
plamenom	1... 40	2... 40	Cu 2... 30,
elektrolučni			
- s kovinskom elektr.	1... 40 ( ... 100)	2... 25	Cu 2... 30
- s ugljenom elektr.	1... 40	2... 17	Cu 2... 15, Pb 2... 8
- u argonu		1... 20	
- u vodiku	1... 40	-	Cu slit. 2... 10
- pod praškom	5... 100	-	-
rezanje plamenom	(0,5... 500) (... 1000)	-	-

**Zavarivanje plastu**

Od plastu prikladni su za zavarivanje termoplasti i elasti, dok se duroplasti ne mogu zavarivati.

Plasti se zavaruju vrućim plinom (zrakom, duškom), vrućim alatom, visokofrekventnom strujom, trenjem itd

**LEMIJENJE**

Lemljenje (lotanje) je spajanje kovinskih dijelova pomoću lema kao dodatnog materijala. Pri lemljenju se lem rastapa, dok se spajaju dijelovi samo zagrijuju:

- do temperature pod talištem lema uz neposredno zagrijavanje lema (lemitom ili plamenikom),
- do temperature nad talištem lema pri posrednom zagrijavanju lema (umetnutog) putem ugrianih spajanih dijelova.

Dodatne plohe spajanih dijelova čiste se mehanički, kemijski i pomoćnim sredstvima

**Meko lemljenje**

Za meko lemljenje čelika i neželjeznih kovina upotrebljavaju se:

- meki lem (vidi str. 414).
- pomoćna sredstva: cinkani klorid ZnCl<sub>2</sub> (sa salnom kiselinom HCl), saltnjak NH<sub>4</sub>Cl, kolofonij.

**Tvrdo lemljenje**

Za tvrdo lemljenje čelika i neželjeznih kovina potrebni su:

- tvrdi lem, bakreni ili mjedeni (str. 414) ili srebrni lem (str. 415).
- pomoćna sredstva: borni spojevi (npr. boraks Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10 H<sub>2</sub>O) s dodatcima fluorida, fosfata, silikata i sl.

Za lemljenje aluminiuju upotrebljavaju se posebni lemovi (str. 415), dok su talila fluoridi i kloridi takih kovina (l.a. Be)

**LJEPLJENJE KOVINA**

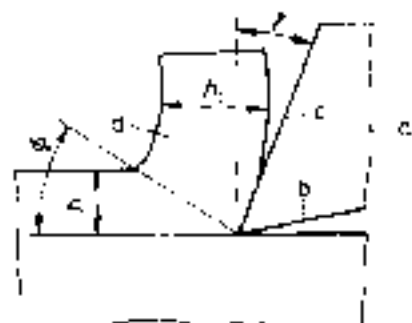
**Ljepila za lepljenje kovina:**

- anorganska ljepila (mineralnih, keramičkih ili staklastih sastavnih) su postojanija pri visim temperaturama, ali su krhka,
- organska ljepila (od naravnih ili umjetnih spojeva ugljikovodika, npr. epoksidne smole) vezuju fizikalno ili kemijski, želavi su, no postojana su samo pri nižim temperaturama (do oko 150 °C).

**Jednokomponentna ljepila** su pripremljena kao pasta s prikladnim rastapačem, koje pri lepljenju ishlapi, ili su suho umetnuta među spajanje plohe te lijepe pri dovođenju topline.

Pri **dvokomponentnim ljepilima** djeluje na ljepilo (kao pastu ili tekućinu) tik pred lepljenjem primješani otvrdivač koji izaziva polimerizaciju ljepila, u time i njegovo očvršćivanje

Osnovi



- a - alat
- b - stražnja ploha
- c - prednja ploha
- d - strugotina

Pri obradi materijala odvajanjem čestica nastaje strugotina debljine  $h_c$ , koja je veća od debljine rezanja  $h$ .

Faktor sabijanja iznosi

$$\Theta_h = h_c/h = \cos(\varphi - \gamma) / \sin \varphi > 1$$

gdje znače:  $\varphi$  - kut rezanja i  $\gamma$  - prednji kut alata.

$$\varphi = \arctan [\cos \gamma (\Theta_h - \sin \gamma)]$$

Za  $\gamma = 0^\circ$  je  $\varphi = \arctan [1/\Theta_h]$

Faktor sabijanja ovisi o brzini rezanja  $v_c$ .

Strugotina klizi po prednjoj plohi brzinom  $v_s$ , koja ovisi o brzini rezanja  $v_c$ , kutu rezanja  $\varphi$  i prednjem kutu  $\gamma$

$$v_s = v_c \sin \varphi / \cos(\varphi - \gamma) = v_c \Theta_h$$

Brzina deformacije materijala u ravni rezanja iznosi

$$u_s = v_c \cos \gamma \cos(\varphi - \gamma)$$

Pri obradi čvrstih i mekih materijala redovno nastaje neprekinuta (tekuća) strugotina, dok je strugotina pri obradi krhkih materijala izlomljena i rasturana. Neprekinuta strugotina nastaje ako materijal može postići neki kritični stupanj deformacije.

Najveći se dio energije utrošen na oštrici alata za odvajanje strugotine pretvara u toplinu. Toplina nastaje:

zbog kidanja atomskih veza u obrađivanom materijalu (u području rezanja).

- zbog trenja između alata (na stražnjoj plohi) i izlaska te između alata (na prednjoj plohi) i strugotine.

Nastali toplinski tok iznosi

$$\Phi = A v_c k_c$$

gdje su:  $A$  - presjek odvojenog materijala;  $v_c$  - brzina rezanja;  $k_c$  - specifična sila rezanja (sila po jedinici površine)

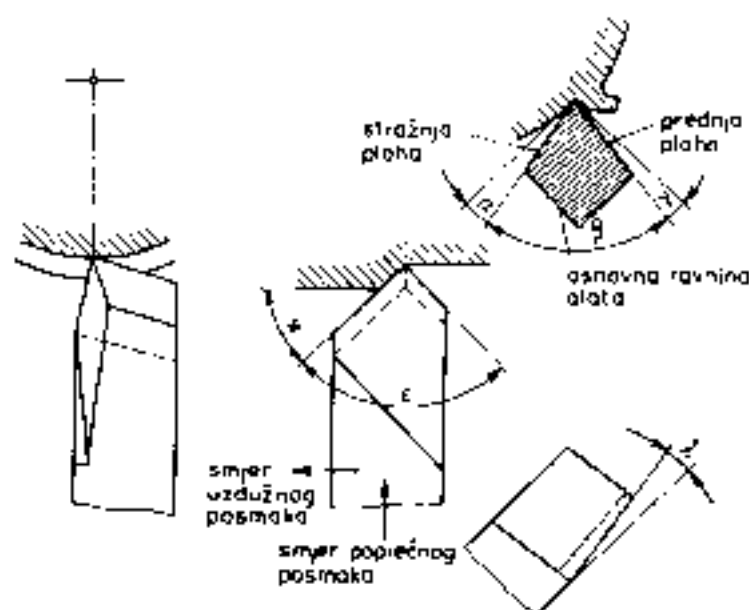
Toplinski tok koji zagrijava strugotinu iznosi

$$\Phi' = AT \cdot A v_c \rho c \leq \Phi$$

gdje su:  $AT = (T_2 - T_1)$  - temperaturna razlika između temperature strugotine  $T_2$  i temperature materijala  $T_1$ ,  $\rho$  - gustoća;  $c$  - spec. topl. kapac. materijala,

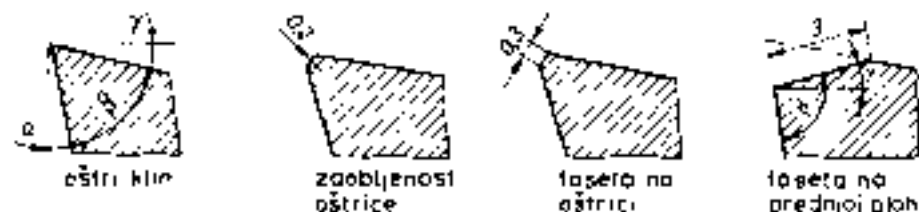
Geometrija oštrice

Kutovi alata

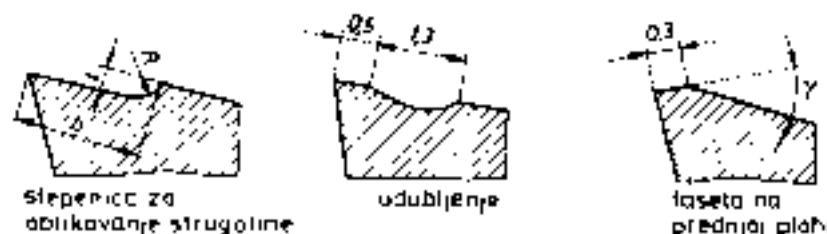


- $\alpha$  - stražnji (slobodni) kut
- $\beta$  - kut klina
- $\gamma$  - prednji (radni) kut
- $\kappa$  - postavni kut
- $\epsilon$  - vršni kut
- $\lambda$  - kut nagiba

Oblici oštrice



Pojačanje klina zaobljenjem, fasetom na oštrici ili fasetom na prednjoj plohi



Odvajanje strugotine olakšavamo stepenicom, udubljenjem ili fasetom na prednjoj plohi



Sila rezanja alata  $F$ , koja mora savladati otpor rezanja materijala, rastavlja mu u tri komponente:

- posmičnu silu  $F_f$
- udrivnu silu  $F_p$
- glavnu silu  $F_c$

$$F = \sqrt{F_f^2 + F_p^2 + F_c^2}$$

Glavna sila  $F_c$  iznosi

$$F_c = k_{c1,2} b h (h_c/h)^{c_c}$$

$$b = a_p \sin \alpha$$

$$h = f \sin \alpha$$

gdje znače:  $k_{c1,2}$  - specifičnu silu rezanja,  $b$  - širinu rezanja,  $h$  - geometrijsku debljinu strugotine,  $h_c$  - standardnu debljinu strugotine 1 mm,  $a_p$  - dubinu rezanja,  $f$  - posmak,  $\alpha$  - postavni kut,  $c_c$  eksponent debljine, ovisan o materijalu.

Specifična sila rezanja  $k_{c1,2}$  i eksponent  $c_c$

Obradivani materijal	$k_{c1,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$	Obradivani materijal	$k_{c1,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$c_c$
čelik					
Č.0545	1990	0,26	svi ljev		
Č.0645	2110	0,17	SI. 25	1160	0,26
Č.0745	2260	0,30	tvrdi ljev	2060	0,19
Č.1531	2220	0,14	bronea	1780	0,17
Č.1731	2130	0,18	mjeđ	780	0,18
Č.4320	2100	0,26	Al - slitine	640	0,25
Č.5421	2260	0,30	Mg - slitine	280	0,19
Č.4731	2240	0,21			
Č.4732	2500	0,26			

Za određivanje posmične sile  $F_f$  i udrivne sile  $F_p$  često upotrebljavamo omjer koji vrijedi za postavni kut  $\alpha = 45^\circ$ :

$$F_f : F_p : F_c = 1 : 2 : 5$$

Uz drukčiji postavni kut  $\alpha'$ , glavna sila  $F_c'$  iznosi

$$F_c' = F_c \left( \frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha'} \right)^{c_c}$$

Obradivani materijal	vrsta	čvrstoća N/mm <sup>2</sup>	Vrsta reza <sup>1)</sup>	Nok			Brzina rezanja $v_{c20}^{2)}$ m/min				
				prednji kut i kut nagiba ( $^\circ$ ) <sup>3)</sup>			pri posmaku $f$ (mm/okr.)				
				$\gamma$	$2\gamma$	$\lambda$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
čelični ljev	m	< 520	P 10	8	-	0...4	135	110	95	80	-
			P 30	6	-5	5...10	-	-	40	32	27
	v	520...700	P 10	6	-	0...4	110	90	75	65	-
			P 30	6	-5	5...10	-	-	30	25	22
	v	> 700	P 10	6	-	0...4	70	60	50	45	-
			P 30	6	-7	5...10	-	-	20	17	14
meki čelik	m	< 500	P 10	15	-	0...4	250	210	180	150	-
			P 30	12	-3	5...10	-	-	85	70	60
potvrđi čelik	m	500...700	P 10	12	-	0...4	220	185	155	130	-
			P 30	10	-3	5...10	-	-	65	55	45
tvrdi čelik	m	700...1000	P 10	10	-	4...6	165	135	110	85	-
			P 30	8	-3	5...10	-	-	45	35	25
legirani čelik	m	1000...1400	P 10	6	0	0...4	85	65	55	45	-
			P 30	5	-7	5...10	-	-	22	18	14
	s	1400...1800	K 10	4	-3	0...4	-	30	25	15	-
			K 10	4	-7	5...10	-	-	-	-	-
Mn tvrdi čelični ljev	m	-	K 10	0	-	0...4	-	18	15	-	-
			K 10	0	-5	5...10	-	-	-	-	-
Mn tvrdi čelik kovani	m	-	P 30	4	-	0...4	-	18	15	-	-
			P 20	4	-5	5...10	-	-	-	-	-
nerđajući čelik ljevani	m	600...700	K 10	6	-	0...4	30	25	20	15	-
			K 10	6	-5	5...10	-	-	-	-	-
nerđajući čelik kovani	m	600...700	P 10	12	-	0...4	80	65	50	45	-
			P 20	12	0	5...10	-	40	30	25	-
alatni čelik	m	1500...1800	K 10	0	-	3...5	23	18	15	12	-
			K 10	0	-5	3...5	-	-	-	-	-

<sup>1)</sup> m - mali presjek, neprekidni rez s dubinom rezanja do 3 mm i posmakom do 0,3 mm; s - srednji presjek, prekinuti rez s dubinom rezanja do 6 mm i posmakom do 0,6 mm; v - veliki presjek, prekinuti rez s dubinom rezanja do 10 mm i posmakom do 1,5 mm

<sup>2)</sup> vrste tvrdih metala - vidi str. 390.

<sup>3)</sup> Kutovi na alatu - vidi str. 633. -  $\gamma$  je kut fasete na prednjoj plohi, širine od 0,5 do dva posmaka;  $\alpha$  -  $8^\circ$ . Kut fasete na stražnjoj plohi  $\alpha_2 = \alpha$ .

<sup>4)</sup>  $v_{c20}$  - brzina rezanja za postojanost  $T = 240$  min. Za drukčiju postojanost alata vrijede svi omjeri brzina rezanja

$$v_{c20} : v_{c40} : v_{c60} = 1,26 : 1 : 0,89$$



*Kutovi ostrice i brzine rezanja pri tokarenju ljevnog željeza i neželjeznih kovina alatom od tvrdog metala*

Obradivani materijal		Vrsta rezača <sup>1)</sup>	Nož					Brzina rezanja $v_c^{2)$ m/min				
vrsta	tvrdoća HB		tečni metal <sup>3)</sup>	stražnji, prednji i nagibni kut (°) <sup>4)</sup>				pri posmaku $f$ (mm/okr.)				
				$\alpha$	$\alpha_1$	$\gamma$	$\lambda$	0,1	0,2	0,4	0,6	
sivi ljev	200	m	K 20	7	5	6	0...4	75	70	65	50	45
		v	K 20	7	5	6	1...7					
sivi ljev legirani	200...250	m	K 10	7	5	6	0...4	45	40	35	30	27
		v	K 10	7	5	3	5...7					
bijeli temperovani ljev	250...400	m	K 10	6	4	0	0...4	23	21	20	18	16
		v	K 20	6	4	0	5...7					
crni temperovani ljev	-	m	K 10	7	5	6	0...4	65	55	45	40	-
		v	P 20	7	5	0	5...7	70	60	50	45	-
bakar, mjed	35...40	m	K 20	12	10	15	0	130	300	120	200	
		v	K 20	10	8	12	0	150	400	120	750	
mjed, bronca	45...85	m	K 20	8	6	8	0...3	200	400	150	750	
		v	K 20	8	6	8	0...3					
aluminij, Al-slitine	60	m	K 20	10	8	12	0	2300	1500			
		v	K 20	8	6	16	0	250	700	150	500	
Al slitine < 13,5% Si	-	m	K 10	8	6	11	0	100	500	80	150	
		v	K 10	8	6	11	0					
Al slitine > 13,5% Si	-	m	K 10	8	6	11	0	70	120	50	90	
		v	K 10	8	6	11	0					

<sup>1)</sup> m - mali presjek, jednaki rez s dubinom rezanja do 3 mm i posmakom do 0,5 mm; v - ostreći presjek, mali prekid reza s dubinom rezanja do 6 mm i posmakom do 0,6 mm; v - veliki presjek, tvrdi mjesta ili prekidi reza s dubinom rezanja do 16 mm i posmakom do 1,5 mm.

<sup>2)</sup> Vrste tvrdih metala - vidi str. 390.  
<sup>3)</sup> Kutovi ostrice noža - vidi str. 633.  $\alpha$  je kut raseta na stražnjoj plohi ostrice. (Faseta pod kutom  $\gamma$  na prednjoj plohi nije potrebna.)

<sup>4)</sup> Navedene brzine rezanja  $v_c$  vrijede za sivi i temperovani ljev kao brzine rezanja  $v_{c0}$  pri postojanosti  $T = 240$  min. Za drukčiju postojanost alata vrijede ovi omjeri brzina rezanja:

$$v_{c0T} = v_c \left( \frac{240}{T} \right)^{0,25} \quad T = 0,85$$

**Blanjanje i dubljenje**

Pri blanjanju se giba stol s izraskom pravocrtno prema suprotu s nožem; pri dubljenju (horizontalnom ili okomitom) giba se suprot s nožem pravocrtno prema stolu s izraskom. Pri gibanju stola odn. noža za dubljenje razlikujemo:

- radni hod pri gibanju napred - nož reže
- povratni hod pri gibanju natrag - nož ne reže.

Prosječna brzina gibanja stola odn. noža za dubljenje iznosi

$$v_{gr} = 2 v_d v_p / (v_d + v_p)$$

gdje su:  $v_d$  - brzina rezanja pri radnom hodu,  $v_p$  - brzina pri povratnom hodu. Glavna sila rezanja (pri blanjanju ili dubljenju) iznosi

$$F_c = k_{c1+c2} b (h_s/k)^{c_3} \quad b = w \sin \alpha \quad h = f \sin \alpha$$

gdje su:  $k_{c1+c2}$  - specifična sila rezanja,  $b$  - širina rezanja,  $h$  - dubljina rezanja,  $h_s$  - standardna debljina rezanja 1 mm,  $a$  - dubina rezanja,  $f$  - posmak (pri dvojnem hodu),  $\alpha$  - postavni kut,  $c_3$  - eksponent debljine ovisan o materijalu.

Za specifičnu silu rezanja  $k_{c1+c2}$  i eksponent  $c_3$  valja odabrati iste vrijednosti kao pri tokarenju (vidi str. 634).

*Kutovi na noževima od tvrdog metala ili brzoreznog željeza i brzine rezanja pri blanjanju ili dubljenju željeza i sivog ljeva*

Obradivani materijal	vrsta	tvrdoća $R_m$ N/mm <sup>2</sup> tvrdoća HB	rezači materijal	Kutovi (°) <sup>1)</sup>		Brzina rezanja $v_{c0}$ m/min				
				$\gamma$	$\alpha_1$	pri posm. $f$ mm				
						0,5	1,0	1,6		
meki čelik	400	500	P 40	15	20	0	5	60	48	40
			h. j.	12				38	23	20
pobitvni čelik	500	800	P 40	12	15	-5	-10	55	45	38
			h. j.	8	10			22	17	15
crni čelik	750	900	P 40	10	20	0	5	40	35	30
			h. j.	8				14	12	10
sivi ljev	140	180 HB	K 20	15	20	0	5	50	40	30
			h. j.	4				25	18	14
sivi ljev	200	220 HB	K 20	10	15	-5	-10	55	45	35
			h. j.	4				32	26	24

<sup>1)</sup> Vrste tvrdih metala (P 40, K 20) - vidi str. 390; h. j. - brzorezni čelik vhauskog kvaliteta - vidi str. 383!

<sup>2)</sup> Kut nagiba  $\lambda = -6 \dots -15^\circ$

<sup>3)</sup>  $v_{c0}$  je brzina rezanja pri postojanosti alata  $T = 240$  min. Uz drugu postojanost alata vrijede odnosi brzina rezanja:

$$\begin{aligned} \text{pri obradi čelika} \quad v_{c0T} = v_{c0} \left( \frac{240}{T} \right)^{0,25} \quad T = 0,84 \\ \text{pri obradi sivog ljeva} \quad v_{c0T} = v_{c0} \left( \frac{240}{T} \right)^{0,25} \quad T = 0,85 \end{aligned}$$

## Busenje i razvrtavanje

Vijačno svrdlo\* reže s dvije oštrice. Prostorna krivulja po kojoj su smještene oštrice je zavojnica.

Kut uspona zavojnice i vršni kut svrdla ovise o materijalu koji treba obraditi.

Obradivani materijal	Kut uspona $\lambda$ (°)	Vršni kut $\varphi$ (°)
čelik - čvrstoće $R_m < 300 \text{ N/mm}^2$	30	118
- čvrstoće $R_m > 300 \text{ N/mm}^2$	25	118
- za poboljšanje legirani	35...40	118
sivi lijev	30	118
bakar, bronca	40	140
mjed	18...20	130
Al - slitine	40...45	140
Mg - slitine	40...45	100

### Presjek odreska

za jednu oštricu

$$A_1 = df_2/2 = df_1/4$$

za obje oštrice

$$A = df_f = df_1^2$$

pri čemu su:  $d$  - promjer svrdla,  $f_2$  - posmak za oštricu,  $f_1$  - posmak (za 1 okret) svrdla.

### Sila rezanja za oštrice

$$F_{cc} = df_1 k_d/2 = df k_d/4$$

gdje je  $k_d$  specifična sila rezanja (za jedinicu presjeka).

Obradivani materijal	$k_d$ (N/mm <sup>2</sup> )					
	pri $f$ (mm/okr.)					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
čelik $R_m > 900 \text{ N/mm}^2$	5000	4600	4300	4000	3750	3500
Č.0745	4000	3700	3450	3200	3000	2850
Č.0645	3700	3450	3200	3000	2850	2700
Č.0545	3300	3050	2850	2650	2500	2350
Č.0245	2700	2450	2250	2050	1900	1750
sivi lijev, tvrdo	2300	1900	1700	1500	1350	1200
meki	1700	1500	1300	1150	1000	900
bakar, bronca	1800	1600	1400	1250	1100	1000
Al - slitine	1350	1150	1000	850	750	650
Mg - slitine	900	750	650	550	475	400

\* Naziv spiralnog svrdla, kako se često naziva, nije ispravan

## Busenje svrdlima od brzoreznog čelika

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Brzina vrtnje $n$ i posmak $f$	Promjer svrdla $d$ (mm)					
			6,3	10	16	25	40	63
čelik 500 N/mm <sup>2</sup>	35,5	$n$ okr./min	1800	1120	710	450	280	180
		$f$ mm/okr.	0,16	0,20	0,25	0,32	0,40	0,50
čelik 700 N/mm <sup>2</sup>	22,4	$n$ okr./min	1120	710	450	280	180	112
		$f$ mm/okr.	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,32
legirani čelik	11,2	$n$ okr./min	560	355	224	140	90	56
		$f$ mm/okr.	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25
sivi lijev do SL 20	28,0	$n$ okr./min	1400	900	560	355	224	140
		$f$ mm/okr.	0,18	0,22	0,28	0,36	0,45	0,56
sivi lijev do SL 25	18,0	$n$ okr./min	900	560	355	224	140	90
		$f$ mm/okr.	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,45

## Razvrtavanje razvrtalima od brzoreznog čelika

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Brzina vrtnje $n$ i posmak $f$	Promjer razvrtala* $d$ (mm)					
			6,3	10	16	25	40	63
čelik do 700 N/mm <sup>2</sup>	7,0	$n$ okr./min	355	224	140	90	56	35,5
		$f$ mm/okr.	0,45	0,56	0,71	0,90	1,10	1,40
čelik iznad 700 N/mm <sup>2</sup>	2,24	$n$ okr./min	112	71	45	28	18	11,2
		$f$ mm/okr.	0,20	0,25	0,31	0,40	0,50	0,63
sivi lijev do 200 HB	11,2	$n$ okr./min	560	355	224	140	90	56
		$f$ mm/okr.	0,80	0,90	1,00	1,12	1,25	1,40
sivi lijev iznad 200 HB	5,6	$n$ okr./min	280	180	112	71	45	28
		$f$ mm/okr.	0,45	0,56	0,71	0,90	0,10	1,40
bakar i bakrene slitine	14,0	$n$ okr./min	710	450	280	180	112	71
		$f$ mm/okr.	0,80	0,90	1,00	1,12	1,25	1,40
lake kovine	22,5	$n$ okr./min	1120	710	450	280	180	112
		$f$ mm/okr.	0,80	0,90	1,00	1,12	1,25	1,40

\* Odstupanje od promjera: -0,2 mm za promjere 6,3 i 10 mm  
-0,3 mm za promjere 16 i 25 mm  
-0,4 mm za promjere 40 i 63 mm

**Rezanje navoja** na tokarilicama (i revolverskim tokarilicama) alatom; uglj. bizoreznog čelika

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ (m/min)							
	reznici i nasec-znice	automatska navojna glava						tokarski ili navoj nož
		korak navoja $P$ (mm)						
		6	4,5	4	3	2,5 ... 1,75	1,5 ... 1	
sivi ljev	2...5	2...3	2,5	4	3	4,5	4	9...12
temperovani ljev	2...5	3	6	4	8	6	10	9...12
čeliki	2...5	1,5...3	2	4	3	5	4	9...12
340 N/mm <sup>2</sup>	3...9	4...5	4	8	5	10	6...12	14...18
420 N/mm <sup>2</sup>	3...7	4...5	4	8	5	10	6...12	12...16
500 N/mm <sup>2</sup>	2...5	2...3	3	4	4	5	4	10...14
600 N/mm <sup>2</sup>	2...4	2...3	3	4	4	5	4	9...12
CrNi, CrMo	1...3	1...2	1...3	1,5	3,5	2...4	8...10	
branca	2...5	2...3,5	2,5	4	3	4,5	3,5	6...8
crveni ljev	3...8	4	6	5	8	6	9	12...14
mjed	4...12	4	8	6	10	8	12	10...20
Au-slitine	20	25	25	25	25	25	25	30...40
Mg-slitine	30	30	40	40	40	40	40	40

**Piljenje kovina**

*Piljenje okvirnim pilama*

Čvrstoća obradivanog materijala N/mm <sup>2</sup>	Brzina rezanja $v_c$ m/min		Broj hodova (dvojnih) u min		
	srednja	najveća	pri hodu pile (mm)		
			140	150	160
700	30	47	108	98	93
700...1000	20	32	73	67	63
1000...1300	14	22	50	47	43

*Piljenje tračnim pilama*

Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min	Obradivani materijal	Brzina rezanja $v_c$ m/min
sivi ljev*	20...30	bakar	40
konstrukcijski čelik	16	mjed, crveni ljev	100
alumin. čelik	20...30	lake kovine	400...1200

\* Prijevoz s grubom, tvrdom korom.

*Piljenje kružnim pilama*

Obradivani materijal	Hladno rezanje		Vruće rezanje	
	brzina rezanja $v_c$ m/min	brzina posmaka $a_f$ mm/min	brzina rezanja $v_c$ m/min	brzina posmaka $a_f$ mm/min
sivi ljev	15...25	20...55		
čelik	30...55	35...60		
mjed, bronca	100...200	100...300	...6000	50...250
lake kovine	400...600	100...200		

**Glodanje**

Glodanje povezuje kružno gibanje glodala (brzina rezanja) i pravocrtno gibanje izratka (posmak). Glodanje može biti obodno ili čono.

Pri obodnom glodanju razlikujemo protismjerno glodanje (glodanje protivno smjeru posmaka) i istosmjerno glodanje (glodanje u smjeru posmaka).

Brzina rezanja iznosi  $v_c = d \cdot n$

gdje su:  $d$  - promjer glodala,  $n$  - brzina vrtnje rta glodala.

Posmak za svaki zubac glodala

$f_c = f/z_1$

gdje znače:  $f$  - brzinu posmaka,  $z_1$  - broj zubaca glodala.

Prosječna glavna sila pri glodanju

$F_{zmed} = b \cdot h_{med} \cdot k_{c,z_1} \cdot (h_c/h_{med})^{z_1} \cdot z_1$

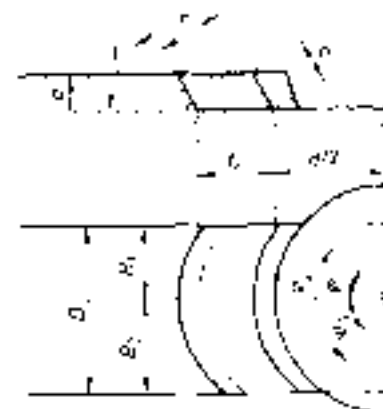
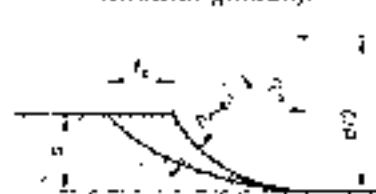
gdje su:  $k_{c,z_1}$  - specifična sila rezanja,  $b$  - geometrijska širina strugotine,  $h_{med}$  - prosječna geometrijska debljina strugotine,  $h_c$  - standardna debljina strugotine 1 mm,  $z$  - eksponent debljine, ovisan o materijalu,  $z_1$  - prosječni broj zubi glodala koji režu u zoni kuta  $\varphi_s$  (rad)

zubi glodala koji režu u zoni kuta  $\varphi_s$  (rad)

$z_1 = z_1 \varphi_s / 2\pi$       $\varphi_s = \pi / 180^\circ \cdot \varphi_s'$

*Čono glodanje*

*Obodno glodanje*



$b = B$

$h_{med} = 2 a_s x_c / \varphi_s d$

$\varphi_s = \arccos(1 - 2a/d)$

$a$  - dubina glodanja

$d$  - promjer glodala

$B$  - širina obradivane plohe

$b = \omega \sin \alpha$

$h_{med} = s_y \sin \alpha d \cdot (B_1/\varphi_s + B_2/\varphi_s)$

$\varphi_1 = \arcsin(2B_1/d)$       $\varphi_2 = \arcsin(2B_2/d)$

Obradivani materijal	$k_{c,z_1}$ N/mm <sup>2</sup>	$z_c$	Obradivani materijal	$k_{c,z_1}$ N/mm <sup>2</sup>	$z_c$
čelik Č.0545	2050	0,26	čelik Č.4320	3300	0,26
Č.0645	2200	0,17	Č.5421	3300	0,30
Č.0745	2200	0,20	Č.4731	2300	0,21
Č.1531	2300	0,14	Č.4732	2600	0,26
Č.1731	2200	0,18	sivi ljev	1050	0,26
			tvrdi ljev	2100	0,19

Smjernice za broj zubača na glodalu od brzoreznog čelika (za obradu normalnih materijala)

Glodalo	Broj zubača glodala										
	za promjer glodala (mm)										
	20	30	40	50	60	75	90	110	130	150	200
za duge rupe	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
vretenasto	6	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—
valjkasto	—	—	6	6	6	6	8	8	10	10	—
valjkasto-čono	—	—	8	8	8	10	12	12	14	16	—
kutno čono	—	—	10	12	14	16	18	20	22	24	—
pločasto	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— ravno ozupčano	—	—	—	8	8	11	12	12	14	16	18
— križno ozupčano	—	—	—	10	10	12	14	14	16	18	20
profilno, zatokareno	—	—	8	11	10	10	12	14	16	18	—
odvaljno	—	—	—	12	10	10	9	9	9	8	8
za utore 1	8	10	12	12	—	—	—	—	—	—	—
za navoje	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— ravno ozupčano	8	12	14	16	18	20	—	—	—	—	—
— vijčano ozupčano	—	10	12	14	16	18	—	—	—	—	—
pičasto	—	—	—	—	34	40	44	50	52	56	64
glodalne glave (s noževima)	—	—	—	—	—	—	—	8	10	10	12

Općenito je za obradu žilavih i tvrdih materijala potrebno više zubača, a za lake kovine manje nego za normalne materijale.

Smjernice za kutove na glodalima od brzoreznog čelika i glodalnim glavama s noževima od tvrdih metala

( $\alpha$  -- stražnji kut,  $\gamma$  -- prednji kut,  $\lambda$  kut nagiba)

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika												Glodalne glave s noževima od tvrdog metala		
	pločasta glave s noževima														
	vretenasta			valjkasta			— križno ozupčana			glave s noževima					
	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$
sivi lijev	7	12	30	6	12	40	6	12	15	6	15	12	5	12	0
tvrdi lijev	4	8	15	4	8	30	3	6	10	3	5	5	3	8	-5
temperni lijev	6	12	30	5	12	40	5	12	20	5	12	12	4	10	-5
čelični lijev	6	10	30	5	12	40	5	10	20	5	10	7	4	10	+5
čelik															
600 N/mm <sup>2</sup>	8	15	30	7	15	45	7	15	20	7	15	15	6	15	+10
900 N/mm <sup>2</sup>	7	10	20	6	12	40	6	12	15	6	10	20	4	10	+5
1100 N/mm <sup>2</sup>	6	6	15	5	8	35	5	7	10	5	6	7	3	6	+5
bakar	6	12	45	6	20	45	6	15	20	6	25	15	6	15	+20
mjeđ	6	12	35	6	15	45	6	15	20	6	8	12	4	12	+12
bronca	6	10	30	5	12	40	6	12	15	6	15	12	3	10	-5
Al-slitine	10	25	40	8	25	50	8	25	30	8	25	20	8	25	+30
Mg-slitine	10	25	40	8	25	50	8	25	30	8	10	25	8	25	+30

Brzine rezanja  $v_c$  (m/min) pri protusijernom glodanju

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika				Glodalne glave s noževima od tvrdog met.
	vretenasta	valjkasta, pločasta	valjkasto-čono	glave s noževima	
sivi lijev					
SL 20	16...25	14...20	16...22	17...25	60...110
SL 25	10...16	10...16	12...17	12...18	30...50
čelični lijev					
ČL 0500	14...22	12...18	14...20	15...22	60...100
čelik					
500 N/mm <sup>2</sup>	18...28	16...24	18...28	20...30	120...200
600 N/mm <sup>2</sup>	18...28	16...24	18...28	18...28	100...160
700 N/mm <sup>2</sup>	17...25	15...20	17...23	16...24	80...120
Č. 1530	18...26	16...22	18...25	18...28	100...160
Č. 4730	14...20	12...18	14...20	15...22	60...100
Č. 4732	12...20	11...18	12...20	14...22	40...70
bakar	30...50	30...50	40...50	40...60	100...200
mjeđ	40...60	30...50	40...60	50...70	150...200
bronca (Sn)	30...40	25...40	40...50	40...60	100...150
aluminij	300...400	250...300	300...400	400...500	800...1000
alumin. slitine	200...250	140...180	200...250	300...400	600...800
magnez. slitine	300...400	300...400	400...500	400...500	800...1000

Postaci za svaki zubac glodala  $f_z$  (mm/zubac) pri protusijernom glodanju

Obradivani materijal	Glodala od brzoreznog čelika					Glodalne glave s noževima od tvrdog met.
	vretenasta	pločasta	valjkasta	valjkasto-čono	glave s noževima	
sivi lijev						
SL 20	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,1
SL 25	0,02	0,05	0,1	0,15	0,1	0,05
čelični lijev						
ČL 0500	0,04	0,06	0,15	0,2	0,2	0,08
čelik						
500 N/mm <sup>2</sup>	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,1
600 N/mm <sup>2</sup>	0,05	0,06	0,15	0,2	0,3	0,1
700 N/mm <sup>2</sup>	0,03	0,06	0,1	0,15	0,2	0,08
Č. 1530	0,03	0,07	0,2	0,2	0,3	0,1
Č. 4730	0,03	0,06	0,1	0,15	0,2	0,08
Č. 4732	0,02	0,05	0,08	0,1	0,15	0,06
bakar	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,12
mjeđ	0,05	0,07	0,2	0,25	0,3	0,12
bronca (Sn)	0,04	0,06	0,15	0,2	0,2	0,1
aluminij	0,05	0,07	0,15	0,2	0,2	0,1
alumin. slitine	0,03	0,06	0,15	0,15	0,15	0,07
magnez. slitine	0,04	0,07	0,1	0,15	0,1	0,06

## Brušenje

Osnovni su načini brušenja

– po obliku izratka: vanjsko kružno brušenje, unutarnje brušenje i plosno brušenje

– po obliku brusa: profilno brušenje.

Brus je sastavljen od zrnaca brusnog sredstva različite veličine koja su međusobno spojena vezivom. Brus je određen geometrijskim oblikom i dimenzijama, brusnim sredstvom, kvalitetom zrna, vezivom, tvrdoćom i strukturom.

*Brzina brušenja (rezanja)*  $v_c$  je zbroj obodne brzine brusa  $v_b$  i brzine  $v_f$  (pisma  $v_f$  pri kružnom ili plosnom brušenju)

$$v_c = v_b + v_f \quad v_b = d_b \cdot n_b$$

gdje znače:  $d_b$  – promjer brusa (brus na mehanički pogon ili brusno kolo naiva se još i točijem ili točikim),  $n_b$  – brzinu vrtnje brusa.

*Posmična brzina vrtnje izratka* (pri kružnom brušenju  $v_f = v_c$ ) iznosi

$$v_c = d_s \cdot n_s$$

gdje su:  $d_s$  – promjer izratka,  $n_s$  – brzina vrtnje izratka.

O posmičnoj brzini vrtnje izratka uvelike ovisi kvaliteta brušenja i trošnje brusa.

### Najvažnija sredstva za brušenje

Materijal	Kem. sastav	Tvrdoća (Mohs)	Upotreba
smirak	60 ... 65% $Al_2O_3$	8	meki čelik, temper. ljev
korund			
naravni	90 ... 96% $Al_2O_3$	9	žilavi čelik
normaini	95 ... 98% $Al_2O_3$	9	tvrdi čelik, čelični ljev
plemeniti	nad 99% $Al_2O_3$	9	tvrdi čelik, brušenje alata
silicijev karbid	SiC (krist.)	> 9	sivi ljev, tvrdi ljev, tvrdi metali, meke kovine, ugljen, staklo, kamenština
borov karbid	$B_4C$ (krist.)	> 9	tvrdi metali
dijamant	C (krist.)	10	tvrdi metali, staklo, kamenština

*Velicina brusnog zrna* određena je brojem očica zrna za zrna na duljinu 25 mm, a finog zrna i praha ispiranjem i otpuhivanjem.

Kvaliteta zrna	Oznaka zrna	Kvaliteta zrna	Oznaka zrna
vrlo grub	8 10 12	fin	70 80 90 100 120
grub	14 16 20 24	vrlo fin	150 180 200 220 240
oštrunji	30 36 46 50 60	prah	280 320 400 500 600

Smjernice za izbor veličine zrna:

prvo brušenje	20 ... 36
konačno brušenje	46 ... 80
fino brušenje	100 ... 200
najfinije brušenje	320 ... 600

*Veziva (hepida) za brusove su*

mineralna (magnezitna, silikatna),

keramička – za jako pečene brusove (vrlo prikladne poroznosti),

vegetabilna (guma, ulje, čelak), koja su osobito elastična

Vrsta veziva	Standardna oznaka	Vrsta veziva	Standardna oznaka
keramičko	V	magnezitno	G
umjetne smole	B	silikatno	S
čelak (naravne smole)	E	guma	R

*Tvrdoćom brusa* označujemo otpor veziva prema ljuštenju zrna iz brusa.

Stupanj tvrdoće	Oznaka tvrdoće	Upotreba
vrlo mek	EFG	plosno brušenje čelika
mek	HJK	kružno brušenje sivog ljeva i kaljenog čelika
polutvrd	LMNO	kružno brušenje mekog i srednjetrog čelika, brušenje alata
tvrd	PRS	ručno brušenje tokarskih noževa, brušenje listova pila
vrlo tvrd	TUV	brušenje većih predmeta, grubo brušenje tvrdih i oštiti rubova
osobito tvrd	XYZ	brušenje čeličnih kugli

*Struktura* označuje sastav brusa, tj. volumenske udjele zrna, veziva i pora u brusa

$$V_z + V_v + V_p = 100\%$$

gdje znače u postocima:  $V_z$  – volumenski udio zrna,  $V_v$  – volumenski udio veziva,  $V_p$  – volumenski udio pora

Vrsta strukture	gusta	osrednja	rijetka
Oznaka strukture	1 2 3	4 5 6	7 8 9

Vezivo	Način brušenja	Maksimalna obodna brzina $v_{max}$ m/s			
		za brusne ploče $d_b \leq 150$ mm		za brusne ploče $d_b > 150$ mm	
		ravne i približno ravne	ostale	ravne i približno ravne	ostale
ineralno	ručno	15	7,5	15	12
	strojno	25	20	20*	15
keramičko	ručno	30	15	25	20
vegetabilno	strojno	45	30	30	25

\* Maksimalna obodna brzina velikih brusnih ploča ( $d_b > 1000$  mm) može dostići najviše 15 m/s pri ručnom i strojnom brušenju.

Obložine brzine brusova od korunda\*, koje su najprikladnije za brušenje raznih materijala

Obradivani materijal	Obodne brzine $v_c$ (m/s)**					
	za brušenje					
	vanjski	nutarnje	plošno	oklata	za 2-šćenje	za rezanje
sivi lijev	25	25	20	25	25	45...80
čelik	30	25	25	25	< 45	45...80
tvrdi metali	8	8	8	12	-	45...80
lake kovine	35	25	30			45...80

\* Za brusove od silicijeva karbida prikladnije su nešto manje brzine nego za brusove od korunda. \*\* Brušenje brzom većom od maksimalno dopuštene  $v_{max}$  (vidi gornju tablicu) dopušteno je samo specijalnim brusovima koji su posebno ispitani za te brzine, a i tada samo na specijalnim brusilicama.

Svaki brus djeluje pri većim obodnim brzinama tvrđe, a pri manjima mekše.

Posmična brzina vrtnje izratka  $v_{ij}$  pri kružnom brušenju

Obradivani materijal	Posmična brzina vrtnje $v_{ij}$ (m/s)		Obradivani materijal	Posmična brzina $v_{ij}$ (m/s)	
	vanjski brušenje	nutarnje brušenje		vanjski brušenje	nutarnje brušenje
sivi lijev			crveni lijev		
grubo brušenje	0,15	0,35	grubo brušenje	0,3	0,5
fino brušenje	0,125		fino brušenje	0,35	
čelik			lake kovine		
grubo brušenje	0,25	0,3	grubo brušenje	1,0	0,6
fino brušenje	0,125		fino brušenje	0,6	

### Obrada dijamentima

Dijamant je alat za finu obradu lakih kovina, bakrenih i cinkanih slitina te sivog lijeva, a dijelom i kaljenog čelika (za obradu mekog čelika nije prikladan). Dijamantom obrađujemo također tvrdi gumu, ljepenku i izolacijske materijale. Zbroj kutova  $\alpha + \beta + \gamma$  iznosi redovno  $90^\circ$ . Za negativan prednji kut  $\gamma$  može biti  $\beta \geq 90^\circ$ .

### Hlađenje (vlačno glačanje)

Kao alat služe posebna premjestaiva držala na koja su priljepljeni brusovi (3...10) finoga zrna u keramičkom vezivu ili vezivu od umjetne smole. Brzina brušenja iznosi 10...20 m/s, a posmak 16...20 m/min. Potrebno je intenzivno hlađenje rijetkim uljem ili petrolejem. Točnost obrade iznosi do 0,01 mm.

### Lepanje (glačanje brusnim prahom)

Lepanje je konačna obrada izratka nakon odgovarajuće prethodne obrade. Alati za lepanje su od različitih kovina (sivog lijeva, bakra, bakrenih slitina, bijele kovine, antimona, olova). Kao sredstvo za lepanje upotrebljava se kromov oksid, prah korunda ili pak dijamantra. Ta se sredstva miješaju s uljem, petrolejem, mašću ili sl. Postiže se granična točnost u tolerancijama od  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

### Superfintš

Alat se sastoji od više brusova, vrlo fine kvalitete zrna (100...1000) i guste strukture, koji pri relativno malom pritisku na obradivanu površinu osciliraju (pri pomaku od 2...10 mm s 200...2100 pomaka u minuti) u aksijalnom smjeru izratka (koji se okreće). Potrebno je intenzivno hlađenje (petrolej s dodacima). Postiže se hrapavost od 0,2...0,5  $\mu\text{m}$ .

### Ultrazvučna obrada kovina

Proces se osniva na erozivnom djelovanju što ga izazivaju mali, veoma tvrdi i oštrobriđni kristali brusnog sredstva (u prostoru između alata i izratka) na koje djeluju visokofrekventni mehanički tutaji alata. Alat može u izratku izdubiti oblik koji točno odgovara njegovu profilu. Obrada je upotrebljiva za najtvrđe i krhke materijale.

### Elektroerozivna obrada kovina

Pri toj obradi nema djelovanja mehaničkih sila. Čestice se materijala odstranjuju djelovanjem električnog izbijanja između dviju elektroda, od kojih je jedna alat (bakar, mjed), a druga izradak. Visoka temperatura i tlak šis nastaju pri električnom izbijanju u vrlo malom prostoru izazivaju raspršivanje sitnih čestica materijala, pri čemu elektrode također djelomično ispare. Erozivni učinak većih uređaja (snage do 15 kW) iznosi oko 500...800 mm<sup>3</sup>/min pri obradi čelika, a 80...100 mm<sup>3</sup>/min pri obradi tvrdih metala.

## Postojanost alata

Alat za rezanje izvrnut je za vrijeme rada mehaničkim, toplinskim i kemijskim opterećenjima koja uzrokuju promjenu geometrijskog oblika oštice, tj. njezinu istrošenost.

Istrošenost je najveća na onim mjestima alata koja su u neposrednom dodiru s izratkom odnosno strugotinom, tj. na prednjoj i stražnjoj plohi. Glavni su uzroci trošenja alata:

- plastična deformacija alata zbog utjecaja temperature,
- izlomljenost alata kao posljedica utjecaja dinamičkog opterećenja pri odvajanju strugotine koje prelazi utrajnu čvrstoću alata na savijanje,
- guhikak materijala u obliku mikroskopski malih čestica koje odlaze dijelom sa strugotinom, a dijelom ostaju prilijepljene uz površinu izratka.

Postojanost alata  $T$  je istrošenošću određeno trajanje oštice između dvaju brušenja.



$T$  i  $v_c$  u logaritamskoj podjeli!

Postojanost  $T$  - po iskustvu - ovisi u prvom redu o brzini rezanja  $v_c$

$$T = m v_c^c$$

gdje su  $m$  i  $c$  konstante,

Logaritmiranjem dobivamo oblik

$$\lg T = \lg m - c \lg v_c$$

što u dijagramu s logaritamskom podjelom odgovara jednadžbi pravca.

Krivulja postojanosti (ili krivulja  $T - v_c$ ) prikazuje ovisnost postojanosti  $T$  u brzini rezanja  $v_c$ .

Povećava li se brzina rezanja  $v_c$  postojanost alata opada.

Brzini rezanja  $v_{c1}$  odgovara postojanost  $T_1$ , brzini rezanja  $v_{c2}$  postojanost  $T_2$ :

$$T_1 = m v_{c1}^c \quad T_2 = m v_{c2}^c$$

odakle proizlazi da konstanta  $c$  odgovara nagibu pravca (u dijagramu s logaritamskom podjelom), tj. kvocijentu

$$c = (\lg T_1 - \lg T_2) / (\lg v_{c1} - \lg v_{c2}) = \tan \psi = \tan \psi \quad \psi = 180^\circ - \theta$$

Iz poznate brzine rezanja  $v_{c,0}$  pri postojanosti  $T_{0,0}$  izračunavamo brzinu rezanja  $v_{c1}$  pri drukčijoj postojanosti  $T_1$  pomoću jednadžbe

$$v_{c1} = v_{c,0} \sqrt[c]{T_{0,0}/T_1}$$

\*

U tablicama na str. 635 - 643 navedene su brzine rezanja za alat od brzoreznog čelika ili tvrdog metala. Stojeta titanovog nitrida na oštici može se pod određenim uvjetima postići višestruko povećana postojanost.

## Optimalna brzina rezanja

Troškove obrade za jedan izradak  $S$  (din/kom.) možemo podijeliti na pojedinačne troškove  $S_p$ , opće troškove  $S_o$  i troškove alata  $S_a$ .

$$S = S_p + S_o + S_a$$

Pojedinačni troškovi  $S_p$  (npr. troškovi transporta i upinjavanja izratka i sl.) ovise samo o izratku i ne mijenjaju se s brzinom rezanja  $v_c$ .

Opći troškovi  $S_o$  (npr. troškovi za radnicu - otpis, održavanje, energija, - troškovi osobnih dohodaka, upravnih troškova i sl.) su - reducirani na pojedini izradak - to manji, na što su veći broj izradaka podijeljeni, dakle koliko je kraće vrijeme obrade; stoga se s povećanjem brzine rezanja  $v_c$  znatno smanjuju.

Troškovi alata  $S_a$  ovise o postojanosti alata  $T$  pa se zato s brzinom rezanja  $v_c$  jako povećavaju.

Troškove alata  $S_a$  izračunavamo iz jednadžbe

$$S_a = (K_n - K_i + i_b S_b) / n_1 = (K_n - K_i + i_b S_b) / n_1 (i_b + 1)$$

pri čemu su:  $K_n$  - cijena novog alata,  $K_i$  - cijena istrošenog alata,  $S_b$  - troškovi jednokratnog brušenja,  $i_b$  - broj brušenja do istrošenosti alata,  $n_1$  - broj svih izradaka u vremenu  $t$  trajnosti alata,  $n_1$  - broj izradaka u vremenu  $T$  postojano sti alata.

Broj svih izradaka  $n$ , ovisan je prije svega od materijala alata i izratka te o brzini rezanja  $v_c$ , posmaku  $f$  i dubine rezanja  $a$ .

Optimalna brzina rezanja  $v_{c,opt}$  je ona brzina rezanja, pri kojoj su troškovi izrade  $S$  za jedan izradak najniži.

Izbor optimalnog tehnološkog postupka

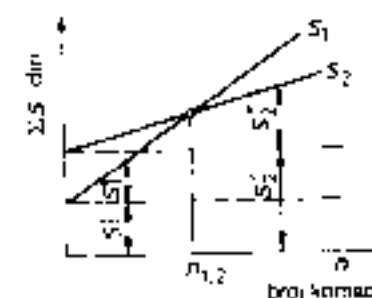
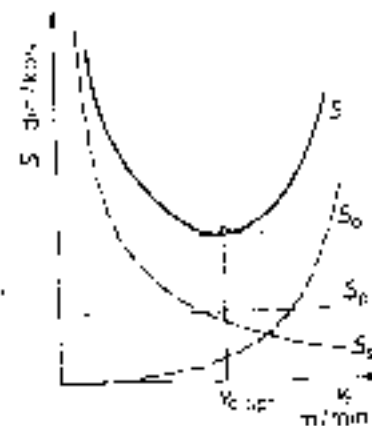
Izradak možemo obraditi različitim tehnološkim operacijama (npr. tokarenjem ili glodačenjem; na univerzalnoj ili serijskoj stroju itd.).

Za obavljanje svake tehnološke operacije potrebni su neki stalni troškovi  $S'$ , neovisni o broju komada, te posebni troškovi  $S''$ , ovisni o pojedinom komadu te stoga rastu s njihovim brojem.

Ukupni su troškovi

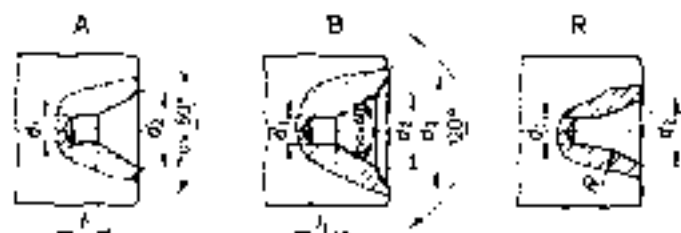
$$\sum S = S' + S''$$

Desna slika prikazuje troškove  $S'$  i  $S''$  za 2 različita tehnološka postupka (1 i 2). Do broja komada  $n_{1,2}$  jeftiniji je postupak 1, a dalje postupak 2.



Središnja gnijezda

Gnijezda sa središnjim kutom 60° (JUS M.A5.210 - 1972)

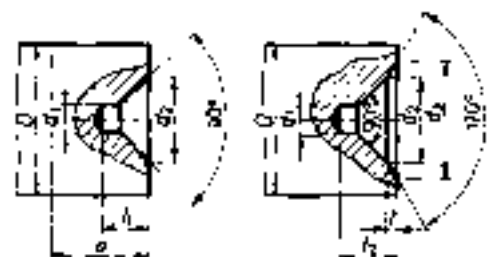


Mjere u mm

Nazivni* promjer $d_1$	$l_1$ mm	$d_2$	$d_3$	min.	R	maks.
(0,5)	0,8	1,06	—	—	—	—
(0,63)	0,9	1,32	—	—	—	—
(0,8)	1,1	1,70	—	—	—	—
1,0	1,3	2,12	3,15	2,5	3,15	—
(1,25)	1,6	2,65	4	3,15	4,0	—
1,6	2,0	3,35	5	4,0	5,0	—
2,0	2,5	4,25	6,3	5,0	6,3	—
2,5	3,1	5,30	8	6,3	8,0	—
3,15	3,9	6,70	10	8,0	10,0	—
4,0	5,0	8,50	12,5	10,0	12,5	—
(5,0)	6,3	10,60	16	12,5	16,0	—
6,3	8,0	13,20	18	16,0	20,0	—
(8,0)	10,1	17,0	22,4	20,0	25,0	—
10,0	12,8	21,2	28	25,0	31,5	—

\* Treba se klouiti vrijednosti u zagradama

Gnijezda sa središnjim kutom 90° (JUS M.A5.211 — 1953) upotrebljavaju se za dijelove s masom većom od 100 kg i pri obradi velikim silama.



Mjere u mm

Promjer $D$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l$	$\sigma^*$
25) ... 63	3	9	12,5	4,5	5,5	1	8
63) ... 100	5	13	18	6,5	8	1,5	11
100) ... 160	8	22	29	11	13	2	18

\* Mjere za mjesto reza na predmetu na kojem ne smije ostati gnijezdo.

Četverobridi za alat

(JUS K.A2.001 - 1969)



Mjere u mm

preporučeni	Promjeri drške <sup>a</sup> $d$		Četverobrid		preporučeni	Promjeri drška <sup>a</sup> $d$		Četverobrid	
	preporučeni	mogući	$a$	$l$		preporučeni	mogući	$a$	$l$
(1,12)	1,06	1,18	0,9	4	(11,2)	10,6	11,8	9	12
1,25	1,18	1,32	1	4	12,5	11,8	13,2	10	13
(1,4)	1,32	1,5	1,12	4	(14)	13,2	15	11,2	14
1,6	1,5	1,7	1,25	4	16	15	17	12,5	16
(1,8)	1,7	1,9	1,4	4	(18)	17	19	14	18
2	1,9	2,12	1,6	4	20	19	21,2	16	20
(2,24)	2,12	2,36	1,8	4	(22,4)	21,2	23,6	18	22
2,5	2,36	2,65	2	4	25	23,6	26,5	20	24
(2,8)	2,65	3	2,24	5	(28)	26,5	30	22,4	28
3,15	3	3,35	2,5	5	31,5	30	33,5	25	31,5
(3,55)	3,35	3,75	2,8	5	(35,5)	33,5	37,5	28	35,5
4	3,75	4,25	3,15	6	40	37,5	42,5	31,5	40
(4,5)	4,25	4,75	3,55	6	(45)	42,5	47,5	35,5	45
5	4,75	5,3	4	7	50	47,5	53	40	50
(5,6)	5,3	6	4,5	7	(56)	53	60	45	56
6,3	6	6,7	5	8	63	60	67	50	63
(7,1)	6,7	7,5	5,6	8	(71)	67	75	56	71
8	7,5	8,5	6,3	9	80	75	85	63	80
(9)	8,5	9,5	7,1	10	(90)	85	95	71	90
10	9,5	10,6	8	10	100	95	106	80	100

<sup>a</sup> Preporučeni promjeri bez zagrada smatraju se osnovnim (u nizi standardnih brojeva R 10), a preporučeni promjeri u zagradama su pomoćni (u nizi standardnih brojeva R 20).

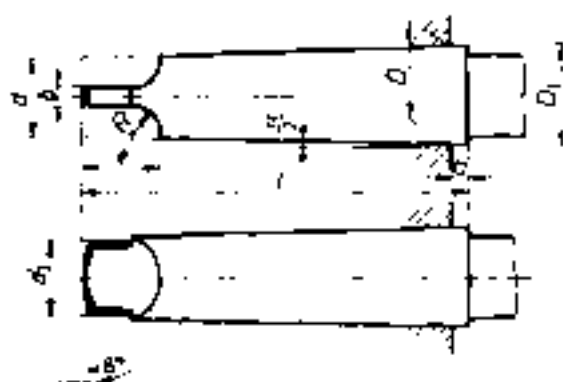
Na drškama promjera do 3 mm prelazi četverobrid redovno u središnji vršak, a na drškama promjera većeg od 3 mm nalazi se na kraju četverobrida središnje gnijezdo oblika A (vidi str. 650)



### Konični dršci za alat

Morseov konus	0	1 : 19,212 = 0,05205
	1	1 : 20,047 = 0,04988
	2	1 : 20,020 = 0,04945
	3	1 : 19,927 = 0,05020
	4	1 : 19,254 = 0,05194
	5	1 : 19,162 = 0,05263
Metrički konus	1	1 : 20 = 0,05

### Vanjski konusi (JUS K.D0 011 - 1982)

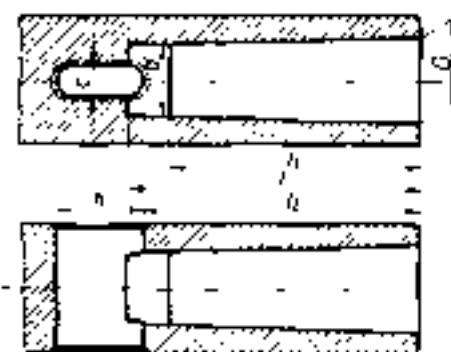


Konus	$\alpha$	Mjere u mm							R	$\alpha$
		$D$	$D_1$	$d$	$d_1$	$l$	$e$	$r$		
Morseov	0	9,045	9,2	6,3	6	54,5	10,5	4	3	
	1	12,065	12,2	9	8,7	65,5	13,5	5	3,5	
	2	17,780	18	14	13,5	80	16	6	5	
	3	23,825	24,1	19,1	18,5	99	20	7	5	
	4	31,267	31,6	25,2	24,5	124	24	8	6,5	
	5	44,399	44,7	36,5	36	156	30	11	6,5	
6	63,348	63,8	52,4	51	218	44	17	8		
metrički	80	80	80,4	69	67	228	48	24	8	
	100	100	100,5	87	85	270	58	30	10	
	120	120	120,6	105	103	312	68	36	12	
	(140)	140	140,7	123	120	354	78	42	14	
	160	160	160,8	141	138	396	88	48	16	
	(180)	180	180,9	159	156	438	98	54	18	
200	200	201	177	174	480	108	60	20		

Osim takvih koničnih držaka upotrebljavaju se i dršci koji na čelu imaju navoj za vijak:

konus	navoj	konus	navoj
Morse 1	M 6	metrički:	M 30
2	M 10		
3	M 12		
4	M 16		
5	M 20		
6	M 24		
		100, 120, 140	M 36
		160, 180, 200	M 48

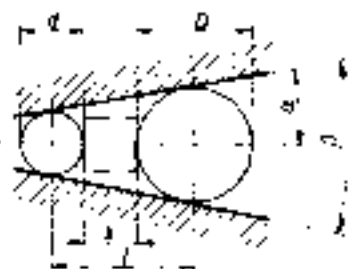
### Unutarnji konusi (JUS M.G0.051 - 1968)



Konus	Mjere u mm						
	$D$	$d$	$l_1$	$l_2$	$e$	$h$	
metrički	4	4	3	20	25	21	2,2
	6	6	4,6	28	34	29	3,2
Morseov	0	9,045	6,7	45	52	49	3,9
	1	12,065	9,7	47	56	52	5,2
	2	17,780	14,9	58	67	62	6,3
	3	23,825	20,2	72	84	78	7,9
	4	31,267	26,5	92	107	98	11,9
	5	44,399	38,2	119	135	125	15,9
6	63,348	54,8	164	188	177	19	
metrički	80	80	71,5	170	202	186	26
	100	100	90	200	240	220	32
	120	120	108,5	230	276	254	38
	(140)	140	127	260	312	286	44
	160	160	145,5	290	350	321	50
	(180)	180	164	330	388	355	56
200	200	182,5	350	424	388	62	

Mjerenje kutova

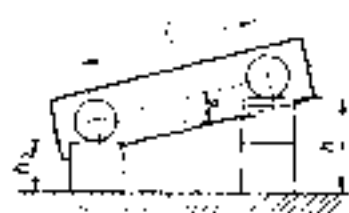
Određivanje kutova pomoću dviju okruglih ploča



$$\sin \alpha = \frac{D-d}{2x + (D+d)}$$

$$x = \frac{D(1 - \sin \alpha) - d(1 + \sin \alpha)}{2 \sin \alpha}$$

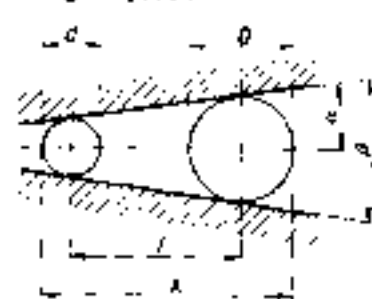
Sinusov postupak



$$\sin \alpha = \frac{h_1 - h_2}{l}$$

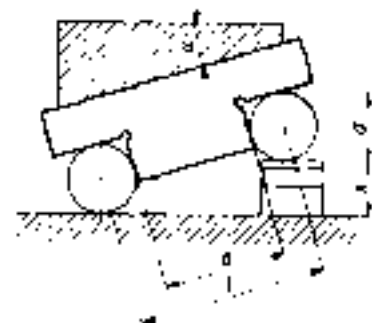
$$h_1 - h_2 = l \sin \alpha$$

Tangensov postupak



$$\sin \alpha = \frac{D-d}{2x - (D+d)}$$

$$x = \frac{D(1 + \sin \alpha) - d(1 - \sin \alpha)}{2 \sin \alpha}$$

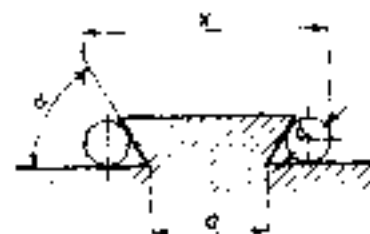
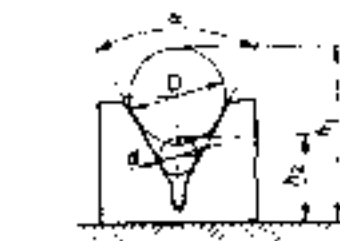


$$\sin \alpha = \frac{x}{l} = \frac{x}{a+d}$$

$$x = l \sin \alpha = (a+d) \sin \alpha$$

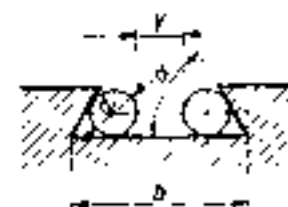
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{D+d+2x}$$

$$x = \frac{D-d}{2} \cot \frac{\alpha}{2} = \frac{D+d}{2}$$



$$x = a + d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2(h_1 - h_2) - (D-d)}$$



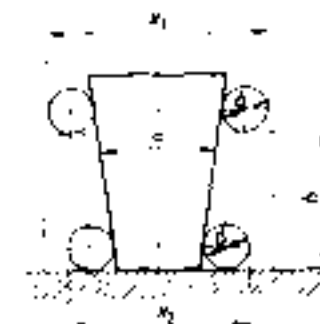
$$y = b - d \left(1 - \cot \frac{\alpha}{2}\right)$$

Mjerenje konusa

Koničnost obično izražavamo omjerom



Vanjski konus

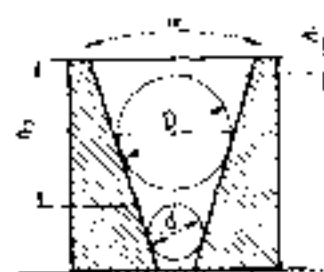


$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{x_1 - x_2}{2h}$$

$$\frac{D-d}{l} = 1:k$$

$$\tan \alpha = \frac{D-d}{2l} = \frac{1}{2k}$$

Unutarnji konus



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2(h_2 - h_1) - (D-d)}$$

**Korozija**

Korozijska je nenamjerni kemijski ili elektrokemijski utjecaj na materijal pri čemu se mijenja njegova struktura od površine prema unutrašnjosti.

Kemijske reakcije javljaju se u prvom redu pri djelovanju električki neodvodljivim tvarima (npr. pri suhim plinovima) na materijal, elektrokemijske reakcije izazivaju električki vodljive tvari (npr. vodljive tekućine - elektroliti).

Prema nastajanju korozije razlikujemo:

- jednoliku koroziju koju u prvom redu izazivaju kemijske reakcije, a pojavljuje se na cjelokupnoj površini predmeta,

- lokalnu koroziju koju većinom izazivaju elektrokemijske reakcije, a ograničena je na određena manja mjesta na predmetu.

Jednolika korozija može neograničeno napredovati, ako produkti korozije pri nastajanju smjesta odlaze s materijala (kao se ljušte, tope, otpadaju) čime omogućuju daljnje korozijsko djelovanje (npr. oksidacija željeza pri visokim temperaturama ili razjedanje Cu s talinom Sn). Jednolika korozija se zaustavlja, ako se produkti korozije tijesno i čvrsto prihvate uz osnovni materijal te ga zaštićuju pred daljnom korozijom (npr. zaštitni sloj na površini pri Pb, Al, Cu ili nevidljivo tanak - i pri Ni, Cr itd.)

*Primjeri otpornosti nekih kovinskih materijala prema jednolikoj koroziji*

Upliv korozije	Kovinski materijal (sastav u postocima)								
	Fe	Cr	Ni	Fe + 18 Cr 8 Ni	Al	Al + 10 Si	Cu	Cu + 8 Sn	Ni + 30 Cu
Voda									
destilirana	--	++	++	--	+	++	+	+	++
meka	--	+	+	--	+	++	+	+	+
tvrđa	+	-	+	++	+	+	+	+	++
morska	-	-	++	-	-	++	-	+	++
Plinovi									
norm. atmosfera	-	++	+	++	++	+	-	++	+
morski zrak	--	+	+	-	-	+	-	++	-
dimni plinovi	-	++	-	++	+	+	-	+	+
pregri. para	++	+	++	++	-	++	-	+	+
Kiseline									
HNO <sub>3</sub> - 10%		-	-	++	-	++	-	-	+
- konc.	--	++	--	++	--	--	--	-	+
HCl - 0,5%	--	--	+	+	-	--	-	+	+
- konc.	-	-	-	-	-	-	-	-	+
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 10%	--	-	--	++	-	-	-	+	+
konc.	++	+	+	+	-	+	-	-	+
Luzine									
KOH - 20%	-	-	++	++	-	--	+	+	++
NaOH - 20%	+	-	+	++	-	--	+	+	++

Ocjene korozijske otpornosti: ++ vrlo dobra, + dobra, + - srednja, - loša, -- vrlo loša

Lokalna korozija je većinom elektrokemijska pojava pri kojoj dvje kovine, različitih elektrokemijskih potencijala, u dodiru s vodljivom tekućinom (elektrolitom) tvore galvanski članak.

Elektrokemijski naponski niz kovina sastavljen je po njihovim normalnim potencijalima s obzirom na normalnu vodikovu elektrodu:

Kovina	Normalni potencijal V	Kovina	Normalni potencijal V	Kovina	Normalni potencijal V
Ka	- 1,92	Fe II	- 0,44	H	± 0,00
Na	- 2,71	Co	- 0,40	Cu II	- 0,34
Mg	- 2,35	Cr	- 0,27	Cu III	- 0,52
Al	- 1,28	Ni	- 0,25	Ag	- 0,81
Mn	- 1,08	Sb	- 0,14	Hg	- 0,85
Zn	- 0,76	Pb	- 0,24	Pt	+ 0,87
Cr	0,56	Fe III	- 0,04	Au	+ 1,50

Kovine manjeg potencijala nazivamo «manje plemenitima», a one većeg potencijala «plemenitijima».

Zbog elektrokemijskog potencijala poteže u galvanskom članku tok elektrona od anode ka katodi. Anoda (manje plemenita kovina) se pritom rastvara (korozija!), a katoda (plemenitija kovina) se prekriva (zaštita).

Raznoliki elektrokemijski potencijal može proizaći iz dviju kovina, dviju faza iste kovine, razlici u strukturi, razlici napetostnog stanja itd. Što veća je potencijalna razlika, to veća će biti lokalna korozija.

Velika otpornost kovina ili njihovih slitina prema jednolikoj (kemijskoj) koroziji ne štiti ih pred lokalnom (elektrokemijskom) korozijom.

**Površinska zaštita**

Pred jednolikom (kemijskom) korozijom štiti kovinske dijelove prikladnim otpornim materijalom.

Ako upotreba nekog prema koroziji otpornog materijala nije prikladna (zaredi čvrstoće, temperaturne otpornosti - ili cijene) dolaze u obzir postupci prevlačenja površinskim slojem: platiniranje (npr. Ni na osnovu Fe), potapljanje (u cink, kositar, olovo), galvaniziranje (niklovanje, kromiranje), navarivanje, sinterovanje, metaliziranje (Zn, Al, Pb, Cu, Cr, Ni), prskanje plazmom i sl.

Zaštita kemijskim postupcima su: brušenje, fosfatiranje, boniranje itd. Prekrivna zaštita su: ulja, maści, premazi, ocakline i plasteni lakovi.

Pred lokalnom (elektrokemijskom) korozijom najlakše je štiti kovinske predmete u suhom prostoru, gdje ne postoji mogućnost stvaranja elektrolita. Ako to nije moguće (na slobodnom prostoru, u vlažnim prostorijama i sl.), treba posebno zaštititi spojeve kovinskih dijelova od vlage. Jednostavno je sredstvo deo namaz mašču. Značajan je i razuman izbor dvaju dijelova u dodiru (kako bi se smanjila elektrokemijska potencijalna razlika). Velikom otpornošću prema koroziji odlikuju se plasti. Stoga pri potrebi naročite otpornosti prema koroziji rješenje treba tražiti u potpuno plastenoj konstrukciji (ili njenim dijelovima).

## RAZNO

### TEHNIČKO PISMO

Zbog preglednosti tehničkog tiska i razlikovanja znakova za veličine i drugih znakova pišu se:

- nagnuto znakovi veličina
- uspravno ostali znakovi

\*

U zapadnonjemačkim standardima (DIN 1338) je određeno što valja pisati (tiskati) uspravno, a što nagnuto, i to:

a) Uspravno se pišu:

- brojevi napisani brojkama, npr.  $1,32 \cdot 10^6$ , 3/4, 625-puta,  $6 \times 10^3$ ,  $a_6$
- posebni brojevi, označeni brojkama:
  - Ludolfov broj  $\pi$ , osnova prirodnih logaritama  $e$ , imaginarna jedinica  $i$  ( $i^2 = -1$ )
  - matematički znakovi određenog značenja, npr.  $d, \partial, \Delta, \int, \sum, \lim, \sin, \cos, \tan, \cot, \log, \ln, \lg$
  - znakovi mjernih jedinica i njihovi mnogokratnici: m (metar), C (kulon), coulomb), F (farad),  $\mu$  (mikro =  $10^{-6}$ ),  $\mu F$  (mikrofarad), mol
- simboli kemijskih elemenata: Fe, H<sub>2</sub>O, NaCl

b) Nagnuto (*kurzivno*) se pišu:

- brojevi napisani slovima:

$$a, b, c, \dots, n\text{-puta}, \sqrt[3]{}, \sum_{i=1}^n k_i, i = 1 \dots n$$

svi simboli fizikalnih veličina.

$m$  (masa),  $C$  (kapacitet),  $F$  (sila),  $\mu$  (koeficijent trenja)

- matematičke oznake funkcija.

$$f(x), g(x), q(x), u(x), L(x) = y'' + f_1 y' + f_2 y$$

Indeksi veličina pišu se uspravno ako su to samo dodatne oznake veličina, npr:

$\alpha_1$  - određeni kut,  $\rho_k$  - kritični tlak,  $v_{\max}$  - najveća brzina,  $\sigma_{\text{dop}}$  - dopušteno naprezanje;

nagnuto (*kurzivno*) se pišu kadu znače slovima napisane brojčane vrijednosti ili veličine

$k_n$  - za  $n = 1, 2, 3, \dots$ ,  $w_x = \partial w / \partial x$  - komponenta brzine u smjeru osi  $x$ ;  $\sigma_z$  - naprezanje u smjeru osi  $z$ ,  $V_p, T_1$  - volumen pri tlaku  $p_1$  i temperaturi  $T_1$ .

### Normalni formati papira

Oznaka	Površina m <sup>2</sup>	Mjere mm
A0	1	841 × 1189
A1	1/2	594 × 841
A2	1/4	420 × 594
A3	1/8	297 × 420
A4	1/16	210 × 297
A5	1/32	148 × 210
A6	1/64	105 × 148

Normalni se formati upotrebljavaju za sve tehničke crteže, za službene dopise i različite tiskanice. Format se mogu upotrebljavati uzdužno ili poprečno. Za crtanje uskih i dugačkih predmeta, objekata i sličnoga dopušta se produženi format, sastavljen od jednakih ili susjednih formata. Okvir crteža odmaknut je od ruba papira 5 mm.

Dimenzije formata redova B i C:

Red	B:	oznaka	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
		mjere (mm)	125 × 176	250 × 353	500 × 707	1000 × 1414			
Red	C:	oznaka	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
		mjere (mm)	114 × 162	229 × 324	458 × 648	917 × 1297			

### Mjerila

Crteže treba raditi samo u standardnim mjerilima.

za naravnu veličinu	1 : 1
za smanjenja	1 : 2, 5 (1 : 2) 1 : 5 1 : 10
	1 : 20 1 : 50 1 : 100
	1 : 200 1 : 500 1 : 1000
za povećanja	1 2 : 1 5 : 1 10 : 1

Treba se kloniti vjerojatnosti u zagradama.

### Grčka slova

$\alpha$ A	alfa	$\eta$ H	eta	$\nu$ N	ni	$\zeta$ Z	zeta
$\beta$ B	beta	$\theta$ (h)eta	$\xi$ E	ksi	$\psi$ Y	ipsilon	
$\gamma$ Γ	gamma	$\iota$ I	iota	$\omicron$ O	omikron	$\phi$ Φ	fi
$\delta$ Δ	delta	$\kappa$ K	kapa	$\pi, \pi$ Π	pi	$\chi$ X	hi
$\epsilon$ E	epsilon	$\lambda$ Λ	lambda	$\rho$ P	ro	$\psi$ Ψ	psi
$\zeta$ Z	(t)izeta	$\mu, \mu$ M	mi	$\sigma, \Sigma, \Sigma$	sigma	$\omega, \Omega, \Omega$	omega

### Rimske brojke

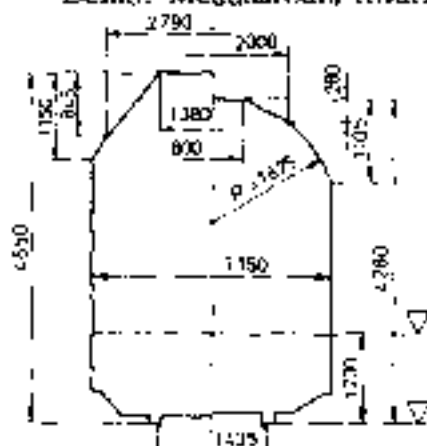
I	= 1	VIII	= 8	LX	= 60	CD	= 400
II	= 2	IX	= 9	LXX	= 70	D	= 500
III	= 3	X	= 10	LXXX	= 80	DC	= 600
IV	= 4	XX	= 20	XC	= 90	DCC	= 700
V	= 5	XXX	= 30	C	= 100	DCCC	= 800
VI	= 6	XLI	= 40	CC	= 200	CM	= 900
VII	= 7	L	= 50	CCC	= 300	M	= 1000

## TOVARNE MJERE ŽELJEZNIČKIH KOLA

Tovarne mjere za kola na prugama normalnog kolosijeka (1435 mm)

Lijevo: Tovarni profil Jugoslavenskih željeznica (JŽ)<sup>1)</sup>

Desno: Međunarodni tovarni profil UIC<sup>2)</sup> (JUS P.A.0.004 - 1972)



Najveće mjere tovara:

- širina do 3150 mm
- visina do 3080 (3450) mm
- duljina do 7,7 (... 22) m
- masa do 15 (... 80) t

Gornji rub tovarne platforme

Gornji rub tračnice

Tovarna širina je ograničena razmakom osovina, tj. razmakom osovina pri dvoosovinskim kolima odnosno razmakom među čepovima obrtnih postolja pri četveroosovinskim kolima. Pri razmaku osi većem od 8 m postoji ograničenje tovarne širine u sredini razmaka osi (na svakoj strani):

razmak osi m:	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	28	30
ograničenje cm:	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	27	35	43	52	62

Tovarna širina kola

Vrsta kola	otvorena	pokrivena	plitka (plato)
dvoosovinska	7,7 m i više	9 m i više	> 12 m
četveroosovinska (s obrtnim postojima)	12 m i više	15 m i više	> 18 m

Opterećenje pruge

Kategorija pruge	Osovinsko opterećenje	Duljinsko opterećenje
A (A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> )	12...16 t	3,5...4,8 t/m
B (B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> )	18 t	5,0...6,4 t/m
C (C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> )	20 t	6,4...8,0 t/m

Nosivost kola

dvoosovinska kola	20 t i više
četveroosovinska kola (s obrt. postojima)	40 t i više*

Za sve prevoze posebnih predmeta (po mjerama i masi) potreban je dogovor sa željezničkom upravom.

<sup>1)</sup> Za pruge Postojna—Sežana i Pivka—Rijeka vrijedi međunarodni profil UIC.

<sup>2)</sup> UIC — *Union International des Chemins de fer.*

\* Specijalna četveroosovinska: do 58 t, šesteroosovinska: do 80 t.

## JUGOSLAVENSKI STANDARDI - JUS

Jugoslavenski se standardi označuju oznakama od dva slova i četiri brojke (npr. »JUS A.A.0.001«). Slovom se označuju grane i glavne skupine standarda; prvom brojkom skupine standarda, a posljednjim triina brojkama pojedini standardi.

Grane i glavne skupine jugoslavenskih standarda

### A. Osnovni i opći standardi

- A.A Osnovni standardi o standardizaciji, standardni brojevi, jedinice itd.
- A.C Terminologija, dokumentacija
- A.D Knjigovodstvo
- A.E Organizacija upravljanja
- A.F Obrada informacija
- A.K Kvalitet i atestiranje proizvoda

### B. Rudarstvo i prerada minerala, ugljena i nafte

### C. Metalurgija i tehnologija prerade kovina

- C.A Osnovni i opći standardi za granu metalurgije i tehnologije prerade kovina
- C.B Osnovni proizvodi crne metalurgije
- C.C Osnovni proizvodi od lakih kovina i njihovih slitina
- C.D Osnovni proizv. od bakra i drugih teško taljivih kovina i njihovih slitina
- C.E Proizvodi od cinka, olova i drugih lako taljivih kovina i njihovih slitina
- C.G Proizvodi od plemenitih kovina i njihovih slitina
- C.H Izvedeni proizvodi crne i obojene metalurgije
- C.J Ljevaonički proizvodi crne i obojene metalurgije
- C.K Proizvodi crne metalurgije s posebnom namjenom
- C.L Proizvodi obojene metalurgije s posebnom namjenom
- C.T Tehnološki procesi prerade kovina
- C.Z Razni standardi na području metalurgije i tehnologije prerade kovina

### D. Šumarstvo, drvna industrija i prerada drvnih tvari

### E. Poljoprivreda, ribarstvo i prehrambena industrija

### F. Tekstilna industrija

### G. Industrija kože, gume i umjetnih masa

### H. Kemijska industrija

### K. Radni i mjerne alat i pribor

- K.A Osnovni i opći standardi o alatu
- K.B Čekići, sjekire, bušaci, čuskuje i sličan alat za kovanje, cijepanje i slične radnje udarcima
- K.C Noževi, škare, sjekala, dljetja, kose, srpovi, ašovi, motike i sličan alat za sječenje jednom ili dvjema oštricama

- K.D. Pile, glodača, svrdla, turpije i sličan rezni alat s više oštrica
- K.E. Probojci, šila, igle i sličan alat za probijanje
- K.F. Alat za brušenje i glačanje
- K.G. Ključašta, stege, ključeva i sličan alat za hvatanje i srezanje
- K.H. Kalupi za kovanje i prešanje, probijanje i sličan alat za oblikovanje; ploče za ravnanje, obilježavanje i slično
- K.J. Lopate, vile, grablje, žlice i sličan alat za grabljanje i hvatanje
- K.L. Četke, češljevi i sličan alat za struganje, glađenje i razmazivanje
- K.M. Posebni alat i pribor za kovinsprečadivačku djelatnost
- K.N. Posebni alat i pribor za preradu drva i drvnih tvari
- K.P. Posebni alat i pribor za poljoprivredu, šumarstvo, lov i ribarstvo te za industriju hrane i pića
- K.R. Posebni alat i pribor za razne industrijske i zanatske djelatnosti
- K.T. Mjerni alat za gruba mjerenja
- K.Z. Razni alat i pribor

#### **I. Mjerni aparati i proizvodi precizne mehanike**

- L.C. Aparati za mjerenje duljine, površine, obujma, kutova i slično
- L.D. Aparati za mjerenje duljine, težine, tlaka, sile, napona i slično
- L.E. Aparati za mjerenje vremena, brzine, prijeđenog puta, izvršenog rada i st
- L.F. Aparati za mjerenje temperature i ostala toplinska mjerenja
- L.G. Aparati za električna mjerenja
- L.I. Aparati za razna tehnička i laboratorijska mjerenja
- L.K. Optički aparati opće namjene
- L.M. Medicinska i kirurški instrumenti i aparati
- L.N. Aparati za regulaciju temperature, vlažnosti i slično
- L.R. Psaći i računski strojevi, aparati za umnožavanje i ostali aparati birotehnike i široke potrošnje

#### **M. Strojogradnja i industrija kovina**

- M.A. Osnovni i opći standardi za granu strojogradnje i industrije kovina
- M.B. Vijci, zakovice i ostali elementi za spajanje
- M.C. Elementi strojeva
- M.D. Radni strojevi i uređaji univerzalnog tipa
- M.E. Termenergetski uređaji
- M.F. Strojevi za transformaciju energije
- M.G. Strojevi i uređaji za obradu kovina skidanjem strugotine
- M.I. Posebni strojevi, uređaji i drugi kovinski proizvodi za rudarstvo i industriju mineralnih proizvoda te za građevinarstvo
- M.K. Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za šumarstvo, drvnu industriju i preradu drvnih tvari
- M.L. Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za poljoprivredu, prehrambenu industriju, kemijsku industriju i industriju nafte

- M.M. Strojevi, uređaji i razni kovinski proizvodi za industriju vlaknastih tvari, kože, gume, snove i plastičnih masa
- M.N. Cestovna vozila
- M.R. Kovinski namještaj, strojevi i kovinski proizvodi za grafičku industriju, kovinski proizvodi za uredske i školske potrebe te za ugostiteljstvo i kućanstvo
- M.T. Kovinski proizvodi za vatrogastvo i službu zdravstvene zaštite
- M.Z. Razni strojevi, uređaji i ostali kovinski proizvodi

#### **N. Elektrotehnika i elektroindustrija**

- N.A. Osnovni i opći standardi iz elektrotehnike i elektroindustrije
- N.B. Proizvodnja, prijenos i razdioba električne energije
- N.C. Električni vodiči
- N.E. Materijal za električne instalacije
- N.F. Materijal za električne, nadzemne i podzemne vodove niskog i visokog napona
- N.G. Električni rotacijski strojevi
- N.H. Transformatori, usmjerači i slični uređaji
- N.I. Elementi, akumulatori i kondenzatori
- N.K. Naprava za uključivanje
- N.L. Električne žarulje i svjetiljke
- N.M. Elektrotehnički proizvodi za potrebe kućanstva
- N.N. Elektronika i telekomunikacije
- N.P. Električna aparatura na vozilima
- N.R. Sastavni dijelovi za elektroniku i telekomunikacije
- N.S. Posebni električni strojevi, uređaji i aparati za industrijske i medicinske svrhe

#### **P. Uređaji, postrojenja i vozila tračničkog prometa**

- P.A. Osnovni i opći standardi u uređajima, postrojenjima i vozilima tračničkog prometa
- P.B. Postrojenja gornjeg struja tračničkog prometa
- P.C. Signalno-sigurnosna postrojenja tračničkog prometa
- P.F. Zajednički elementi tračničkih vozila
- P.G. Kočni uređaji tračničkih vozila
- P.J. Parne lokomotive
- P.N. Putnička, poštanska i četveroosovinska službena kola
- P.P. Teretna i dvoosovinska službena kola
- P.R. Vagoneti i motorna kolica
- P.S. Tračnička vozila posebne namjene

#### **R. Brodogradnja i postrojenja riječnog i pomorskog prometa**

- R.F. Propulzijska brodska sredstva

#### **U. Građevinarstvo**

#### **Z. Standardi, koji ne ulaze ni u jednu posebnu granu standardizacije**

Stranim imenima dodan je priložan izgovor, transkribovan sasto našim slovima

Bach	bah	Martin	martèn
Baum	béim	Mayer	mayer
Baumé	bomé	Maxwell	mékswel
Beaulort	bofor	Mishura	mišima
Becquerel	békeref	Mohr	mor
Bernoulli	bernúli	Mollier	móljer
Bessemer	bésemer	Mixuly	mudi
Bohler	béfer	Newton	njutn
Bohr	bor	Oersted	ésted
Boltzmann	bóltman	Otm	otm
Bosle	bojl	Otto	óto
Breggs	brigs	Pascal	paskál
Bronell	brónel	Périer	peké
Carnot	karnó	Pelton	pélta
Charpy	šarpi	Poiseuille	poazej
Clapeyron	klápejron	Poisson	poason
Clausius	kláuzius	Prandtl	prantl
Colebrook	kóulbruk	Redwood	redvud
Coufombi	kulón	Renard	renár
Cremona	kremóna	Reynolds	rénelds
Culmann	kólman	Richter	rítter
Curie	kiri	Rockwell	rókvel
Curtis	kértis	Ruse	róze
D'Alembert	dalanbér	Rusin	rózin
Dalton	dóltón	Röntgen	réntgen
Darcy	darsi	Sankey	senki
Descartes	dekárt	Savohi	sávóft
Diesel	dízil	Schmidt	šmit
Einstein	ájštajn	Scale	sil
Euler	ejler	Shore	šor
Fahrenheit	fárhajt	Siemens	siemens
Faraday	fáredá	Sivert	sivert
Fetling	fétling	Smith	smil
Francis	frénsis	Stauffler	štáufler
Gause	gáus	Stefan	štéfan
Gay-Lussac	gejlasák	Stecher	štájer
Giorgi	džórdži	Student	študent
Grashof	gráshof	Taylor	téjlr
Gray	grej	Thomas	tómas
Guldin	gulđin	Thomson	tómsón
Henry	henn	Torricelli	turicéli
Hertz	herc	Vickers	vikers
Hoeké	huk	Warrington	uoringtón
Joule	džul	Watt	uót
Kirchhoff	kirkhof	Wheatstone	vitsstón
Laplace	laplás	Wöhler	veler
Mariotte	maríót	Wood	vud

U prvom izdanjima priručnika brojčani su podaci sabrani iz slijedećih djela:

#### Techniques de l'Ingénieur

Généralités, tomes I, II et III

Mécanique et Chaleur, tomes I et II

Métallurgie, tomes I, II et III

*Naklada:* Techniques de l'Ingénieur, Paris.

#### Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch

Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, E. V. in Berlin,  
Band I: Theoretische Grundlagen (HÜTTE I).

Band II A: Maschinenbau, Teil A (HÜTTE II A).

Band II B: Maschinenbau, Teil B (HÜTTE II B)

Band V: Verkehrstechnik-Vermessungstechnik (HÜTTE V).

*Naklada:* Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

#### Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure (Betriebshütte)

Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, E. V. in Berlin,  
Band I: Fertigung.

Band II: Betrieb.

*Naklada:* Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin

#### Dubbel's Taschenbuch für den Maschinenbau

Band I und II

*Naklada:* Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

#### Машиностроение: Энциклопедический справочник

Том 1 и 2: Инженерные расчёты в машиностроении.

Том 3 и 4: Материалы машиностроения.

*Naklada:* Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Москва.

#### Schmidt, E.: Properties of Water and Steam in SI-Units

*Naklada:* Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

#### Standardi

JUS – Jugoslavenski standardi.

ISO – International Standardizing Organization.

DIN – Deutsche (Industrie-) Norm.

\*

U ovom, potpuno pretrađenom izdanju priručnika – svim prijašnjih – uzeti su u obzir najnoviji podaci iz zakona o mjernim jedinicama i mjerenjima te iz (dostupne) suvremene znanstvene i stručne literature – iz knjiga i revija.

- acetilen 93, 94, 163, 206, 207  
 aceton 93, 94  
 aciklički spojevi 92  
 adijabata 161  
 adižni čili  
 aerodinamički otpor 147  
 aerosoli 97  
 arištajrij 78  
 akceleracija – vidi ubrzanje  
 aktinij 77  
 aktivnost radioaktivnog izvora 68  
 akumulacija vode 134  
 akumulator 279  
 akustika 288  
 alajni čelik 357, 379  
 alati strojevi (inaz.) 607  
 aldehidi 93  
 alfanumerički podaci 304  
 algebarske jednačbe 27  
 algoritam 308  
 alifatski spojevi 92  
 alkalne kovine 80  
 alkalni oksidi 34  
 alkanoli 93  
 alkani 93  
 alkanoli 93  
 alkanoni 93  
 alkanske kiseline 93  
 alkeni 94  
 alkoh 97  
 alijini 93  
 alkoholi, vidi alkanoli  
 alpaka 464  
 aluminij 76, 80, 98, 112, 138, 215, 219,  
 257, 261, 289  
 aluminijaska bronca 403, 408  
 aluminijski oksid 94  
 aluminijске slitine 98, 112, 397  
 aluminijски poluprovodnik 451  
 aluminitermičko zavarivanje 621, 622,  
 623  
 američki 74  
 amidi 95  
 amoni 93  
 aminglasti 473  
 amonič 83  
 amonijakova vrelica 88  
 amonijak 83, 167, 189, 217, 214  
 amonijски hidroksid 87  
 amonijске soli 91  
 amperi 54  
 amplituda 34, 125  
 analitička geometrija 30  
 analogna tehnika 302  
 anergija 166  
 anglosasko mjere 71  
 angstrom 71  
 anili 95  
 anion 78  
 anorganski spojevi 82, 92, 97  
 antikomodal (antacrodal) 393  
 antimon 77, 80  
 aparaturna oprema 307  
 apsolutna nula 66  
 apsolutni rad 166  
 apsolutna vrijednost 26  
 apsorbirana doza ionizirajućeg zračenja 68  
 apsorpcijska koeficijent 218  
 az 58  
 azidit 481  
 argenium 404  
 argon 76, 81, 159, 161  
 argument 43  
 Arhimedov zakon 134  
 arhimedovski teži 22  
 arsen 76, 80  
 asfalt 99, 217, 284  
 asimptota 32  
 asinhroni motori 271  
 astar 77  
 atmosfera (mjera) 92  
 atmosferski tlak 155  
 atmosfersko stanje 135  
 aton 58  
 atom 75  
 atomska jedinica mase 63  
 atomska masa 75  
 atomske veze 82  
 austenit 344, 345  
 austenitni čelik 346  
 autogeno rezanje, vidi rezanje kovina pla-  
 menom  
 automatizacija 291  
 Avogadrov zakon 162  
 Avogadrova konstanta 55  
 azbest 99, 216



- Nachov faktor i 23  
 načvasta ležalj 546  
 najam, *vidi* lezari  
 Nansonov dijagram 545  
 najt 307  
 bakar 76, 81, 98, 112, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 400  
 bakelit 217, 264, 481  
 bakrene slitine 394, 519  
 bakrene soli 90  
 bakreni oksidi 401, 405  
 bakreni poluprovodi 462  
 bar 62  
 barij 77, 80  
 barijske soli 90  
 barij 89, 90  
 barn 71  
 barometarski tlak, *vidi* atmosferski tlak  
 barye 72  
 Baumera atmosferska skala 74  
 baze 47  
 Beaufortova skala 74  
 bern 345  
 bekerel 57  
 benzen 93, 95, 159, 203, 206, 207  
 benzin 99, 159, 206, 207  
 benzol, *vidi* benzen  
 berilij 76, 80  
 beckelj 78  
 Bernoullijeva jednačba, za kapljavine 136 za plinove 200  
 beton 100, 159, 216, 469  
 bijela kovina 98, 413  
 bijeli ljev 545  
 biooni 26  
 bi 305  
 bizmut 77, 80  
 blanpatje 637  
 bulor 74  
 Bohrov model atoma 75  
 boksit 49  
 Bodeove funkcije 305  
 bor 76, 80  
 boraks 631  
 Borj, *vidi* hamj  
 borni karbid 85, 644  
 borova skupina elemenata 80  
 Boyle-Marriottov zakon 162  
 bračavični zavrt 621  
 Briggsovi logaritmi 5  
 briken 99  
 Brinell tvrdnja po 377  
 brošane jednadžbe 57  
 brom 76, 81  
 bromovodik 83, 87, 88  
 bromovodična kiselina 87, 88  
 bronca 98, 158, 215, 257, 403, 406  
 brusovi 644  
 brusenje 644  
 brzina 62, kutna - 62, - vrtnje 62, 125, -- kritična 132, -- specifična 152, 155, brzina ispuštanja 138, - svjetlosti 62, 288, zvuka 201, 289  
 brzorazni čelik 98, 383  
 bura 96  
 bušenje 634  
 butan 92, 94, 207  
 butanal 108  
 butanol 108  
 butanska kiselina 94  
 buten 94  
 butil 97  
 butilalkohol 94  
 butilen 94  
 butin 94  
 byre 307  
 candela 54  
 Carnotov kristni proces 161  
 cekat 257, 268, 416  
 celofan 99  
 celuloza 99, 159, 217, 473  
 celulozi 95, 96  
 Čelzijeva stupnjeva 66  
 cimen 99, 100, 469  
 cementiranje (ugljičeno) čelika 351  
 cementi 85, 344, vrstni - 545  
 cent 71  
 centi- 52  
 centrifugalna sila 130  
 centrifugalne pumpe 152  
 cer 77  
 cezy 77, 80  
 Charpyjev pokus 419  
 chip 307  
 cijan 83  
 zmanjavanje čelika 352  
 cijankalij 90  
 cijanovodik 83, 87, 88  
 cijanovodična kiselina 87, 88  
 čijevi, - od svog ljeva 418, čelične - 424, - od alumina 459, bakrene - 464  
 čijevni navorj 519  
 cikličke krivulje 17  
 ciklički spojevi 92  
 ciklobutan 93, 94  
 ciklobuten 94  
 cikloda 32  
 ciklometrijske funkcije 35  
 cilindarsko ulje 99, 605  
 cin, *vidi* kuzilar  
 cinične slitine 411  
 cinične soli 91  
 cinični oksidi 84  
 cinični poluprovodi 468  
 cinično bjelilo 84  
 cink 76, 81, 98, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 411, 468  
 cirkonij 76, 81  
 cirkulacijsko ulje 603  
 Clapeyronova jednačba 168  
 Clausius 160  
 cel (palet) 71  
 Celsijevska jednačba 141  
 coulomb 57  
 Cremonin plan 105  
 crvena kovina 407  
 crveni ljev 158, 215, 407  
 Calmannov pravac 102  
 cune 73  
 Curiejeva temperatura 343  
 curij, *vidi* kiti  
 Curisova kula 231  
 celik 98, 112, 158, 215, 219, 257, 343, 357, 358, 386  
 čelik za automate 370  
 čelični ljev 112, 384  
 čelični poluprovodi 427  
 čelini, parovi 561  
 četverohridi za alate 651  
 četverokuti 18  
 četverotaktni motori 239  
 čip 307  
 člankasti lanci 558  
 čuniojedince 31  
 čvor 72  
 čvrstoća 112, vlačna - 315, trajna - 320, - zupčanika 568  
 D'Alembertov princip 126  
 Daltonov zakon, -- za plinove 167 -- za smjesu plinova i para 193  
 dan 67  
 Darcejeva jednačba 147  
 daci- 55  
 decibel 290  
 dermalne mjerni jedinice 58  
 deformacijski čud 117, 118  
 deka 58  
 dekrement (logaritamski) 35  
 De Lavalova sapnica 261  
 delta kvadrant 98  
 derivacija, funkcije 36 parcijalna - 37, - vektora 47  
 determinante 24  
 dielektrična konstanta 264  
 Diesel-motor, (dizel m.) 255, 595  
 diferencijalne funkcije 36  
 diferencijalne jednačbe 42  
 difluordiklorometan 95, 163, 190  
 difluoromonoklorometan 191  
 difuzijsko zarenje čelika 348  
 digitalna tehnika 303  
 dijagram JTT 345  
 dijagrami  $\alpha$ ,  $\beta$  313  
 dijaman 85, 159, 644  
 diklorometan 95, 189  
 dilatacija 157  
 dimni plinovi 202  
 din 72  
 dinamička čvrstoća 320, 539  
 dinamička viskoznost 65, 133  
 dinamička ravnoteža 130  
 dinamika 124, hidro- 136  
 dohera cilindar 561  
 digita 281  
 diskovi, diskete 306  
 diskretni signali 300  
 diskriminanta 27  
 dispergent 97  
 disperzni sistemi 97  
 disperzija 77  
 distribucija, *vidi* razdoba  
 dobavna visina (pumpe) 148  
 dolomit 90  
 dopuštena naprezanja 632 - trajna snaga 275 - uisna visina 149  
 dosjedanje strojnih lješeva 486  
 dosjeti 494, navojni - 518  
 došci za alat (komorni) 652  
 drveni ugljen 206, 217  
 dva 59, 100, 112, 206, 207, 217, 219, 249, 472  
 dubljenje 637  
 duboko isvlacenje 619  
 duhovska masa 55  
 duhovske mjere 58, standardne 484  
 duralumin 98, 158, 215, 393  
 duranoli 495

dioplasti 473, 481  
dušična kiselina 87, 88  
dušični oksidi 84  
dušik 76, 80, 85, 159, 163, 164  
dušikova skupina elemenata 80  
dvostruki integral 41  
dvotaktni motor 219  
džul 56, 57

ebonit 217  
Edisonov navoj 530  
ekonomičniji, vidi zaigrivač vode  
cisa- 58  
eksergija 160  
ekstermične reakcije 85  
eksplozivna funkcija 34  
eksplozivna jedinjenja 29  
ekspozicija 3  
ekvivalentna doza ionizirajućeg zračenja  
68  
ekstremna funkcija 47  
ekvivalentna doza ionizirajućeg zračenja  
68  
elasti 471, 480  
elastična krivulja 174  
elastični modul, vidi modul elastičnosti  
elastičnosti granica – i 113  
elektricitet 69  
električna jakost polja 69, 264  
– mjerila 286  
električna raspodjela 370  
struja 69  
– vodljivost 69, 256  
električne mjere 69  
– veličine 69  
električni generator 266  
– naboj 69  
– napon 69  
– diškolapsuski vodovi 274  
– otpor 69, 256  
– vrhovi 290  
električno grijanje 268  
– polje 262, 264  
elektrone za lučni zavaranje 626  
elektrosenzivna obrada 647  
elektrografit 268  
elektrokemijski ekvivalenti 261  
elektrolitski banki 400  
elektromagnetski valovi 288  
elektromotori 272  
elektron (fiz.) 75  
elektron (kovina) 98, 215, 248  
elektronika 280

elektronika 280  
elektronska obrada površinska 301  
elektronvolt 66  
elektrotehnika 255  
elektrovalentne veze 82  
elementi (kem.) 75, 97  
elementi (stroj.) 148  
elipsa 19, 31  
emajl 219  
emisijski koeficijent 214  
emulzija 97  
endotermijske reakcije 83  
energetske veličine 66  
energija 66, kinetička – 127, potencijalna  
– 173, unutarnja – 160  
Englerovi stupnjevi 72  
entalpija 67, 157, 160  
entropija 67, 160  
epicikloda 32  
epoksidi 93  
epoksična smola 473  
epuracija, vidi ispitni uzorak  
erija 77  
erg 73  
Erichsenov pokus 318  
erozija kopanja 237  
ester 93  
etan 93, 94, 163, 207  
etanol 93, 94  
etandiol 95  
etanol 93, 94, 159, 203, 206  
etanska kiselina 93, 94  
etan 93, 94, 163, 203  
eter 95  
etil 97  
etilalkohol 93, 94, 207  
etilena 94, 163  
etilendiklorid 95  
etan 93, 94, 163, 203, 206  
Eulerov broj (e) 7  
Eulerova jednačina (izvijanje) 120  
eurapij 77  
euzekritik 347  
evolventa 33  
evntentni zupčanici 560  
fadom 71  
Fahrenheitovi stupnjevi 73  
faktor grupanja 150  
fatad 57  
Faradjev zakon 261  
faza 97  
fazna struja 267

fazna struja 267  
– punak 266  
ferito- 58  
ferol 93, 95  
fenolftalein 95  
fenolna smola (fenoplast) 473  
ferit 341  
feritni čelik 346  
feritij 78  
fiksnina sol 91  
filtriranje 97  
fluid 133  
fluor 76, 84  
fluorovodik 83, 87, 88  
fluorovodična kiselina 87, 88  
formaldehid 93, 94  
formalin 94  
formati papira 659  
fosfidi 86  
fosfor 76, 80, 86  
fosforna kiselina 87, 88  
fosfori oksidi 84  
fosforovodnik 83, 87  
fosforovodična kiselina 87  
frakcionirana destilacija 206  
francu 77  
Francisove turbine 155  
frakcijska n2. utrajna – 125, – izmjenične  
– struje 266, kružna – 131  
freon 95  
funkcije 33, trigonometrijske – 10  
lunla 71  
furtir 472  
gađilino 77  
ga<sup>3</sup> 71  
galea 90  
gasij 76, 80  
gama-zrake 288, 377  
gauss 73  
Gaussova krivulja 57  
Gay-Lussacov zakon 162  
generator, planski – 266, električni – 266,  
– 278  
generatorski plin 206  
geometrijski red 23  
geometrijske veličine 54  
germanij 76, 80, 280  
gibanje, jednoliko – 124, jednoliko ubrza-  
no – 124, kružno – 125  
giga 58  
Giorgijev apsolutni sustav jedinica 54  
gips 90

Glauberova sol 91  
glicerina 94, 95, 159  
glikol 95  
glini 471  
glinica 84, 471  
glodanje 641  
glukoza 95  
gnojzda, srednja – 680  
gon 60  
gorište 602  
goriva 202, 206  
goriva sol 91  
gradiva 100  
gradus 60  
grafit 85, 99, 159, 344  
grau 63  
granica elastičnosti 313  
– plastičnosti 316  
– pušenja 320  
granit 100, 216  
Grasshofova značajka 210  
gray 57  
grčka slova 659  
grec 57  
greške mjerenja 52  
gripanje, električno – 268  
grotlani plin 297  
Gružinova pravila 40  
guma 99, 217, 264, 289  
gustina 63, 98  
– magnetskog toka 76, 262  
– naboja 264  
hafnij 71, 81  
halogeni 80  
halogeni 81  
Hamiltonov operator 3  
banij 78  
harmonijsko titanje 125  
Hejnerova svijetla 74  
heksagonalna rešetka 341  
hektar 59  
hektar- 58  
hefij 76, 81, 159, 164  
hept 71  
hevi 57  
Heizov tlak 568  
Hessov zakon 84  
heterogene smjese 97  
heterogolne veze 82  
hidraulička ulja 605  
hidraulička prečmaer 140  
– strojevi 148

hidridi 83  
hidriranje 206  
hidrodinamika 136  
hidroksibenzen 95  
hidroksidi 87  
hidroksil 87  
hidromehanika 153  
hidrometrij 393  
hidrostatika 133  
hidrostatska tlak 133  
hiperbola 30, 32  
hiperbolne funkcije 35  
hiperboloidni zupčanici 573  
hipocloridi 38  
hipotenuza 10  
histereza (magn.) 262  
histogram 50  
hitač, kosi 125  
hladniak 250, 257  
hlađenje 199  
holmičij 77  
homopolarne veze 82  
homogene smjese 47  
honanje 647  
Hookov zakon 112  
hlapivost (hidr.) 142  
- površina 500  
Huberov faktor 127

idealni fluid 135  
- plin 162  
imaginarna jedinica (i) 1  
impedancija 266  
impuls sile 65, 128  
impulsn stavak 137  
inč 71  
indirektna snaga 229  
indirektni tlak 229, 242  
inčij 77, 80  
indikator (za pH) 88  
indikatorski dijagram 240, 245  
indukcija, magnetska 70, 262  
induktivsku zavajanje 621  
induktivnost 266  
induktivnost 70, 263  
inleksija funkcije 37  
informatika 301  
infracrveno zračenje 288  
infrazvuk 289  
integral 38  
involuta, vidi evolventa  
um 78  
ionske veze 82

iridij 77, 81, 158  
iskrenje, pokus - m 138  
isparsivač 234  
isplivanje, - čvrstoće na vlak 314, - - na savijanje 317 - - na tlak 317, udarni - 319, - žica 318, - dubokog izvlačenja 318, - tvrdoće kovina 322, - bez oštećivanja 336, - sustava materijala 328, - tvrdoće plastu 334, - materijala 313, - trajne čvrstoće 320  
isplivni uzorak (epitvetal) 314  
ispravljači 282  
iskakanje 619  
istjecanje, brzina - a kapljevine 138, - - plina 200 - količina a kapljevine 138, - - plina 200 - kroz sapunice 201  
istovajerna struja (elektr.) 256  
istovajerni tok (topl. protok) 221  
iterbij 77  
itrij 76  
ivanice 472  
izentalpa 163  
izentropa, - plinova 166, - para 192  
izmjedična struja 266  
izmjerena vrijednost 52  
izmjenjivači toplinu 221, 223, 224  
izobara, - plinova 166, - para 192  
izodant 92  
izohigra 199  
izoterm, - plinova 166, - para 192  
izolacijsko ulje 607  
izoliranje 276  
izometri 92  
izokanta 94  
izoterma, - plinova 166, - para 192  
izotop 78  
izvedene jedinice 53  
izvijanje 120, kuehlijenti - a 121

jakost energetskog zračenja 70  
jakost magnetskog polja, vidi magnetska jakost polja  
jalov otpor 266  
jalov učin 267  
jarč 71  
jedinice 53, stare - 71  
jednadžba stanja plina 167  
- kontinuiteta 136, 200  
jednadžbe, algebarske - 27, transcendente - 29,  
jednakokranični tokovi 16

jednofazna struja 267  
jednofazni motor 277  
jednoliko gibanje 124  
jednoliko kružno gibanje 125  
jezgra, polimer jezgre 122  
jezgra, atomska - 75, - presjeka 122  
jezgrenik 613  
jod 77, 81  
jodovodik 85, 87, 88  
jodovodična kiselina 87, 88  
joule 160  
joule 56, 57  
Jouleova toplina 268  
joule Thomsonov efekt 192  
jugoslavenski standardi JUS 661

kadmij 71, 81, 158  
kalaj 76, 80  
kalendarske sili 90  
kalcijski hidroksid 87  
kalcijski klorid 85  
kaldronij 78  
kalij 76, 80, 261  
kalijaska ožina 88  
kalijске soli 90, 91  
kalijski hidroksid 87, 88  
kaljenje, - celika 350, - aluminijskih slitina - 393  
kalorija 73  
kalorijska vrijednost 203  
kalupi 613  
kandela 54  
kanta 257, 268, 416  
katal 471  
kapacitancija 266  
kapacitet, toplinski - 67, električni - 70, 265  
Kaplanova turbina 155  
kapljište ulja 602  
karakteristika, - logaritma 5, - goriva 202, - geometrijska - presjeka 113  
karat 71  
karbidi 85  
karboksil 93  
karbonil 93  
karbonske kiseline 93  
karborund 84, 268, 471  
kasiopej, vidi lutecij  
kateta 10  
katijon 74  
katodni bakar 400  
katran 99, 206  
katransko ulje 99

kautčuk 99, 473, 480  
kavitacija 149, 153  
kelvin 54  
kemijska analiza 338  
kemijske reakcije 83  
kemijske veze 82  
kemijski elementi 76  
kemijski spojevi 82  
kemijski materijal 99, 470  
ketoni 93  
kibernetika 201  
kilo- 58  
kilogram 54  
kilokatorija 74  
kalopund 77  
kilovat 66  
kilovatsat 66  
kinematika 174, 176  
kinematska viskoznost 65, 132  
kinematski, - stožac 572, - valjak 361  
kinesko srebro 404  
kinetička energija 127  
kinetički tlak 147  
kinetika 174, 126  
Kirchhoffov zakon (topl.) 218  
Kirchhoffovi zakoni (el.) 256  
kirit 78  
kiseline 87  
kisele 76, 80, 84, 163, 164, 262  
ključačica 255  
kilo 21  
klinasti utori (trenje) 110  
- spojevi 548  
klisto renčenje 255  
klizna ležaj 576  
klor 76, 81  
klorid 89  
klorna kiselina 88  
kloroform 95  
klorovodična kiselina 87, 88  
klorovodik 83, 87, 88  
kobalt 76, 81, 158  
koeka 20  
kodažnje 304  
koeficijent, - apsorpcije 218, - emisije 218, - gubitaka 157, - oblika 577, - temperaturnog rastezanja 67, 157, - trenja (hidr.) 141, - - (krut. tijela) 109  
koercitivna sila 262  
koerzat 416  
kolimativne jedinice 54  
kukule 615  
koks 99, 206, 207, 217

koksni praš 200, 207  
kolektivski motič 272  
kohena, – gibanja 65, 128, – isjecanja 138, 200, – dimnih prašova 202, – elektroneit-  
ta 69  
kolofoni 99  
koloidna, – emulzija 97, – pjena 97,  
– rastopina 97  
kolumbij (Cb), vidi niobij  
kolutno tjeđe (211)  
– varenje 621  
kombinatorika 72  
komponente sife 101  
kompresori 242, 245  
kompjuterska ulja 605  
kondenzacija 252  
kondenzator ledi 265  
– (topl.) 248  
konične drže 651  
konjska snaga 75  
konstanta, Avogadrova – 55,  
plimska – 162, – zračenja 218  
konstanta 98, 158, 257, 416  
konstrukcijski čelik 357, 360  
kontinuitet, jednadžba – a 136, 200  
kontrakcija materijala 315  
– mlaza 138, 200  
konus, Morsens – 652, metrički – 653,  
mjerena – a 654  
kopolimerizacija 96  
korak (zupč.) 561  
korelacija 52  
korijeni 3  
korozija 656  
korund 84, 99, 159, 470, 644  
kosi hitac 125  
kovina 101, 34  
kovinsov stavak 17  
kovinar 77, 80, 98, 158, 213, 219, 257, 261,  
289  
kovirena linzica 403, 406  
kovirene slitine 413  
kovokutni trokut 17  
kotangens 10, 34  
krtovae 216  
krtovski, parni – 221  
krtovski hm 374  
kovačko zavarivanje 621  
kvaenje 618  
kvalentne veze 82  
kovina, bijela – vidi kovirene slitine za  
ležaje  
kovine 78, 98, lake – 392

kovinske veze 82  
kovinski karbidi 85, – materijali 340,  
– oksidi 84, – poluproizvodi 418  
kozmičke zrake 288  
krcda 90, 99  
kreiranje 206  
kremen 84, 99, 216, 264, 471  
krtke tvari 316  
krtoli 99  
krtovi 76, 81  
krtoli – rastopinski 342  
krtalna rešetka 341  
krtulja magnetiziranja 263  
krtva 76, 81, 219  
krtut 471  
krtom, – karbidi 85, – oksidi 84  
krtug 19  
krtišre ulja 607  
krtžna, frekvencija 62, 131  
krtžni proces 161  
– prsten 19  
krtžnica 51  
krtžna gibanje 125  
krtvi lužac 91  
krtzon 77, 81  
krtoli 91  
krtva rešetka 341  
krtvi metar 59, standardni (nomini)  
– 74  
krtva 21  
krtlični ležaji 577  
krtvinska sol 89, 91  
krtvi 57  
krtelji (topl. obrata) 353  
krtelovoj 78  
krt 60, mjerenje –ova 654  
krt, lazni – 266, – prirodniog pokosa 100  
krtva brzina 62, 125, krtična – 132  
krtva minuta 60, sekunda 60  
krtva luskacije 54  
– mreže 60  
krtvi stupanj 60  
– pcedni, čelčni – – 406,  
aluminijski – – 456  
krtvo ubrzanje 62, 125  
krtvi na zrtu 623  
kvadrat 18, 19  
kvadratne jednadžbe 27, 310  
kvadratni metar 59  
kvadrati 268  
kvant 71  
kvantni 494

lak 219  
lake kovine 392  
laminarno strujanje 136  
lanca, čelčni – 449, čelčni – 558  
laneno ulje 99  
lantani 77  
lantandi 79  
Laplacov operator 2  
Laplacova transformacija 48  
Lavalova brzina 201  
led 99, 216, 219, 289  
ledebniti 344  
ledebniti čelik 346  
leđišta vodnih ottopna 257  
legirani čelci 357  
lemljeni spojevi 546  
lemljenje 631  
lemona 414  
lepanje 647  
ležaji 576  
ležajna ulja 603  
ležajne slitine 413  
lijev, sivi – 354, čelčni – 384,  
– temperovani – 356  
ljevanje 613  
ljevano željezo 354  
likovi, geometrijski 16, težista – a 107  
lin, čelčni – 372, 433, aluminijski – 458,  
– bakreni – 462  
linearne jednadžbe 27, 28  
linaje, težiste – a 106  
linijska struja 267  
linijski napori 267  
litai 59  
litai, atmosfera 73  
litij 76, 80  
logaritamska funkcija 34  
– temperaturna razlika 221  
logaritamske jednadžbe 29  
logaritamski dekadenci 35  
logaritmi 4, dekadski (Briggsovi) – 5,  
– prirodni – 5  
luencij 78  
lužnja mređa 723  
lužista 262  
lužna ulja 99, 206, 207  
lučni mjera 60  
lučni zavarivanje 622, 626  
Ludollov broj (L) 2  
luk (krtžni) 19, 39  
luka 57  
lutica 57  
luteci 77

ljevenka, azbestna – 99, tvrda – 264  
ljepljeni spojevi 546  
ljepljenje 546, 631  
ljevačko zavarivanje 622  
lješke atomske jezgre 75  
magnet 263  
magnetska indukcija 70, 261  
magnetski lim 369  
– tok 70  
magnetsko ispitivanje 336  
– polje 262  
magnezij 76, 80, 112, 158, 215, 257, 261  
magnezija 84, 159  
magnezijske, – slitine 112, 398, – soli 91  
magnezit 91, 471  
makroskopski pregled 340  
maksimum funkcije 17  
mangan 76, 81, 158  
manganin 98, 158, 257, 416  
manganski oksidi 84  
mantisa logaritima 5  
Marionte 162  
martenzit 345  
masa 63, 96, molna – 82, relativna atom-  
ska – 75  
masene veličine 63  
maseni broj elemenata 75  
– protok 61, 159  
– moment inercije 128, 129  
maslena kiselina 94  
masi 99, 601, 608  
matematika 1  
materijali 160  
matice 550  
matrice 25  
maxwell 73  
Mayer 160  
maziva 601  
mazut 206  
međupredni sustav jedinica SI 53, 54  
međusni razmak 369  
međupregrijavanje pare 237  
mega 58  
mehanika 98, hidro- 135  
melaninska smola 473  
menarije 306  
mendeljev 78  
Mendeljejev, periodični sistem elemenata  
– pu – 79  
metalografski pregledi 340  
metar 93, 94, 163, 203  
metanol 93, 94  
metanol 93, 94

metanska kiselina 93, 94  
metar 54, kvadrati – 59, kubni – 59  
metastabilni sustav željezo-ugljik 344  
metri 92  
metilalkohol 93, 94  
metiltenklorid 95, 189  
metilskromid 95, 189  
metrički, konus 652, – naziv 304  
mješavina plin 306  
miješanje 167, 199  
mješavica, kristali – 342  
mikro- 58  
mikron 77  
mikroskopski pregled 340  
mikrovalovi 288  
mili- 58  
milja, morska – 59  
minimani funkcije 47  
minuta, vremenska – 62, kutna – 59  
Mishima – slatina 416  
mješani poluprovodiči 468  
mijedi (slatine) 198, 112, 158, 215, 219, 257, 401, 405, 468  
mjera raspanja, vidi varijanca  
mjera 53, – veličina 59, stare – 71, anglosaske – 71  
mjerne jedinice električnih veličina 266  
mjerila (serie) 639  
mjerila temperature, otporna – – 274, termoelektrična – – 259  
mjerne greške (greške mjerenja) 52  
mlazni (reaktivni) motori 249  
mnogokati, vidi otokati  
moduli, vidi kalupi  
modificirani ljevi 115  
modifikacije 341, – željeza 343  
modra galica 90  
modul elastičnosti 112, 313  
moduli zupčanika 369  
Mohrov faktor 123  
mol 54  
molarnost 66  
molekule 82  
mohden 76, 81, 158, 268  
Mullerov li. s. – dijagram za vodenu paru 268, 170, 171  
– li. s. – dijagram za vlažni zrak 196  
molna, – entalpija 68, – entropija 68, – masa 68,  
molne veličine 68  
molni, volumen 68, toplinski kapacitet 68  
momenti, sile 65, statički plohe 113,

– inercije plohe 113, 116, – savijanja 114, – otpora presjeka 114, 116, – torzi-  
je 117, – zamaha 128, zakretu – 65, 126,  
– inercije mase 63, 128, 129  
momen 98, 215, 409  
molekularni difuzijski koeficijent 95, 191  
molekularni difuzijski koeficijent 95, 190  
molekularitet 95  
molekularitet 95  
molekularitet 95, 116, 189, 214  
momen 96  
Moodyjeva jednadžba 142  
Morseov konus 657  
morska milja 59  
– voda 59  
motori, – s unutarnjim izgaranjem 239, električni 277  
motorna ulja 606  
motor 100, 215, 219, 264  
mravlja kiselina 93, 94

nahla 2  
nadmjerne lijeve 673  
nafta 99, 266  
naftalen (naltan) 45, 203  
naličjevanje, vidi dosjedi  
nami- 58  
napojne pumpe 236  
napun. vel. 159, umski – 267, lizni – 267  
naprezanje 65, 112, 313, slabio – 313, duž  
– voljeao – 537, – težnja 116, tempera-  
turno – 113  
napuštanje čelika 350  
nasute tvari (kugovci) 160  
natrij 76, 80, 261  
natrijska lujna 88  
natrijske soli 91  
natrijski hidroksid 47, 88  
navojsi 504  
navon dosjedi 518  
nečistoće 342  
nejednadžbe 29  
nekovine 78  
nekovinski materijal 469  
neodim 77  
neodređeni integral 73  
neon 76, 81, 159  
nepovratni procesi 260  
neptunij 74  
netjestivoj sprega 343  
neutralizacijske broj 402  
neutralna os (sila) 114  
neutron 75

Newtonov zakon 126, 133  
nikal 76, 81, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 408  
nikal-krom 260  
nikela 257, 416  
niklena bronca 404  
nuklearna sila 409  
nikrom 260  
Nikarađevova jednadžba 142  
niobij 76, 81  
nišador, vidi salmijak  
ni (svj. jed.) 73  
nijem, vidi radon  
nitrat 89  
nitridi 85  
nitriti 93  
nitiranje željeza 352  
nitroglicerit 95  
ničelji 78  
nudularni ljevi 112, 355  
nuznala na krvulju 37  
normaliziranje čelika 348  
normalna razdioba 57  
normalni napor 112  
normalne stanje, vidi standardno stanje  
norma (standardni) kubni metar 73  
nosači 105  
novi srebrni 158, 215, 257, 409  
nukleoni 75  
nužovanje 276  
numerička integracija 40  
Nusseltova teorija sigurnosti 210  
Nusseltova značajka 210  
njuta 56, 57  
očili naziv 328  
obrada kovina odsijanjem čestica 632  
obrada, poselne – 647  
obram, vidi volumen  
očena kiselina 93, 94  
određeni integral 49  
odstupanje (sv. dij.) 486, standardno – 50  
ohm 74  
opretna moć 67, 263  
Ohmov zakon 256  
okretaj 62  
okretni impuls 128  
– moment 126  
oksidi 84  
oktan 94  
oktava 290  
olefini 93  
olovne, – slatine 112, – soli 91

olevan, – oksidi 84, – poluprovodiči 468  
sulfid 86  
olevi 77, 80, 98, 158, 215, 219, 257, 261, 289, 312, 408  
oni 56, 57  
omaga, – postupak (svj.) 131  
omjer specifičnih toplinskih kapaciteta plinova 162  
omov otpor 256  
omova vodljivost 256  
opaka 100, 159, 216, 219, 289, 470  
opruge 119, čelici za – 371  
opterećenje, sastavljeno – 122  
optika 288  
organski spojevi 92  
Orsatov aparat 314  
osimetrični 19  
osmij 77, 82  
osni razmak, vidi razmak osi  
osnovne jedinice 53  
osovite 554  
osvjetla 603  
oštrica 633  
otopina 97, koloidna – 97, kruta – 97  
otopinski kristali 97, 343  
otpor, električni – 66, 256, 266, – strujanja 141, – gibanja u fluidu 147  
otpor, moment otpora presjeka 114, požar-  
ni – – 117  
otporno mjerenje temperature 259  
– zavarivanje 621, 623  
Ottov motor 239  
ozubljene 567  
pad, – entalpije 227, – napona (el.) 274, – vode 154  
pakfong 404  
palac, vidi col  
paladij 76, 81  
panel plohe 472  
papir 99, 217, 219  
par sila 103  
parabola 40, 31  
parafin 93  
parafinske ulje 99  
paralelepiped 20  
paralelogram 18  
paralelogram sila 100  
pare 168, 200  
parna postrojenja 233  
parne turbine 230  
parni kotlovi 227  
– strojevi 228

Pascalov zakon 134  
paskal 57  
Pécletova značajka 230  
Pecornikova formula 142  
peći, električne 269  
Peltonova turbina 155  
penetracija masti 602  
pepetijka 89, 90  
pepeo 99  
pera 548  
period 125  
periódski sustav elemenata 79  
perlit 144  
permaloy 416  
permeabilitet 267  
permutacijski 416  
permutacija 22  
petla 58  
petlokat 57  
petrolej 99  
pH-vrijednost 88  
pht 73  
pi (π) 24  
pize 12  
pivo 58  
pilasti navoji 524  
piljenje kovina 640  
piramida 20  
pirometri 352  
Pitagorin poučak 15  
pištol, kotlovdni - 97  
piščanjak 100, 116  
plamenite ulje 602  
plamenski rezanje kovina 628  
plamenski zavrtavanje 621, 622, 624  
plasti 473  
plastične ivan 316  
plasma 71, 81, 158, 215, 257, 259, 261  
platinodij 259  
platinasti čelič 387  
- plinovi 81  
plimni, gorivi 206, uložni 162, plime-  
ni - 84, realni 162  
plimska konstanta 162  
plinske smjese 97, 167  
plinske turbine 247  
plinski generator 206  
plinsko ulje 99, 206, 207  
plastična 18, 39  
plošinska masa 63  
plošinske mjerne 59  
plato 99, 217, 289  
plutonij 79

pluta 72  
pobijegnuće turbine 156  
poboljšanje čelika 387  
podlak 95  
pogonske ulje 206  
pokus, vid: ispitivanje  
pove 72  
Poissonov broj 112  
Poissonova razlika 57  
pokretač, viši uputnik  
polarni moment otpora presjeka 117, 118  
- - - - - moment presjeka 113, 117  
polarni 473  
polietilen 173  
poligon, vid: višekuti  
polikarbonat 473  
polimer 98  
polimerizacija 96, 206  
polimorfizam 341  
polipropilen 473  
polistiren (polistiren) 473  
politropski plinovi 166  
poliuretanska smola 473  
polivinilklorid 473  
polje, magnetsko 762, električno - 267  
polje, jakosti polja, - magnetskog 76  
- - - - - električnog 69, 264  
poloni 77  
polupričje, - - - - - 133  
poluprodukti, ostaci kovinskih - 418  
poluvodiči 280  
povatak zidnog profila 562  
površina 39, 159, 246, 219, 264, 280  
površni član 297  
postojnost alata 648  
putaša, vid: pepeljka  
potencijalna energija 127  
potencijalne kretanje 30  
potencije 3  
potpora 104  
poud 71  
povratni procesi 100  
površina tijela 29  
površinska hrpačavost 500  
- - - - - masa 63  
- - - - - zaštita 656  
površinske mjere 59  
površogram 55  
površinar 55  
Prandtl-Kármánova jednačba 141  
Prandtlova značajka 216  
pravac 30  
pravci kut 66

pravokutni tokovi 16  
pravokutnik 18  
pravokutni 77  
pregrijat pare 124  
pregrijana para 168  
preljev 140  
preoblikovanje 618  
presjek, geometrijska karakteristika - 113  
prelićak zraka 207  
pretvorbe 341, 343, točka - 343  
prigušnice 139  
prijelaz topline 210  
- koeficijent - 67, 220  
prijenos kružnih gibanja 533  
- topline 210  
prijenosna tankica 191  
prijenosni faktor 291  
prijenosnici topline, vid: izmjenjivači to-  
- pline  
prijenosni omjer 560, 572, 573  
prirodna goriva 205  
prirodni broj (e), vid: Eulerov broj  
- kaučuk 473  
prisnost (preklap) 494  
prisak, na stijenke 134, - mlaza 153  
prisitno stanje 137  
prividna snaga 267  
prividni otpor 266  
prizma 20  
prihoda čvrstoca 364  
procesni računar 312  
procesor 307  
produkcije 312, 323, 375, postotno 112,  
313, 315  
profil, čelični 429, 431, aluminijski - 456  
propis 114, uloža 106  
programska oprema 308  
programski jezici 308, 311  
projekcijski poučak 17  
prokajljivost čelika 365, 368  
prolaz topline 220  
- koeficijent prolaza topline - 67, 220  
prokton čelici 385  
prometij 77  
promjet 19  
propan 93, 94, 207  
propanal 93, 94  
propanol 93, 94  
propanon 93, 94  
propanska kiselina 93, 94  
propantriol 94, 159  
propelerne turbine 155

propen 93, 94  
propil 92  
propilalkohol 93, 94  
propilen 94  
propin 93, 94  
prosječna vrijednost 49  
prosječni, statistički - 49  
prosti pad 124  
protaklinij 77  
protokne veličine 64  
protok, maseni - 64, 139, volumenski - 64,  
- magnetski 70  
protein 15  
protismerno strujanje 271  
pravni za vijke 552  
putnje 148, stupnje 150, turba 152,  
- napojne - 226, toplinske 250  
puno kut 66  
put 124  
putanje 326  
pužni prijenos 374  
- vijak 574  
pužni kotač 575  
rad, mjeraj 73  
rad 66, 126, 160  
radaj 77  
- - - - - 113  
radjan 57, 60  
radikalni 3  
radio-čestice 288  
radna sposobnost pare 227  
radni 77  
rashladne smjese 252  
rashladne tvari 168  
rashladni faktor 25,  
- stroj 251  
rasipanje 50  
rasplinjavanje 206  
rastavljivi spojevi 548  
rastezanje, mehančko - 316, temperatur-  
no - 157  
rasvjetljenost 70, 270  
rasvjeta, električna 170  
rasvjeta pán 206  
ravniški kut 60  
ravnoteža suda, statička - - 104,  
- dinamička - 136  
razdijela, naponska 51  
razinak, osni 562  
razvrtavanje 638  
reakcija mlaza 137  
reakcije u osloncima 104, 105

reaktancija 266  
reaktivna sila 137  
reaktivni motori 249  
realni fluid 133  
– plin 162  
redovi 22  
redni broj elemenata 75  
refleksija 289  
refrigerator 250  
regenerativno zagrijavanje napojne vode 236  
registarska tona 71  
regresija 52  
regulacija 291  
regulacijski članovi 291  
relativna atomska masa 75  
– dielektričnost 254  
– učestalost 49  
– vlažnost 193  
relativni permeabilitet 262  
rem 73  
remenski prijenos 553  
Renardovi brojevi 483  
rendgenske zrake 288  
renij 77, 81  
repično ulje 99  
rešetkasti nosači 105  
rešetke, kristalne – 341, 343, ložišne – 223  
retortni plin 206  
Reynoldsova značajka 140, 210  
rezanje kovina 619, – – plamenom 625  
rezanje navoja 640  
rezanje, brzina – a 649  
rezultanta sila 101  
ricinusovo ulje 99  
rimske brojke 659  
Rockwell, tvrdoća po -u 330  
rodij 76, 81, 268  
romb 18  
röntgen 73  
Roseova slatina 414  
Rosin-Fehlingov dijagram 204  
roštilji 223  
rotacijsko tijelo 40  
rubidij 76, 80  
rutenij 76, 81

sadra (gips) 89, 90, 100  
saharin 95  
salicil 95  
salicilna kiselina 95  
salitra 89, 90, 91  
salitrena kiselina, vidi dušična kis.

salmijak 89, 91  
samarij 77  
sapnice 139, 201  
sastavljeno opterećenje 122  
sat 62  
savijanje 619, naprezanje na – 114,  
moment -a 114  
sedimentacija 97  
sekunda, vremenska – 54, 62, kutna – 60  
selen 76, 80  
senzori 295  
Shore, tvrdoća po -u 334  
shunt 286  
sila, – trenja 109, centrifugalna – 130,  
reaktivna – 137, veličine – 64  
silicij 76, 80, 280  
silicijski dioksid 84,  
– karbid 85, 644  
silika 216, 471  
silikarbon 268  
silikon 96  
silikonski kaučuk 473  
silit 268  
silumin 98, 158, 215, 257, 393  
simens 57  
sinterovanje 620  
sinteza 206  
sinus 10  
sinusna funkcija 34  
sinusov poučak 17  
sirovo željezo 343  
sisaljke, vidi pumpe  
sistem dosjeda ISO 486  
– željezo-ugljik 344  
sivert 57  
sivi lijev 98, 112, 158, 215, 219, 257, 317,  
345, 354  
skalar 43  
skalarno polje 46  
skandij 76  
skin-efekt 266  
skraćenje 313  
sličnost strujanja 140  
slitine 342  
smična naprezanja 117  
smik 117, modul -a 113  
smirak 99, 644  
Smithov dijagram 321  
smjese 97, plinske – 167, – plinova i para 193  
smoła 99, 481  
snaga 66, 127  
soda 89, 91  
soli 82, 89, kuhinjska sol 89

solna kiselina, vidi klorovodična kis.  
– rastopina 99  
sorbit 345  
specifična energija 160, – eksergija 160,  
– električna vodljivost 256, – entalpija  
67, 157 – entropija 67, 160, – masa, vidi  
gustoća, – težina 64  
specifični električni otpor 69, 256, – toplinski  
kapacitet 67, 157, – volumen 63  
spektralna analiza 338  
spiralno svrdlo 638  
spoj (elektr.), zvjezdasti – 258, trokutni  
– 258  
spojevi, nerastavljivi – 543, rastavljivi  
– 548 utorni – 549, klinasti – 548, vijčani  
– 550, – sa zaticima i svornjacima 549,  
lamljeni – 546, stezni – 547, ljepljeni  
– 546  
spojevi, kemijski – 75, 82, 97  
spremanje podataka 306  
sraz 130  
srebro 77, 81, 98, 158, 215, 219, 257, 261  
središnja gnijezda 650  
srednja vrijednost 26  
stabilni sistem željezo – grafit 344  
stabilnost 104  
stacionarno strujanje 136, 200  
staklena vuna 216  
staklo 99, 159, 216, 219, 264, 289, 469  
standardi, jugoslavenski – (JUS) 661  
standardna divijacija 50  
standardne dužinske mjere 484  
standardni brojevi 483, – (normni) kubni  
metar 74, – modul 560  
standardno stanje 74  
stanje, – plinova 165, – para 192, – atmos-  
fere 135  
stapne pumpe 150  
stapni kompresori 245, – parni strojevi 245  
statička čvrstoća, trajna – – 320, 539  
statički moment plohe 113, – – sile 103  
statika 101, – užeta 106, hidro- 133  
statistička vjerojatnost 49  
statistički prosjek 49  
statistika 49  
Stefan-Boltzmannov zakon 218  
Steinerovo pravilo 113, 129  
stelit 390  
steradian 57, 61  
stezni spojevi 547  
stilb 73  
stipsa (alaun) 91  
stiro 93

stojište 343  
stoks (stokes) 72  
stolarske ploče 472  
stopa (mjera) 71  
stožac 21  
stožasti ležaji 589, – zupčanici 572  
strojevi, hidraulički – 148, parni – 228,  
elementi -a 483  
stroncij 76, 80  
struja (el.) 69, istosmjerna – 256, izmjenič-  
na – 266, jednofazna – 267, dozvoljena  
trajna jakost -e 275  
strujanje, stacionarno – 136, laminarno  
– 136, turbulentno – 136, – plinova i pa-  
ra 200, toplinsko – 66, svjetlosno – 70  
stupac vode 72  
– žive 72  
stupanj, kutni – 60, – Celzija 66, – Fahren-  
heita 73, Englerov – 72, – Beauméc 74  
stupanj nejednolikosti 127  
suha destilacija 206  
suha para 168  
suhi zrak 194  
suhoća pare 168  
sulfidi 86  
sumpor 76, 80, 86, 159, 203  
sumporasta kiselina 87  
sumporna kiselina 87, 88  
sumporni dioksid 84, 159, 163, 164, 188,  
212, 214  
– trioksid 84  
sumporovodik 83  
sumporovodična kiselina 87  
superfinit 647  
suspencije 97  
sušenje 253, 254  
suženje (kontrakcija) 112, 315  
svijeća, hefnerova – 73, međunarodna – 87  
svila 99, 217, 219  
svjetlosna jakost 70, 270  
svjetlosne veličine 70  
svjetlosni tok 70, 270  
svjetlost 288, brzina -i 62, 288  
svornjaci 549  
svrdlo 638

šamot 99, 216, 219, 471  
šećer 99, 217  
šesterokut 19  
škrob 99, 206  
šperploče 472  
špirit 206  
štrcaljka 148

tulj 77, 80  
tangencijalno naprezanje 112  
tangens 10, 34  
tangenta 37  
tantal 77, 81  
Taylorovi redovi 23  
tehnocij 76, 81  
tehnička granica elastičnosti 313  
tehnički rad 160  
tehničko pismo (sisak) 658  
željezu 443  
tehnologija 614  
teks 63  
telur 77, 80  
temperatura 66, – inverzije 192,  
– izgaranja 205  
temperaturna naprezanja 114  
temperaturni koeficijent rastezanja 67, 157  
temperovani lijev 356  
teonja sličnosti 210  
tera- 58  
terbij 77  
termalno kaljenje 350  
termodinamika 160  
termoelementi 352  
termometri 352  
termopompi 259  
termoplasti 473, 476  
terpentinsko ulje 99, 159  
tesla 57  
tetiva 19  
Tetmajerove jednadžbe 131  
tetragonalna rešetka 341  
tetraktometar 95  
težina 64, 98, specifična – 64  
težista 106  
Thomson 160  
Thomsonova jednadžba 161  
tijela, geometrijska – 18, 20, 106  
tijer 99, 264  
tjistar 285  
tiskarske slitine 412  
titan 76, 84, 417  
titanske slitine 417  
titanijski dinamičko opterećenje 321  
titanje 131, prigušeno – 35, 131, katams-  
ničko – 125, proslika – 132  
tlačno naprezanje 317  
tlačna visina 136  
tlačno ispitivanje 317  
tlak 65, 124, standardni atmosferski – 65,  
hidrostatički – 133  
tlo 216

tučkasto zavarivanje 621  
tok, toplinski – 66, svjetlosni – 70  
tokarenje 643  
tolerancije, redovi – 487, polje – 486  
tolerancije, – dopjeta 494, – mjera 486,  
– mjera 492, – metričkih navoja 516,  
– suprotnih parova 563  
toluol 93  
tona n3, registarska – 71  
tonska skala 290  
toplina 237  
toplina 66, 157, 160, – izgaranja 67, 203  
Jouleova – 268  
toplinska obrada čelika 348  
– vodljivost 67, 210  
toplinske pumpe 250  
– veličine 66  
toplinski kapacitet, specifični – – 67, 157,  
molni – – 68  
– prijelaz 67, 210  
– prilaz 67, 220  
tok 66  
toplinsko zračenje 218  
torf (stupac žive) 72  
tori 77  
Torricelijeva jednadžba 138  
torzija (sukarje) 117, 118, moment – 117  
torzijska naprezanja 117  
tovarne mjere željezničkih vozila 660  
trašnice, željezničke – 432  
trajna čvrstoća 320  
transcendentne jednadžbe 39  
transformator (el.) 267  
transformatorsko ulje 214, 264  
transurani 78  
trapez 18  
trapezna jednadžba 40  
trapezni navoji 520  
trenje 109, sila – 109, koeficijent – 109,  
– valjanja 127, – kolutno 111  
treset 94  
trifluoromostihrometran 191  
trifluoromonoklorometan 190  
trigonometrijske funkcije 10  
– jednadžbe 29  
triklorometan 95  
trofazni sistem 267  
truboida 32  
trupa, teška vode 66  
trokut 16, 18, 19  
troval, sila – 126, moment – 126, masa 65,

128, 129, moment – plohe 113, radij – 117  
troustar, vidi trokut  
trou 95  
trokut 345  
TUT – dijagram 345  
tulj 77  
tungren, vidi volfram  
tuhine, vodne – 154, parne – 236, plinske  
– 247  
turbinska ulja 605  
turbokompresori 246  
turbopumpe 152  
turbulentno strujanje 136  
tvari 75, pregled – 97  
tvrdi (bijeli) lijev 355  
tvrdi metali, karbidni – 390  
tvrdota, ispitivanje – 322, – po Brinella  
– 322, – po Vickersu 326, – po Rockwellu  
– 336, – plastičnih tvari 334  
ubrzanje (akceleracija) 62, 124, zemaljsko  
– (g) 62, 98, kutno – 62, 125  
učestalost 50  
udarna žilavost 319  
ugljen 99, 206, 207, 208, 217  
ugljičene čelike 351  
ugljični kiselina 87  
ugljični dioksid 357, 379  
– dioksid 84, 159, 163, 164, 188, 212  
– monoksid 84, 159, 163, 164, 203, 307  
ugljičnik 76, 80, 85, 203  
ugljičniva skupina elemenata 80  
ugljičnovodiči 92  
ukočeno drvo, vidi vezano drvo  
ulje, pogonsko – 206, zarnja – 206, plinsko  
– 206, – za loženje 206, 207, – za mazanje  
– 214, 604, transformatorsko – 214,  
– 264, – za obradu 607  
ultrazvučna obrada 647  
ultrazvuk 289  
umjetna guma 206  
unakrsno strujanje 221  
unakrsna energija 160  
upojna visina pumpe 149  
upravljanje 292  
upatnik 277  
uran 77  
urazidi, vidi transformator  
usporene, vidi redukcija  
utiskivanje 619  
utorni spojevi 349  
uzemljenje 276

uzgon 134  
užad, statika – 106, čelična – 443, bakrena  
– 464  
vakuum, vidi podtlak  
vakuumirane cijevi 280  
valencija 80  
valovanje, elektromagnetsko – 288  
valjak 20  
valjanje (valjni trenje) 111  
valjanje 615  
valjkasti ležaji 361  
valjni ležaji 377  
vanadij 76, 82  
vapnenac 89, 90, 99, 100, 216  
vapno 84, 87, 88, 99, – gaseno 88  
varijacija 12  
varijanta 50  
var 56, 57  
vatni vatra 267  
važnica 608  
važnijska ulja 607  
veber 57  
vektor 43  
vektorsko polje 46  
veličine 33, vremenske – 62, energetske  
– 66, električne – 64, geometrijske – 59,  
svjetlosne – 70, toplinske – 66, masne  
– 63, – sile 64, protučne – 64, molne  
– 68, – zračenja 68  
veličinske jednadžbe 33  
ventilator 153  
ventil (el., poluprovodnički) – 286  
ventilni čelici 377  
Venturijeva soppica 139  
vezano drvo 472  
veze, kemijske – 82  
Vicat, ispitivanje po – u 355  
Vickers, vidjeti po – u 326  
vidna svjetlost 288  
vjeći 350  
vijčani spojevi 350  
vijčani supčanci 375  
vinil 93  
vinilklorid 95  
viskoznoš 65, 153, 602  
viskuz 18, pravdu – 19  
višestruki integral 41  
vitkost 220  
vjetoplošnost, statistička – 49  
vlažna čvrstoća 315  
vlažni pokus 214  
vlak 114



vlaknasti plast 480  
vlaknastice 472  
vlastita frekvencija 131  
vlastito titranje 131  
vlaženje zraka 199  
vlažni zrak 193, 194, 195  
vlažnost 193  
voda 81, 99, 159, 164, 175, 187, 214, 252, 289  
vodena para 213, zasićena - 172, pregri-  
jana - 168, 175  
vodena pila 206  
vodilj električne struje 263  
vodični peroksid 83  
vodik 76, 80, 83, 159, 163, 164, 203, 267, 272, 261  
vodljivost, električna - 69, 259, toplinska 67, 210  
vodna snaga 154  
vodne turbine 154  
vodovi, električni - 274  
volfram 77, 81, 158, 215, 257  
volframovi oksidi 84  
vol 59, 57  
volumen 59, - tijelosa 20, apocentrični 63, medu 68  
volumenska masa 63  
volumenske mjere 63  
volumenski protok 64, 139  
vosak 99  
vremenska statička čvrstoća 520, 539  
vremenske, - mjere 62, - veličine 62  
vremenski odziv 292  
vremenska ulja 605  
vrjednost, prosječna - 49, pH - 88  
vrijeme 62  
vučenje 619  
vuna 99, 217, trnčana 216

Whitworthov profil vjevnog navoja 319  
Widia 390  
Wohlerova krivulja 321  
Woodsova gletina 314

žari 71  
žarejac toarni kod 1224  
zahvat (zupč.) 565

zakovice 543  
zakovčni spojevi 543  
zamašni moment 128  
zamašnjak 127  
zapremina, vol. volumena  
zasićena para 168  
zaštita električnih instalacija 175  
zlatci 549  
zavari 544  
zavrtivanje 621, - valjanjem 622  
želena galica 90  
zermaljivo ubrzanje 62  
Zemlja (planet) 99  
zemlja (tlo) 99  
zemni plin 206  
zemno ulje 206  
zemno-alkaljske kovine 80  
zid 100, 216  
zlato 77, 81, 98, 158, 215, 219, 261  
zračenje 288, toplinsko - 218  
zračni plin 206  
zrak 263, 264, 167, 169, 212, vlažni 193, 195  
zrake 288, gama 288  
zupčani prijenos 560  
zupčanci (perovni) 561, 574  
zvučna brzina 201, 289  
zvučni tlak 190  
zvuk 289

žarenje željka 548  
žbuka 100, zidna - 226  
željezne slitine 343  
- sob 90  
željezni karbid 85  
- oksid 84  
željeznička kola (mjere) 690  
željezo 76, 84, 158, 215, 237, 261, 289, 343  
žica, čelična - 342, aluminijska - 451, be-  
kretna - 463  
žice za zavarivanje plamenom 624  
žilave ivice 316  
žilavost, udarna - 319  
živa 77, 81, 159, 214, 257, 261, 289  
žvan ventil 280  
živo (prijenos) vapni 84

Znak 8806 P

*Izdanje*

**STROJARSKI PRIRUČNIK**  
Deveto pretađeno i popunjeno  
hrvatsko ili srpsko izdanje

*Autor*

Univ. prof. u m.  
dipl. ing. **BOJAN KRAUT**  
zaslužni profesor Fakultete za strojništvo  
Univerze Edvarda Karlejška u Ljubljani,  
časni doktor Univerze u Mariboru

*Preveo sa slovenskoga*

Dipl. ing. **MIROSLAV PEČORNIK**  
umirovljeni profesor Tehničkog fakulteta  
Sveučilišta Vladimir Bakarić u Rijeci

*Izdavač*

**TRO TEHNIČKA KNJIGA**  
**OOOR IZDAVAČKA DIELA TNOŠI**  
Zagreb, Jurisćeva 10

*Za izdavača odgovara*

ing. **ZVONIMIR VISTRIČKA**

*Urednik izdanja*

ing. **SREČKO ŠOŠTARIĆ**

*Naklada*

20 000 primjeraka

*Tisak*

Tiskarna ljudske pravice u Ljubljani  
Tisak dovršen u lipnju 1988

© B. Kraut, 1954

YC ISBN 86-7059-063-8