



Veleučilište u Dubrovniku

Željko Kurtela



Osnove brodostrojarstva

VELEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

ŽELJKO KURTELA

OSNOVE BRODOSTROJARSTVA

Dubrovnik, 2000.

Nakladnik: VELEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

Urednik: prof. dr. sci. Mateo Milković

Recenzenti:

mr. sci. Vedran Jelavić

prof. dr. sci. Josip Lovrić

Lektor: Eta Rehak, prof.

Korektor: Mirjana Žeravica, prof.

Dizajn naslovnice: mr. sci. Vedran Jelavić

Oblikovanje i kompjutorska obrada teksta: Jelena Mijoč

Objavljivanje udžbenika odobrilo je Povjerenstvo za izdavačku djelatnost na sjednici održanoj dana 16.09.1999. godine.

Tisak dovršen u listopadu 2000.

CIP-Katalogizacija u publikaciji

Sveučilišna knjižnica u Splitu

UDK 623.85(075.8)

KURTELA, Željko

Osnove brodstrojarstva / Željko Kurtela. – Dubrovnik :
Veleučilište, 2000. – VI, 171 str. : ilustr., ; 24 cm

Bibliografija: str. 171.

ISBN 953-6705-05-2

ISBN 953-6705-05-2

Naklada 300 primjeraka

Tisak: Tiskara „Grafoprint“ d.o.o. Dubrovnik

PREDGOVOR

Skripta Osnove brodstrojarstva namijenjena su studentima Nautičkog i BEEE smjera. Brod je podijeljen na sustave, te se unutar svakog sustava obrađuju pripadajući vitalni uređaji ili strojevi.

Da bi se olakšalo razumijevanje procesa koji se javljaju unutar brodskih motora, rashladnih uređaja, kao i prilikom prijevoza ukapljenih plinova, na najkraći mogući način prikazani su osnovni pojmovi iz termodinamike.

Čitanje i razumijevanje brodskih shema, koje se odnose na sustav balasta, protupožarnu zaštitu, sustav goriva, sustav rukovanja teretom na tankerima, kao i na sve druge sustave, bilo bi nemoguće bez poznavanja brodskih cjevovoda s pripadajućim elementima i sa svim tipovima ventila. Ključne elemente svih sustava predstavljaju brodske pumpe. Zbog svega navedenog brodske pumpe i brodski cjevovodi prikazani su u posebnim poglavljima.

Današnji su brodovi sve složeniji, gotovo svaki uređaj je automatiziran, daljinsko upravljanje porivnim strojem i pojedinim sustavima sve se više usavršava, ugrađuju se novi uređaji. Sve to dovodi do izuzetno velike koncentracije složene tehnike na jednom relativno malom prostoru. S druge strane, broj članova posade, koja upravlja tako složenim brodom sve je manji i manji.

Tehnički sve složeniji brodovi s jedne strane i sve manji broj članova posade s druge strane neminovno uvjetuju drukčiju podjelu posla na brodu. Nema više strogih podjela na poslove palube i stroja. Veliki se dijelovi poslova i dužnosti preklapaju.

Časnici palube upravljaču daljinski glavnim motorom, rukuju balastom, manipuliraju složenim sustavom ukrcanja tereta na tankerima. Časnici elektro-struke moraju poznavati rad motora, kompresora, pumpi, itd., da bi razumjeli smisao njihove automatizacije.

Ukoliko bi ova skripta samo olakšala razumijevanje onoga što buduće časnike palube i elektro-struke čeka na brodovima, onda je zadaća autora ispunjena.

SADRŽAJ

1. OSNOVNI TERMODINAMIČKI POJMOVI.....	10
1.1. OSNOVNI POJMOVI I VELIČINE U TERMODINAMICI	10
1.2. NULTI ZAKON TERMODINAMIKE	14
1.3. UNUTARNJA ENERGIJA	15
1.4. SPECIFIČNA TOPLINA	16
1.5. PRVI ZAKON TERMODINAMIKE	17
1.6. IDEALNI PLIN	17
1.7. PROMJENE STANJA IDEALNIH PLINOVA	18
1.7.1. Izohora.....	18
1.7.2. Izobara	19
1.7.3. Izoterma.....	19
1.7.4. Adijabata	20
1.7.5. Politropa	20
1.8. ENTALPIJA	20
1.9. KRUŽNI PROCES (CIKLUS).....	22
1.10. CIKLUSI S UNUTARNJIM IZGARANJEM.....	25
1.11. ENTROPIJA	26
1.12. DRUGI ZAKON TERMODINAMIKE	27
1.13. PARE I PARNI CIKLUSI.....	28
1.14. IDEALNI CARNOTOV RASHLADNI CIKLUS	31
1.15. STVARNI RASHLADNI CIKLUS	33
2. BRODSKE PUMPE.....	35
2.1. TEORETSKA RAZMATRANJA	36
2.2. STAPNE I KLIPNE PUMPE	37
2.2.1. Jednoradne pumpe.....	38
2.2.2. Dvoradne pumpe	38
2.2.3. Diferencijalne pumpe	39
2.2.4. Dobava stapnih pumpi.....	40
2.2.5. Vrste pogona	42

2.3. CENTRIFUGALNE PUMPE.....	42
2.3.1. Ponašanje centrifugalne pumpe u radu	43
2.3.2. Samousisni uređaj	44
2.3.3. Puštanje centrifugalne pumpe u pogon.....	46
2.3.4. Hidraulički pogonjene pumpe tereta na tankerima	47
2.4. ZUPČANE PUMPE	48
2.5. VIJČANE PUMPE	49
2.6. PUMPE S PROMJENJIVIM STAPAJEM	50
2.7. MLAZNE PUMPE ILI EJEKTORI	51
3. BRODSKI CJEVOVODI	53
4. ELEMENTI ZATVARANJA CJEVOVODA.....	56
5. SUSTAV ŽIVOTNIH UVJETA.....	60
5.1. RASHLADNI UREĐAJI	60
5.1.1. Kompresorski rashladni uređaj	61
5.1.2. Rashladna sredstva.....	63
5.1.3. Uređaj za očuvanje namirnica.....	64
5.1.4. Indirektni rashladni sustav	66
5.2. VENTILACIJA I KLIMATIZACIJA	67
5.2.1. Ventilacija strojarnice	67
5.2.2. Ventilacija nastambi.....	68
5.2.3. Klimatizacija	69
5.2.4. Ventilacijska jedinica za klimatizaciju	70
5.3. PROTUPOŽARNI UREĐAJI NA BRODOVIMA	72
5.3.1. Uređaji za gašenje požara vodom	72
5.3.2. Sprinkler uređaji.....	74
5.3.3. Uređaj za gašenje požara pjenom	75
5.3.4. Uređaj za gašenje požara CO ₂	76
5.3.5. Uređaji za gašenje požara prahom	77

5.4. UREĐAJI ZA DOBIVANJE SLATKE VODE – EVAPORATORI	78
5.5. UREĐAJ ZA UNIŠTAVANJE KLICA ULTRALJUBIČASTIM ZRAKAMA	80
6. SUSTAV PORIVA	81
6.1. ISKORISTIVOST BRODSKIH PROPULZIJSKIH POSTROJENJA	81
6.2. USPOREDBE DIZEL-MOTORNE PROPULZIJE S PARNOM TURBINOM	82
6.3. BRODSKO TURBINSKO POSTROJENJE	83
6.4. DIZEL-MOTORNO POSTROJENJE	86
6.4.1. Četverotaktni motor	86
6.4.2. Dvotaktni motor	89
6.4.3. Teoretski kružni proces dizel-motora (Sabatheov proces)	91
6.4.4. Toplinski bilans motora	92
6.4.5. Nabijanje motora	92
6.4.6. Proces izgaranja u dizel-motoru	94
6.4.7. Važniji konstruktivni dijelovi	96
6.5. POMOĆNI BRODSKI KOTLOVI	104
6.5.1. Kotao s ložištem	105
6.5.2. Utilizacijski kotao (kotao na ispušne plinove)	105
6.5.3. Povezivanje pomoćnih kotlova	106
6.6. STATVENA CIJEV I BRTVENICE	107
6.6.1. Brtvenica tipa Cederwall	108
6.6.2. Brtvenica tipa Simplex	109
6.6.3. Načini spajanja vijka s osovinom	110
6.7. POGONSKI SUSTAVI NA BRODOVIMA S DIZEL-MOTORNO M PROPULZIJOM	112
6.7.1. Sustav morske rashladne vode	112
6.7.2. Sustav slatke vode za rashlađivanje	114
6.7.3. Sustav ulja	116
6.7.4. Sustav goriva od ukreaja do dnevnog tanka	118

6.7.5. Sustav goriva od dnevnog tanka do motora	120
6.7.6. Sustav zraka	122
7. SUSTAV ENERGETIKE I RASKLOPA.....	124
7.1. RAZVOD I DOVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU	124
7.2. PARALELAN RAD BRODSKIH GENERATORA	125
7.3. AUTOMATSKI RAD GENERATORA.....	126
7.4. OSOVINSKI GENERATORI.....	127
7.5. TURBOGENERATORI.....	128
7.6. AKUMULATORI	129
8. SUSTAV UPRAVLJANJA	131
8.1. KORMILARSKI UREĐAJ.....	131
8.2. NAČELO RADA KORMILARSKIH UREĐAJA.....	132
8.2.1. Hidraulički kormilarski uređaj (žiro-hidrauličko upravljanje).....	132
8.2.2. Rotacijski hidraulički kormilarski stroj	134
8.3. DALJINSKO UPRAVLJANJE GLAVNIM MOTOROM.....	135
8.4. AUTOMATSKO DALJINSKO UPRAVLJANJE MOTOROM S FIKSNIM PROPELEROM	136
8.5. AUTOMATSKO DALJINSKO UPRAVLJANJE MOTOROM S PREKRETNIM PROPELEROM	138
8.6. MOGUĆNOSTI DALJINSKOG AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U OVISNOSTI OD ZAHTJEVA ZA SIGURNOST BRODA.....	140
8.6.1. Manevar u nuždi (<i>emergency run</i>).....	140
8.6.2. Zaustavljanje glavnog motora u nuždi (<i>emergency stop</i>)	140
8.6.3. Naglo zaustavljanje broda (<i>crash manoeuvre</i>)	141
8.6.4. Poništenje zaštite automatskog zaustavljanja glavnog motora (<i>override of main engine safety</i>).....	142

9. SUSTAV TERETA	143
9.1. UREĐAJI ZA SUŠENJE ZRAKA U SKLADIŠTIMA TERETA	143
9.1.1. Sušilice zraka.....	143
9.2. INERTNI PLIN	145
9.2.1. Dijagram zapaljivosti	146
9.2.2. Nastajanje zapaljive koncentracije pri iskrcaju tereta	147
9.2.3. dobivanje inertnog plina.....	148
9.3. PRANJE TANKOVA SIROVOM NAFTOM.....	151
9.3.1. Usporedba pranja tankova sirovom naftom	151
9.3.2. Strojevi za pranje tankova	152
9.3.3. Sustav pranja tankova.....	154
9.4. BRODOVI ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA	155
9.4.1. Ponašanje plinova.....	156
9.4.2. Načini prijevoza ukapljenih plinova	158
9.4.3. Izolacija tankova ukapljenog plina.....	159
9.4.4. Rashladni sustavi na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova.....	160
10. SUSTAV TRUPA	161
10.1. PRITEZNA VITLA	161
10.2. SIDRENA VITLA	163
10.3. HIDRAULIČKI UPRAVLJANA VITLA.....	165
10.4. SUSTAV BALASTA	168
10.4.1. Uređaj za vakuumiranje	173
10.5. SUSTAV KALJUŽE	174
10.5.1. Kaljužni separator	176
10.6. NEKE ODREDBE MEĐUNARODNIH KONVENCIJA U VEZI S ISPUŠTANJEM ULJA ILI MJEŠAVINA ULJA S BRODOVA	178
LITERATURA.....	180

1. OSNOVNI TERMODINAMIČKI POJMOVI

U ovom poglavlju obrađeni su samo neki najosnovniji pojmovi. Termodinamika (nauka o toplini) kompleksna je i složena disciplina iz čije je cjeline vrlo teško izuzimati pojedine pojmove. Međutim, zbog koncepcije i opsega ovoga kolegija obuhvaćeni su samo oni pojmovi koji su bitni za osnovno razumijevanje rada brodskih motora, rashladnih uređaja i brodskih kotlova.

1.1. OSNOVNI POJMOVI I VELIČINE U TERMODINAMICI

Za uspješno praćenje niza pojava u termodinamici bitno je upoznati i jednoznačno definirati neke njezine osnovne pojmove i veličine.

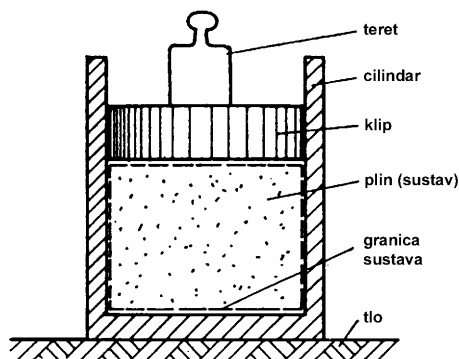
Termodinamički sustav, ili skraćeno sustav, podrazumijeva određenu količinu materije ograničenu nekom zatvorenim površinom. Ta površina može biti stvarna, kao na primjer zid boce koja sadrži 1 litru vrele vode, ili imaginarna, kao na primjer površina koja obuhvaća 1 kg plina dok on struji kroz cijevi i kojemu se oblik i volumen mijenjaju.

Osim ovako definiranog termodinamičkog sustava, koji se zove i zatvoreni sustav, postoji i otvoreni termodinamički sustav. Primjer je automobilski motor u koji s jedne strane ulaze zrak i benzin, a s druge izlaze dimni plinovi.

Okolinom sustava, ili skraćeno okolinom, naziva se kombinacija materija i prostora koji se nalaze izvan termodinamičkog sustava. Na slici 1.1., na primjer, izvjesna količina plina (kojeg ponašanje želimo proučavati) zatvorena u cilindru s klipom čini termodinamički sustav, dok je sve ono što taj sustav okružuje, uključujući tlo i okolni zrak, okolina tog sustava. Sustav i okolina, ako nisu u potpunoj ravnoteži, mogu međusobno izmjenjivati toplinu i rad.

Parametri sustava su neposredno ili posredno mjerljive veličine koje služe za njegovo pobliže definiranje. Za sustav (plin) na slici 1.1., na primjer, osim kemijske formule ili naziva, moraju se poznavati i ostali njegovi parametri kao što su: tlak, temperatura, modul elastičnosti, boja, miris itd.

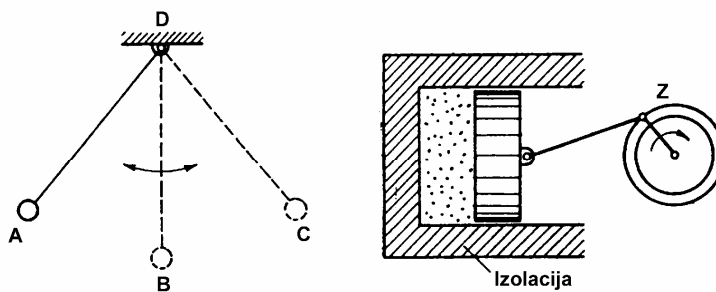
Stanje sustava definira se njegovim odnosom ili pozicijom prema nekom drugom sustavu ili okolini. U svakom trenutku stanje sustava se može definirati davanjem vrijednosti njegovih parametara. S termodinamičke točke gledišta bitni parametri za proučavanje stanja nekog sustava su: specifični volumen, tlak i temperatura.



Sl. 1.1. Primjer termodinamičkog sustava i okoline

Proces je promjena stanja sustava od jednog (početnog) do drugog (krajnjeg) ravnotežnog stanja. Tijekom procesa mijenjaju se parametri sustava. Ako su između početnog i krajnjeg stanja sva međustanja u ravnoteži, proces je povratan, a ako nisu, proces je nepovratan. Drugo važi samo ako nema trenja jer ono svaki proces čini nepovratnim. (Za svladavanje trenja troši se dio rada, pa nastaje toplina koja se zatim nepovratno gubi u okolinu.)

Na slici 1.2.a njihalo dovedeno u položaj A, ako nema trenja u ležištu D i o okolni zrak, ljuljat će se beskonačno dugo kroz položaje A-B-C i natrag (proces je povratan). Budući da trenje postoji, uvijek će se desiti da će njihalo na kraju stati (proces je nepovratan). Analogno će se desiti (sl. 1.2.b) ako se zamašnjaku Z dade početna rotacija. Kompresija i ekspanzija plina u cilindru djeluju kao opruga koja se steže i rasteže. Da nije neizbježnog trenja, i to bi kretanje trajalo beskrajno dugo. Općenito može se reći da su, zbog mehaničkih i toplinskih gubitaka, svi procesi u prirodi nepovratni. Povratni procesi su oni kojima u inženjerskoj praksi treba težiti i koji se dosta lako matematički formuliraju.



a) Njihalo – razmjena potencijalne i kinetičke energije, b) Cilindar, klip i zamašnjak – davanje i preuzimanje rada

Sl. 1.2. Tipična dva procesa u mehanici i termodinamici

Osnovni termodinamički parametri kao što su specifični volumen, tlak i temperatura, neprekidno se tijekom procesa mijenjaju, pa je njihovo mjerenje i poznavanje bitno, kako za praćenje i definiranje pojedinih procesa i stanja, tako i za rad cjelokupnog postrojenja.

Specifični volumen je prostor koji zauzima jedinica mase nekog sustava. Ako neko tijelo (sustav) zauzima volume V (m^3) i pri tome ima masu m (kg), tad je specifični volumen toga tijela

$$v = \frac{V}{m} \quad (1)$$

odakle se neposredno dobiva i njegova dimenzija (m^3/kg).

Recipročna vrijednost specifičnog volumena naziva se gustoća

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{V} \text{ [kg / m}^3\text{]} \quad (2)$$

Tlak je sila kojom sustav djeluje na jedinicu površine svoje opne (granice). On se mjeri instrumentima koji se zovu manometri. Na slici 1.3. prikazana su dva osnovna tipa manometara: s U-cijevi, i s Bourdonovom (Burdonovom) cijevi. Tlak mjeren pomoću U-cijevi, prema slici 1.3., bit će

$$P_u = Z \cdot \rho \cdot g + P_{ok} \quad (3)$$

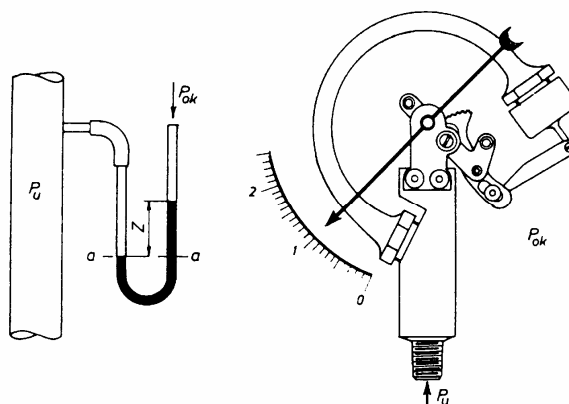
Taj se tlak naziva i apsolutni tlak, za razliku od relativnoga (u ovom slučaju nadtlaka) koji je dan članom ($Z \cdot \rho \cdot g$).

Slično tome, mjerenjem tlaka manometrom s Bourdonovom cijevi očitanoj vrijednosti uvijek treba dodati tlak okoline P_{ok} .

Kao što se dobiva iz definicije, osnovna jedinica za tlak je (N/m^2) koja se naziva paskal i označava s (Pa). To je u praksi mala jedinica pa se rabe još i ove:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kPa} &= 10^3 \text{ Pa} = 10^3 \text{ N/m}^2 \\ 1 \text{ MPa} &= 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

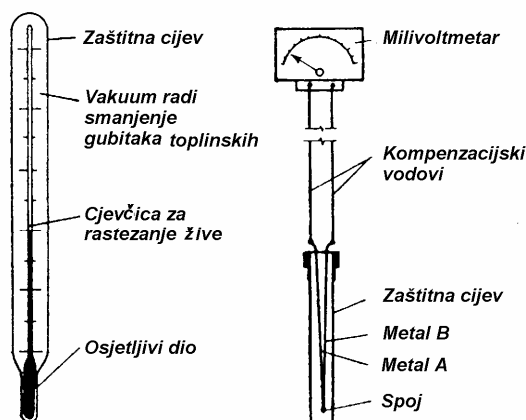
Jedinica (bar), ili samo (b), u praksi je ipak najprikladnija jer 1 bar odgovara približno standardnom atmosferskom tlaku (1,013 bara).



Sl. 1.3. Manometri, s U-cijevi (lijevo) i s Bourdonovom cijevi (desno)

Temperatura je stupanj zagrijanosti nekog sustava (tijela). Međutim, njezina bit je znatno kompliciranija i povezana je s molekularnom strukturom materije.

Kao što je poznato, temperatura se mjeri termometrima. Načela rada termometara su vrlo različita. Na slici 1.4. prikazani su: živin termometar (koji se koristi svojstvom žive da se pri grijanju širi i pri hlađenju skuplja) i termonaponski termometar (koji se koristi pojavom elektromotorne sile prilikom zagrijavanja spoja dviju žica od različitog metala).



1.4. Termometri: živin (lijevo) i termonaponski (desno)

Skala termometara određuje se više-manje po volji, pa ih je zato donedavno u upotrebi bio veliki broj. Po Međunarodnom sustavu jedinica (SI), međutim, temperatura se mjeri stupnjevima Celzija ($^{\circ}\text{C}$) i kelvinima (K).

Tzv. fiksne točke za ove temperaturne skale su: temperatura topljenja leda ili smrzavanja vode (0°C ili 273 K), temperatura ključanja vode ili kondenzacije pare pri standardnom atmosferskom tlaku (100°C ili 373 K), temperatura topljenja ili skrutnjavanja srebra ($960,8^{\circ}\text{C}$ ili $1233,8\text{ K}$), i još više drugih. Veza između kelvina i Celzijevih stupnjeva je

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}) + 273 \quad (5)$$

U izrazu bitno je uočiti i obilježavanje “T” za kelvine i “t” za stupnjeve Celzija.

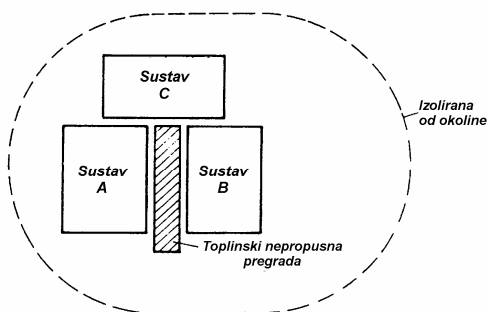
1.2. NULTI ZAKON TERMODINAMIKE

Iz iskustva je poznato da uvijek toplije tijelo grije ono hladnije. Ako nema drugih utjecaja, taj proces teći će sam od sebe tako dugo dok se toplije tijelo ne ohladi, a hladnije ne zagrije do iste temperaturne razine. Na kraju nastupa tzv. termodinamička ravnoteža kao stabilno stanje ovog sustava od dva tijela.

Grijanje, odnosno hlađenje, u spomenutom primjeru nastaju zbog razlike temperatura. Očito je da su toplina i temperatura čvrsto povezane veličine. Njihova veza sasvim je analogna vezi struje i napona. Toplina, kao i struja, predstavlja kapacitet, a temperatura, kao i napon, intenzitet.

Toplina je razmjena energije, bez razmjene mase, između dva sustava različitih temperatura.

Na osnovi prethodnoga i ilustracije na slici 1.5. lako je shvatiti nulti zakon termodinamike koji glasi: ako su u toplinskoj ravnoteži tijela A i C, a jednako tako i tijela B i C, tad su u toplinskoj ravnoteži i tijela A i B. (Sva tri tijela imaju jednaku temperaturu).



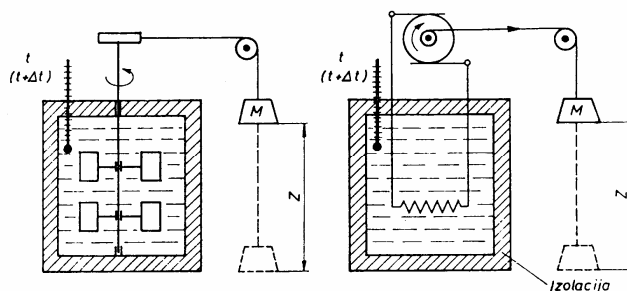
Sl. 1.5. Prikaz nultog zakona termodinamike

Taj zakon omogućuje mjerenje temperature. Termometar nije ništa drugo nego tijelo C koje dovodimo u toplinsku ravnotežu s raznim drugim tijelima i po ponašanju tijela C zaključujemo o temperaturi tijela s kojima je ono bilo u kontaktu. Zapravo temperatura se uopće ne može neposredno mjeriti.

1.3. UNUTARNJA ENERGIJA

Otprije su poznati oblici mehaničke energije (potencijalne i kinetičke), kemijske, nuklearne, elektromagnetske itd. U termodinamici specifičan oblik je toplinska energija, ili još preciznije, toplinska unutarnja energija, ili samo unutarnja energija. Elementarna ilustracija tog oblika energije dokazuje se poznatim Jouleovim /Džulovim) pokusima (sl. 1.6.).

Na početku procesa teret M imao je potencijalnu energiju $M \cdot g \cdot Z$. Kad se teret spustio na tlo, njegova potencijalna energija postala je jednaka nuli. Kaže se da je pri tome izvršen rad koji je jednak razlici potencijalnih energija. Izvršeni rad utrošio se (ako se zanemare gubici) na zagrijavanje vode što je registrirano i termometrom (na početku procesa temperatura vode bila je t , a na kraju procesa je $t + \Delta t$). Očito je da je teret M izgubio svoju energiju, a da je tu energiju preuzela voda, tj. radom je porasla toplinska unutarnja energija vode.



Sl. 1.6. Mogući načini pretvorbe mehaničke (potencijalne) energije u toplinsku unutarnju energiju

Na slici 1.6. prikazane su dvije varijante Jouleovog pokusa. U prvoj je rad trenjem zagrijavao vodu, a u drugoj rad je pretvoren u električnu energiju koja je proizvela toplinu i tako postigla isti krajnji učinak.

Iz toga proizlazi da su i dimenzije za energiju u mehanici i termodinamici iste. Oznaka i dimenzije za toplinsku unutarnju energiju su

U (Nm) ili (J)

a za jedinicu mase

u (Nm/kg) ili (J/kg)

Bitno je također uočiti da je toplinska unutarnja energija povezana s temperaturom (kao što je potencijalna vezana za visinski položaj, kinetička za brzinu itd.), pa je ona ujedno i parametar stanja. Ta povezanost objašnjava se molekularnom izgradnjom materije.

Toplinska unutarnja energija zamišlja se kao zbroj energija položaja (potencijalnih energija) i energija gibanja (kinetičkih energija) pojedinih molekula od kojih se sastoji određena materija. Dovođenjem topline i/ili komprimiranjem, na primjer, molekule se počinju brže gibati i/ili njihovi položaji postaju bliži. Sve to izaziva promjenu unutarnje energije što se manifestira povećanom temperaturom.

Slično se mogu objasniti kemijska, nuklearna i neke druge unutarnje energije, ali one za ovaj dio termodinamike nisu bitne, pa će se u nastavku pod pojmom unutarnja energija misliti samo na toplinsku unutarnju energiju.

1.4. SPECIFIČNA TOPLINA

Utroškom potencijalne energije ili dovođenjem topline, vodi mase m porast će temperatura za Δt , ili od t_1 na t_2 . Matematički se to može izraziti jednadžbom

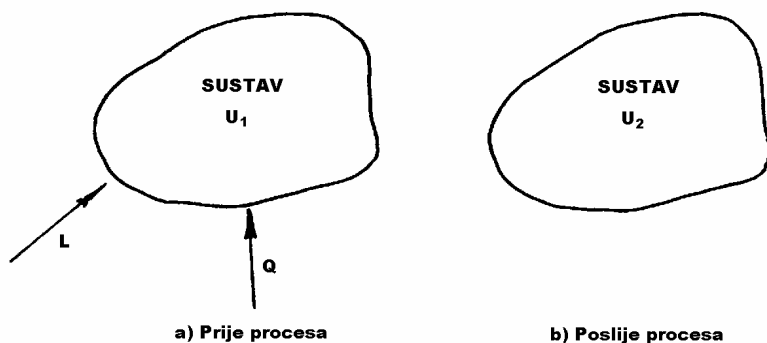
$$q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (6)$$

Specifična toplina je ona energija koju je potrebno utrošiti da bi jedinici mase neke materije temperatura porasla za jedan stupanj Celzija ili jedan kelvin. Naravno, c je svojstvo materije i određuju se eksperimentalno.

1.5. PRVI ZAKON TERMODINAMIKE

Unutarnja energija nekog sustava može se mijenjati dovođenjem (ili odvođenjem) topline ili rada (sl. 1.6.). Dovedena energija izazvala je povećanje (ili smanjenje) unutarnje energije sustava.

Prema općem zakonu o održanju energije zbroj svih energija prije procesa mora biti jednak zbroju energija poslije procesa (sl. 1.7.).



Sl. 1.7. Zbroj energije prije procesa i nakon njega

Matematički izraženo ta će jednakost biti:

$$L+Q+U_1 = U_2 \quad (7)$$

Izvedena jednačba, u biti, već je izraz za prvi zakon termodinamike, ali ga s obzirom na konvenciju o predznacima treba neznatno korigirati. Naime, smatra se da je proces poželjan i pozitivan ako se sustavu dovodi toplina, a sustav daje rad (primjer automobilskog motora kojemu se dovodi toplina putem benzina, a on daje rad i pokreće automobil). U ovom slučaju Q i L su pozitivni. Ako se, pak, sustavu dovodi rad a on daje toplinu, to se smatra negativnim procesom, pa su Q i L s negativnim predznakom (za to služe svi primjeri gdje se sav rad ili samo dio rada trenjem pretvara u toplinu, objašnjenje uz sl. 1.2., omski otpor u elektrotehnici itd.).

Sad se jednačba (7) može preurediti u konačan oblik, tj. u izraz za prvi zakon termodinamike

$$Q = U_2 - U_1 + L \quad (8)$$

a on se može riječima iskazati kao:

Dovedena toplina nekom sustavu (tijelu) troši se na povećanje njegove unutarnje energije i obavljanje rada.

1.6. IDEALNI PLIN

Idealni plin u termodinamici ima veliko značenje. S jedne strane njegovo stanje i promjene daju se opisati vrlo jednostavnim izrazima, a s druge strane stvarni plinovi u inženjerskoj praksi ne odstupaju znatnije od idealnih.

Prema definiciji idealni plin je onaj:

- koji u potpunosti zadovoljava jednadžbu stanja $Pv = R \cdot T$,
- kojemu je unutarnja energija funkcija samo temperature, $u = f(t)$.

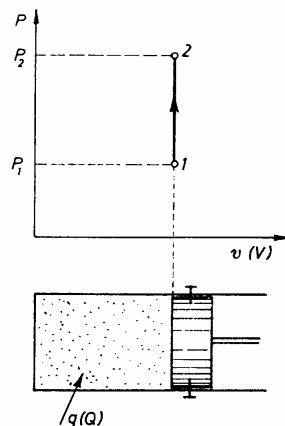
Povezano s molekularnom izgradnjom materije kod idealnog plina potpuno se zanemaruju međumolekularne sile (energije položaja). Time postaje jasno zašto se stvarni plinovi pri niskom tlaku (velike udaljenosti među molekulama, male međumolekularne sile), ili pri visokim temperaturama (velika kinetička energija, potencijalna energija zanemariva) ponašaju sasvim slično idealnima. Nasuprot tome, pri povišenom tlaku ili sniženim temperaturama (to više što se plinovi više približavaju svojoj tekućoj fazi) stvarni plinovi sve više odstupaju od idealnih.

Veza između unutarnje energije i isključivo temperature kod idealnih plinova iz dosadašnjih objašnjenja također postaje jasna. Isto je dokazano i odgovarajućim eksperimentima gdje su opet stvarni plinovi, u inženjerskoj praksi, pokazali izvjesna odstupanja.

1.7. PROMJENE STANJA IDEALNIH PLINOVA

1.7.1. Izohora ($v=\text{KONST.}$)

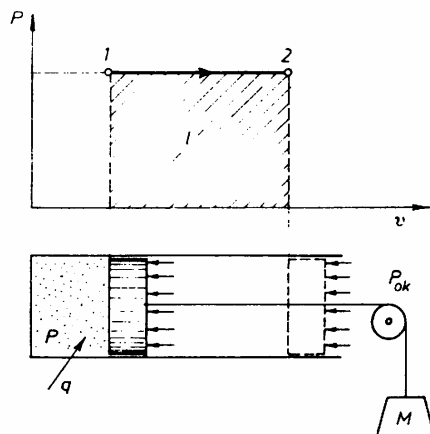
Kod izohornog procesa, kao što definira i sam naziv, specifični volumen i ukupni volumen su konstantni. Promjenljivi su tlak i temperatura (sl. 1.8.).



Sl. 1.8. Izohora: dovođenjem topline tlak raste od P_1 do P_2

1.7.2. Izobara ($P=KONST.$)

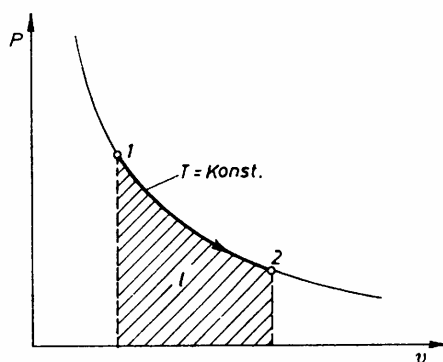
Proces promjene stanja pri konstantnom tlaku prikazan je na slici 1.9. Dovođenjem topline plinu se mijenja volumen, a pri tome mu tlak ostaje konstantan.



Sl. 1.9. Izobarna promjena stanja

1.7.3. Izoterma ($T=KONST.$)

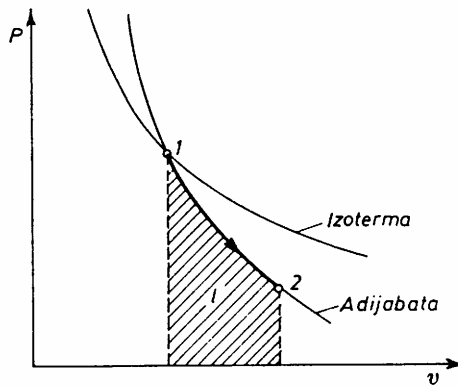
U ovoj promjeni stanja mijenjaju se i tlak i volumen, ali odgovarajućim dovođenjem (ili odvođenjem) topline održava se konstantna temperatura.



Sl. 1.10. Izotermna promjena stanja. Tijekom procesa promjenljivi su i P i v

1.7.4. Adijabata ($q=0$)

Kod adijabatske promjene stanja nastaje promjena svih triju termodinamičkih parametara (P, v, t), a proces se odvija u idealno izoliranom cilindru, ili tako brzo da nema razmjene topline s okolinom.



Sl. 1.11. Adijabatska promjena stanja. Promjenljivi su P, v t ali $q=0$

1.7.5. Politropa (općenita promjena stanja)

Politropa je općenita promjena stanja kod koje se mijenjaju parametri (P, v, t), a s okolinom se razmjenjuju i toplina i rad.

1.8. ENTALPIJA

Fizikalni smisao entalpije najlakše je shvatiti kod izobarnog procesa. Dovedena toplina tijekom tog procesa prema prvom zakonu termodinamike je

$$q = u_2 - u_1 + P \cdot (v_2 - v_1) \quad (9)$$

odnosno

$$q = h_2 - h_1 \quad (10)$$

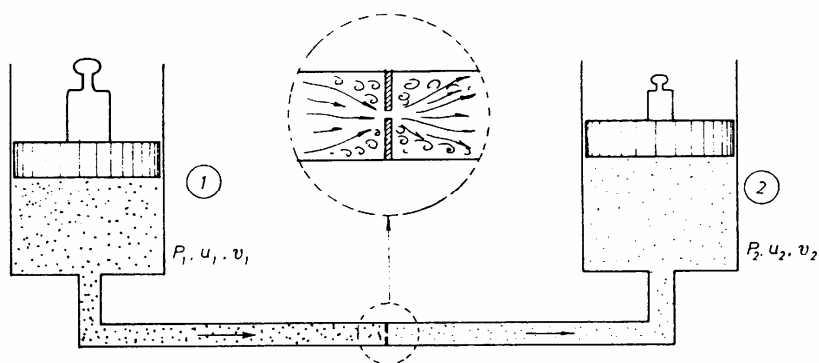
Dovedena toplina tu se, dakle, troši na povećanje unutarnje energije plina i obavljanje rada, odnosno na porast entalpije.

Odatle se izvodi i izraz za izračunavanje entalpije kod idealnih plinova

$$h_2 - h_1 = c_p (t_2 - t_1) \quad (11)$$

Kao i kod unutarnje energije, i ovdje se najčešće računa samo s razlikama entalpija, a izraz (11) vrijedi ne samo za izobaru nego i za sve druge promjene stanja.

Entalpija se upotrebljava i kod matematičkog prikaza procesa prigušivanja. To je tipičan nepovratni proces koji se pojavljuje kad se slobodni presjek strujanja naglo suzi i opet proširi. U praksi je to kod mjerne prigušnice, pritvorenog ventila, većeg lokalnog otpora i sl. Koji efekti tom prilikom nastaju, vidi se na slici 1.12.



Sl. 1.12. Prigušivanje

Iz cilindra 1, gdje vlada viši tlak, struji plin u cilindar 2 gdje je tlak niži. Proces naglog obaranja tlaka odvija se na mjestu suženja presjeka gdje nastaje veliko trenje, vrtloženje i drugi nepovratni učinci. U stacionarnom stanju od 1 prema 2 struji količina plina m za koju se može primijeniti prvi zakon termodinamike

$$Q = U_2 - U_1 + P_2 V_2 - P_1 V_1$$

Pri pisanju te bilance prešutno su zanemarene promjene kinetičkih energija plina prije i poslije prigušivanja. Za relativno male brzine strujanja (manje od 40 m/s) time se ne čini velika pogreška. Razmjena toplina tijekom prigušivanja također je zanemariva, pa posljednji izraz pisan preko entalpija glasi

$$H_2 = H_1 \text{ ili } h_2 = h_1 \quad (12)$$

Za idealni plin, kombinirajući izraz (11) i (12), prilikom prigušivanja temperatura ostaje konstantna. Naravno, to nije nikakva izoterma, tj. povratna

promjena stanja kod koje se razmjenjuju s okolinom toplina i rad. Izvršeni rad kod prigušivanja jednak je razlici P_2V_2 (dizanje utega 2) i P_1V_1 (spuštanje utega 1). Izraz (12) vrijedi i za idealne i za realne plinove pa i za tekućine.

Izraz za prvi zakon termodinamike može se prikladno izraziti preko entalpije. Diferenciranjem izlazi

$$\begin{aligned} dh &= du - Pdv + vdP \\ dh - vdP &= du + Pdv \end{aligned}$$

Desna strana jednadžbe jednaka je dq , pa će konačno biti

$$dq = dh - vdP \quad (13)$$

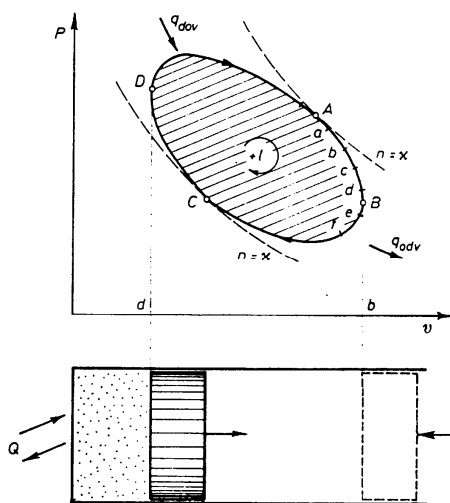
što je alternativni izraz za prvi zakon termodinamike.

1.9. KRUŽNI PROCES (CIKLUS)

Kombinacijom više uzastopnih promjena stanja (procesa) može se ostvariti kružni proces (termodinamički ciklus) kojim se radna materija dovodi natrag u svoje prvobitno stanje. Sukcesivno ponavljanje kružnih procesa (slično kao kod kompresora) u inženjerskoj praksi izuzetno je važno. Na osnovi primjera na slici 1.13. razmotrit će se više važnih pravila i posljedica što vrijede za sve kružne procese.

Nije teško zamisliti da se kružni proces ABCDA sastoji od segmenata – na primjer: segment oko točke A, adijabata s $n=x$; segment a-b, politropa $x < n < \infty$ itd.; segment d-e, izohora; segment e-f politropa $n < 0$ itd.

Klip (gibanje kojeg može početi iz bilo koje točke ciklusa) u biti se kreće od najmanjeg volumena, točka D, do najvećeg volumena, točka B, i natrag. Karakteristični položaji D i B nazivaju se okretišta ili mrtve točke. Prilikom pomicanja klipa udesno, DAB, rad se dobiva, a u P, v-dijagramu na slici 1.13 taj rad je ekvivalentan površini $dDABb$. Analogno tome pri gibanju klipa ulijevo, BCD, rad se troši i ekvivalentan je površini $bBCDd$. Neto dobiveni rad tijekom jednog ciklusa jednak je razlici dobivenoga i utrošenog rada, odnosno osjenčenoj površini unutar krivulje procesa.



Sl. 1.13. Opći kružni proces

Prilikom opisanog pomicanja klipa, a da bi se realizirao baš željeni oblik ciklusa DABCD, dovodi se ili odvodi toplina

$$q = c_v \cdot \frac{n-x}{n-1} \cdot \Delta T$$

gdje su n i ΔT za svaki segment različiti. U točkama A i C, budući da je $n=x$, nema ni dovođenja ni odvođenja topline. U svim ostalim točkama ciklusa toplina se ili dovodi ili odvodi. Analizom eksponenta n lako je uočiti da se u dijelu ciklusa CDA toplina dovodi, q_{dov} , a u dijelu ABC se odvodi, q_{odv} .

Što se tiče unutarnje energije radnog medija, ona se neprestano mijenja, ali završetkom ciklusa uvijek se dovodi na početnu vrijednost ($u_2 = u_1$) jer je ona veličina stanja. Primjenjujući prvi zakon termodinamike bit će

$$q = u_2 - u_1 + 1$$

odnosno

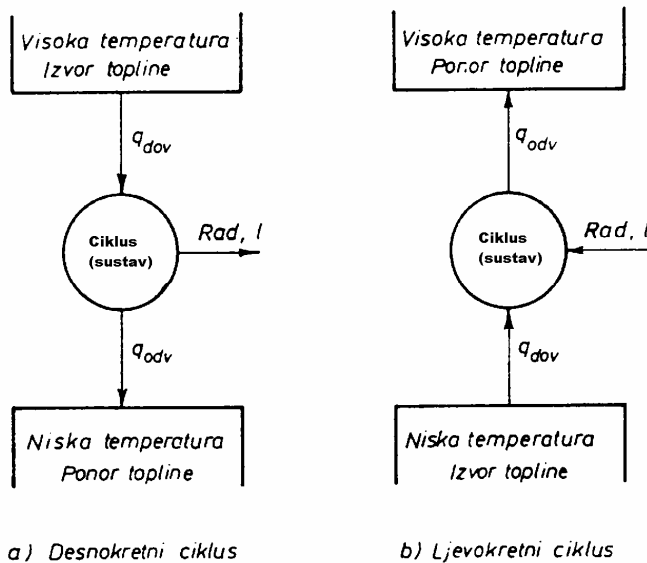
$$(q_{dov} - q_{odv}) = 1 \quad (14)$$

(Ako se q_{dov} i q_{odv} računaju prema prije zadanim formulama, pravilno je pisati $q_{dov} + q_{odv} = 1$, ali se u praksi ipak radije upotrebljava izraz (14) da bi se odmah uočila činjenica da je dovedena toplina pozitivna, a odvedena negativna.).

Iz toga izlazi važna konstatacija da se tijekom kružnog procesa (neto) rad dobiva na račun razmjene (neto) količine topline, a radni je medij samo posrednik u pretvorbi topline u rad.

Važno je dalje zapaziti da su za ostvarenje kružnog procesa potrebni tzv. izvor i ponor topline. U praksi kao izvor topline služe, na primjer: komora za izgaranje, kotao, nuklearni reaktor itd. Ponor topline najčešće je voda iz rijeka, jezera ili mora, ili okolni atmosferski zrak.

Iznesene činjenice shematski su prikazane na slici 1.14.a.



Sl. 1.14. Shematski prikaz desnokretnog i ljevokretnog kružnog procesa

Prije opisani kružni proces sa slike 1.13. je tzv. desnokretni kružni proces jer se u P, v-dijagramu odvija u smjeru kretanja kazaljke na satu. Drukčijom kombinacijom pomicanja klipa i razmjene topline može se ostvariti i obratni, tj. ljevokretni proces. Kod tog procesa toplina se uzima na nižoj temperaturnoj razini i uz utrošak (neto) rada predaje na višoj temperaturnoj razini (sl. 1.14.b). Takvi ciklusi nazivaju se i toplinske pumpe, a u praksi ih ostvaruju sva rashladna postrojenja. Kao vrlo važan pokazatelj učina kružnog procesa služi odnos dobiveno/utrošeno. Za desnokretno cikluse taj se ciklus naziva stupanj djelovanja

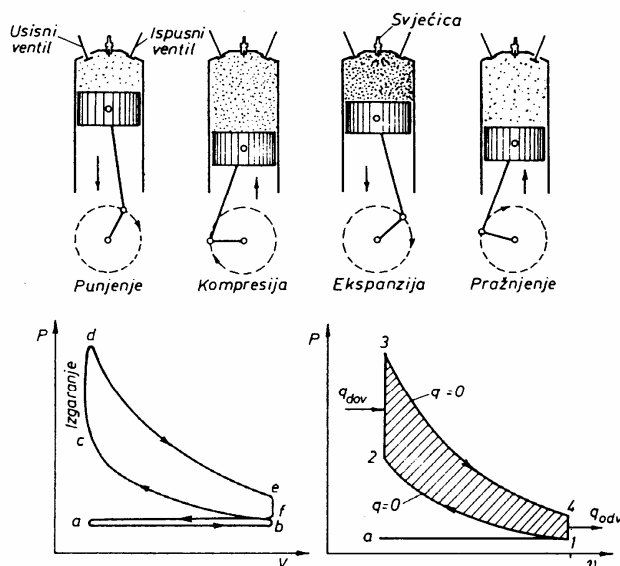
$$\eta = \frac{l}{q_{dov}} = 1 - \frac{q_{odv}}{q_{dov}} \quad (15)$$

1.10. CIKLUSI S UNUTARNJIM IZGARANJEM

Ciklusi s unutarnjim izgaranjem u praksi su vrlo rašireni i susreću se kod motora u automobilima, brodovima i sl. Uglavnom su dva tipa ovih ciklusa:

- Ottov (Otov) ciklus,
- Dieselov (Dizelov) ciklus.

Na slici 1.15. ilustriran je način rada motora s Ottovim ciklusom, a sam proces prikazan je u P, v-dijagramu.



Sl. 1.15. Način rada, stvarni i idealni ciklus kod Ottova motora

Ciklus počinje otvaranjem usisnog ventila, pomicanjem klipa nadolje i punjenjem cilindra smjesom zraka i goriva. Slično kao kod kompresora ovaj dio ciklusa prikazan je uvjetno u P, v-dijagramu linijom a-b. U drugom dijelu ciklusa oba su ventila zatvorena i usisana smjesa se adijabatski komprimira od stanja b do c. U momentu c (gornja mrtva točka ili okretište) komprimirana smjesa se pali iskrom. Nastala reakcija (izgaranje) vrlo je burna – gotovo se trenutno osloboda velika količina topline iz kemijske unutarnje energije goriva, tako da smjesi pri $V=\text{konst.}$ naglo porastu tlak i temperatura od stanja c do stanja d. Ti plinovi u trećem dijelu ciklusa adijabatski ekspandiraju (od stanja d do e) obavljajući rad. U četvrtom dijelu ciklusa otvara se ispušni ventil i cilindar se prazni. Prilikom otvaranja ventila pritisak u cilindru naglo opada od e do f, a samo pražnjenje ide po liniji f-a. S ova četiri dijela (četiri takta, pa se često ovi motori i zovu četverotaktni) ciklus je zatvoren i može se ponoviti.

Za već spomenuti odnos tlaka i svojstvo plina ($x=1,35$), te odnos volumena $v_3:v_2=3$ i početnu temperaturu $t_1=20^\circ\text{C}$, uobičajena vrijednost stupnja djelovanja kod dizelovog motora je $\eta\sim 0,5$.

1.11. ENTROPIJA

Kao i za općeniti kružni proces, jednadžba (15), tako i za Carnotov ciklus, od topline q_{dov} u rad se pretvara dio

$$q_{dov} \cdot \eta_c = l_c$$

Koristeći se izrazom za stupanj djelovanja Carnotovog ciklusa, η_c , dobiveni rad je

$$l_c = q_{dov} - \frac{q_{dov}}{T} T_{ok} \quad (16)$$

Znajući također, prema jednadžbi (14), da je

$$l_c = q_{dov} - q_{odv}$$

i uspoređujući s izrazom (16), može se zaključiti da je

$$q_{odv} = \frac{q_{dov}}{T} \cdot T_{ok} \quad (17)$$

Kako je već rečeno, T_{ok} je manje-više konstantno, pa je iz (17) jasno da se, znajući q_{dov} i njezinu temperaturnu razinu T , unaprijed može odrediti koliki će biti dio topline predan okolini

$$q_{odv} = \frac{q_{dov}}{T} \cdot konst. \quad (18)$$

Odnos (q_{dov}/T) je, prema tome, mjerilo za količinu neupotrebljive energije koja se, i u najpovoljnijem slučaju pretvorbe topline u rad (Carnotov ciklus), mora predati ponoru topline (okolini). Taj vrlo važan termodinamički pokazatelj nosi i posebno ime: entropija a označava se sa "s". Međutim, kao i kod unutarnje energije i entalpije, za tehničku termodinamiku bitnija je promjena entropije (Δs) negoli njezina apsolutna vrijednost, koje bi precizno izračunavanje zadiralo u kemiju i nuklearnu fiziku. Na osnovi jednadžbe (17) piše se također

$$\frac{q_{dov}}{T} = \frac{q_{odv}}{T_{ok}} \quad (19)$$

pa će općenito biti

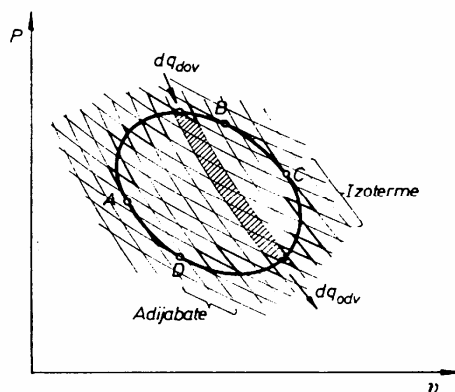
$$\Delta s = \frac{q}{T} \quad [J / kg \ K] \quad (20)$$

ili za m kilograma

$$\Delta S = m \cdot \Delta s \quad [J / K] \quad (21)$$

1.12. DRUGI ZAKON TERMODINAMIKE

Svaki kružni proces može se zamijeniti sa n elementarnih Carnotovih ciklusa (sl. 1.16.). Pri tome se podrazumijeva jednako toliki broj izvora i ponora topline s odgovarajućim temperaturama pri kojima se dovodi toplina dq_{dov} i odvodi toplina dq_{odv} .

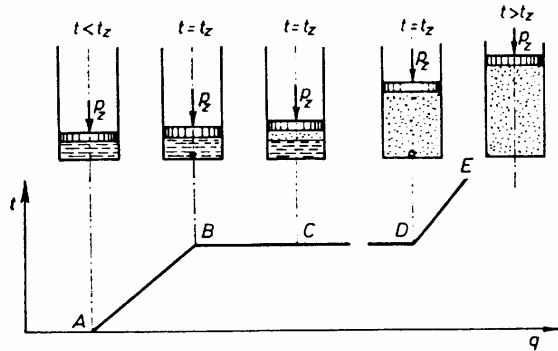


Sl. 1.16. Općeniti kružni proces aproksimiran sa n Carnotovih ciklusa

Najsažetija definicija drugog zakona termodinamike glasi: Toplina ne može sama od sebe prelaziti s mjesta niže temperature na mjesto više temperature. U tehničkoj praksi toplina se prebacuje od mjesta niže temperature na mjesto više temperature, ali s trošenjem mehaničke radnje, što znači da sama od sebe ne prelazi u tom smjeru.

1.13. PARE I PARNI CIKLUSI

Poznato je da se ista materija pojavljuje u sva tri agregatna stanja, a u određenim uvjetima ona su u termodinamičkoj ravnoteži: čvrsto i tekuće, tekuće i parno, čvrsto i parno ili čak sva tri agregatna oblika istovremeno. Kako to izgleda na primjeru H_2O , vidi se na slici 1.17.



Sl. 1.17. Dovođenjem topline H_2O iz tekuće prelazi u parnu fazu

U cilindru pod određenim tlakom P_z i s temperaturom $t < t_z$ (stanje A) nalazi se izvjesna količina vode. Dovođenjem topline temperatura vode će rasti, tlak će ostati isti, a volumen će se neznatno povećati. Proces će tako teći do temperature t_z kad će početi ključanje, tj. transformacija iz tekuće u plinovitu fazu. Temperatura t_z ostat će nepromijenjena od trenutka pojave prvog mjehurića pare (stanje B), pa sve do isparivanja i posljednje kapljice vode (stanje D).

Daljim dovođenjem topline nastaloj pari raste temperatura, $t > t_z$, povećava se volumen, a tlak prirodno i dalje ostaje isti. S još većim porastom temperature para će se po ponašanju sve više približavati idealnom plinu, tj. sve će bolje zadovoljavati jednadžbu stanja $P_v = RT$.

Temperatura, na kojoj nastaje isparivanje, naziva se temperatura zasićenja t_z , a kako će se sa r (J/kg).

Fenomen prelaska iz tekućega u parno stanje može se tumačiti molekularnom izgradnjom materije. Dovođenjem topline molekule tekućine se kreću sve većim brzinama, jer na taj način one apsorbiraju dovedenu toplinu u obliku svoje kinetičke energije. U jednom trenutku, tj. kod određene temperature, kinetičke energije molekula su tolike da se kidaju uobičajene veze među njima koje karakteriziraju tekuće stanje, pa dolazi do novih (mnogo labavijih) veza među molekulama karakterističnih za plinove, odnosno pare.

Voda koja je dovedena na temperaturu t_z i upravo će početi ključati naziva se voda na granici zasićenja, a njezin se volumen označava sa v' (m^3/kg). Para iz koje je upravo isparila i posljednja kapljica vode naziva se suhozasićena para, a njezin se volumen označava sa v'' (m^3/kg). Između vode na granici zasićenja i suhozasićene pare moguće su sve kombinacije mješavine vode i pare, ali uvijek na zajedničkoj temperaturi t_z i s volumenom između v' i v'' . Ta mješavina često se naziva i vlažna para jer u njoj, barem volumno, sadržaj pare dominira. Para temperature više od t_z naziva se pregrijavana para i ima volumen $v > v''$.

Ako se cijeli eksperiment ponovi pod nekim drugim tlakom, nastat će i sve opisane pojave, s time što će temperatura zasićenja biti različita. Višem tlaku odgovaraju i više temperature i obratno. Jednako tako i svaka materija ima svoje specifičnosti, odnosno svoju funkcionalnu zavisnost $t_z = f(P_z)$. U tablici 1. vidan je primjer eksperimentalno dobivenih podataka za više različitih materija.

Tablica 1. Zavisnost temperature ključanja od tlaka za različite čiste materije

P (bar)	Temperature ključanja, ($^{\circ}\text{C}$)				
	H_2O	NH_3	CO_2	R-22	Hg
0,01	7				175
0,05	33			-89	222
0,10	46	-70		-80	250
0,50	81	-46		-55	319
1,00	100	-33		-41	356
5,00	152	4	-56	0	459
10,00	180	25	-40	23	517
50,00	264		15		691
100	311				

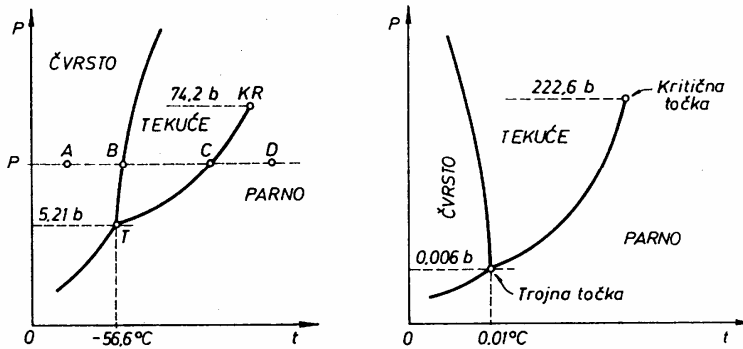
Kako je spomenuto u tekstu tablice 1, opisana i navedena zavisnost temperature ključanja o tlaku vrijedi za čiste materije. Naime, kod različitih otopina i smjesa (na primjer: amonijaka i vode, zraka itd.) tijekom procesa ključanja neprestano se mijenja sastav tekuće i parne faze, pa samim tim i temperatura ključanja.

Analogno prijelazu iz tekuće u parnu fazu obavlja se i prijelaz iz čvrste u tekuću fazu. Grijanjem raste temperatura leda sve dok u jednom trenutku, što opet ovisi o tlaku, započne njegovo topljenje. Dovođenjem topline led se sve više topi, ali kod čistih materija temperatura se ne mijenja sve dok se i posljednji komadić leda ne pretvori u vodu. Daljnjim dovođenjem topline voda se grije i kako je već opisano, ključa itd.

Podaci iz tablice 1. i slični podaci za temperature topljenja u funkciji tlaka mogu se prikazati i grafički kao na slici 1.18.

Za tlak veći od 5,21 b i temperature uglavnom niže od $-56,6^{\circ}\text{C}$, CO_2 će biti u čvrstom stanju (točka A na slici 1.18). Grijanjem pri konstantnom tlaku temperatura raste i u točki B dolazi do prijelaza u tekuće stanje. Daljnjim grijanjem u točki C (koja, kao i točka B, ovisi o tlaku) nastaje ključanje i prijelaz u parno stanje.

Za tlak niži od 5,21 b kod CO_2 uopće nema faze. Grijanjem iz čvrstog stanja izravno se prelazi u parno. Taj proces naziva se sublimacija.



Sl. 1.18. Temperature topljenja, ključanja i sublimacija za CO_2 (lijevo) i H_2O (desno)

S druge strane, za tlak viši od 74,2 b (za CO_2) izostaje ključanje, odnosno gubi se granica između tekuće i parne faze. Ovdje nema pojave konstantne temperature tijekom procesa dovođenja topline, a tlak je toliki da je specifični volumen pare jednak specifičnom volumenu tekućine.

Točka u kojoj nestaje pojava ključanja naziva se kritičnom točkom. Slično je tako karakteristična i tzv. trojna točka, tj. ono stanje kad prestaje postojati tekuća faza. Trojna točka dobila je naziv po tome što samo pri tom tlaku i temperaturi sve tri faze neke čiste materije mogu biti u termodinamičkoj ravnoteži.

Slično opisanom za CO_2 vrijedi i za H_2O i druge čiste tvari, ali uz određene specifičnosti što se vidi i na slici 1.18.

Naravno, svi opisani procesi mogu teći i u suprotnom smjeru. Odvođenjem topline para se hladi i kada dostigne temperaturu zasićenja počinje se kondenzirati itd.

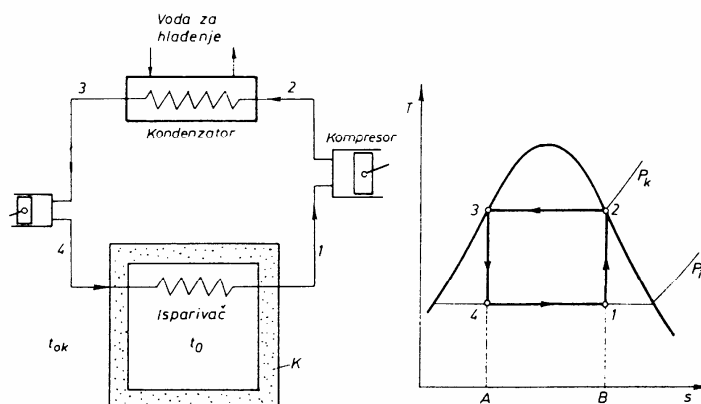
1.14. IDEALNI, CARNOTOV RASHLADNI CIKLUS

Kako kod desnokretnih, jednako tako i kod ljevokretnih ciklusa, Carnotov je ciklus najbolji mogući način podizanja topline s niže na višu temperaturnu razinu uz utrošak rada. Ostvarenje takvog ciklusa praktički je najlakše postići unutar zasićenog područja nekoga radnog medija (NH_3 , amonijaka, na primjer). Shema postrojenja i proces u T, s -dijagramu za jedan ljevokretni, Carnotov ciklus prikazani su na slici 1.19.

Ako je u izoliranoj rashladnoj komori (K) temperatura (t_0) niža od okolne temperature (t_{ok}), tad će, prema drugom zakonu termodinamike, uvijek dolaziti do priljeva topline iz okoline u rashladnu komoru. Da bi se temperatura u rashladnoj komori održala na željenoj niskoj razini, iz komore se neprestano mora "ispumpavati" ista količina topline koja u nju prodire. Odvođenje te topline obavlja se isparivačem u kojem vlada takav tlak da se isparavanje radnog medija odvija pri temperaturi $t_i \leq z_0$ (za Carnotov ciklus vrijedi $t_i = t_0$, a za stvarne cikluse $t_i < t_0$). U T, s -dijagramu taj je proces prikazan izotermom-izobarom 4-1, a površina A41B proporcionalna je odvedenoj toplini. Ta se toplina zove i rashladni učin ciklusa a izračunava se prema jednadžbi koja za konkretni ciklus glasi

$$q_i = h_1 - h_4 \quad (22)$$

Radni medij koji je preuzeo toplinu iz rashladne komore, stanja 1, adijabatski se zatim komprimira u kompresoru do stanja 2. U stanju 2 tlak je toliki da je temperatura kondenzacije radnog medija $t_k \geq t_{ok}$ (za Carnotov ciklus $t_k = t_{ok}$, a za stvarne cikluse $t_k > t_{ok}$).



Sl. 1.19. Shema postrojenja i ljevokretni Carnotov ciklus u vlažnom području

Time je omogućeno predavanje topline u okolinu, tj. okolnom zraku, rashladnoj vodi ili sličnim medijima koji mogu poslužiti kao prijamnik topline. U T, s-dijagramu taj dio ciklusa prikazan je izotermno-izobarnom promjenom 2-3. Toplina predana okolini proporcionalna je površini B23A a izračunava se kao

$$q_k = h_2 - h_3 \quad (23)$$

Ciklus se zatvara adijabatskom ekspanzijom 3-4 u ekspanzijskom stroju, čime se radnom mediju ponovo snižava tlak na vrijednost koja odgovara temperaturi isparavanja, jednakoj temperaturi u rashladnoj komori ili nižoj od nje.

Utrošeni rad u ciklusu jednak je razlici rada kompresora i ekspanzijskog stroja što daje

$$l = (h_2 - h_1) - (h_3 - h_4) \quad (24)$$

Isti rad jednak je i razlici odvedene i dovedene topline, $l = q_k - q_i$, što je lako provjeriti iz prethodnih jednadžbi, a prikazan je površinom 1234 u T, s-dijagramu.

Za ocjenu rada rashladnog ciklusa upotrebljava se tzv. koeficijent hlađenja. Jednako kao i kod desnokretnih ciklusa to je odnos: korisno kroz utrošeno, tj.

$$\varepsilon_h = \frac{q_1}{l} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)} \quad (25)$$

Za Carnotov ciklus taj se koeficijent izračunava i kao

$$\varepsilon_h = \frac{T_o(s_1 - s_4)}{T_{ok}(s_2 - s_3) - T_o(s_1 - s_4)}$$

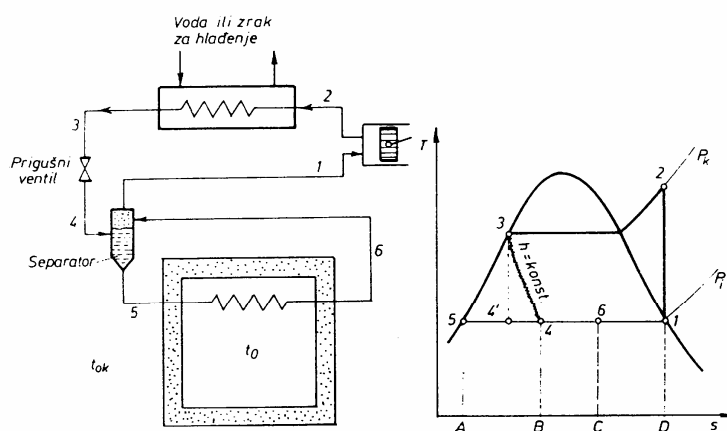
što za $(s_2 - s_3) = (s_1 - s_4)$ daje izraz za najbolji mogući koeficijent hlađenja između zadanih temperatura T_o i T_{ok} .

$$\varepsilon_h = \frac{T_o}{T_{ok} - T_o} \quad (26)$$

Brojčana vrijednost koeficijenta hlađenja, ovisno o zadanim temperaturama, kreće se između nule i beskonačnog.

1.15. STVARNI RASHLADNI CIKLUS

Ostvarenje Carnotova rashladnog ciklusa opisanog u prethodnom poglavlju praćeno je s dvije osnovne teškoće. Slično kao i kod ciklusa za dobivanje rada teško je ostvariti kompresiju dvofazne smjese stanja 1. Zbog toga se u praksi ostvaruje usisavanje samo jedne faze, tj. pare u kompresor. Drugi problem pojavljuje se kod ekspanzijskog stroja koji s jedne strane radi s dvofaznom smjesom, a s druge strane ima velike gubitke energije, dimenzijski je vrlo malen i skup element cijele instalacije. Zato praktični rashladni ciklusi se ostvaruju prema shemi na slici 1.20.



Sl. 1.20. Stvarni rashladni ciklus

Za razliku od sheme Carnotova rashladnog ciklusa, kod sheme stvarnoga ciklusa umjesto ekspanzijskog stroja postavljen je prigušni ventil. Time se na vrlo jednostavan i jeftin način snižuje tlak od P_k na P_i . Proces, međutim, teče s porastom entropije što se odražava u smanjenju rashladnog učina: umjesto $q_1 = h_1 - h'_4$ stvarni je rashladni učin $q_1 = h_1 - h_4$.

Separator vlažne pare iduća je razlika sheme na slici 1.20. u odnosu prema shemi na slici 1.19. Vlažna para stanja 4 u separatoru odvaja se na tekućinu stanja 5 i paru stanja 1. Tekućina ide prema isparivaču u rashladnoj komori, a para prema kompresoru. Budući da se ne može garantirati potpuno isparivanje u isparivaču, izlazna (vlažna) para stanja 6 vodi se ponovo u separator. Na taj način osigurano je usisavanje u kompresor samo suhozasićene pare stanja 1.

Rashladni učin postrojenja na slici 1.20. izračunava se prema izrazu (22) ili kao

$$q_1 = n \cdot (h_6 - h_5) \quad (27)$$

gdje je n tzv. kratnost cirkulacije, tj. protok kroz isparivač u odnosu prema protoku kroz prigušni ventil. U T, s-dijagramu ta toplina je prikazana površinom B41D.

Utrošeni rad za pogon stvarnog rashladnog ciklusa računa se kao

$$l = (h_2 - h_1) \quad (28)$$

jer se kod prigušnog ventila niti dobiva niti troši rad. Koeficijent hlađenja, prema prethodnoj definiciji, je

$$\varepsilon_h = \frac{q}{l} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (29)$$

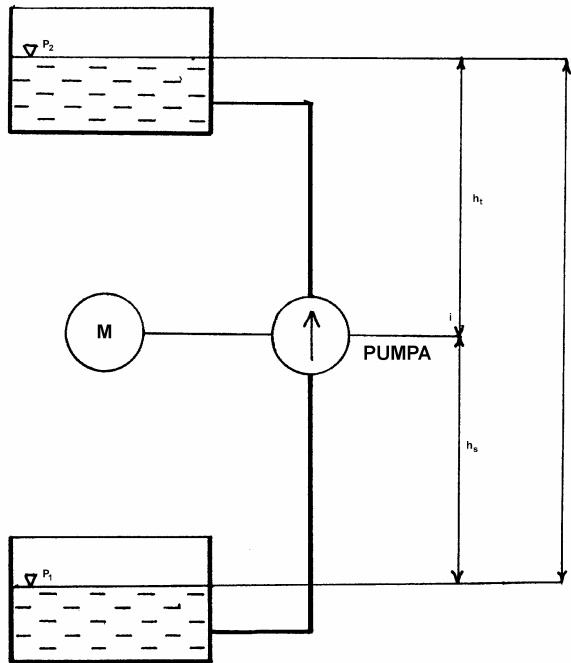
2. BRODSKE PUMPE

Pumpa je uređaj koji se najčešće pojavljuje u svim brodskim sustavima. Ona je osnovni element sustava kaljuže i balasta, a bez pumpi je isto tako nezamisliva uporaba sustava poriva, klima uređaja, uređaja za kormilarenje, uređaja za manipulaciju s teretom na tankerima i mnogih drugih uređaja. Stoga će u ovom poglavlju biti iznesen pregled pumpi koje se na brodovima najčešće susreću.

Podjela brodskih pumpi može izgledati ovako:

- a) prema namjeni:
 - za rad porivnih strojeva, kotlova i kondenzatora: rashladne pumpe, napojne pumpe, pumpe za loženje, za podmazivanje, za dobavu goriva, itd.,
 - za sigurnost broda: kaljužne i vatrogasne pumpe,
 - za upravljanje brodom: pumpe za hidraulične kormilarske uređaje,
 - za potrebe posade broda: pumpe za pitku vodu, toplu i morsku vodu, pumpe u službi evaporatora, i dr.
 - za službu tereta: pumpe za ukrcaj i iskrcaj tekućeg tereta,
 - za brodsku službu: pumpe za balastiranje broda, za pretakanje goriva i maziva,
- b) prema visini dizanja:
 - one koje dižu tekućine na male visine: kaljužne, balastne i rashladne,
 - one koje dižu tekućine na velike visine: napojne i protupožarne pumpe.
- c) prema količini dobavljene tekućine:
 - za velike količine: rashladne pumpe, balastne pumpe i pumpe tekućeg tereta,
 - za male količine: napojne pumpe, pumpe pitke, tople i morske vode za brodske potrebe,
- d) prema konstrukciji u odnosu na element koji pokreće tekućinu:
 - pumpe s linearno pokretanim elementom (stapne i klipne pumpe),
 - rotacijske pumpe (centrifugalne pumpe, vijčane pumpe, zupčaste pumpe, i sl.)
 - mlazne pumpe (ejektor).

2.1. TEORETSKA RAZMATRANJA



Sl. 2.1.

Usisnu visinu mjerimo (na sl. 2.1. položaj i) za stapne pumpe do tlačnog ventila, za turbopumpe s horizontalnom osovinom do sredine osovine, a za vertikalne turbopumpe do najnižeg ruba lopatica rotora prvog stupnja.

Ukoliko je donja posuda otvorena ($p_1=b$), dopuštena geodetska usisna visina ovisna je o barometarskom tlaku b koji se mijenja s nadmorskom visinom.

Na brodovima se uvijek javlja jedna druga zakonitost, a to je ovisnost najveće dopuštene usisne visine o temperaturi tekućine. Na primjer, za vodu temperature 15°C ne smije najveća usisna visina biti veća od 6 m, dok za vodu temperature 70°C voda mora čak pritjecati s pozitivnom usisnom visinom od +3 m. To je i jedan od razloga zašto su pumpe za rashlađivanje košuljica glavnih motora smještene na nižim platformama strojarnice. U protivnom, voda bi jednostavno isparila.

Za tankere lako hlapljive tekućine uvijek moraju pritjecati u pumpu s pozitivnom usisnom visinom. Time sprječavamo nastajanje lako zapaljivih para, npr. u slučaju benzina.

2.2. STAPNE I KLIPNE PUMPE

Te pumpe spadaju u grupu pumpi s linearno pokretnim dijelovima. U njima se tekućina pomiče od usisa prema tlaku pomoću stapa ili klipa koji se naizmjenično u jednom cilindru pokreće.

Značajka je tih pumpi da im isti prostor služi za dobavu tekućine pri usisavanju i tlačenje. Zbog toga moraju imati određene konstruktivne elemente koji će pri izmjeni funkcije prostora u fazi usisavanja i tlačenja spriječiti povrat usisane tekućine u usisni cjevovod. Taj zadatak izvode ventili. Oni se moraju automatski zatvarati i otvarati već prema uporabi prostora.

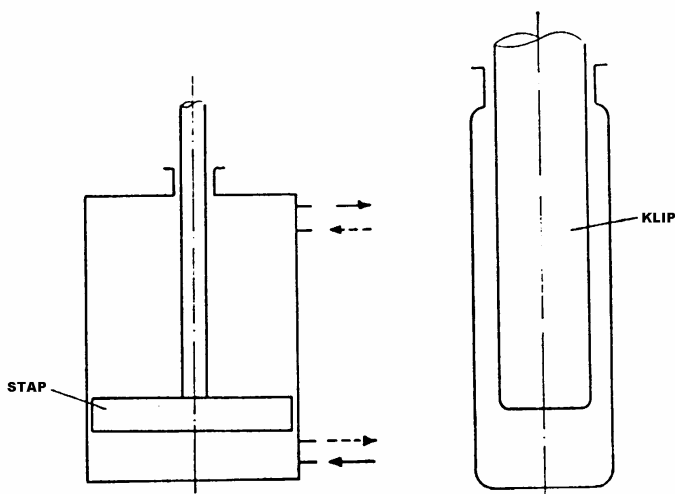
Zbog djelovanja ventila upotrebljava se podtlak, odnosno predtlak koji se dobiva linearnim gibanjem stapa ili klipa u cilindru.

U tim pumpama dobava tekućine je isprekidana zbog naizmjeničnog djelovanja stapa ili klipa.

Brzina stapa ili klipa mijenja se prema duljini stapa u cilindru od 0 do max. da bi opet pala na 0.

Zbog linearno pokretanih masa mehanizma pumpi i linearnog gibanja tekućine uz istodobno linearno gibanje stapa ili klipa, broj okretaja tih pumpi je ograničen, te može maksimalno iznositi 300 dvostrukih stapaja u minuti.

Ako se želi veći broj okretaja zbog zahtjevane veće dobave, onda moramo odabrati centrifugalnu pumpu koja je daleko jeftinija od stapne ili klipne pumpe.



Sl. 2.2. Stapna pumpa (lijevo) i klipna pumpa (desno)

Općenito se stapne ili klipne pumpe upotrebljavaju za male dobavne količine, niske brzine i velike dobavne visine. Pumpe su samousisne, a koriste se najčešće kao kaljužne pumpe, transfer pumpe, napojne pumpe i protupožarne pumpe.

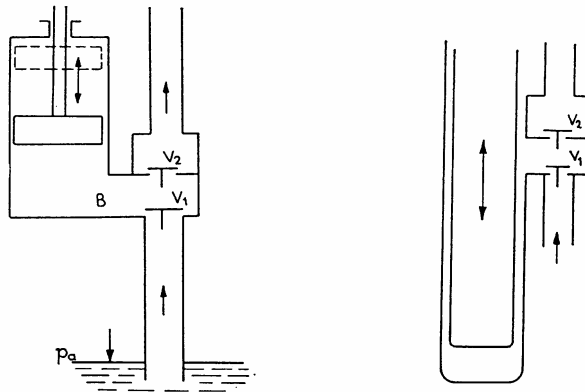
Prema načinu rada stapne i klipne pumpe dijelimo na: jednoradne, dvoradne i diferencijalne.

2.2.1. Jednoradne pumpe

Na slici 2.3. prikazana je jednoradna pumpa koja se sastoji od cilindra, stapa te usisnog i tlačnog ventila.

Stapalo se pokreće pravocrtno, naizmjenice preko položaja od jedne do druge mrtve točke.

Gibanjem klipa ili stapa prema gore u cilindru nastaje podtlak. Atmosferski tlak tlači vodu u usisnu cijev. Voda djelovanjem atmosferskog tlaka otvara usisni ventil V_1 i ispunja prostor B. Kad se klip ili stap vraća, to jest giba prema dolje, stvara se u prostoru B predtlak koji zatvara usisni ventil V_1 , a otvara tlačni ventil V_2 te tlači vodu u tlačnu cijev.

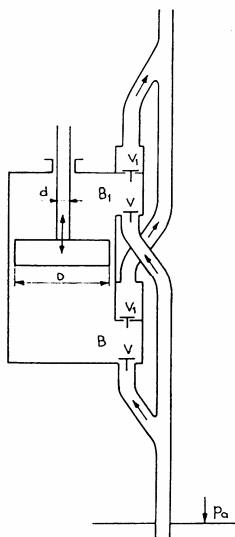


Sl. 2.3. Jednoradna pumpa: stapna (lijevo) i klipna (desno)

2.2.2. Dvoradne pumpe

Dvoradne stapne pumpe su one pumpe u kojima se pomicanjem stapa u cilindru naizmjenice s obje strane stapa stvara podtlak u prostorima B i B1 u koji atmosferski tlak tjera vodu iz usisne cijevi otvarajući usisne ventile V , te

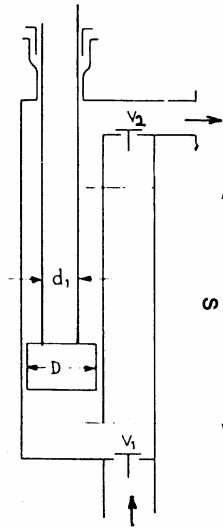
naizmjenice stap tjera tekućinu u tlačnu cijev otvarajući ventile V_1 . Klipne pumpe su za razliku od stapnih samo jednoradne zato što se usisavanje i tlačenje tekućine obavlja volumenom klipa. Dvoradna stapna pumpa prikazana je na slici 2.3.



Sl. 2.3. Dvoradna stapna pumpa

2.2.3. Diferencijalne pumpe

Diferencijalne pumpe su one pumpe u kojima oblik klipa prelazi djelomično u oblik stapa. Dobava im je jednoličnija od klipnih jednoradnih pumpi. Diferencijalna pumpa prikazana je na slici 2.4.

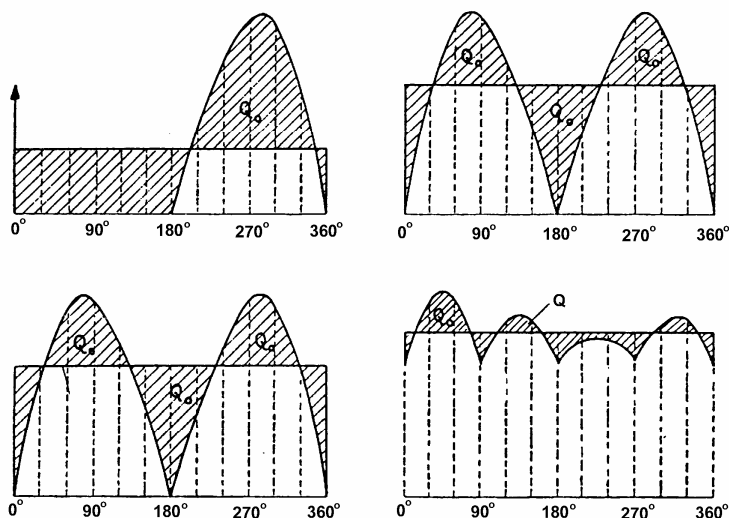


Sl. 2.4. Diferencijalna stapna pumpa

2.2.4. Dobava stapnih pumpi

Stapne pumpe ne mogu imati konstantni tok dobave zbog promjenjive brzine stapa u cilindru. Dobava jednoradne pumpe je za vrijeme usisavanja jednaka nuli, dok se za vrijeme tlačenja mijenja kako se mijenja brzina stapa. To se može zornije prikazati dijagramom. Ako zamislimo jednu jednoradnu pumpu i nanesimo na apscisu kut zakreta osnog koljena, a na ordinatu brzinu stapa za vrijeme tlačenja tekućine, dobiti ćemo dijagram pri tlačenju pumpe ili dijagram dobave tekućine. Povučemo li horizontalnu liniju tako da površina pravokutnika ima istu osnovicu kao i dijagram, to jest 2π , dok srednja ordinata određuje srednju brzinu ili srednju dobavu za vrijeme od dva hoda stapa o kojih je jedan jalov, opazit ćemo osjetljivo kolebanje odakle i proizlazi promjena dobave i tlaka.

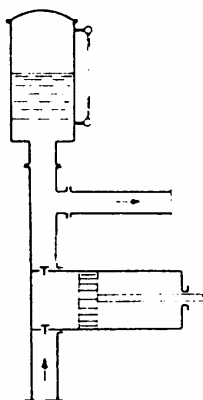
Sljedeći dijagrami, na slici 2.5. a, b, cd, d, prikazuju ponašanje protoka pri tlačenju za pojedine tipove stapnih pumpi.



Sl. 2.5.

- a – jednoradna pumpa s jednim stapalom (Simplex)
- b – davoradna pumpa s jednim stapalom
- c – jednoradna pumpa s dva kućišta /Duplex), osna koljena pod 180°
- d – davoradna pumpa s dva kućišta, osna koljena pod 90°

Da bi se održao što jednoličniji tok strujanja tekućine u cjevovodu, upotrebljavaju se zračne komore. Šrafirane površine prikazuju količinu tekućine koju zračna komora treba preuzeti. Zračne su komore, prikazane na slici 2.6., zatvorene posude koje imaju vezu sa cjevovodom na donjem dijelu, dok je u gornjem dijelu zrak.

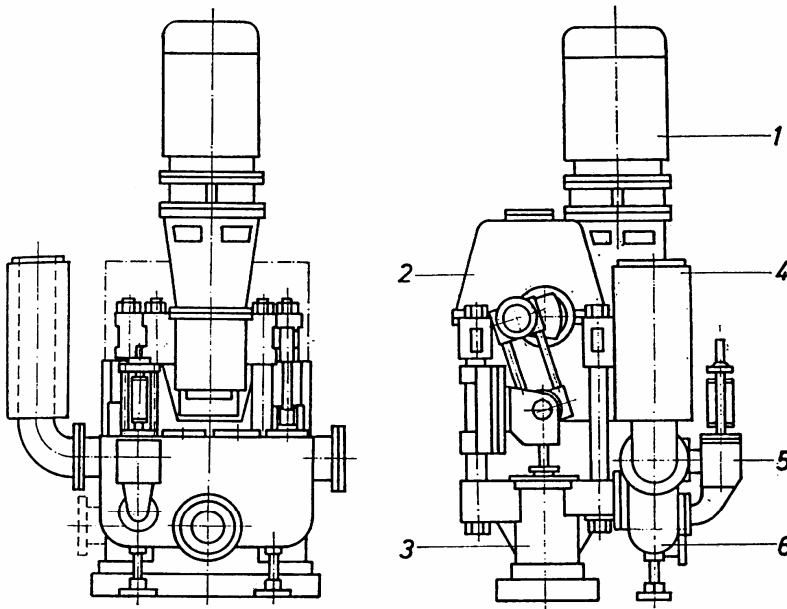


Sl. 2.6. Zračna komora

2.2.5. Vrste pogona

Stapne pumpe možemo pogoniti ručno, elektromotorom, ili mogu biti privještene propulzijskom motoru. Na ručni pogon izvedene su samo manje pumpe koje služe za pomoćne svrhe, npr. pumpa za baždarenje rasprskача, ručna pumpa za nadoljev ulja u pomoćni dizel-motor.

Na slici 2.7. prikazana je elektromotorna stapna pumpa.



Sl. 2.7. Elektromotorna stapna pumpa

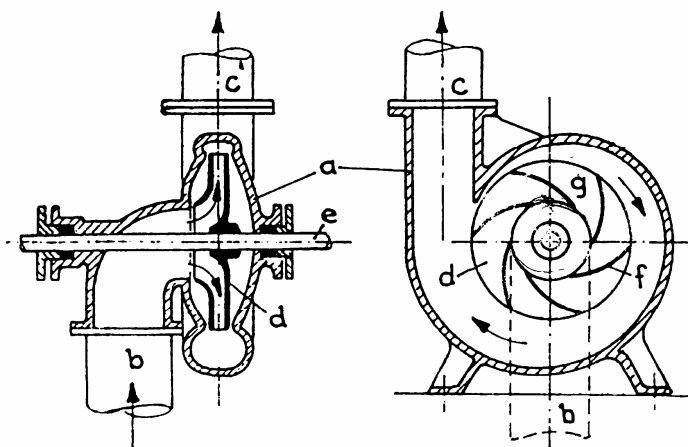
1- elektromotor, 2-prijenos, 3-cilindar, 4. zračna komora,
5. sigurnosni ventil, 6. kućište ventila

2.3. CENTRIFUGALNE PUMPE

Centrifugalne pumpe su one pumpe kroz koje tekućina protječe od usisa prema tlaku djelovanjem centrifugalne sile, s radijalnim tokom strujanja koje nosi tekućinu između lopatica jednog ili više rotora. Prikladne su za svaku upotrebu, osim za male količine i male brzine, te za tekućine koje imaju veliki viskozitet. Upotrebljavaju se najviše za male i srednje dobavne visine i za velike dobavne količine pri povećanim brzinama strujanja, i nisu samousisne.

Sastoje se od fiksnog spiralnog kućišta i rotora pričvršćenog na osovini koji se okreće velikom brzinom. Kad se rotor okreće, povlači za sobom tekućinu koja se nalazi među lopaticama. Djelovanjem centrifugalne sile tekućina povećava brzinu koja se dobrim dijelom pretvara u tlak.

Na slici 2.8. prikazan je najjednostavniji oblik centrifugalne pumpe.



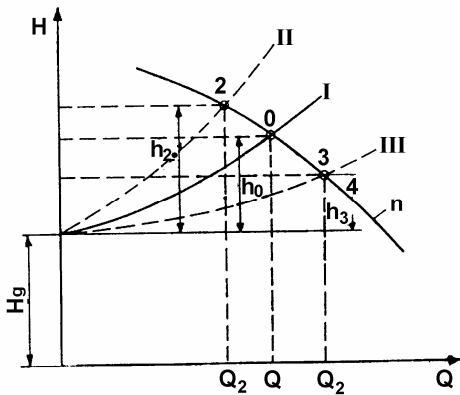
Sl. 2.8. Centrifugalna pumpa

a-kućište; b-usisna cijev; d-tlačna cijev; e-rotor; f-osovina; g-lopatica rotora; kanal rotora

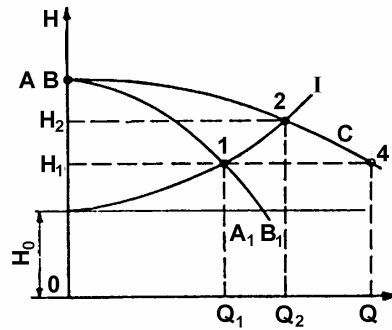
2.3.1. Ponašanje centrifugalne pumpe u radu

Dobava pumpe odvija se pri karakterističnoj krivulji otpora cjevovoda I prema slici 2.9. pri normalnom broju okretaja n krivulja otpora h_0 počinje na osi ordinate, s geodetskom visinom dizanja H_g u m. Povećanjem količine Q rastu i otpori h_0 na paraboli. Sjecište krivulje otpora I i krivulje Q/H predstavlja radnu točku pumpe gdje je $H_m = H_g + h_0$, a količina Q .

Ukoliko se želi količina Q smanjiti, onda treba otpor povećati prema krivulji II (pritvoriti tlačni ventil), a ako se želi Q povećati, treba otpor smanjiti prema krivulji III (odnosno otvoriti tlačni ventil pumpe). Ako se ventil u tlačnom cjevovodu ne može više otvarati, onda znači da takav cjevovod ne može dobavljati veću količinu tekućine od Q_3 .



SI. 2.9.

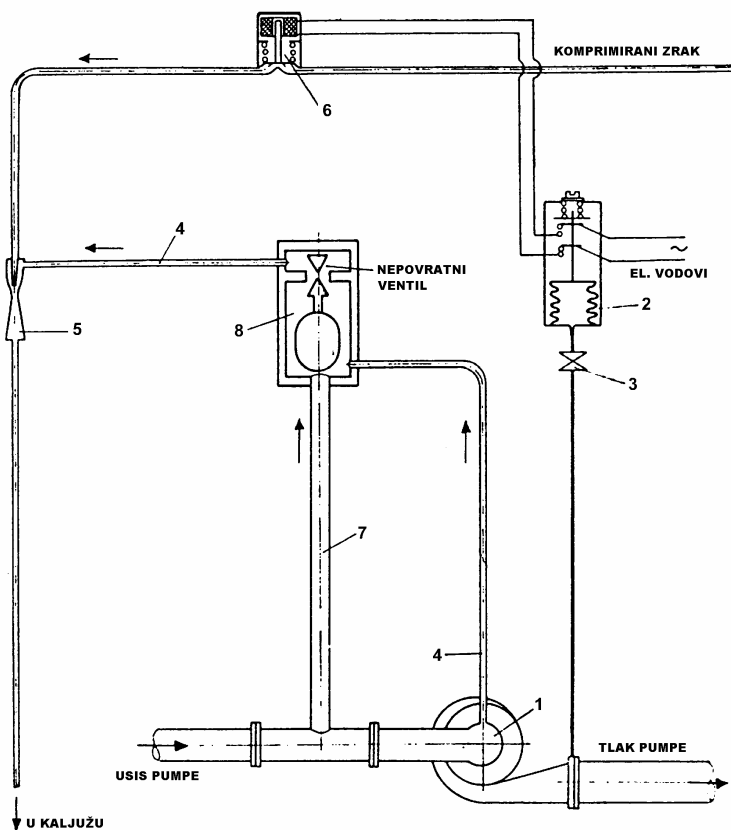


SI. 2.10.

Na slici 2.10. prikazan je paralelan rad dviju pumpi koje imaju jednake karakteristike. Krivuljom $AB-A_1B_1$ prikazana je karakteristika jedne i druge pumpe. Zajednička karakteristika dobije se ako se paralelno s osi apscise povuče pravac H_1-1 i produlji udesno. Na tom pravcu "udesno" duljina je 1-4. Na taj se način dobije točka 4. Krivulja I predstavlja krivulju otpora cjevovoda na koji su pumpe priključene. Pri uključivanju u rad jedne pumpe njezina radna točka bit će u 1 kojoj odgovara kapacitet Q_1 . Pri uključivanju druge pumpe u rad zajednička radna točka bit će 2 kojoj odgovara kapacitet Q_2 a visina H_2 . Iz slike je vidljivo da je ukupna dobavna količina dviju pumpi znatno manja od njihove dvostruke dobavne količine.

2.3.2. Samousisni uređaj

Centrifugalne pumpe ne mogu same crpiti vodu osim kada su postavljene ispod razine vode, što znači ispod razine u tanku, ili ispod razine gaza broda. Zbog toga se usisna cijev i pumpa moraju napuniti vodom, ili pak mora postojati samousisni uređaj. Na slici 2.11. prikazan je sustav s ejektorom koji je vrlo pouzdan i učinkovit.



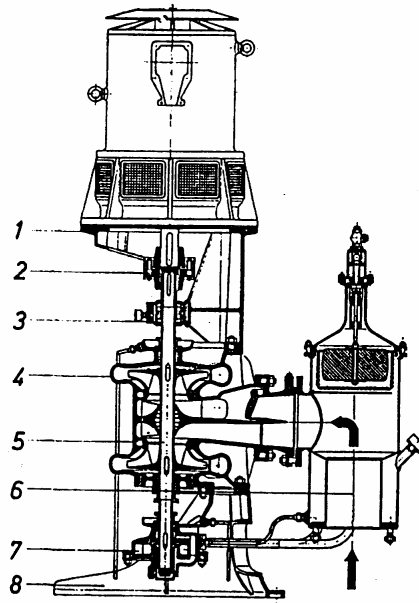
Sl. 2.11.

1-pumpa, 2-podesivi tlačni prekidač, 3-zaporni ventil, 4-cijev za usisavanje, 5-ejektor, 6-magnetski ventil, 7-vertikalna cijev, 8-ventil na plovak

Ovaj sustav se sastoji od vertikalne cijevi spojene na usisnu stranu pumpe, nepovratnog ventila na plovak, ejektora koji radi na komprimirani zrak, električnog tlačnog prekidača i magnetskog ventila koji propušta komprimirani zrak za rad ejektora.

Načelo rada je sljedeće: kad je tlak na tlačnoj strani pumpe malen, tlačni prekidač 2 uključuje magnetski ventil 6 koji se otvori i propusti komprimirani zrak u ejektor 5 koji, na osnovi vlastitog načela djelovanja, usisava preko cijevi 4 zrak i paru iz usisne cijevi i kućišta pumpe 1.

Kad se usisna cijev i kućište napuni tekućinom djelovanjem atmosferskog tlaka, napuni se i vertikalna cijev 7 i pomoću plovka se zatvori ventil 8, te prestaje proces usisavanja. Pumpa se uputi, tlači tekućinu, a tlačni prekidač 2 rastavi električne kontakte djelovanjem tlaka tekućine na membranu u tlačnom prekidaču, te se prekine rad ejektora zatvorenjem magnetskog ventila.



Sl. 2.12.

1-nosač motora, 2-elastična spojka, 3-ležaj, 4-dvodjelno kućište, 5-vratilo,
6-regulacijski ventil samousisnog uređaja, 6-vakuum pumpa, 8-postolja pumpe

Postoje i izvedbe centrifugalnih pumpi s ugrađenim samousisnim uređajem, odnosno s vakuum pumpom ugrađenom u samu centrifugalnu pumpu. Pumpa s navedenim sustavom prikazana je na slici 2.12.

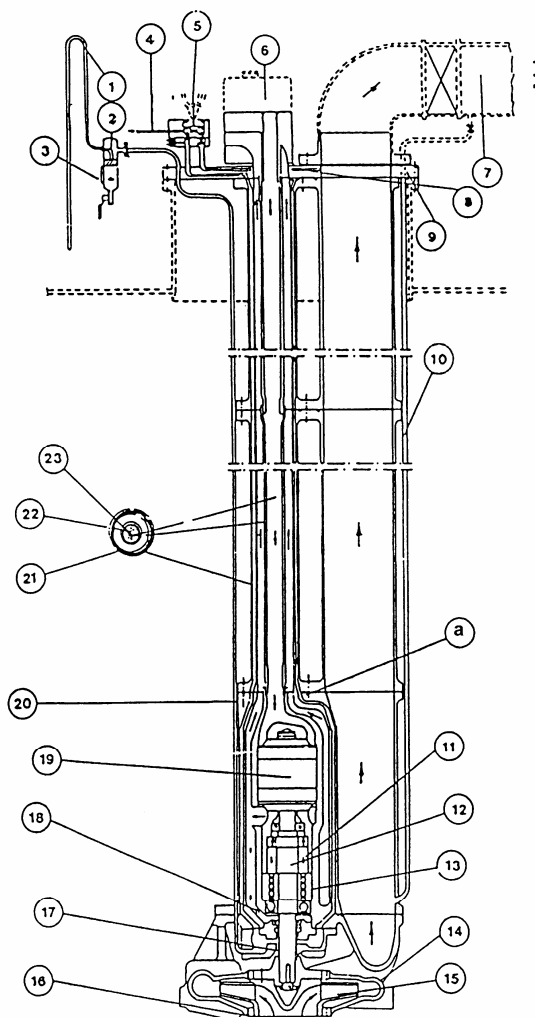
2.3.3. Puštanje centrifugalne pumpe u pogon

Prilikom puštanja centrifugalne pumpe u pogon potrebno je provjeriti je li pumpa samousisna ili nije. Ako nije, treba utvrditi nalazi li se ispod ili iznad razine tekućine. Ako se nalazi ispod, onda nema problema oko dotjecanja tekućine do usisa. U suprotnom potrebno je osigurati da tekućina dođe do usisa pumpe. Nakon toga potrebno je provjeriti jesu li svi zaporni organi na cjevovodu otvoreni. Izuzetak je tlačni ventil, neposredno poslije pumpe, koji treba biti zatvoren u slučaju praznog tlačnog voda. Ventil se počne otvarati tek nakon što pumpa dosegne maksimalan broj okretaja, s time što se ventil postupno otvara kako bi pumpa postupno došla u svoju radnu točku. Ventil ne smije predugo biti zatvoren jer se sva energija, koju lopatice predaju tekućini, troši na zagrijavanje tekućine, pa bi moglo doći do oštećenja brtvi i ležajeva.

2.3.4. Hidraulički pogonjene pumpe tereta na tankeru

Danas oko 90% tankera za prijevoz kemikalija ima ovakve pumpe. Sustav je zasnovan na konceptu jedne pumpe za jedan tank što omogućava kompletnu sagragaciju tankova. Eliminacijom prostorije pumpe, usisnog cjevovoda i ventila instaliranje pumpi je ekonomično riješeno u odnosu na klasičan sustav s prostorijom pumpe. Pumpa je jednostepena i centrifugalnog tipa. Hidraulički motor spojen je s rotorom pomoću kratke osovine čime je eliminiran dugački osovinski pogon kao kod motora koji su smješteni na palubi.

Pumpa je napravljena od nehrđajućeg čelika, trajna je i lako se čisti. Rotor je smješten na dnu tanka tako da pumpa ima uvijek pozitivnu usisnu visinu. Usis bez usisnih cijevi pruža mogućnost pumpanja kako viskoznih tako i lako isparljivih tekućina.



Sl. 2.13. Centrifugalna hidraulički pogonjena pumpa

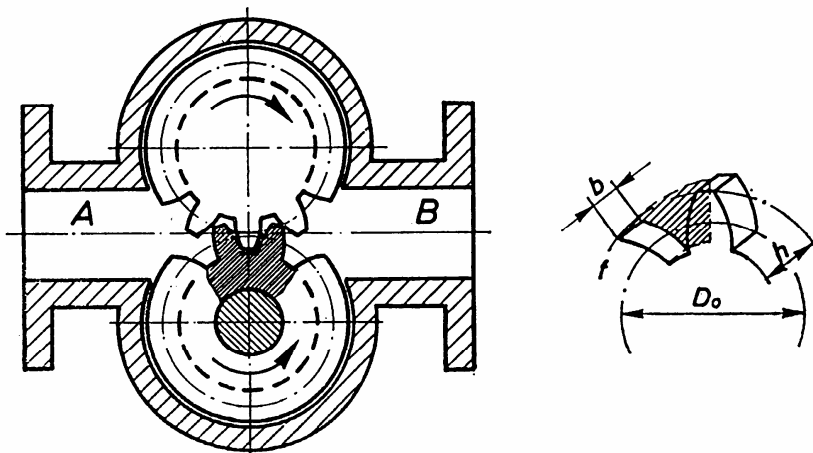
1-ventilacijska cijev, 2-ispusna pregrada, 3-kontrolno staklo, 4-tlačni medij (inertni plin), 5-dvosmjerni ventil, 6-hidraulički regulator, 7-ventil tereta i palubna cijev, 8-spoj za propuhivanje linije tereta, 9-palubna priрубnica pumpe, 10-cijev za propuhivanje linije tereta, 11-osovina od nehrđajućeg čelika, 13-sklop za sprječavanje rotacije, 14-kućište, 15-rotor zatvorenog tipa, 16-teflonske košuljice, 17-brtvenice s dvostrukim brtvljenjem, 18-nepovratni ventil koji sprječava dreniranje za vrijeme rada, 19-visokotlačni hidraulički motor, 20-cijev iz drenažne komore, 21-cijev koferdama, 22-povratna cijev smještena oko tlačne cijevi, 23-visokotlačna cijev smještena unutar povratne cijevi

Hidraulička transmisija uklanja opasnost od eksplozije i omogućava laganu kontrolu brzine, bez naglih skokova. Brzina svake pumpe može se kontrolirati ili lokalno na palubi, ili daljinski iz prostorije tereta.

Hidraulička transmisija za pumpe tereta može se također koristiti i za pogon palubnih strojeva, pogon pramčanog propelera i balastnih pumpi. Na slici 2.13. prikazana je uronjena centrifugalna hidraulički pogonjena pumpa koja se primjenjuje na tankerima za prijevoz kemikalija.

2.4. ZUPČANE PUMPE

Zupčane pumpe (slika 2.14.) sastoje se od kućišta i od dva zupčanika od kojih je jedan spojen s pogonskim vratilom. Klizne plohe zupčanika zakaljane su i brušene, a među njima mora biti što manje zračnosti. Pri rotaciji zupčanika u smjeru strelice prostor između zubaca i kućišta napuni se tekućinom, koja se odvodi u tlačni vod. Visina dizanja ovih pumpi može biti i do 500 m, a tlak čak preko 100 bara. Broj okretaja ovih pumpi je takav da se one mogu izravno spajati s elektromotorom. Na brodovima se obično koriste za protok maziva i goriva.

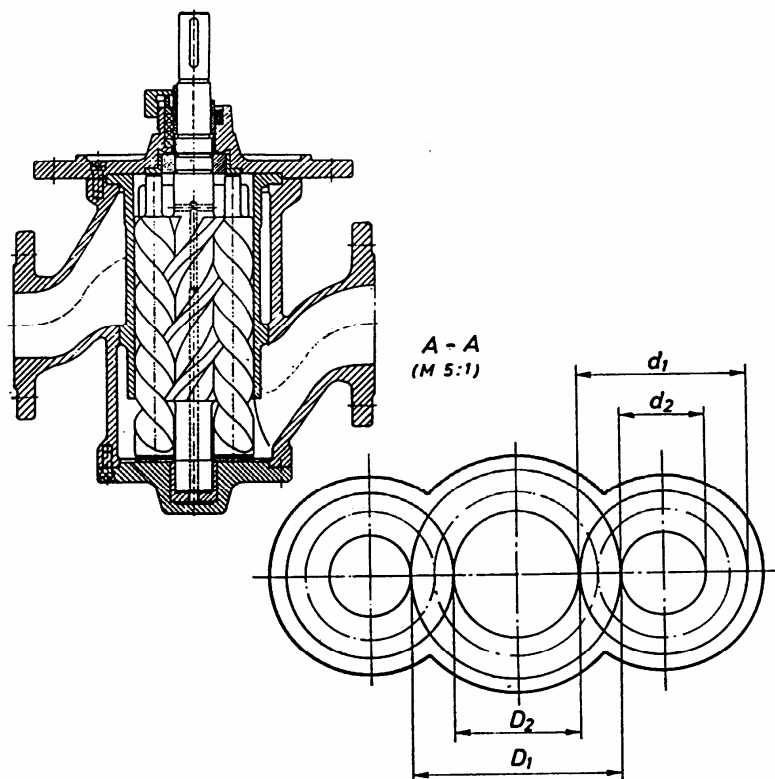


Sl. 2.14. Zupčana pumpa

A-usisna strana, B-tlačna strana, b-širina zupca, h-visina zupca

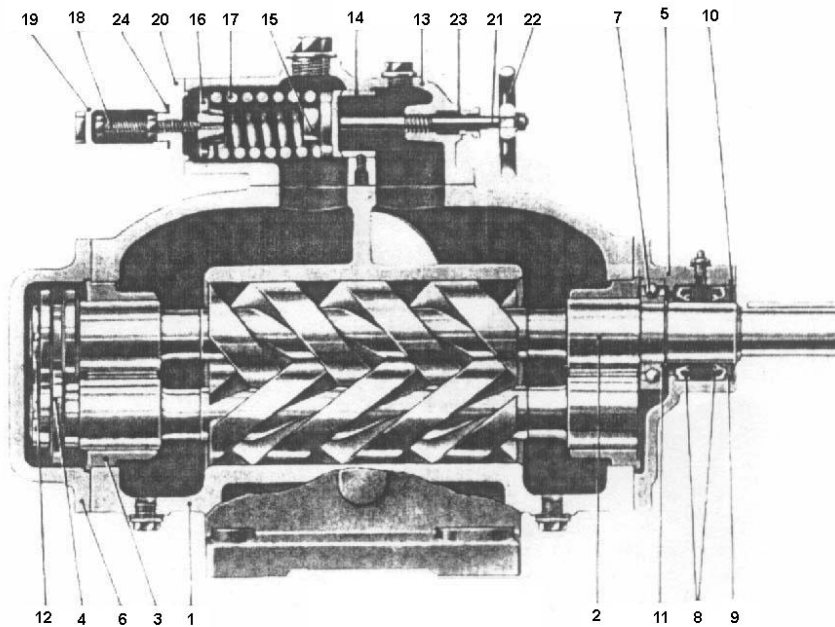
2.5. VIJČANE PUMPE

Djelovanje vijčanih pumpi slično je djelovanju stroja za mljevenje mesa. Vijčana pumpa IMO, prikazana na slici 2.14., ima tri vijka od kojih je srednji, većeg promjera, spojen s pogonskim strojem. Vijci između sebe, između čitavog zavoja spirale, zatvaraju tekućinu i potiskuju je aksijalno stalno u istom smjeru, a uspon vijka djeluje kao stap. Vijčane pumpe su jednostavne, sigurne, imaju miran rad, samousisne su i bez vibracija. Na kućištu imaju ugrađen prekotlačni ventil koji služi kao zaštita pumpe.



Sl. 2.14. Vijčana IMO pumpa

Vijčane pumpe se najčešće upotrebljavaju za razna podmazivanja strojeva, te kao transfer pumpe za prebacivanje goriva i maziva iz tankova. Tlakovi su još veći nego kod zupčane pumpe, a veće su i količine dobave. Na slici 2.15. prikazan je presjek kroz jednu pumpu s dva vijka.



1-kućište, 2-slog vijaka, 3-ležaj, 4-osovinski sklop, 5-prednji poklopac, 6-stražnji poklopac, 7-kuglični ležaj, 8-radijalna brtva, 9-zaštitni prsten, 10-Seagerov prsten, 11-Seagerov prsten, 12-matica, 13-kućište ventila, 14-sjedište ventila, 15-ventil, 16-tanjur opruge, 17-opruga ventila, 18-matica za podešavanje, 19-zaštitni poklopac, 20-poklopac ventila, 21-vreteno za podešavanje, 22-kolo, 23-brtva vretena, 24-brtveni prsten

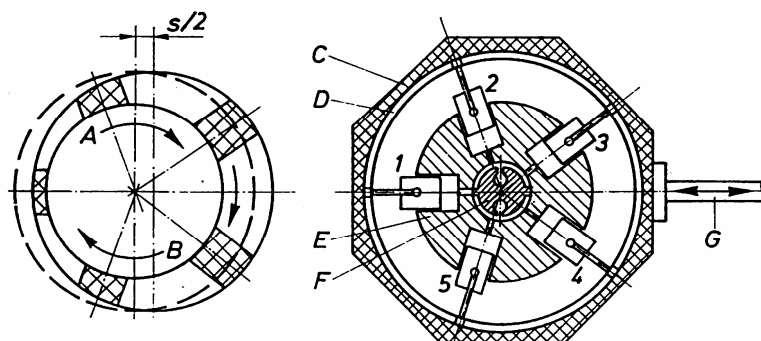
Sl. 2.15. Vijčana pumpa s dva vijka (presjek)

2.6. PUMPE S PROMJENJIVIM STAPAJEM

Pumpe s promjenjivim stapajem mogu biti radijalne ili aksialne a koriste se na kormilarskim uređajima. Na slici 2.16. prikazana je pumpa s promjenjivim stapajem. Sastavljena je od cilindričnog bloka s više radijalno postavljenih cilindara. U njima su klipovi čije su klipnjače učvršćene na prsten koji se u okviru može slobodno okretati, a taj se okvir može pomicati za određeni pomak lijevo ili desno. Cilindrični blok vrti se oko osovine koja ima na obodu dva izreza. Svaki je izrez spojen svojim kanalom u osovini. Cilindri imaju vezu s izrezom po obodu preko rupe kroz dno cilindra. S cilindričkim blokom, koji vrti elektromotor sa stalnim brojem okreta, vrte se klipovi i klipnjača s prstenom. Kad je okvir u srednjem položaju, klipovi u cilindrima relativno miruju. Ako okvir pomaknemo npr. udesno za $S/2$, klip u položaju 1 pomakne se dublje u cilindar, a klip u položaju 4 prema van. Pokušajmo zamisliti da cilindrični blok

rotira u smjeru kazaljke na satu. Klip koji se u početku nalazi u položaju 1 na kružnom putu do položaja na suprotnoj strani (180°) pomicat će se prema vani, tj. izlazit će iz cilindra, a preostali dio puta vraćat će se prema unutra. Na tome putu usisavat će tekućinu kroz rupu u cilindričnom bloku iz gornjeg ureza na osovini, na polovicu okreta, dok će preostalu polovicu okreta istiskivati tekućinu u donji urez. Pomaknemo li okvir ulijevo smjer protoka će se promijeniti. Količina protoka kod radijalne pumpe s promjenjivim stapajem mijenja se veličinom pomaka okvira, dok se smjer protoka mijenja smjerom pomaka.

Broj cilindara ovakvih pumpi je obično od 5-18, a tlakovi koji se ovim pumpama postignu su od 70-200 bara.



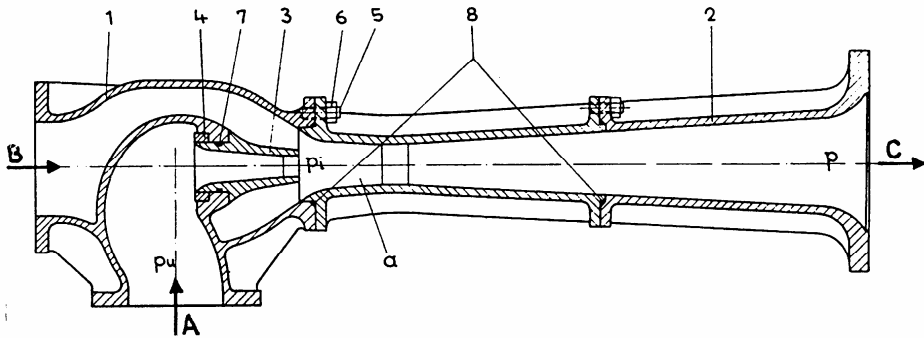
Sl. 2.16. Radijalna pumpa promjenjiva stapaja

A-usisavanje, B-tlačenje, C-uzdužno pomičan okvir, D-rotirajući prsten, E-cilindarski blok, F-osovina s izrezima, G-motka za pomicanje okvira

2.7. MLAZNE PUMPE ILI EJEKTORI

Ejektori se na brodovima koriste za stvaranje vakuuma u usisnim cjevovodima velikih duljina, isisavanje i posušivanje kaljuža strojnice i skladišta tereta, posušivanje balasta, posušivanje tankova tereta na tankerima, te za održavanje vakuuma u kondenzatorima i vakuumeskim evaporatorima itd.

Pogonsko sredstvo može biti voda, zrak, para ili tekući teret (kao na tankerima). Energija pogonskog sredstva služi im za usisavanje i tlačenje zraka, pare i plina pod određenim tlakom i količinom pogonskog sredstva.



Sl. 2.17. Mlazna pumpa ili ejektor

Na slici 2.17. može se vidjeti kako se energija brzine pogonskog sredstva pretvara u energiju tlaka, te miješanje s tekućinom koja se usisava.

Pod određenim većim tlakom kod A dovodi se pogonska tekućina u sapnicu 3. Iz sapnice tekućina struji brzinom c koja je razmjerna razlici tlakova p_u i p_i , na ulazu, odnosno izlazu iz sapnice. Oko mlaza pogonskog sredstva na izlazu iz sapnica nastaje podtlak kojim se preko ulaza B usisava tekućina koju dobavljamo. U dijelu difuzora kod A nastaje miješanje pogonske tekućine i one tekućine koju dobavljamo. Dvije pomiješane tekućine ulaze velikom brzinom u difuzor 2 gdje se energija mješavine pretvara u energiju tlaka, odnosno tlak se povećava na vrijednost p , a brzina se smanjuje.

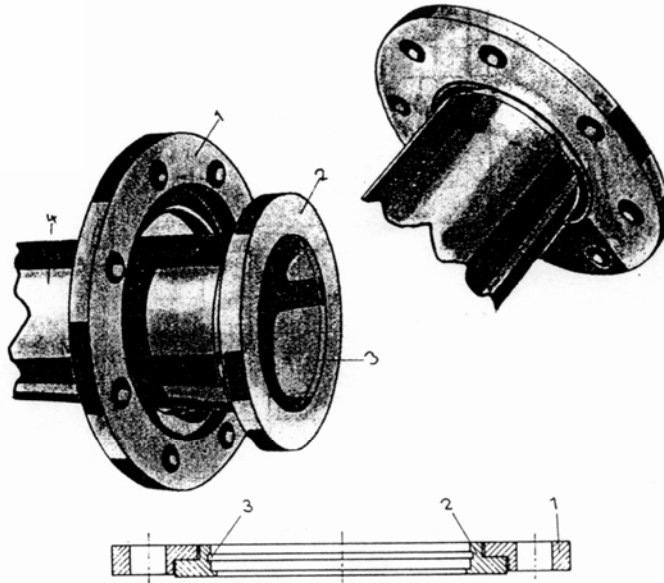
3. BRODSKI CJEVOVODI

Brodski cjevovodi predstavljaju vrlo važan dio u brodskim sustavima. Oni podliježu određenim ograničenjima i zahtjevima koji se postavljaju za pojedine sustave cjevovoda pri konstruiranju broda, a napose pri ugradnji strojnog uređaja. Klasifikacijski zavodi određuju raspored, dimenzije i materijal za važnije cjevovode, a pri odabiranju ventila, cijevi, spojeva i oprema cjevovoda koriste se standardi koji postoje za tu svrhu.

Materijal, od kojeg su cijevi u službi cjevovoda, je lijevani čelik, bakar, mjed, legure, olovo i lijevano željezo. Bezšavne vučene cijevi najviše se upotrebljavaju u službi cjevovoda, dok se cijevi sa šavom, koje su i jeftinije, primjenjuju na cjevovode s nižim radnim tlakom. Čelične cijevi, koje se najčešće upotrebljavaju na brodovima, brzo korodiraju. Da bi se to spriječilo, pristupa se zaštiti cjevovoda, osobito onih koji provode morsku vodu. Zaštićuju se cijevi balasta, kaljuže, morske rashladne vode (po potrebi druge) potapanjem u kade s rastaljenim cinkom. Cijevi, koje je potrebno formirati za ugradnju u brod s određenim zakrivljenostima, pocinčavaju se nakon formiranja i zavarivanja prirubnica.

Spajanje cijevi obavlja se prirubnicama, narezom i zavarivanjem. Spajanje zavarivanjem koristi se kad se želi postići potpuna nepropusnost i uštede na prostoru. Prirubnice omogućuju izvrstivi spoj a pričvršćuju se na cijev narezom, zavarivanjem, lemljenjem i uvaljivanjem. Materijal prirubnice je kovani, valjani ili lijevani čelik, a za cijevi od bakra je bronca. Za cijevi za morsku vodu od aluminij-mjed legure izvode se dvodjelne prirubnice. Na cijevi se lemljenjem pričvrsti naglavak od istog materijala kao što je i cijev. Spajanje naglavka na cijev obavlja se lemljenjem žicom od srebra koja se ubacuje u utor 3, što je prikazano na slici 3.1.

Prirubnice se spajaju vijcima s glavom. Stične plohe se izvode glatke, a često se urežu plitki koncentrični kanali u koje, pri stezanju vijka, uđe materijal brtve radi boljeg brtvljenja.



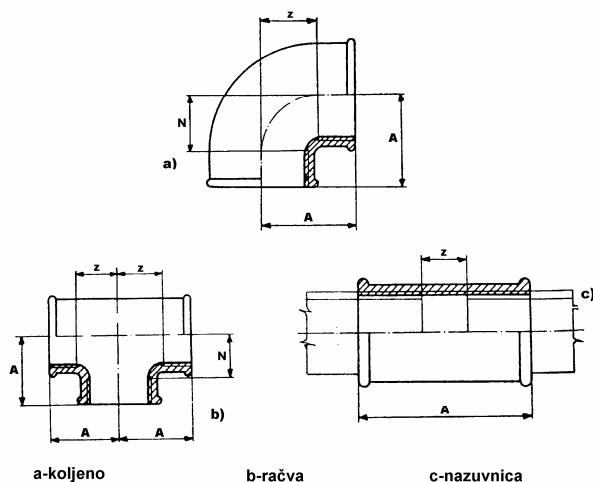
Sl. 3.1. Spajanje cijevi prirubnicama

*1-vanjski čelični prsten, 2-naglavak iz "Al-Ms" legure, 3-utor za lemljenje srebrom,
4-cijev iz "Al-Ms" legure*

Spajanje cijevi narezom izvodi se na cjevovodima manjih promjera, ispod 30 mm, i to uglavnom na službama vode za brodske potrebe. Cijevi te službe trebaju imati debele stijenke da se može narez na krajevima uviti u spojni komad, tzv. nazuvnicu, račvu ili koljeno (slika 3.2.).

Za duge brodske cjevovode predviđaju se fleksibilni "Viking-Johnson" spojevi koji dopuštaju uzdužno pomicanje i pomicanje pod kutom spojenih cijevi.

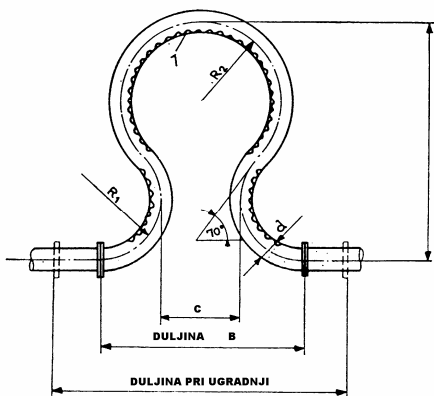
Brodski trup ima, kao i nosač, neutralnu liniju kojoj se duljina ne mijenja, te gornje i donje dijelove koji se deformiraju. Cijevi na gornjem dijelu broda na palubi, kao i one bliže dvodnu, izložene su deformacijama, odnosno naprezanjima zbog promjene duljine cjevovoda. U svrhu sprječavanja tih naprezanja cjevovodi se izvode tako da imaju koljena i lukove koji će na sebe preuzeti dilatacije. Za dilatacije većih veličina, koje nastaju u cjevovodu pare (javlja se i dilatacija zbog promjene temperature), upotrebljavaju se lukovi u obliku lire slika 3.3. Nabori s unutarnje strane lire 1 prave se autogenim plamenikom da se debljina stijenke na vanjskom dijelu zavoja luka ne bi smanjila. Visina luka A obično je $A=8-20d$, duljina luka $B=1-2A$, a razmak C iznosi $C=3-6d$. Veličina produljenja koje može na sebe preuzeti lira iznosi $=5-10\%$ od B .



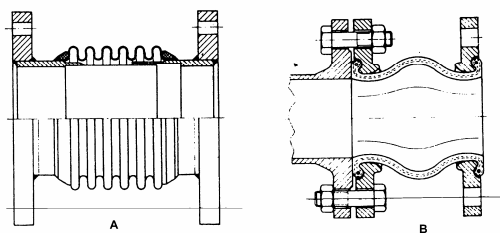
Sl. 3.2. Spajanje cijevi narezom

Lira se prilikom montaže prethodno rastegne, a kod produljenja cjevovoda zbog navedenih napreznja otvor C se smanjuje.

Na cjevovodima se zbog skučenosti prostora postavljaju i drugi elementi kompenzacije kao što su kompenzacijske brtvenice (slika 3.4.) i valoviti kompenzatori. Valoviti kompenzatori mogu biti od nehrđajućeg čelika za cjevovode ispuha, ulja i goriva (slika 3.4.), ili od sintetičke gume za cjevovode vode.



Sl. 3.3. Dilatacijska lira



Sl. 3.4. Kompenzatori

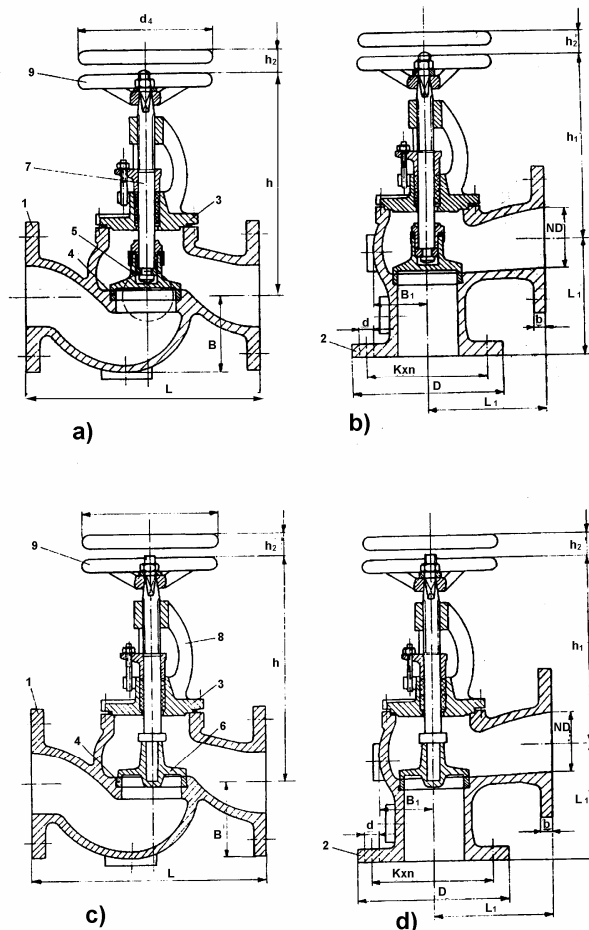
A - kompenzator od nehrđajućeg čelika;

B - kompenzator od sirove gume

4. ELEMENTI ZATVARANJA CJEVOVODA

Elementi zatvaranja, odnosno ventili, zasuni i pipci, podijeljeni su prema nazivnom tlaku i promjeru. Za različite svrhe elementi se zatvaranja javljaju kao nepovratni, usisni, regulacijski, sigurnosni, redukcijски, leptir-ventil itd.

Na slici 4.1. prikazan je običan ventil, zaporni i nepovratni, u ravnoj i kutnoj izvedbi. Glavni dijelovi ventila su: kućište, poklopac, ventil, sjedište, vreteno, jaram, kolo i pladanj.



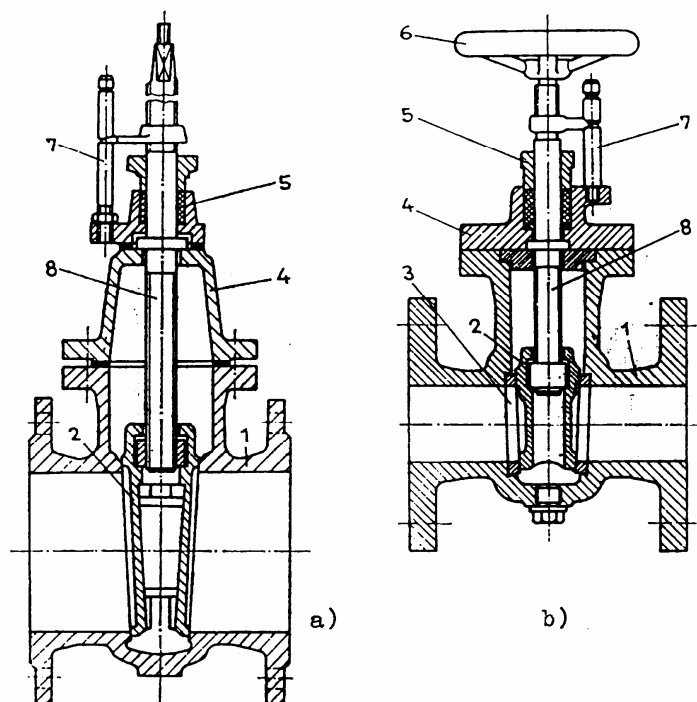
Sl. 4.1. a) ravni zaporni ventil, b) kutni zaporni ventil,
c) ravni nepovratni ventil, d) kutni nepovratni ventil

1-kućište, 2-kućište, 3-poklopac, 4-prsten sjedišta, 5-ventil zaporni, 6-ventil nepovratni, 7-vreteno

Razlika između zapornih i nepovratnih ventila je u tome što se kod nepovratnih ventila pladanj zatvara automatski nakon prestanka rada pumpe

iako je ventil otvoren. Na taj način se sprječava povratak tekućine nazad prema pumpi.

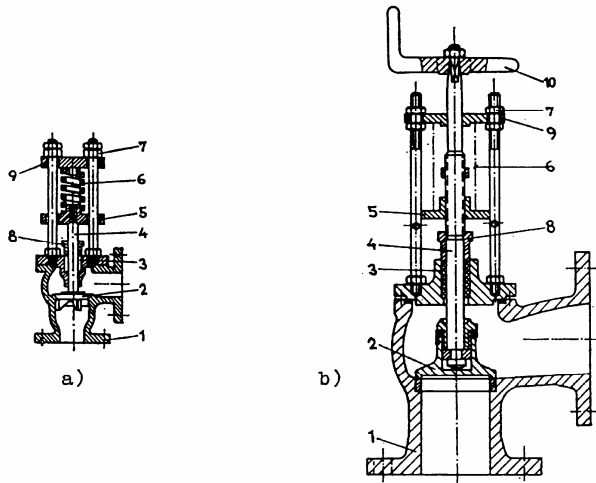
Na slici 4.2. prikazan je zasun u izvedbi od: a) bronce bez dosjednih prstenova za brtvljenje, b) lijevanog čelika ili lijevanog željeza s dosjednim prstenovima. Zasun pri potpuno otvorenom stanju pruža strujanju vrlo mali otpor.



Sl. 4.2. a) Zasun od bronce bez dosjednih prstenova, b) Zasun od lijevanog željeza s dosjednim prstenovima

1-kućište, 2-tijelo zasuna, 3-dosjedni prsten, 4-poklopac, 5-brtvenica, 6-kolo, 7-pokazivač, 8-vreteno

Prekotlačni ventili propuštaju višak tlaka koji može nastati u spremnicima pod tlakom, zatim u cjevovodima pare, vode i zraka. Ulazna strana kućišta ventila spojena je na cjevovod ili spremnik pod tlakom. Povećanjem tlaka u cjevovodu ili spremniku iznad dopuštenog, sila, djelovanjem tlaka odozdo, podiže ventil sa sjedišta i propušta paru, zrak ili tekućinu da izlaze preko izlaznog otvora u ispušni ili povratni cjevovod. Kad tlak padne rasterećuje se opruga i vraća pladanj ventila na sjedište, pa time zatvara ventil. Na slici 4.3.a. prikazan je prekotlačni ventil.



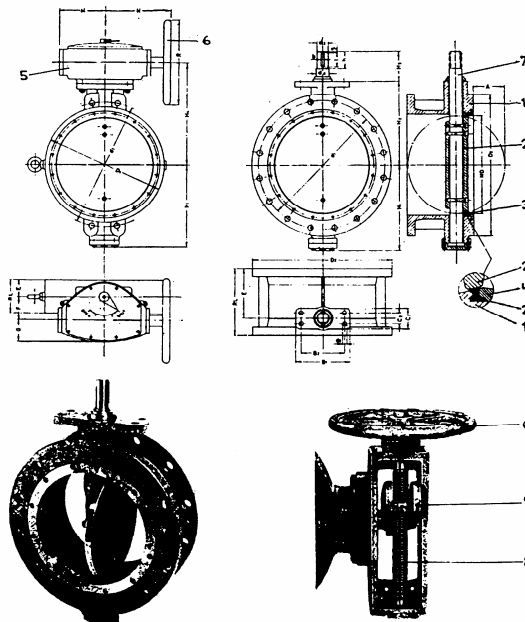
Sl. 4.3. a) Prekotalčni ventil, b)
Izvanbrodski ventil

1-kućište, 2-pladanj ventila, 3-brtva, 4-vreteno, 5-ploča opruge, 6-opruga, 7-matica za podešavanje, 8-brtvenica, 9-jaram, 10-kolo

Izvedba izvanbrodskih ventila slična je prekotalčnim. Ovi ventili otvaraju se tlakom pumpe kojom se izbacuje morska voda izvan broda. Postavljaju se na oplati broda, najčešće pokraj cjevovoda morske rashladne vode i balasta.

Na slici 4.3.b. prikazana je izvedba jednog od izvanbrodskih oplatnih ventila.

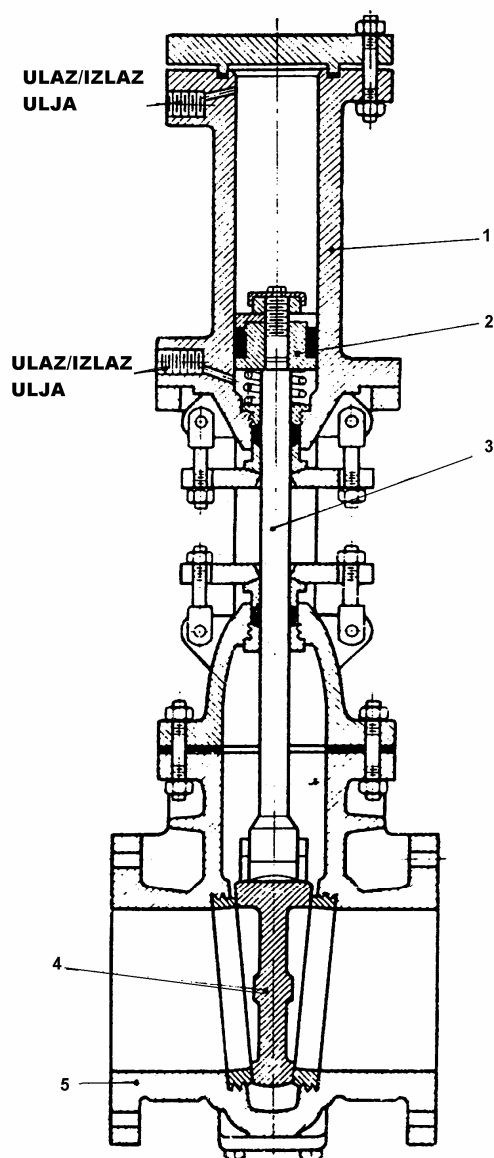
Na slici 4.4. prikazan je leptir-ventil s upravljanjem vretena s putujućom maticom. Umjesto mehaničkog ručnog upravljanja, na vreteno leptir-ventila može se ukliniti hidraulički cilindar, pneumatski cilindar ili elektromotor.



Sl. 4.4. Leptir-ventil

1-kućište, 2-leptir (klapna), 3-gumeni prsten, 4-stezni prsten, 5-ručni prijenos, 6-vučno kolo, 7-vreteno, 8-ozubljeno vreteno, 9-putujuća matica

Na slici 4.5. prikazan je zasun s daljinskim upravljanjem. U hidrauličkom cilindru 1, u kojem se giba stap 2, na produljenoj osovini zasuna 3, na kojoj je s donje strane pričvršćen zatvarač 4. Ulje ulazi s donje ili gornje strane stapa i pomiče ga u oba smjera, te na taj način otvara ili zatvara zasun.



Sl. 4.5. Zasun s hidrauličkim daljinskim otvaranjem

1-hidraulički cilindar, 2-stap, 3-osovina zasuna, 4-zatvarač, 5-kućište zasuna

5. SUSTAV ŽIVOTNIH UVJETA

Kada govorimo o sustavu životnih uvjeta, mislimo na sve sustave koji su u službi omogućavanja normalnih radnih uvjeta na brodu i preventivne zaštite. Naravno, teško je i nabrojiti sve uređaje koji doprinose normalnom životu na brodu. Zato će težište biti bačeno na rashladne uređaje za čuvanje namirnica i klimatizaciju, te protupožarne sustave i uređaje za proizvodnju slatke vode.

5.1. RASHLADNI UREĐAJI

Brodove je danas teško i zamisliti bez sustava životnih namirnica, odnosno uređaja za očuvanje lako pokvarljive hrane. Klimatizacija zraka na brodu također se smatra potrebom a ne luksuzom.

Hlađenjem lako pokvarljivih proizvoda na temperaturi od oko 0°C, dubokim smrzavanjem (-30°C) i uskladištenjem na temperaturi od oko -18°C smanjuju se gubici i čuva kvaliteta.

Trajnost prehrambenih proizvoda ograničena je zbog:

1. kemijskih i biokemijskih promjena, npr. procesa sazrijevanja, hidrolize, vrenja i oksidacije;
2. fizikalnih promjena, npr. isparavanja vode, gubitka arome i onih sastojaka koji daju okus;
3. djelovanja mikroorganizama, bakterija, gljiva, kvasaca i slično.

Na fizikalne promjene moguće je utjecati smanjenjem temperature i visokom relativnom vlažnošću. Na kemijske i biokemijske promjene utječe se smanjenjem temperature. Djelovanje mikroorganizama smanjuje se niskom temperaturom i nešto nižom relativnom vlažnošću.

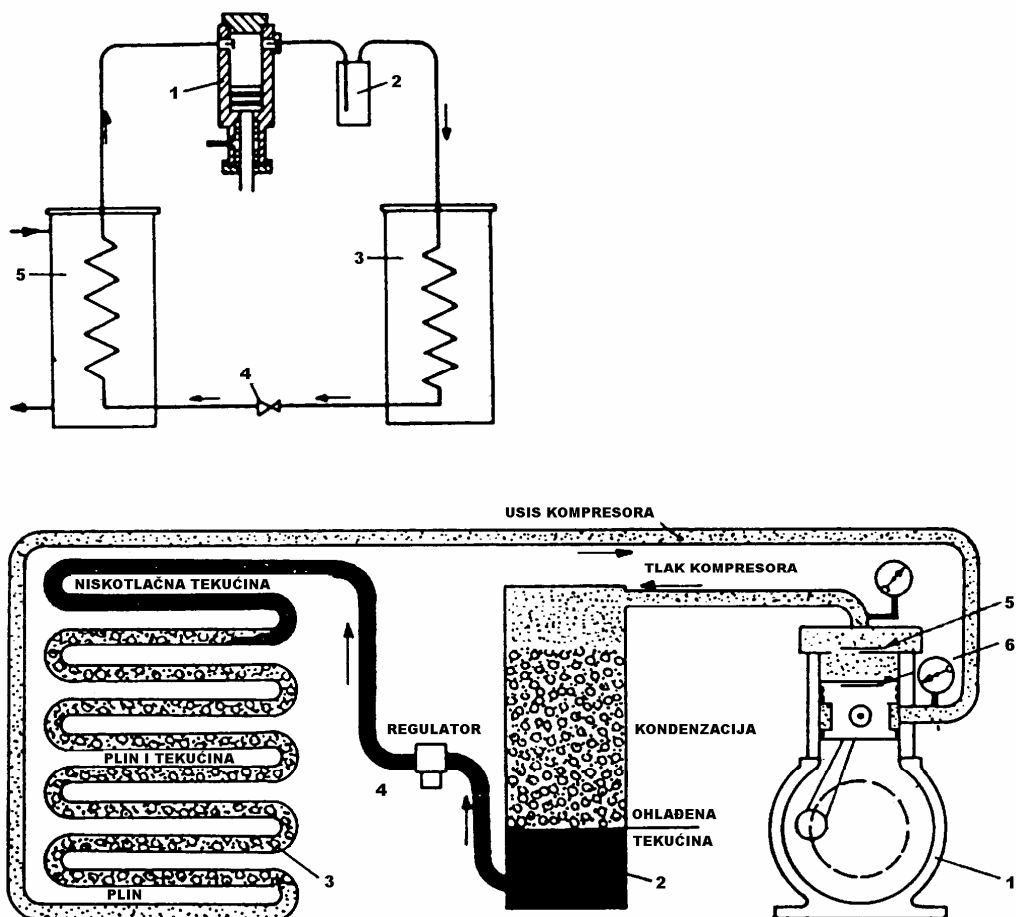
U tablici 2. navedeni su parametri uskladištenja za neke važnije artikle.

Tablica 2. Parametri uskladištenja za neke važnije artikle

Hladene namirnice	Temperatura (°C)	Rel. vlažnost (%)	Broj promjene zraka na sat
smrznuto meso	-10 do -18	90 - 85	10
smrznuta riba	-8 do -10	75 - 80	10
maslac	+2 do +4	75 - 80	20
banane	+11 do +12	90 - 95	60 – 80
kruške i jabuke	0 do +0,5	82 - 90	40 – 60
naranče	+4 do +6	85 - 90	40 – 60
limuni	+8 do +12	85 - 90	40 – 60

5.1.1. Kompresorski rashladni uređaj

Na slici 5.1. prikazana je pojednostavljena shema kompresorskog rashladnog uređaja. Rashladno sredstvo prolazi kroz određene faze kružnog procesa: 1. kompresija, 2. hlađenje i ukapljavanje, 3. ekspanzija, 4. isparavanje. Toplina potrebna za isparavanje oduzima se iz hlađenog prostora, te prilikom kondenzacije predaje morskoj vodi. Ta se toplina odvodi iz hlađenog prostora i prenosi na morsku vodu.



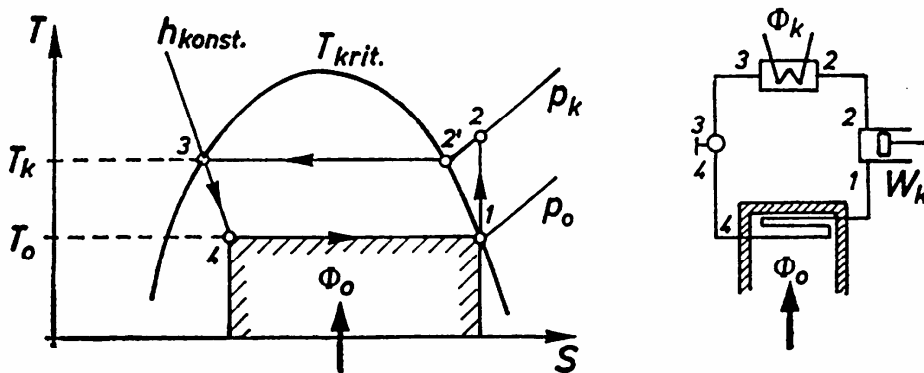
Sl. 5.1. Kompresorski rashladni uređaj

1-kompresor, 2-kondenzator, 3-isparivač, 4-ekspanzijski ili regulacijski ventil,
5-tlačni ventil kompresora, 6-usisni ventil kompresora

Kompresorski rashladni uređaj ima četiri elementa: kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil ili regulator i isparivač. Plinoviti medij usisava se iz isparivača kompresorom i tlači uz približno adijabatsku promjenu stanja. Plin se zatim vodi u kondenzator gdje se zbog hlađenja pretvara u kapljevito stanje pod približno konstantnim tlakom. Oslobođena toplina u kondenzatoru prelazi na rashladnu morsku vodu. Nakon ukapljivanja, rashladni medij prolazi kroz ekspanzijski ventil gdje dolazi do prigušivanja s visokog na niski tlak uz konstantan sadržaj topline. Tekući medij niskog tlaka ulazi u isparivač i tu preuzima na sebe toplinu okoline iz rashladne komore te isparava.

Tlak i temperatura medija koji isparava određeni su položajem otvora ekspanzijskog ventila, a ravnoteža se održava omjerom količine plina, koja se isisava iz isparivača kompresorom, i količine tekućine koja prolazi kroz ekspanzijski ventil.

Rashladni se proces može pratiti u T-S dijagramu. Na slici 5.2. prikazan je T-S dijagram za prije navedeni rashladni uređaj koji je prikazan na slici 5.1.



Sl. 5.2. T-S dijagram kompresorskog rashladnog uređaja

1-2 kompresija zasićene pare, 2-2' -3 ohlađivanje i kondenzacija pregrijane pare, 3-4 prigušivanje rashladnog sredstva, 4-1 isparavanje rashladnog sredstva u isparivaču

Stanja u dijagramu, koja odgovaraju oznakama u shemi, dobivamo ako u dijagramu ucrtamo usporednice s apscisom (izoterme). Donja predstavlja temperaturu isparavanja T_0 rashladnog sredstva i isparivača, a gornja usporednica predstavlja temperaturu kondenzacije T_k . Točku 1 (suhozasićene pare rashladnog sredstva prije ulaska u kompresor) daje sjecište izoterme T_0 s desnom stranom granične krivulje. Točku 2 (pregrijane pare na izlazu iz kompresora) dobivamo u sjecištu vertikale kroz točku 1 (adijabatska kompresija) s izobarom P_k (tlak kondenzacije). Točku 3 (ukapljeno rashladno sredstvo) daje sjecište izoterme T_k s lijevom stranom granične krivulje

rashladnog sredstva. Točka 4 (rashladno sredstvo nakon prigušenja u ventilu) leži u sjecištu krivulje $h=\text{konst.}$, te kroz točku 3 s izotermom T_o . Proces se odvija u smjeru označenom strjelicom. Pri tome nastupaju sljedeće promjene stanja:

1 – 2 Adijabatska kompresija. Kompresor usisava pare rashladnog sredstva iz isparivača i komprimira ih na tlak P_k .

2 – 3 Kondenzacija pregrijanih para pri konstantnom tlaku P_k . Pare se najprije ohlade (2-2'), a zatim ukapljuju (2'-3).

3 – 4 Prigušivanje tekućeg rashladnog sredstva na traženi tlak u isparivaču. Pri tome dio tekućine ispari i zato je točka 4 unutar granične krivulje.

4 – 1 Isparavanje kod stalnog tlaka P_o i stalne temperature T_o . Za isparavanje rashladno sredstvo oduzima toplinu od okoline (isparivač se grije od okoline – rashladne komore).

5.1.2. Rashladna sredstva

Prije su se kao rashladna sredstva koristili amonijak, sumporni dioksid, ugljični dioksid, a za manje uređaje metilni klorid. U današnje vrijeme sve se više primjenjuju ona rashladna sredstva koja ne oštećuje ozonski omotač.

Rashladna sredstva trebaju udovoljiti ovim zahtjevima:

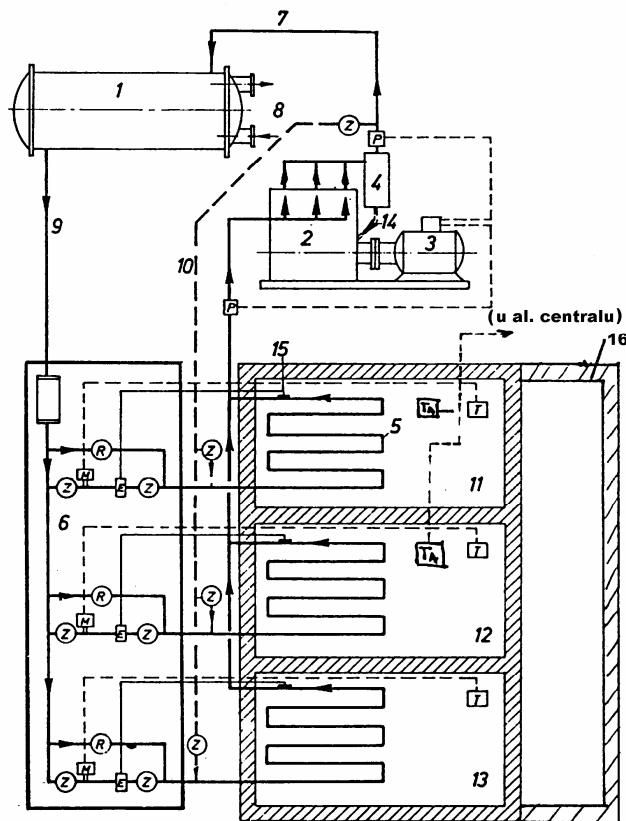
- da nisu zapaljiva,
- da nisu otrovna,
- da se mogu kondenzirati na nižem tlaku,
- da ne djeluju korozivno na metale,
- da se dobro miješaju s uljem radi lakšeg podmazivanja cilindra, ali da pri tom imaju različitu gustoću radi lakšeg odvajanja ulja u separatoru,
- da je toplina isparavanja velika jer su tada potrebne manje količine rashladne vode.

Freon 12 ($\text{CF}_2 \text{ Cl}_2$) je bezbojan plin slabog i ugodnog mirisa. Nije zapaljiv, a radni tlakovi su mu povoljni. Toplina isparavanja mu je malena, pa se upotrebljava za male i srednje rashladne uređaje. Istjecanje freona se teško može primijetiti, a miris se osjeti tek nakon koncentracije u zraku od 20%. Mjesto propuštanja freona određuje se pomoću specijalne plinske svjetiljke, elektronskog detektora, kao i po ulju koje izbija na mjestu istjecanja. Znači trovanja se pojavljuju kad ga ima u zraku u koncentraciji volumski većoj od 30%.

Freon 22 (CHF_2Cl). Koeficijent prijenosa topline je za 25-30% veći nego kod freona 12 što omogućuje da se smanje dimenzije kondenzatora i isparivača. Lako prolazi kroz slabo brtvljena mjesta. Neutralan je u odnosu na metale kad u njemu nema vlage. Nije eksplozivan niti zapaljiv, ali je nešto otrovniji od freona 12. Koristi se u rashladnim uređajima s niskim temperaturama i u uređajima za klimatizaciju zraka.

Freoni 12 i 22 postupno se napuštaju zbog štetnog utjecaja na ozonski omotač. Umjesto njih uvode se novi rashladni fluidi (R 123 A i drugi novi freoni).

5.1.3. Uređaj za očuvanje namirnica



1-kondenzator, 2-kompresor, 3-elektromotor za pogon kompresora, 4-odjeljivač ulja, 5-isparivač, 6-razvodna ploča, 7-odvod pare iz kompresora u kondenzator, 8-ulaz/izlaz rashladne vode, 9-izlaz kondenziranog rashladnog sredstva, 10-cjevovod za otapanje leda na isparivaču, 11-ćelija za meso, 12-ćelija za ribu, 13-ćelija za voće, 14-povratak ulja iz odjeljivača, 15-pipalo, 16-pretkomora, Z-zaporni ventil, R-ručni regulacijski (ekspanzijski) ventil, M-magnetski ventil, E-ekspanzijski ventil, T-termostat, P-presostat

Sl. 5.3. Shema uređaja za očuvanje namirnica

Na slici 5.3. prikazan je rashladni uređaj za namirnice s ciklusom izravne ekspanzije.

Pretkomora (s temperaturom od $+8^{\circ}\text{C}$) služi za smanjivanje gubitaka topline prigodom svakodnevnog ulaženja u hladnjaču.

U pojedinim ćelijama može se nalaziti jedan ili više isparivača smještenih po stijenkama prostora, a prijelaz topline obično se pospješuje ventilatorima koji se nalaze ispred isparivača. Svaki isparivač ima svoju armaturu na razvodnoj ploči izvan ćelije. Tu se nalaze termoekspanzijski ventili povezani s osjetnikom na izlaznoj cijevi iz isparivača kapilarnom cijevi. Osjetnikom se podešava otvaranje termoekspanzijskog ventila. Kapilarna cijev s osjetnikom je obično napunjena istim rashladnim sredstvom koje se nalazi u rashladnom sustavu. Promjenom temperature u isparivaču nastaje promjena tlaka u osjetniku koja se prenosi kapilarnom cijevi na membranu u ventilu. Pri povišenom tlaku (povišenoj temperaturi komore) djeluje sila koja ventil otvara i propušta tekuće rashladno sredstvo. Obrnuto, pri smanjenju tlaka (nižoj temperaturi komore) tekućina u kapilari se skuplja (dok se pri povišenoj temperaturi širila) i ventil se pritvara.

Magnetskim ventilom upravlja termostat smješten u ćeliji. Kod sniženja temperature na željenu, termostat zatvara magnetski ventil i sprječava freonu ulazak u isparivač. Kad se temperatura u ćeliji povisi, termostat otvori magnetski ventil i u isparivač ponovo ulazi rashladno sredstvo. Osim spomenutog termostata, u ćelijama koje imaju radne temperature ispod 0°C , obično se nalazi još jedan termostat povezan na alarmnu centralu. Naime, u slučaju zakazivanja uređaja, kada temperatura naraste iznad maksimalne dopuštene, termostat aktivira alarm za namirnice. U rashladnom uređaju s jednom ćelijom (kao npr. hladnjak u domaćinstvu) termostat bi mogao, umjesto da zatvori magnetski ventil, izravno isključiti pogonski stroj kompresora. U izvedbi s više ćelija to nije moguće. Kompresor se smije zaustaviti tek onda kad je u svim (a ne u jednoj) ćelijama željena niska temperatura. To se postiže ugradnjom tzv. usisnog presostata niskog tlaka na usisni cjevovod. Preostat niskog tlaka spojen je s pogonskim elektromotorom kompresora. Kad se magnetski ventili svih komora, tj. ćelija zatvore, (a zatvorio ih je termostat svojim djelovanjem jer je postignuta željena temperatura) tlak se u usisnom cjevovodu počinje smanjivati. Kod unaprijed određene vrijednosti tlaka reagira usisni presostat i zaustavlja elektromotor kompresora. Kad se temperatura u ćelijama povisi, otvore se magnetski ventili i rashladno sredstvo počinje ulaziti u isparivače. Tlak u usisnom cjevovodu zbog isparavanja raste i kod određene vrijednosti usisni presostat ponovo reagira i uključuje elektromotor kompresora.

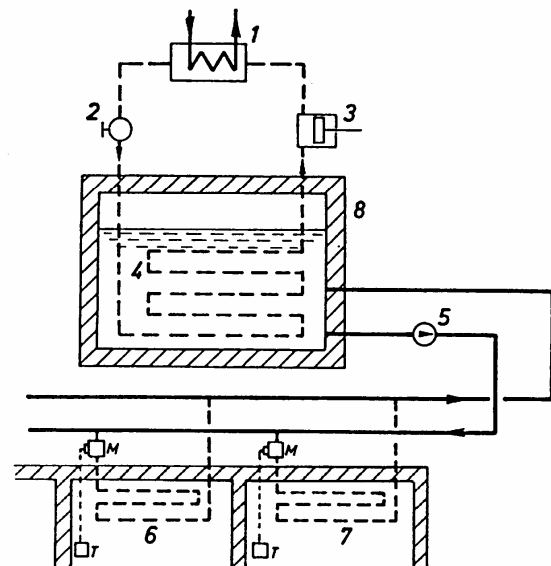
Kad se prigodom punjenja ili nadzora otvaraju ćelije, u njih ulazi zrak s temperaturom okoline koja je znatno viša. Pri ohlađivanju u ćeliji temperatura zraka se snizuje, a pri tome raste njegova relativna vlaga. Pri određenoj

temperaturi postiže se zasićenost, a pri daljnjem ohlađivanju dio vlage počinje se izlučivati u obliku kapljica vode i to na najhladnijem mjestu, tj. na isparivaču. Ukoliko je temperatura ispod 0°C , cijevi se oblože ledom i smanjuju prijelaz topline. Taj se led odstranjuje tako da se povremeno kroz cijevi isparivača puštaju vruće pare rashladnog sredstva u za tu svrhu predviđenom cjevovodu koji vodi s tlačne strane (prije ulaza u kondenzator) u isparivač.

5.1.4. Indirektni rashladni sustav

Kod rashladnih uređaja velikih kapaciteta uvodi se indirektni rashladni sustav tako da su isparivači primarnog uređaja uronjeni u velike posude s rasolinom. Ohlađenu rasolinu tjeraju cirkulacijske pumpe u izmjenjivače topline smještene u rashladnim ćelijama. Rasolina je otopina nekih soli (npr. kalijeva klorida KCl_2) u vodi da joj se na taj način snizi ledište. Na slici 5.4. prikazan je indirektni rashladni sustav.

U indirektnom sustavu primarni cjevovod s rashladnim medijem je znatno kraći i time su automatski smanjeni gubici zbog propuštanja na spojevima i cjevovodu. Cjevovod rasoline je dosta velik, (ide do svih rashladnih skladišta – brod hladnjača) međutim, rasolina nije tako sklona propuštanjima kao plin, a kad do toga i dođe propuštanja se mogu lako uočiti. Na sekundarnoj strani temperatura u ćelijama regulira se količinom rasoline koja ulazi u izmjenjivače topline, tako da protok reguliraju magnetski ventili kojima upravlja termostat u ćelijama. Stupanj rashladnog učinka ovog uređaja je nešto lošiji od uređaja s izravnom ekspanzijom zbog dvostrukog prijelaza topline (od isparivača na rasolinu, te od izmjenjivača na zrak u ćeliji).



Sl. 5.4. Indirektni rashladni sistem

Primarni rashladni krug: 1-kondenzator, 2-ekspanzijski ventil, 3-kompresor, 4-isparivač; Sekundarni rashladni krug: 5-cirkulacijska pumpa rasoline, 6-izmjenjivač topline, 7-izmjenjivač topline, 8-posuda s rasolinom, T-termostat, M-magnetski ventil

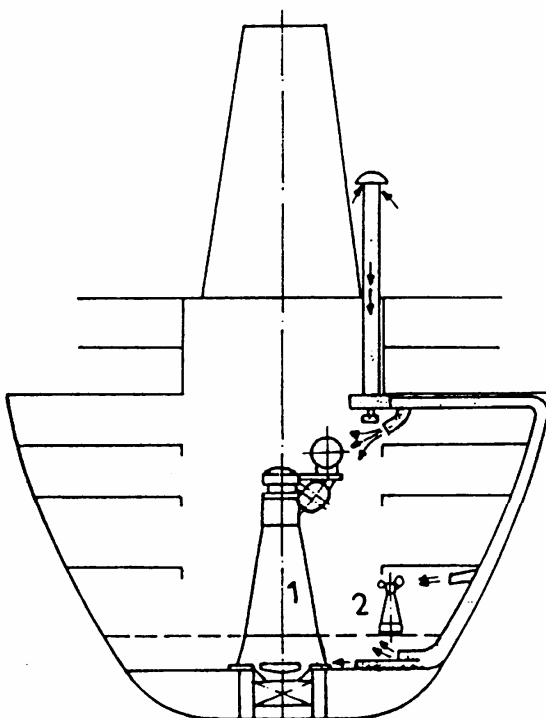
5.2. VENTILACIJA I KLIMATIZACIJA

Provjetravanje ili ventiliranje broda može se obavljati prirodnim ili mehaničkim putem.

Osnovno načelo prirodne ventilacije zasniva se na tome da zrak, zagrijavši se npr. pri prolazu kroz ljudska pluća, ili u dodiru s njihovim tijelima, ili prilikom strujanja uz zagrijane strojeve, ekspandira, smanjuje svoju težinu i zbog toga se penje. Činjenica je da svaka hladna površina uzrokuje strujanje zraka prema dolje, a svaka topla prema gore. To se zbiva pri ventiliranju strojarnice, skladišta i nastambi.

Mehanički sustav koristi se mehaničkom snagom koju proizvodi ventilator da bi se pojačalo prirodno kretanje zraka, savladali svi otpori i da bi se potrebna količina dovela na određeno mjesto.

5.2.1. Ventilacija strojarnice



Sl. 5.5. Načini ventilacije strojarnice

1-porivni stroj, 2-pomoćni stroj

Sustav ventilacije strojarnice (slika 5.5.) sastoji se od određenog broja aksialnih ventilatora koji su određeni i tako smješteni da dobavljaju zrak u oštro usmjerenom mlazu, upravljenom uzduž vrha stroja, kako bi struja zraka došla na ulazne otvore dizel-motora s najnižom mogućom temperaturom (varijanta 1). Ako to nije moguće, onda se izvedba obavlja kratkim ventilacijskim vodom (varijanta 2). Brzina strujanja zraka kreće se od 15-20 m/s. Ventilacija strojarnice s jedne strane opskrbljuje potrošače zrakom, a s druge strane odvodi višak topline koju isijavaju strojevi i uređaji. Kod vanjske temperature od +35°C vrlo teško se u strojarnici može održavati temperatura ispod +45°C, čak i ako se predvidi 50 izmjena zraka na sat.

Povišenje temperature u strojarnici utječe kako na strojeve tako i na ljude. Na primjer, kod dizel-motora možemo zapaziti smanjenje snage, dok se kod parnih kotlova smanjuju gubici i povećava stupanj djelovanja. Potrebnu količinu zraka Z za dizel-motore možemo izračunati prema njihovom potrošku goriva.

$$Z = Z_{min} (1 + \lambda) q_e \quad \text{kg/h}$$

$$q_e = p_n \cdot b_e \quad \text{kg/h}$$

Z_{min} – minimalna količina zraka za izgaranje 1kg goriva
(za tekuća otprilike 14 kg)

λ - pretičak zraka (3 za dizel-motore)

q_e – potrošak goriva dizel-motora (kg/h)

p_n – nominalna snaga motora (kW)

b_e – specifični potrošak goriva (kg/kWh)

Ventilatori strojarnice izvode se kao usisni, tlačni ili usisno-tlačni (reverzibilni).

5.2.2. Ventilacija nastambi

Ventilacija nastambi mora biti tako izvedena da omogućuje potrebnu izmjenu zraka u prostorijama, bez obzira na vrijeme i klimu koja vlada za vrijeme plovidbe. Za medicinske prostorije, kao i prostorije u kojima se pojavljuju štetni plinovi ili specifični mirisi, mora u pravilu postojati neovisna ventilacija.

U stambenim i medicinskim prostorijama mora postojati mogućnost za reguliranje količine svježeg zraka pri čemu njegova brzina kretanja, na mjestima gdje se nalaze ljudi, ne bi smjela biti veća od 0,3 m/s. Zrak za

ventilaciju kabina izlazi na hodnike (na vratima kabine nalaze se rešetke za izlaz u nuždi) odakle se ponovo može voditi u sustav (recirkulacija). Za sanitarije i nužnike dopuštena je samo usisna ventilacija kojom se onemogućuje širenje mirisa u druge prostorije. Za kuhinje i društvene prostorije predviđena je tlačna i usisna ventilacija, ali je usisna jače dimenzionirana. Stambene prostorije mogu imati centralnu, tlačnu, ili podijeljenu ventilaciju u sekcije.

Prema našem registru propisana je najmanje količina zraka i broj izmjena zraka u brodskim prostorijama:

- kabine $60 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi, 3 izmjene na sat
- saloni, blagovaonice, društvene prostorije $25 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi, 5 izmjena na sat
- medicinske prostorije $60 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi, 4 izmjene na sat.

5.2.3. Klimatizacija

Klimatizacija je postupak potreban da se zrak učini prikladnim za određenu upotrebu, kako za disanje putnika i posade, tako za grijanje ili ohlađivanje prostorija posade. Zrak se suši, vlaži, te filtrira radi odstranjivanja nečistoća i neugodnih mirisa.

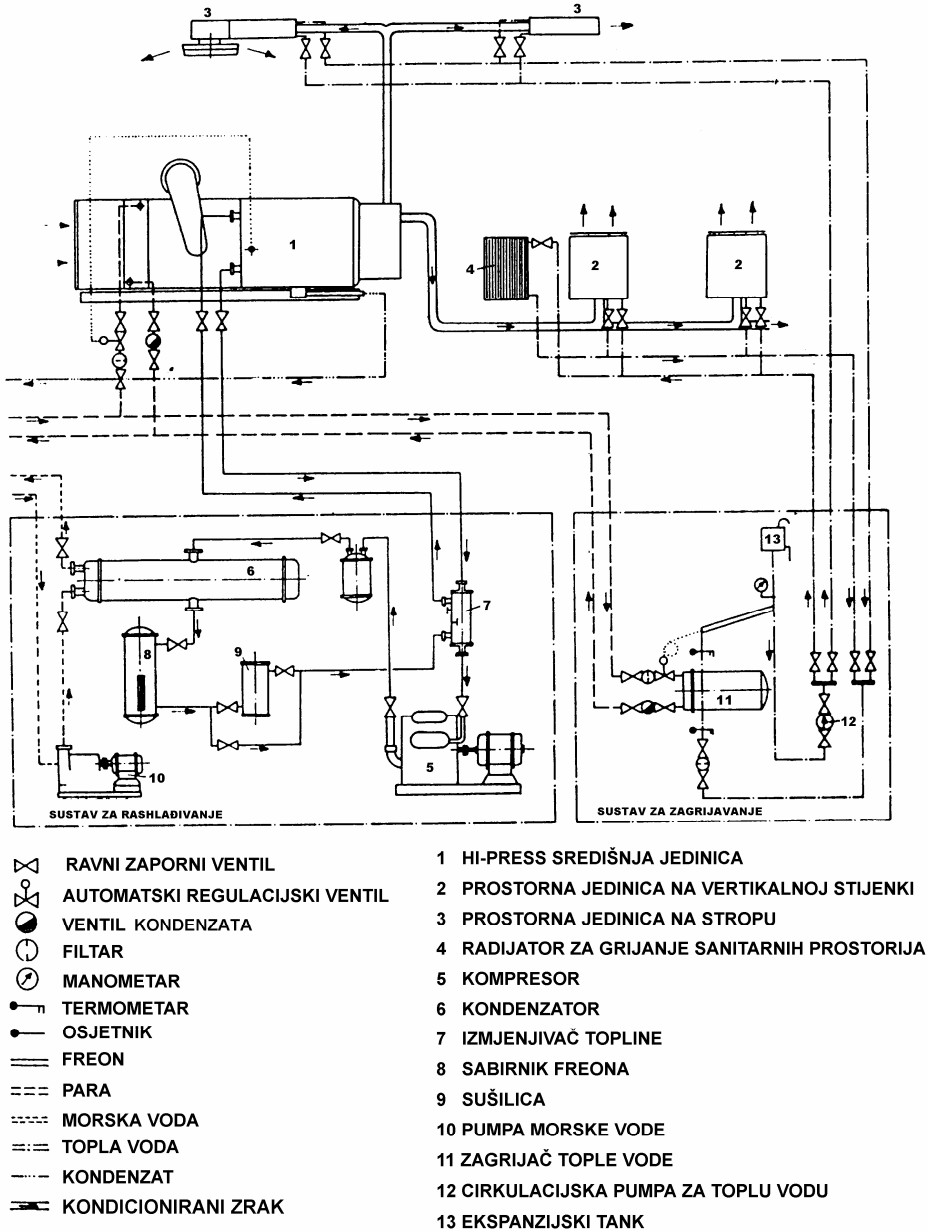
Kad se plovi u tropskim uvjetima uz visoke temperature, sama cirkulacija zraka putem ventilatora ima slab rashladni učinak. Razmjerno visoka temperatura lakše se podnosi ako je zrak suh, jer je učinak hlađenja zbog znojenja veći. U suhom zraku brzo isparava vlaga, koju ispuštaju i udišu posada i putnici, dok u zraku koji je zasićen jedva da ima nekog isparivanja.

Idealnom temperaturom smatra se temperatura od $18,5^\circ\text{C}$ zimi, a 21°C ljeti. U tropskim uvjetima unutarnja temperatura treba biti $5-8^\circ\text{C}$ niža od vanjske temperature u sjeni uz relativnu vlažnost od 50%. Veće temperaturne razlike mogu biti štetne za zdravlje.

Mnogo je ekonomičnije da se već jednom ohlađeni zrak ponovo dovede u dobro stanje, nego da se iznova tretira cijela količina vanjskog zraka. Tako se, da bi se smanjila potrebna energija za hlađenje zraka (ili grijanje, ako je riječ o grijanju), može uvesti recirkulacija, ali treba poštivati najmanju propisanu količinu svježeg zraka. Obično se može uzimati do 70-75% recirkuliranog zraka a 25-30% svježeg.

5.2.4. Ventilacijska jedinica za klimatizaciju

Na slici 5.6. prikazan je shematski uređaj ventilacijske jedinice za klimatizaciju u kojoj se obavlja grijanje i hlađenje.

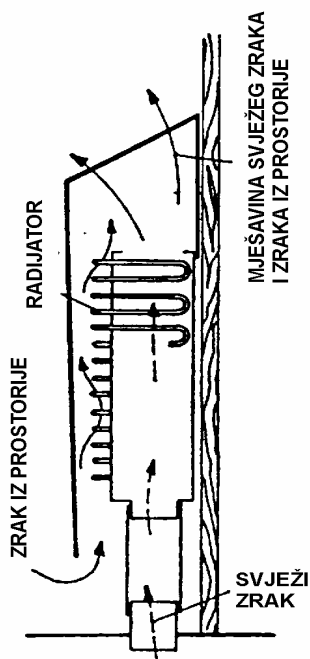


Sl. 5.6. Shema uređaja za klimatizaciju

Uređaj se sastoji od središnje jedinice grijanja i hlađenja 1, prostorne jedinice 2 i 3, rashladnog uređaja s pripadajućim uređajima 5, 6, 7, 8, 9 i 10, cjevovoda za toplu vodu, cjevovoda za rashladno sredstvo – freon, cjevovoda za morsku vodu i cjevovoda za svježi zrak. Uređaj dobavlja isključivo svježi zrak.

Grijanjem zrak će biti u središnjoj jedinici zagrijan i iz središnje jedinice će se zračnim vodovima dobavljati u pojedine prostorije. Gubitak topline grijanja u pojedinim prostorijama bit će nadoknađen pomoću jedinica u prostorijama. U tropskim uvjetima hlađenje zraka će se u cijelosti postići u središnjoj jedinici posredstvom rashladnog uređaja. Načelo rada prostorne jedinice vidljivo je iz slike 5.7.

U prostornim jedinicama ugrađeni su lamelni radijatori koji zagrijavaju inducirani zrak, a zagrijani zrak se miješa sa svježim zrakom pa ukupna količina zraka prolazi kroz rešetkasti otvor na gornjoj strani i zagrijava prostor.

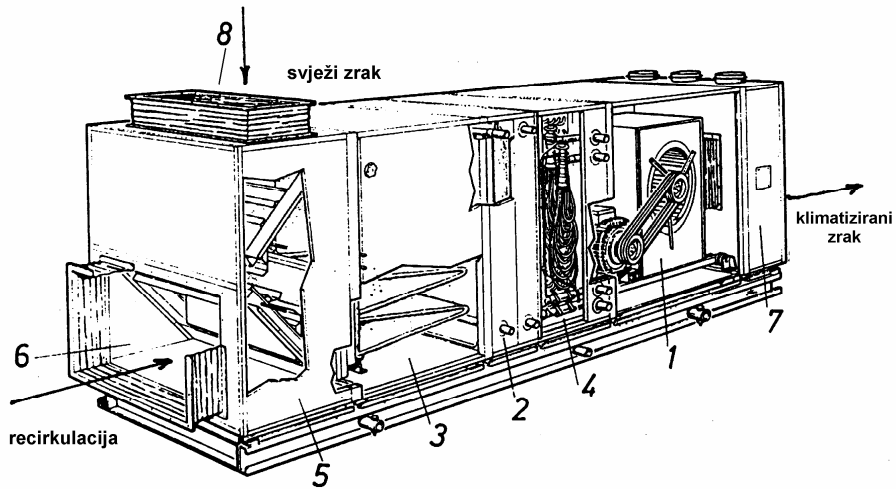


Središnja jedinica se sastoji od zračnog filtra, visokotlačnog ventilatora s motorom, isparivača za izravno isparavanje rashladnog medija, parnog zagrijača zraka s automatskim ventilom i sabirnicima za kondenzat. Svi su dijelovi ugrađeni u zajedničkom kućištu od čeličnog lima.

Sustav tople vode za dodavanje izgubljene topline jedinicama u prostorijama sastoji se od cirkulacijske pumpe za toplu vodu 12 i izmjenjivača topline 11 koji se grije parom. Predviđeno je grijanje toplom vodom sanitarnih prostorija, a ta voda se zagrijava parom u zagrijaču tople vode 12.

Na slici 5.8. prikazana je klima-centrala sastavljena od standardiziranih sekcija koje se prema namjeni i potrebnom kapacitetu slažu u cjelinu.

Sl. 5.7. Prostorna jedinica



*1-ventilator, 2-grijač, 3-filtar, 4-isparivač, 5-komora za miješanje zraka,
6-ulaz zraka iz recirkulacije, 7-izlaz klimatiziranog zraka, 8-ulaz svježeg zraka*

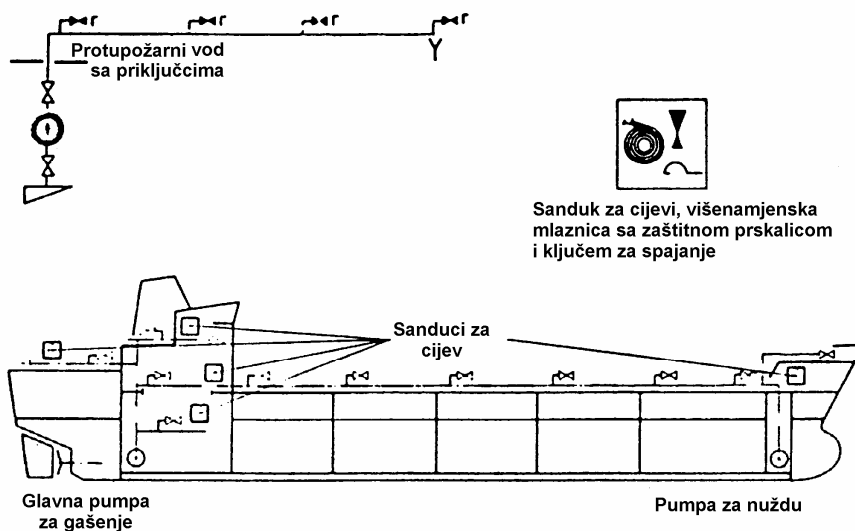
Sl. 5.8. Sekcijska klima-centrala

5.3. PROTUPOŽARNI UREĐAJI NA BRODOVIMA

5.3.1. Uređaji za gašenje požara vodom

Na slici 5.9. prikazana je shema uređaja za gašenje požara vodom. Osim glavne protupožarne pumpe, postavljena je i pomoćna protupožarna pumpa. Pomoćna protupožarna pumpa ugrađuje se na brodovima kao neovisna jedinica za mogućnost gašenja požara ukoliko ostale pumpe, smještene u strojarnici, ne mogu biti upotrebene. Ona je obično smještena u recesu osovinskog tunela ili u pumpnoj stanici na pramcu.

Tlak vode protupožarnih uređaja na vodu mora biti takav da se pomoću dviju mlaznica, koje imaju promjer sapnice 12 mm, može gasiti požar na bilo kojem dijelu broda. Voda se na brodu upotrebljava za gašenje požara klase A.



Sl. 5.9. Shema uređaja za gašenje požara vodom

Kao podsjetnik na požarne klase može nam poslužiti sljedeća tablica.

Tablica 3. Požarne klase

POŽARNE KLASSE	POŽAR SE POJAVLJUJE KAO	VRSTA GORIVE MATERIJE	SREDSTVO GAŠENJA
A	žar i plamen	čvrste materije uglavnom organske	voda pjena ABC prah
B	plamen	tekuće materije ili one koje postanu tekuće	ABC prah CO ₂ pjena halon
C	plamen	plinovite materije	ABC prah CO ₂ halon
D	žar	lagani metali, Al. prah, magnezij	D prah

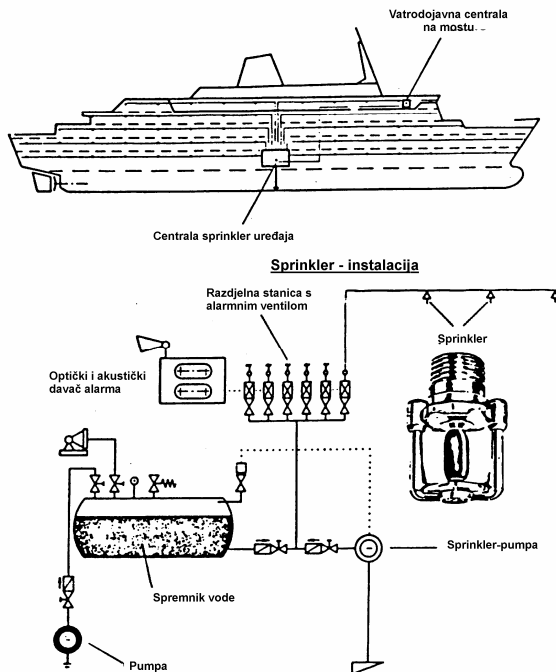
5.3.2. Sprinkler-uređaji

To su vodne instalacije koje rade automatski, a služe za zaštitu putničkih prostorija i prostora za posadu. Na stropu svake prostorije, koja se želi štititi, postavlja se sprinkler-ventil koji reagira na temperaturu. Kad se postigne 60-80°C staklena cjevčica puca, ventil se otvara, te zbog pada tlaka u dovodnim cijevima otvara se posebni ventil u razdjelnoj stanici tako da se osiguraju dovoljne količine vode iz spremnika vode. Na sprinkleru mlaz udara u odskočni lim i stvara čunjasti mlaz fino raspršene vode. Kad u spremniku tlak padne na oko 5 bara, presostat uključuje sprinkler-pumpu. Ona usisava vodu iz mora i šalje je izravno do sprinkler-ventila.

Pojavom požara sprinkler-urađaj radi automatski i daje automatski signal požarnog alarma.

Postoje dva sustava: suhi, kod kojeg je sustav cjevovoda suh (bez vode), i mokri, kod kojeg je cjevovod pod tlakom vode. Prvi se koristi u klimatskim zonama gdje se očekuje zamrzavanje vode, a mokri sustav je sigurniji i brže reagira naročito kod dugih cjevovoda.

Shematski prikaz rada sprinkler-uređaja može se vidjeti na slici 5.10.



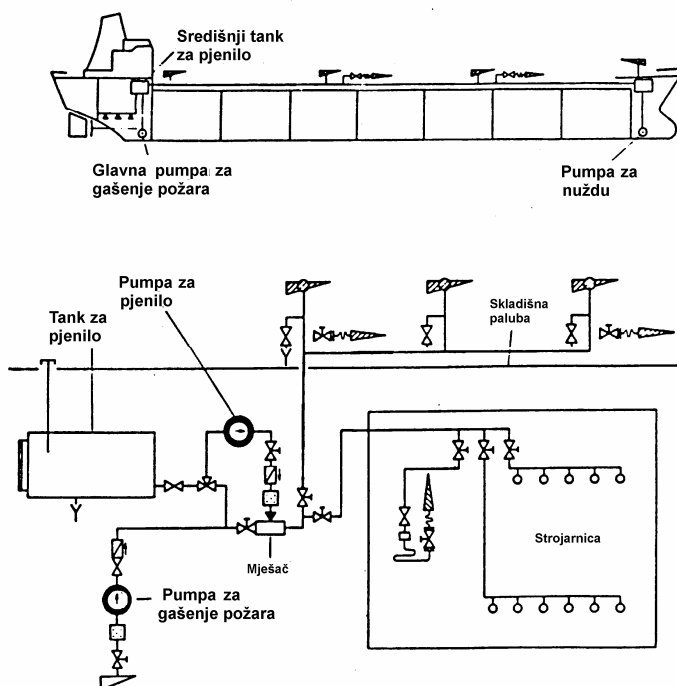
Sl. 5.10. Shema sprinkler-uređaja

5.3.3. Uređaj za gašenje požara pjenom

Za zaštitu palubnih tankova skladišta i strojarnice upotrebljava se uređaj za gašenje požara pjenom. Pjena koja će se koristiti za gašenje zatvorenih prostora strojarnice mora imati visoki faktor ekspanzije jer treba da ispuni čitav prostor. Ovakva pjena zove se laka pjena. Ako se pjenom želi pokriti palubu tankova tekućeg tereta, onda se upotrebljava teška pjena s niskim faktorom ekspanzije. Srednja pjena se upotrebljava u zatvorenim prostorima gdje može biti lako zapaljivih goriva.

Dijelovi uređaja su:

- pumpa za gašenje (jedna dodatna protupožarna pumpa za nuždu)
- pjena (višenamjenska pjena u tanku za pjenu)
- bacač pjene (za izbacivanje teške pjene služi bacač pjene, monitor na palubi)
- mješač (venturi-mješač)
- ručne cijevi za pjenu (priključuju se na vodove gibljive cijevi s mlaznicama)
- stanice za pjenu (u strojarnici su predviđene sapnice iznad zaštitnih platformi i u području kaljuže ispod podnica).



Sl. 5.11. Shema uređaja za gašenje požara pjenom

Nakon uporabe uređaja potrebno je sve cjevovode isprati vodom. Slika 5.11. prikazuje shemu uređaja za gašenje požara pjenom.

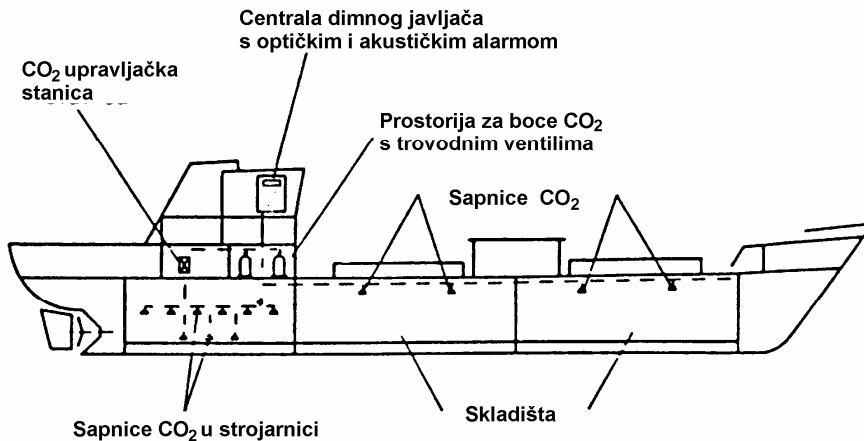
5.3.4. Uređaj za gašenje požara s CO₂

CO₂ se nalazi na brodu u čeličnim bocama pod tlakom u tekućem stanju.

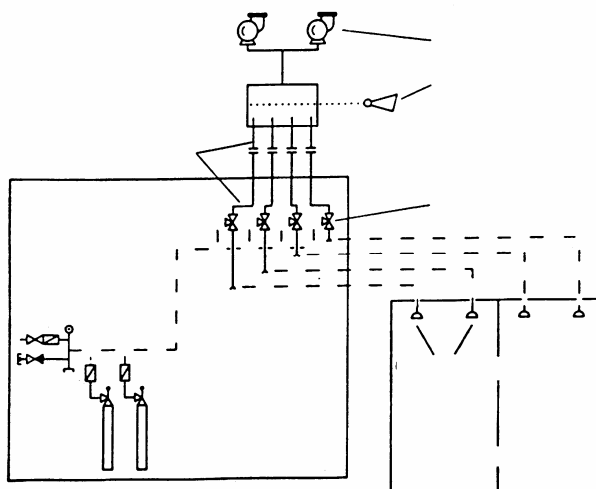
Pri gašenju s CO₂ plinom (CO₂) mora biti ispunjeno: u strojarnici 35% ukupne zapremine strojarnice, u skladištima 40% ukupne zapremine skladišta, a na tankerima 30% ukupne zapremine tanka. U odnosu na ove vrijednosti određuje se i ukupna količina CO₂ koja je potrebna za gašenje požara na brodu.

Postupak prije puštanja u pogon CO₂ plina je sljedeći:

- nakon otvaranja vratiju ormarića CO₂ stanice odmah slijedi alarm za CO₂
- čim se javi CO₂ alarm, treba prostorije u koje se pušta CO₂ napustiti najkraćim mogućim putem,
- pokrenuti daljinskim putem isključenje uređaja za nuždu, daljinski zatvoriti ventile goriva i maziva i zaustaviti ventilaciju,
- uspostaviti stanje potpunog zatvaranja.



Sl. 5.12. Smještaj uređaja za gašenje požara na brodu s CO₂



Sl. 5.13. Shema uređaja za gašenje požara u skladištima s CO₂

Nakon spomenutog postupka, daljinskim se putem aktivira uređaj. Zvučni signal mora trajati cijelo vrijeme dok se pušta plin.

Na slici 5.13. prikazana je shema uređaja za gašenje požara u skladištima s CO₂.

Kod uključenog kombiniranog uređaja CO₂ s dimnim javljačem zrak se stalno usisava iz skladišta kroz sapnice CO₂, cjevovode, trovodni ventil i kroz dimni javljač. Ako zrak sadrži dim, na to nas upozorava dimni pokazivač požara. Nakon preklapanja trovodnog ventila na kritično skladište gdje se požar pojavio od pozicije “dim” na poziciju “CO₂” kontrolira se kritična prostorija. Kad su se poduzele potrebne predradnje za puštanje CO₂, pristupa se puštanju plina na taj način da se boce aktiviraju jedna po jedna (suprotno od puštanja CO₂ u strojarnicu, kad se aktiviraju sve boce) da bi se izbjegli tlačni udari.

5.3.5. Uređaji za gašenje požara prahom

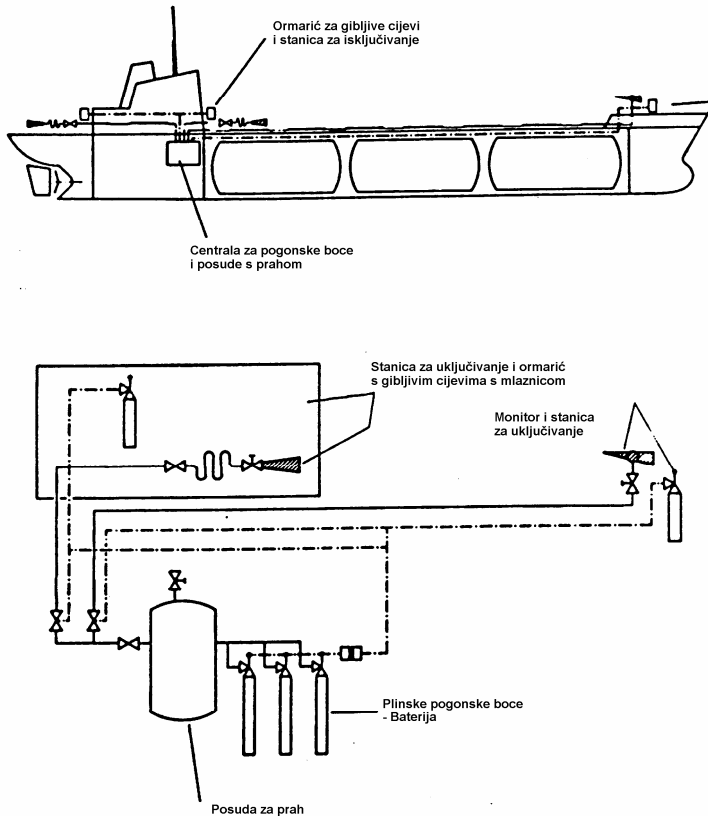
Tankeri za prijevoz plina i kemikalija opremljeni su stacioniranim uređajima za gašenje prahom. Uređaj se sastoji od nezavisne centrale s posudama praha i pogonske baterije, te stanice za puštanje uređaja u pogon na palubi. Ta stanica je povezana cjevovodima s glavnom centralom. Na cjevovodima se postavljaju monitori i ormarići s gibljivim cijevima.

Kad se otvori ventil za pogon na boci u stanici, u centrali se uskovitla prah za gašenje i preko ventila za posluživanje napajaju se ručne mlaznice i monitori.

Uređaji za gašenje požara prahom sastoje se od:

- rezervoara s prahom,
- boca s dušikom za aktiviranje sustava
- čeličnih boca s CO₂ kao pogonskim plinom za istiskivanje praha iz cjevovoda,
- cjevovoda s mlaznicama.

Na slici 5.14. prikazana je shema uređaja za gašenje požara prahom.



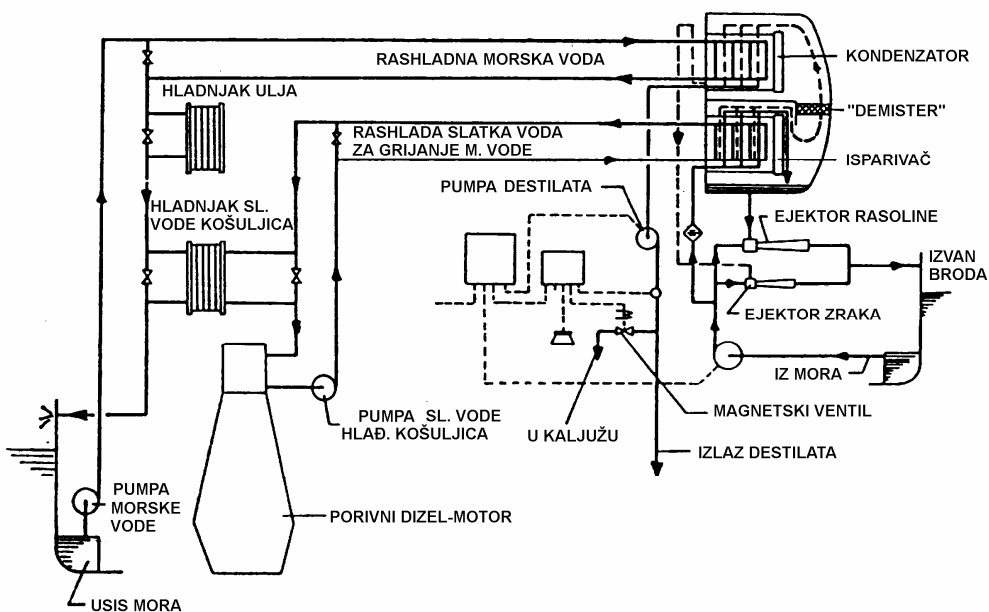
Sl. 5.14. Shema uređaja za gašenje požara prahom

5.4. UREĐAJI ZA DOBIVANJE SLATKE VODE - EVAPORATORI

To su uređaji u kojima se slatka voda dobiva iz morske. Dobivenu slatku vodu posebnim uređajima za filtriranje, omekšavanje i bakteriološko čišćenje

pretvaramo u destiliranu i pitku vodu. Ugradnjom evaporatora znatno se na brodovima smanjuje potrebni volumen tankova za vodu.

Na slici 5.15. prikazana je shema vakuumnog evaporatora. Toplina potrebna za isparavanje morske vode dobiva se iz glavnog motora. Evaporator se sastoji od cilindričnog plašta u kojem se nalazi kondenzator hlađen morskom vodom, isparivača koji se grije toplom vodom hlađenja košuljice glavnog motora i filtra (demistera). Pumpa ejektora osigurava radni medij (more) za dva ejektora. Jedan je ejektor zraka koji služi za održavanje potrebnog vakuuma u evaporatoru. Drugi je ejektor rasoline koji služi za usisavanje rasoline iz evaporatora. Kod vakuuma od 93% moguće je ključanje vode na 40°C. Isparena morska voda odnosno para prolazi kroz filter i tu se zadržavaju kapljice koje kasnije padaju na dno uređaja. Para se diže u kondenzator gdje se kondenzira i ukapljuje kao destilat slatke vode.

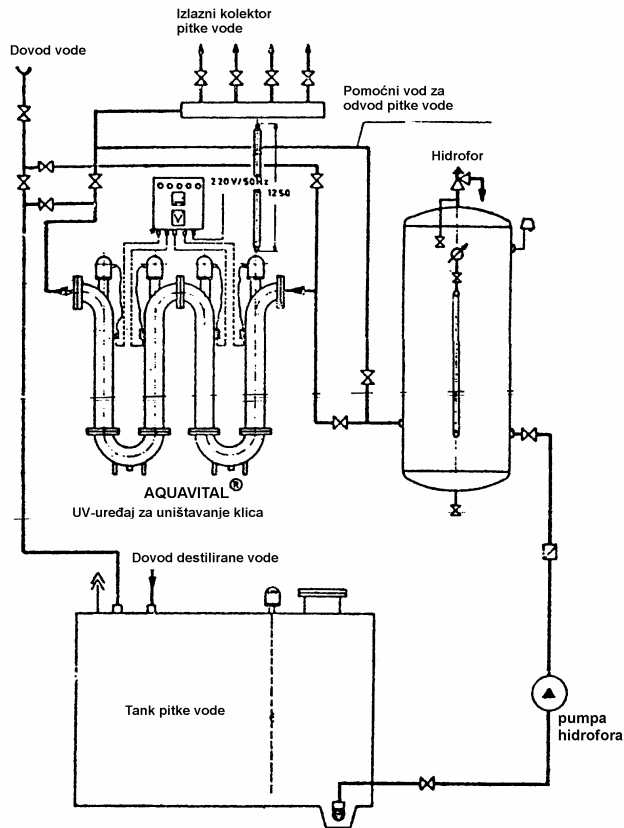


Sl. 5.15. Shema vakuum evaporatora

Pumpa destilata usisava destilat iz posude ispod kondenzatora. Količina soli u vodi kontrolira se posebnim uređajem. U slučaju da je sadržaj soli u destilatu veći od dopuštenog, uređaj otvara magnetski ventil, aktivira alarm evaporatora, a destilat se ispušta u kaljužu.

Ako se destilat koristi za piće, odvodi se u posebnu komoru odnosno filter s aktivnim ugljenom koji odstranjuje natrijev hipoklorit i druge elemente koji vodi daju loš okus, a nakon toga destilat se vodi u tank pitke vode. Poslije hidrofora voda prolazi kroz uređaj za uništavanje klica, odnosno “UV svjetiljku”.

5.5. UREĐAJ ZA UNIŠTAVANJE KLICA ULTRA-LJUBIČASTIM ZRAKAMA



Sl. 5.16. Shema uređaja za uništavanje klica UV-zračenjem

Destilirana voda iz evaporatora odlazi u tankove pitke vode zadržavajući temperaturu od 30-40°C koja pogoduje razvijanju klica. Prema USA propisima siguran način za odstranjivanje klica i bakterija su zrake valne duljine 2537 Å (angstrema) koje su baktericidne i to intenziteta od 16000 mikrovat sekundi po centimetru kvadratnom.

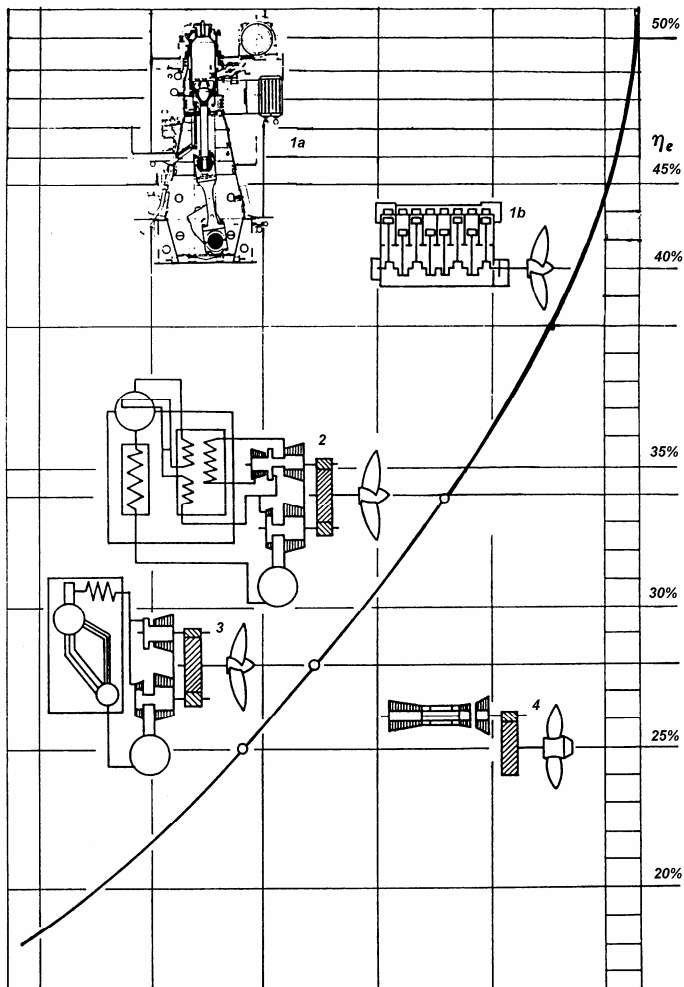
Na slici 5.16. prikazan je uređaj za uništavanje klica ultra-ljubičastim zračenjem. Načelo rada sastoji se u zračenju vode pomoću žarulja sa živinim parama. Potrošak struje za žarulju iznosi samo 40 W. Ultra-ljubičaste zrake u protoku uništavaju klice, bakterije i viruse praktički u potpunosti, ali samo pod uvjetom da je voda bistra i da nema u sebi puno primjesa mangana i željeza jer te primjese apsorbiraju UV-zrake te je uređaj manje učinkovit. Jamstveni rok žarulja je 6000 sati, ili otprilike 8 mjeseci rada.

6. SUSTAV PORIVA

Ukratko, u sustav poriva spada glavni propulzijski stroj i svi uređaji koji ga opslužuju. Gledajući svjetsku flotu danas, na brodove trgovačke mornarice ugrađuju se uglavnom dva tipa pogona: propulzija parnom turbinom i propulzija dizel-motorom. Prema podacima za posljednjih nekoliko godina parni turbinski pogon bio je zastupljen u svjetskoj trgovačkoj mornarici s nešto više od 20% od ukupne svjetske tonaže. Stvarni broj brodova na ovaj pogon još je manji ako se uzme u obzir podatak da se turbinski pogoni najčešće susreću na tankerima izuzetno velikih nosivosti. Stoga će se sljedeća razmatranja sustava poriva odnositi na brodske komplekse s dizel-motorom kao glavnim propulzijskim strojem, dok će o parnoj turbini biti riječi samo u najvažnijim crtama. Parni stapni strojevi neće se obrađivati zbog dobro poznate činjenice da sa stupnjem djelovanja od 0,15 – 0,20 ne mogu konkurirati ostalim pogonima. Pokušaji oživljavanja parnog stapnog stroja u zadnje vrijeme u talijanskim i australijskim brodogradilištima svedeni su na svega nekoliko brodova na kojima se kao gorivo za kotlove koristi ugljena prašina koja je ujedno i teret. Plinske turbine su, također, jedan od pogona koji se koristi u pomorstvu, međutim, zbog niskog stupnja djelovanja od 0,25 – 0,28 svoju su primjenu našle zasad samo na ratnim brodovima gdje njezine dobre strane, kao što su jednostavna konstrukcija, mala težina i volumen, odnosno mogućnost da se pogonska jedinica relativno velike snage postavi u relativno mali prostor, pobija veliku potrošnju goriva. U novije vrijeme plinske turbine se sve više ugrađuju na putničke H.S.S. brodove (High Speed Ship). Glavna značajka, koja je dizel-motorima dala značajnu prednost nad ostalim vrstama propulzije, njihov je visok stupanj djelovanja koji iznosi od 0,40-0,50. U posljednjih par godina dva vodeća svjetska proizvođača B&W-MAN i Sulzer sa svojim tipovima MC, MCA i RTA uspjeli su čak preći preko granice stupnja djelovanja od 0,50.

6.1. ISKORISTIVOST BRODSKIH PROPULZIJSKIH POSTROJENJA

Na slici 6.1. prikazane su granice iskoristivosti raznih brodskih propulzijskih postrojenja.



1a-nove generacije dizel-motora: Sulzer RTA, B&W MC-MCA,
1b-stariji dizel-motori, 2-parne turbine s visoko pregrijanom parom, 3-parne turbine, 4-plinske turbine

Sl. 6.1. Iskoristivost brodskih propulzijskih postrojenja

6.2. USPOREDBE DIZEL-MOTORNE PROPULZIJE S PARNOM TURBINOM

Osnovna i najveća prednost parnih turbina sastoji se u tome što su to pogonski strojevi najvećih snaga. Brodske parne turbine grade se u jednoj jedinici do snaga od oko 100000 kW, dok se na ratnim brodovima grade do snaga od blizu 300000 kW. Parne turbine, dakle, nemaju premca na području izrazito velikih snaga. U trgovačkoj mornarici koriste se uglavnom na tankerima gdje i inače postoje zahtjevi za velikim količinama pare za grijanje tereta, pa je i to razlog što se kod većih tankera primjenjuje parni pogon.

Prednosti parne turbine su: vrlo miran i tih rad, sigurnost u pogonu, manji troškovi održavanja, veća trajnost, dobar zakretni moment i pri malom broju okretaja, te mogućnost vožnje s vrlo malim brojem okretaja propellerske osovine. U pogonu parna turbina je znatno elastičniji stroj od dizel-motora.

Nedostaci parnih turbina su: viši potrošak goriva i potreba posebne turbine za vožnju unazad, jer se parne turbine mogu okretati samo u jednom smjeru. Snaga turbine za vožnju unazad je obično 40% snage turbine za vožnju naprijed, nadalje, vrijeme potrebno da se propelerna osovina počne okretati u suprotnom smjeru znatno je dulje kod turbinskih brodova u usporedbi s motornim. Sam podatak da je snaga turbine za vožnju unazad 40% snage turbine za vožnju naprijed, (za razliku od dizel-motora kod kojih je ona 100%) te da promjena smjera okretaja iziskuje znatno više vremena, ustvari znači da brodovi s turbinskom propulzijom mogu znatno lošije manevrirati od brodova s dizel-motornom propulzijom.

U pogledu opće ekonomičnosti parna turbina postaje ozbiljan takmac dizel-motorima na području snaga preko 15 000 kW s time što je njezina prednost izrazitija što je snaga veća, dok je na području ogromnih snaga bez ikakve konkurencije. Donja ekonomski opravdana granica primjene parnih turbina je 8 000 kW.

Dizel-motori zbog tlakova koji se javljaju u cilindrima moraju biti veoma čvrste konstrukcije, pa im je zato težina po kilovatu razmjerno velika što utječe i na cijenu koštanja. S druge strane, mnogo veća ekonomičnost u potrošku goriva, od kapitalne je važnosti za brodarstvo i ona je glavni razlog tako široke primjene dizel-motorne propulzije. Spremnost za pogon dizel-motora je gotovo trenutačna, dok se kod parnih turbina mora utrošiti prilično vremena za postizanje radnog tlaka pare. Dizel-motorna propulzijska postrojenja su također sigurnija s obzirom na požar i eksplozije. Nova konstruktivna rješenja dizel-motora dovela su do toga da se danas grade motori i do 40000 kW po jednoj osovini. Prema tome ako se stvar promatra s gledišta snage, dizel-motor postaje takmac turbini i na području najvećih snaga.

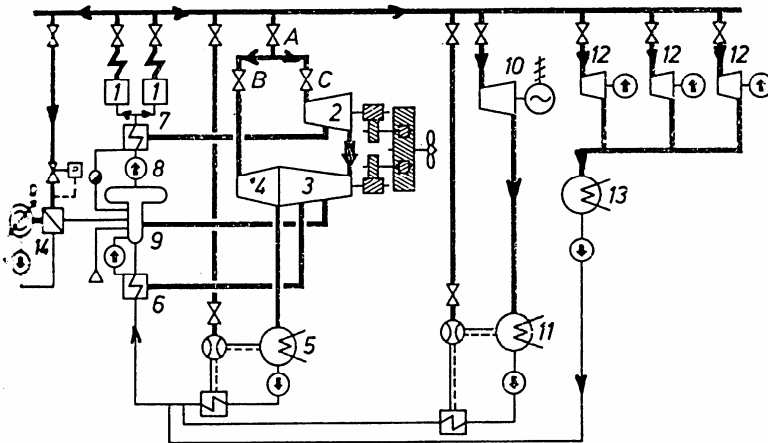
6.3. BRODSKO TURBINSKO POSTROJENJE

Parne turbine su strojevi koji energiju sadržanu u pari pretvaraju u mehaničku radnju. Energija sadržana u pari pretvara se u turbinama najprije u kinetičku energiju, ekspanzijom u sapnicama ili privodnim lopaticama, a kinetička energija u lopaticama rotora pretvara se u mehaničku radnju pri čemu se izravno dobiva rotacijsko kretanje.

Pojednostavnjena shema parnog turbinskog postrojenja suvremenog tankera od 80000 brt prikazana je na slici 6.2.

Para se proizvodi u kotlovima 1. Pregrijana para iz kotlova služi za pogon glavnog pogonskog stroja (parne turbine) i svih pomoćnih strojeva na parni pogon.

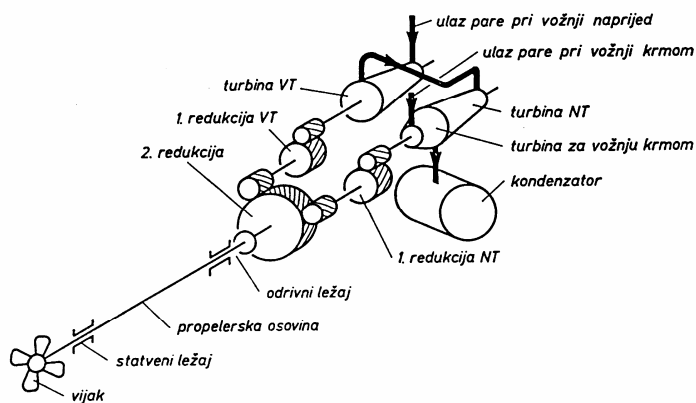
Glavna turbina dobiva paru preko skupine manevarskih ventila A, B i C. Ventil A izveden je kao brzo zatvarajući ventil. On trenutno prekida dovod pare u raznim opasnim situacijama na signal zaštite turbine. Ventilom C pušta se para u turbinu pri vožnji naprijed, a ventilom B pri vožnji krmom pušta se para u turbinu za vožnju krmom. Između ventila C i turbine ugrađeni su regulacijski ventili.



Shema parnog postrojenja turbinskog tankera: 1-kotao, 2-turbina VT, 3-turbina NT, 4-turbina za vožnju krmom, 5-glavni kondenzator, 6 i 7-zagrijači kondenzata, 8-napojna pumpa, 9-otplinjač, 10-turbogenerator, 11-pomoćni kondenzator, 12-pumpe za krcanje tereta, 13-atmosferski kondenzator, 14-pretvarač pare

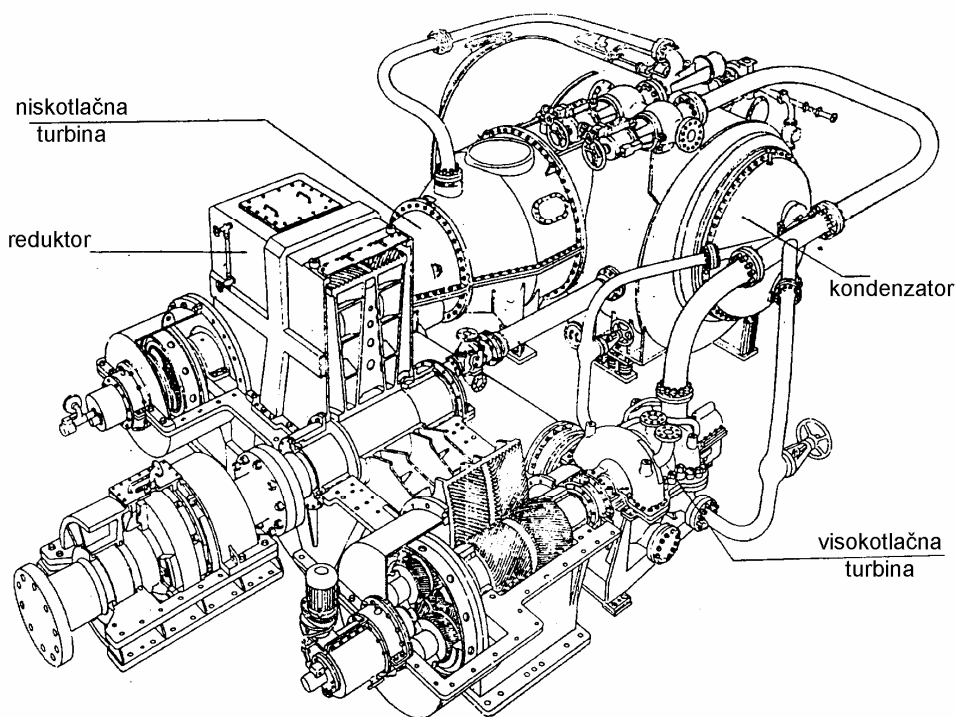
Sl. 6.2. Shema parnog postrojenja turbinskog tankera

Pregrijana para prolazi najprije kroz turbinu visokog tlaka 2, a potom kroz turbinu niskog tlaka 3 u kojoj ekspandira do vakuuma. Pri vožnji krmom zatvara se ventil C i otvara ventil B, a para ulazi u turbinu za vožnju krmom.



Sl. 6.3. Pojednostavljena shema glavne propulzijske turbine

Izlazna para iz niskotlačne turbine (ili turbine za vožnju krmom) odlazi u glavni kondenzator 5 koji se hladi morskom vodom. U kondenzatoru se para pretvara u vodi.



Sl. 6.4. Sklop parno-turbinskog propulzijskog uređaja

Cirkulaciju morske vode kroz kondenzator održava glavna rashladna pumpa. Iza kondenzatora uključena je kondenzatna pumpa i parni ejektor nakon kojih kondenzat ulazi u uređaje za napajanje i pripremu napojne vode.

Napojna voda zagrijava se najprije u niskotlačnom zagrijaču 6 koji dobiva paru iz turbine niskog tlaka. Daljnje zagrijavanje postiže se u otplinjaču 9 koji se zagrijava parom iste turbine. U otplinjač ulaze razni tokovi povratnih kondenzata, ispušne pare i dodatne kemijski očišćene vode. Nakon otplinjača 9, napojne pumpe 8 tlače vodu kroz visokotlačni zagrijač. On se zagrijava parom iz turbine visokog tlaka. Nakon prolaza kroz visokotlačni zagrijač, napojna voda ulazi u kotlove.

Turbogenerator 10 proizvodi električnu energiju za potrebe brodske mreže. Brodsku električnu centralu na parnim postrojenjima obično čine dva turbogeneratorska i jedan dizel-agregat. Para koja izlazi iz turbine turbogeneratorskog kondenzira se u pomoćnom kondenzatoru 11 koji se hladi morskom vodom pomoću vlastite rashladne pumpe.

Parno postrojenje na tankerima, kao u ovom primjeru, sadržava i tri pumpe za krcanje i iskrčavanje tekućeg tereta koje pokreću male turbine 12. Para iz tih turbina se kondenzira u jednostavnom atmosferskom kondenzatoru. U pretvaraču 14 proizvodi se para potrebna za razna grijanja.

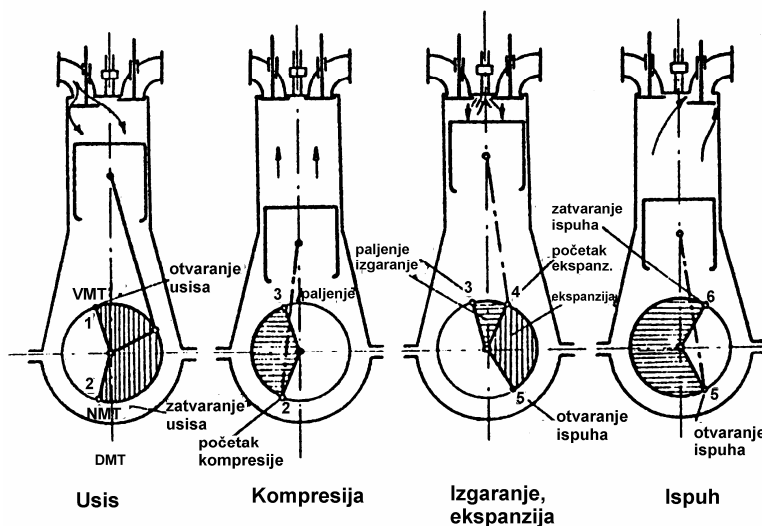
6.4. DIZEL-MOTORNO POSTROJENJE

Na brodovima se uvijek susrećemo s dva različita načela rada motora. To su četverotaktni dizel-motori koji mogu biti glavni porivni strojevi i služe za pogon generatora, i dvotaktni dizel-motori koji su u pravilu glavni porivni strojevi.

U ovom poglavlju razmotrit ćemo načelo rada gore navedenih motora.

6.4.1. Četverotaktni motor

Kod četverotaktnog motora ciklus potreban za jedan radni takt obavlja se za vrijeme dva cijela okretaja koljenaste osovine, odnosno za četiri hoda stapa ili četiri takta (slika 6.5.).



Sl. 6.5. Načelo rada četverotaktnog dizel-motora

1. TAKT – usisavanje zraka

Za vrijeme prvog hoda klipa od gornje mrtve točke (GMT) do donje mrtve točke (DMT) otvoren je usisni ventil i zrak ulazi u cilindar. Zbog otpora u dovodnim kanalima i usisnom ventilu tlak u cilindru niži je od atmosferskog za 0,05 – 0,1 bara. Da bi se cilindar što više napunio zrakom, usisni ventil se otvara nešto ispred GMT i zatvara nešto poslije DMT. Ispušni ventil je za vrijeme ovog hoda uglavnom zatvoren.

2. TAKT – kompresija i paljenje

Drugi hod klipa izvodi se radi komprimiranja usisnog zraka. Temperatura se pri tome povisuje. Usisni i ispušni ventili su zatvoreni. Stupanj kompresije ϵ određen je omjerom volumena cijelog prostora cilindra kada je klip u DMT prema volumenu kompresijskog prostora koji ostaje iznad klipa u GMT. Taj stupanj kompresije je kod dizel-motora visok da bi se gorivo koje se uštrcava neposredno prije GMT moglo u visoko zagrijanom zraku samo zapaliti. Stupanj kompresije za dizel-motore s nabijanjem iznosi preko 20.

3. TAKT – izgaranje i ekspanzija (radni takt)

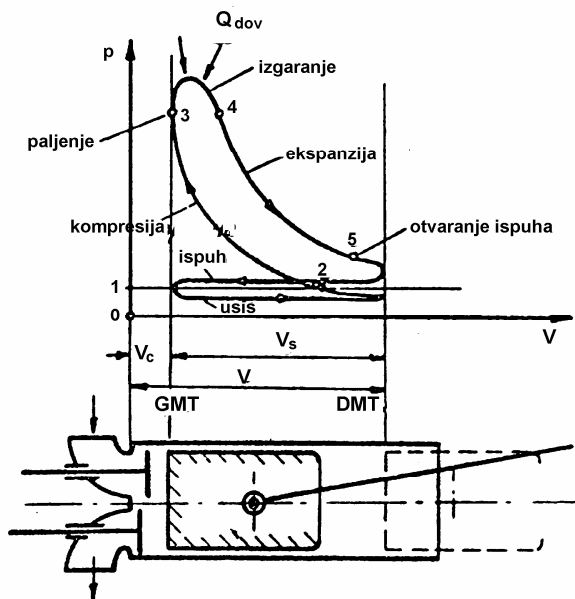
Nakon paljenja počinje izgaranje koje se produžuje i traje na putu klipa u trećem hodu prema DMT. Tlak se pri tome znatno povisuje. Izgaranje se odvija na jednom dijelu puta (40° - 60°) osnog koljena, dok na ostalom dijelu izgarni plinovi ekspandiraju. Paljenje prije GMT potrebno je da se dobije više vremena za potpuno paljenje gorive smjese oko GMT. Usisni ventil je cijelo vrijeme

takta zatvoren. Ispušni ventil se otvara nešto prije nego klip dođe u DMT da bi jedan dio plinova mogao s vlastitim tlakom izići iz cilindra. Time se tlak do kraja hoda klipa snizi skoro na atmosferski, tako da klip u četvrtom taktu, pri istiskivanju, ima što manji protutlak.

4. TAKT – ispuh i istiskivanje plinova

Četvrti takt služi za potpuno odstranjivanje izgaranih plinova iz cilindra. Pri hodu klipa od DMT prema GMT ispušni ventil je otvoren, a klip istiskuje izgarne plinove. Plinovi koji zaostaju u kompresijskom prostoru istiskivaju se nadirućim svježim zrakom, jer ispušni ventil ostaje još neko vrijeme otvoren kad se usisni već otvara, tj. na početku usisnog takta. To se naziva prekrivanje otvaranja usisnog i ispušnog ventila i može iznositi do 135° zakreta osnog koljena. Prekrivanjem se iskorištava inercija plinova. Plinovi koji prolaze kroz ispušni ventil još ekspandiraju i ulaze u ispušni vod s tlakom od 1,05-1,10 bara i s temperaturom od 250-500°C.

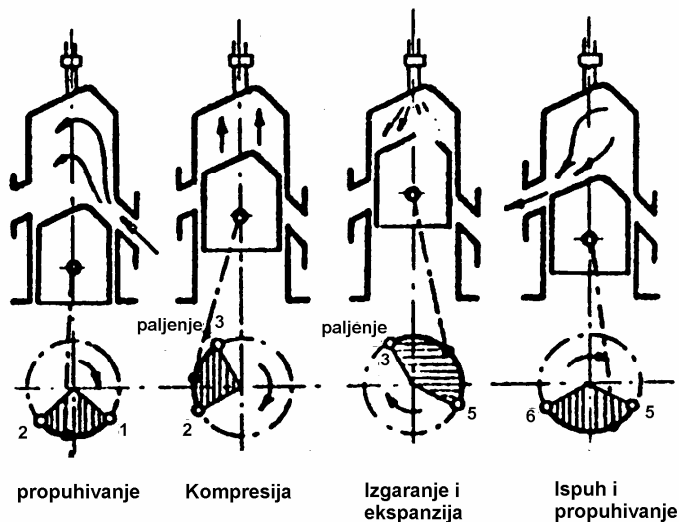
Rad četverotaktnog dizel-motora prikazan je u p, V dijagramu na slici 6.6. Linija usisa ide nešto ispod atmosferske linije a zatim slijedi kompresija do točke 3. Od točke 3 do točke 4 je izgaranje i toplina Q_{dov} se odvodi, a od točke 4 do točke 5 je ekspanzija, u točki 5 se otvara ispušni ventil. Posljednji takt je istiskivanje plinova s tlakom nešto višim od atmosferskog. Od točke 5 do kraja četvrtog takta toplina se odvodi.



Sl. 6.6. p, V dijagram četverotaktnog dizel-motora

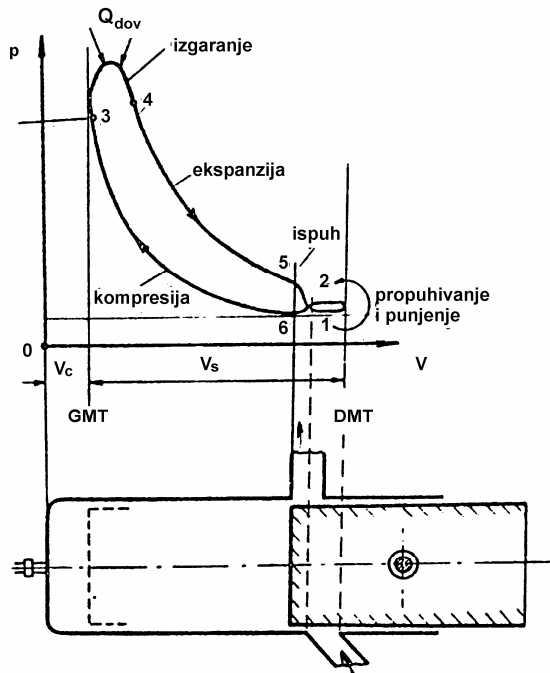
6.4.2. Dvotaktni motor

Kod dvotaktnog motora vrši se ciklus potreban za jedan radni hod klipa za vrijeme jednog okretaja koljenaste osovine, odnosno u dva hoda klipa ili dva takta (slika 6.7.).



Sl. 6.7. Način rada dvotaktnog motora

Prvi takt je takt kompresije (propuhivanje ili ispiranje, kompresija, paljenje), a drugi takt radni takt (izgaranje, ekspanzija, ispuh i početak propuhivanja).



Sl. 6.8. p, V dijagram dvotaktnog motora

Ispuhivanje izgaranih plinova i punjenje zrakom obavlja se djelomično u drugom, a djelomično u prvom taktu. Kompresija, paljenje, izgaranje i ekspanzija su isto kao kod četverotaktnog dizel-motora, dok za ispuh, propuhivanje i punjenje zrakom ostaje samo vrijeme na kraju drugog i na početku prvog takta.

Umjesto usisavanja, zrak se utiskuje u cilindar pod malim predtlakom, a istovremeno se istiskuju zaostali izgarani plinovi. Jedan se dio zraka pri tome gubi, a veći dio ostaje u cilindru te se zatim komprimira. Ovaj postupak zove se propuhivanje ili ispiranje. Ulaz zraka i izlaz ispušnih plinova ide kroz raspore koji se nalaze na obodu cilindarske košuljice, a otvaranje i zatvaranje raspore izvodi sam klip. Kut osnovnog koljena, koji odgovara ispuhivanju i propuhivanju, nešto je veći od $1/3$ okretaja tako da je vrijeme na raspolaganju za ove procese dosta dugo (na slici 6.8. od točke 5 do točke 6).

Na slici 6.8. prikazan je p, V dijagram dvotaktnog motora prema kojemu se mogu pratiti pojedine faze ciklusa. Zrak, koji je ispunio cilindar, komprimira se od točke 6 do točke 3 kada počinje uštrcavanje goriva u komprimirani visokozagrijani zrak. Od točke 3 do točke 4 je izgaranje pri kojem se dovodi toplina Q_{dov} , a od točke 4 do točke 5 plinovi su u ekspanziji. U točki 5 klip najprije otvara ispušne raspore, te tlak padne na atmosferski, a tek kada u točki 1 otvara raspore za propuhivanje, koji se nalaze niže, tlak se neznatno povisi. U

točki 2, kada klip opet prekrije raspore za propuhivanje, tlak se skoro izjednačuje s atmosferskim, jer je ispuh još otvoren. Kompresija počinje u točki 6 nakon ispušnih raspore i traje do točke 3.

6.4.3. Teoretski kružni proces dizel-motora (Sabatheov proces)

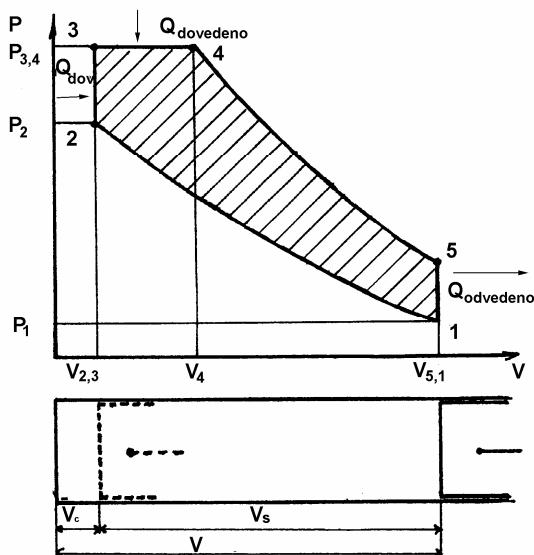
1-2 Adijabatska kompresija: povećava se temperatura i tlak zraka, a volumen zraka se smanjuje.

2-3 Izohorska promjena stanja s dovođenjem topline: klip ostaje na mjestu, a dovođenjem topline povećava se tlak i temperatura, dok volumen ostaje nepromijenjen.

3-4 Izobarska promjena stanja: dovodi se toplina pri čemu se povećava volumen i temperatura, dok tlak ostaje nepromijenjen. Klip se pomakne od točke 3 do točke 4.

4-5 Adijabatska ekspanzija: smanjuje se temperatura i tlak zraka, a volumen se povećava

5-1 Izohorska promjena stanja: klip ostaje na svom mjestu, a u cilindru se izvodi izohorska promjena stanja s odvođenjem topline, smanjuje se tlak i temperatura, dok volumen ostaje nepromijenjen.

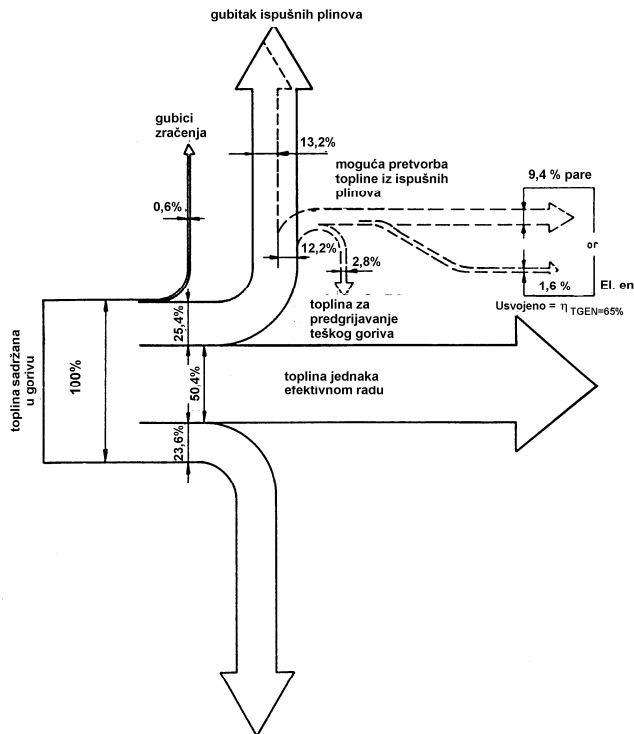


Sl. 6.9. Sabatheov kružni proces

6.4.4. Toplinska bilanca motora

Toplina dovedena motoru izgaranjem goriva pretvara se djelomično u efektivan rad na osovini motora dok je ostalo gubitak. Pod toplinskom bilancom motora podrazumijeva se shema raspodjele topline nastale pri izgaranju goriva.

Pregledno se raspodjela topline može prikazati u “Sankey” dijagramu (slika 6.10.).

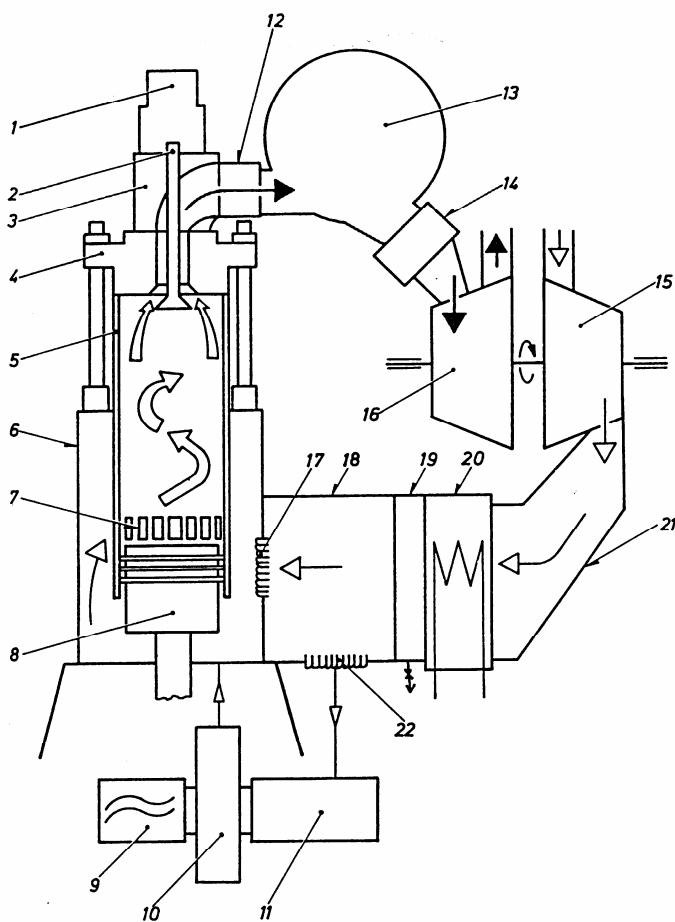


Sl. 6.10. “Sankey” dijagram dvotaktnog dizel-motora

6.4.5. Nabijanje motora

Motori s nabijanjem općenito su lakši i manjih dimenzija nego motori istih snaga i istih brojeva okretaja, jer u istom cilindarskom prostoru izgara veća količina goriva. Prema tome, glavna je svrha nabijanja, da se uštedi na prostoru i težini (masi), a ušteda u oba slučaja iznosi 30-35%. Povećanjem snage kod

istih dimenzija smanjuje se udio mehaničkih i toplinskih gubitaka, te se ekonomičnost motora povećava. Smanjenje specifičnog potroška goriva ovisno je o tlaku nabijanja, odnosno što je tlak nabijanja veći, specifični potrošak je niži. Jasno je da se zbog konstruktivnih problema ne može tlak nabijanja povećavati u nedogled.



- 1-hidraulički pogon ispušnog ventila,
- 2-ispušni ventil,
- 3-kućište ispušnog ventila,
- 4-glava cilindra,
- 5-cilindarska košuljica,
- 6-cilindarski blok,
- 7-ispirni raspori ili okna,
- 8-stap,
- 9-elektromotor,
- 10-pomoćno puhalo,
- 11-kućište ulaza zraka,
- 12-elastični međukomad,
- 13-ispušni korektor,
- 14-elastični međukomad,
- 15-puhalo,
- 16-plinska turbina,
- 17-grupa nepovratnih ventila,
- 18-resiver,
- 19-odvajač vode,
- 20-rashladnik zraka,
- 21-spoj puhala,
- 22-grupa nepovratnih ventila

Sl. 6. 11. Sustav nabijanja suvremenog dvotaktnog propulzijskog dizel-motora

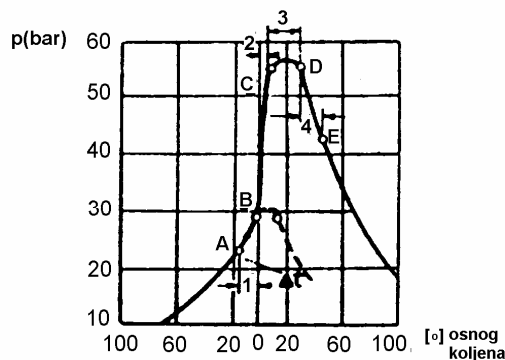
Posljednje serije sporokretnih motora rade s tlakom prednabijanje do 2 bara na 100% opterećenja ostvarujući specifičan potrošak od 160 gr/kWh. Poznat je i primjer tvrtke S.E.M.T.-Pielstick koja je na svojim brodskim četverotaktnim motorima ostvarila nabijanje s dvostupanjskim turbopuhalom od 3 bara pri 100% opterećenja.

Na slici 6.11. prikazan je sustav nabijanja dvotaktnog propulzijskog motora s istosmjernim propuhivanjem. Nabijanje se obavlja plinskom turbinom koja za svoj pogon koristi energiju ispušnih plinova. Na istoj osovini nalazi se puhalo koje usisava zrak pod atmosferskim tlakom, komprimira ga i šalje u rashladnik zraka gdje se zraku snizuje temperatura, a time i temperatura svih procesa koji se kasnije događaju u motoru. Time se postiže povećavanje cilindarskog punjenja i povećanje snage motora. Kada stap otkrije ispirne raspore, zrak ulazi u cilindar s tlakom prednabijanja. Jasno da je ispušni ventil za to vrijeme otvoren. Raspori su tako konstruirani da omoguće vrtloženje zraka uz stijenke cilindra, tj. da povećaju učinkovitost ispiranja. Za vrijeme starta motora ili pri malim opterećenjima pomoćno puhalo dobavlja zrak u cilindar. Pri povećanom opterećenju, tj. većem tlaku glavnog turbopuhala (plinska turbina + puhalo), preko presostata automatski se isključuje pomoćno puhalo. Nepovratni ventili (17 i 22) ugrađeni su zato da spriječe povrat zraka iz cilindra u rashladnik zraka.

6.4.6. Proces izgaranja u dizel-motoru

Stvarni proces izgaranja u motoru može se pratiti preko otvorenih ili razvijenih indikatorskih dijagrama (indikatorski dijagrami dobivaju se snimanjem na motoru). Taj se cijeli proces može podijeliti u četiri faze:

1. Period zakašnjenja paljenja (AB),
2. Period izgaranja s naglim porastom tlaka pri konstantnom volumenu (BC),
3. Period izgaranja pri konstantnom tlaku (CD),
4. Period dogorijevanja (DE).



Sl. 6.12. Razvijeni dijagram procesa izgaranja

Prva faza obuhvaća period od momenta ulaza goriva u cilindar (točka A) do momenta naglog porasta tlaka (točka B). U ovoj fazi zagrijano gorivo uštrcava se u komprimirani zrak tlaka 30-40 bara i temperature oko 600°C. Pod utjecajem visoke temperature kapljice goriva isparavaju, a ujedno se i kemijski mijenjaju, tj. teške molekule disociraju i stvaraju se međuprodukti izgaranja. Najprije isparavaju i izgaraju čestice u dodiru sa zrakom, i to one najmanje, koje imaju, razmjerno prema svojoj masi, najveću površinu. Zakašnjenje paljenja traje otprilike od 0,001 do 0,005 sekundi.

Prva faza utječe na sve kasnije faze procesa izgaranje i treba biti što kraća. Vrijeme potrebno da se odvije prva faza zavisi uglavnom o stupnju zapaljivosti goriva (lošije raspršivanje uzrokuje veće zakašnjenje), o zaostalim plinovima izgaranje (što manje plinova, to manje zakašnjenje), o stupnju kompresije (što je veća kompresija, to je manje zakašnjenje), itd.

Druga faza obuhvaća period izgaranja s naglim porastom tlaka (BC). U ovoj fazi gorivo, koje je uštrcano u prostor izgaranja pri zakašnjenju paljenja, izgara tako da plamen naglo zahvati cijeli prostor kod položaja stapa blizu GMT. Porast tlaka se kreće u granicama od 2-6 bara za 1° zakreta osnog koljena. Veliki utjecaj na drugu fazu ima prva faza (zakašnjenje paljenja). Što je više goriva ušlo u cilindar za vrijeme prve faze, to brže raste tlak u drugoj fazi. Izgaranje se odvija uglavnom pri konstantnom volumenu.

Treća faza traje od točke C do točke D. Gorivo uštrcano za vrijeme ovog perioda ulazi u okolinu koja ima visoki tlak i visoku temperaturu i izgara odmah jer nema zadržavanja zbog procesa samozapaljivanja. U tom periodu temperatura poraste do maksimuma, a tlak se ne mijenja mnogo, te se ovaj period naziva izgaranje pri konstantnom tlaku. Uštrcavanje goriva obično se završava u ovoj fazi.

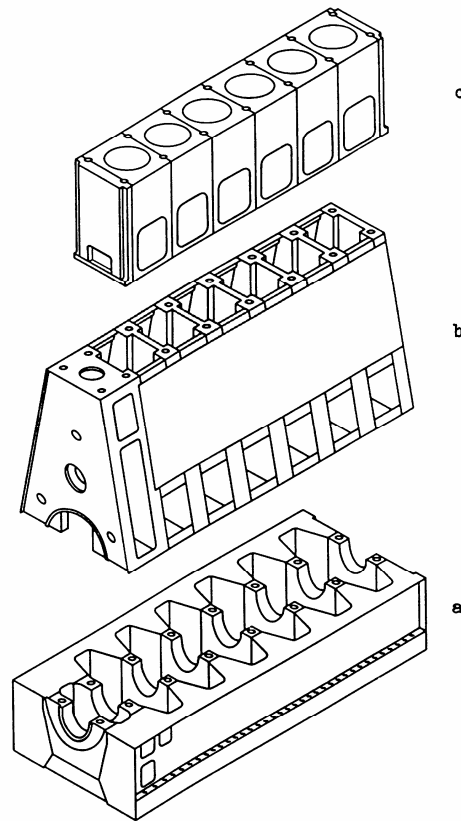
Četvrta faza predstavlja period dogorijevanja goriva koje nije stiglo da izgori u drugoj i trećoj fazi. Dogorijevanje se odvija za vrijeme ekspanzije, što izaziva povišenje temperature ispušnih plinova i veće dovođenje topline na rashladnu vodu, jer su se rashladne površine već povećale. Znatnije dogorijevanje za vrijeme ekspanzije izaziva prejako zagrijavanje cilindarskih stijenki, glave i ispušnih ventila. Kod većih opterećenja motora javlja se i veće dogorijevanje zbog duljeg uštrcavanja goriva. Veće dogorijevanje javlja se također kod propuštanja rasprskaca i kada je slaba kompresija zbog propuštanja stapnih prstena i ventila.

Za vrijeme izgaranja poraste tlak izgaranja kod sporokretnih motora na oko 50-60 bara, a s nabijanjem oko 80-100 bara. Kod brzookretnih motora tlak izgaranja je oko 60-80 bara, a s nabijanjem oko 100-120 bara.

6.4.7. Važniji konstruktivni dijelovi dizel-motora

Temeljna ploča

Temeljna ploča služi za pričvršćivanje motora na brodski temelj za podupiranje i nošenje koljenaste osovine, te za nošenje kućišta. Na dnu temeljne ploče skuplja se ulje, te je dno izliveno kao uljno korito zajedno s temeljnom pločom ili je, kod zavarenih konstrukcija, limeno dno privareno. U temeljnu ploču ugrađeni su osnovni ležaji za koljenastu osovinu. Svaki osnovni ležaj nalazi se na jednom poprečnom nosaču koji daje temeljnoj ploči poprečnu krutost (slika 6.13.a.).



Sl. 6.13. a-temeljna ploča, b-kućište motora, c-cilindarski blok

Kućište motora

Kućište motora je dio u kojem se kreće stapni mehanizam a čini spoj između temeljne ploče i cilindra (slika 6.13.b.).

Cilindarski blok

Uglavnom se svi cilindri izrađuju u jednom bloku, dok je moguća i izvedba za svaki cilindar pojedinačno. Ti se cilindri međusobno spajaju vijcima, ili se svaki za sebe postavlja na kućište motora.

Prednosti lijevanih cilindara u jednom bloku su te što je motor manjih dimenzija i težine, a nedostatak je potreba izmjene cijelog bloka ukoliko se dogodi havarija na nekom od važnijih dijelova cilindra što je, doduše, vrlo rijetka pojava (slika 6.13.c.).

Košuljica cilindra

Košuljice se grade od gustog, tvrdog, sivog lijeva legiranog s titanom, kromom i niklom. Materijal košuljice mora biti tvrdi od materijala prstena da bi trošenje košuljice bilo što manje. Košuljica se obično umeće u cilindarski blok tako da se između košuljice i stijenke cilindra formira rashladni prostor kao što je vidljivo na slici 6.14. Košuljica se pri zagrijavanju rasteže, a ukoliko dođe do puknuća košuljice, može se specijalnim napravama izvaditi i izmijeniti.

Glava cilindra

Materijal glave cilindra je obično sivi lijev. Hlađenje je izvedeno tako da voda ulazi u donji dio, a zagrijana voda se odvodi s najvišeg mjesta da se ne bi stvorili zračni jastuci. Na slici 6.15. prikazana je glava od jednog komada koja je zbog otvora sjedišta ispušnog ventila dosta oslabljena pa se izrađuje od legiranog čelika.

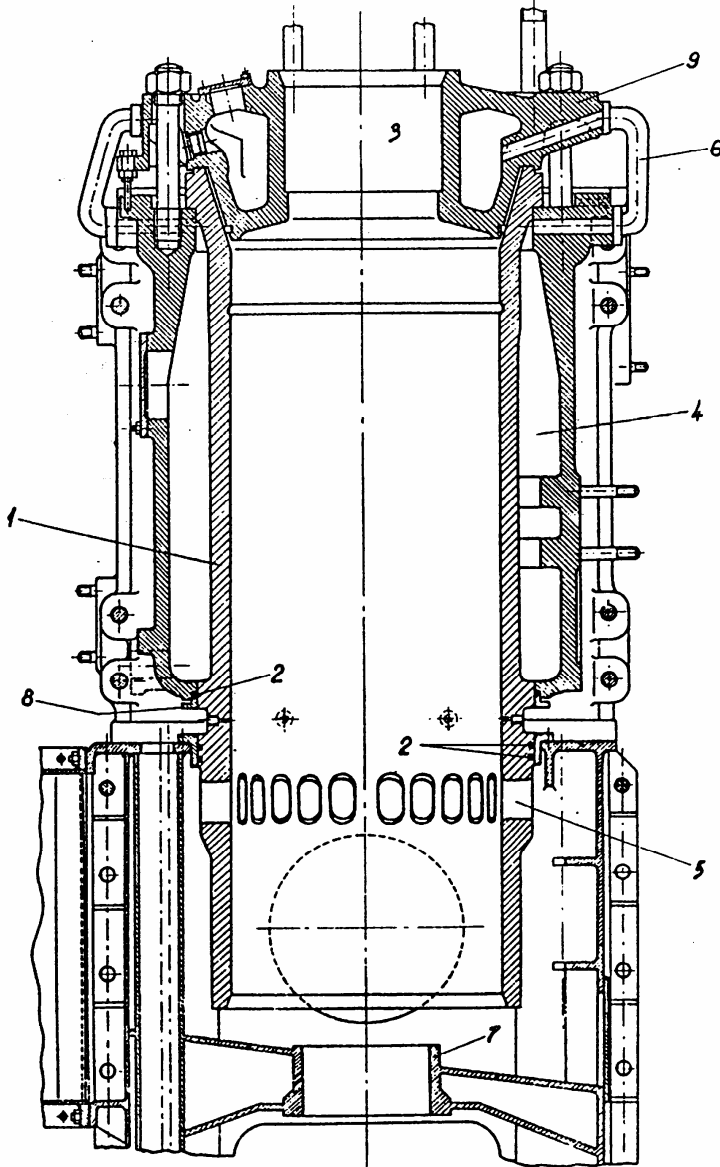
Stap i klip

Pod stapom se smatra dio motora na koji djeluje tlak plinova koji ne prenosi nikakvu komponentu okomitu na stijenku cilindra. Stapove imaju svi motori sa stapajicom i križnom glavom. Rashladno ulje ili voda dovodi se klipu ili stapu pomoću cijevi sa zglobovima ili teleskopskim cijevima. Kratki se stapovi upotrebljavaju za motore s istosmjernim propuhivanjem (slika 6.16.).

Stapajica

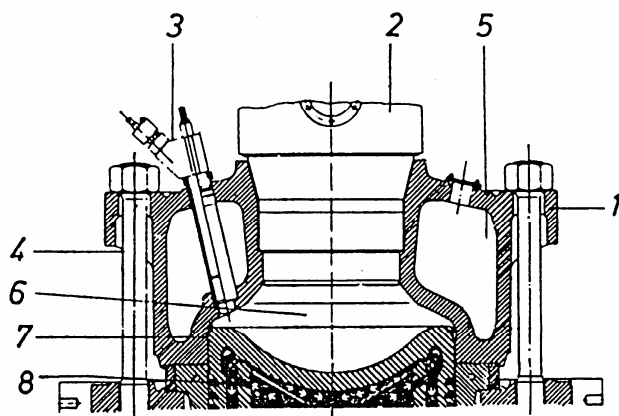
Stapajicu imaju motori s križnom glavom, a služi kao spoj između stapa i križne glave. Stapajica je obično šuplja i upotrebljava se za dovod i odvod medija za hlađenje u stap. Donji kraj stapajice (slika 6.17. –8) spojen je s križnom glavom (15) pomoću konusa (12) i matice (13). Vijci (5) spajaju stapajicu sa stapom koji se, u ovom primjeru, sastoji od gornje glave (1), vodilice od sivog lijeva (4)

i umetka od čeličnog lijeva (3). Stapajica (7) je spojena sa stapom prirubnicom (6). Kroz šupljinu stapajice umetnuta je cijev (9) kroz koju se dovodi ulje u hladeni dio stapa. Prostor između šupljine stapajice i cijevi služi za odvod ulja do centralnih otvora (10) u prstenaste kanale (13).



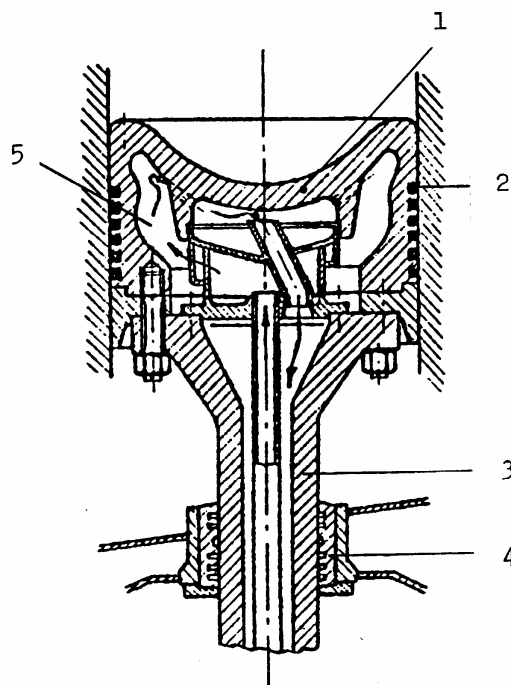
1-košuljica, 2-gumeni brtveni prsten, 3-otvor za ispušni ventil, 4-rashladni prostor, 5-ulaz zraka za propuhivanje, 6-prijelaz vode u glavu cilindra, 7-šupernica stapajice, 8-brtva rashladnog prostora, 9-glava cilindra

Sl. 6.14. Košuljica dvotaktnog motora s križnom glavom



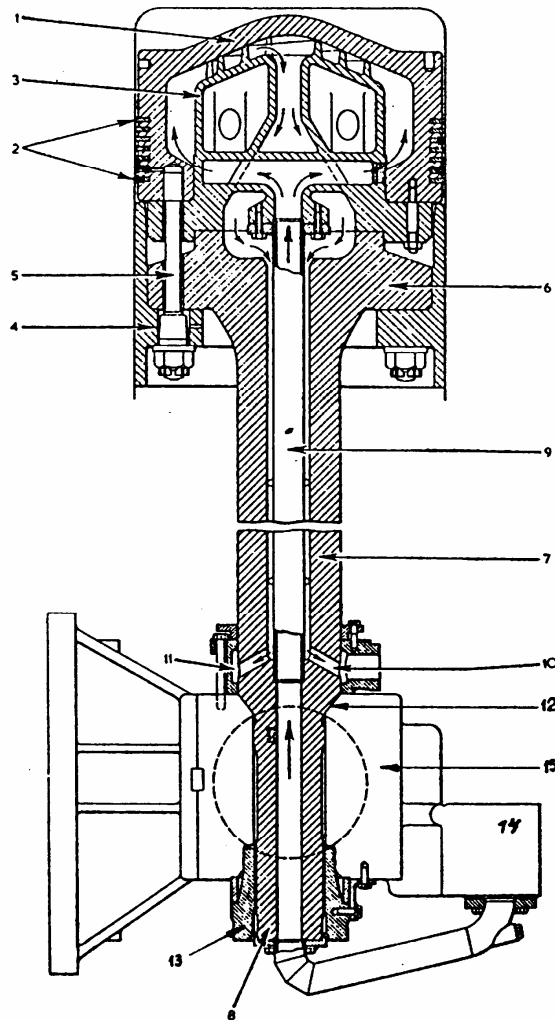
1-glava motora, 2-kućište ispušnog ventila, 3-raspršač, 4-vijak za pritezanje glave, 5-rashladni prostor, 6-kompresijski prostor, 7-čelo stapa, 8-rashladni prostor stapa

Sl. 6.15. Glava motora



1-stap, 2-stapni prstenovi, 3-stapajica, 4-šupernica, 5-prostor za hlađenje

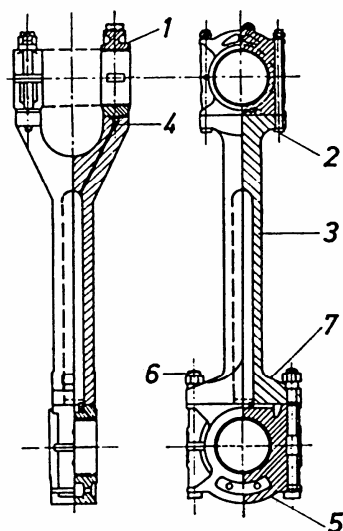
Sl. 6.16. Stap



Sl. 6.17. Stap sa stapajicom

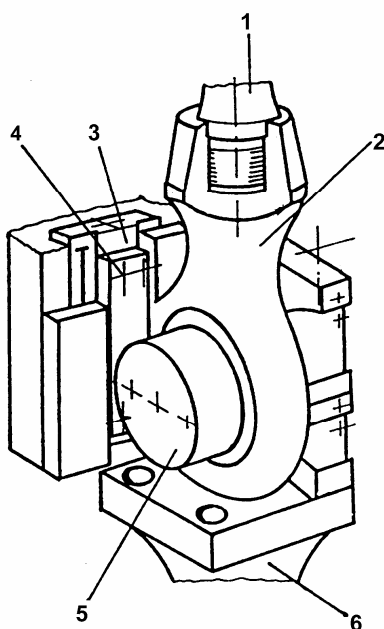
Ojnica

Ojnica služi za prijenos sile koja nastaje kod pritiska izgaranih plinova na koljeno koljenaste osovine. Ojnica motora bez križne glave u praksi se naziva klipnjača. Ojnica (slika 6.18) se obično sastoji od gornjih ojničnih ležaja (1), vijaka (2) kojima je dvodjelni ležaj učvršćen, tijela ojnice (3), pete ojnice (7), kanala za dovod ulja u gornje ležaja križne glave (4) i vijaka (6) pomoću kojih se učvršćuje donje dvodjelno kućište (5) s petom ojnice (7).



1-gornji ojnični ležaj, 2-vijci za učvršćivanje dvodjelnog ležaja, 3-tijelo ojnice, 4-kanali za dovod ulja u ležaje križne glave, 5-dvodjelno kućište, 6-vijci za učvršćivanje kućišta, 7-peta ojnice.

Sl. 6.18. Ojnica



1-stapajica, 2-križna glava, 3-klizna papuča, 4-klizna staza, 5-oslonac ležaja ojnice, 6-ojnica

Sl. 6.19. Križna glava

Križna glava

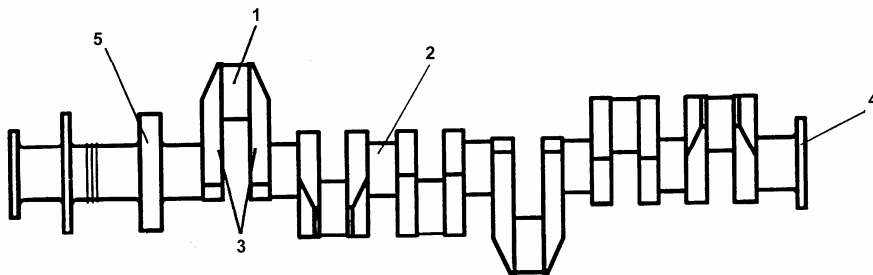
Funkcija križne glave je da preuzme silu koju prenosi stap i da tu silu prenese preko ojnice na koljenastu osovinu, odnosno da pravocrtno kretanje stapajice pretvara u njihajuće kretanje ojnice. Bočne komponente sila prenose se pomoću klizne papuče (slika 6.19. –3) na kliznu stazu (4). Na slici je prikazana križna glava (2), stapajica (1), oslonac ležaja ojnice (5) i ojnica (6).

Koljenasta osovina

Koljenasta osovina (koljenasto vratilo) predaje rad pojedinih cilindara u obliku promjenjiva zakretnog momenta propelernoj osovini. Koljenasta osovina (slika 6.20.) se sastoji od osnaca osovine (2), osnaca koljena (rukavaca – 1), ramena koljena (3) i spojnih prirubnica (4). Materijal je najčešće ugljični čelik.

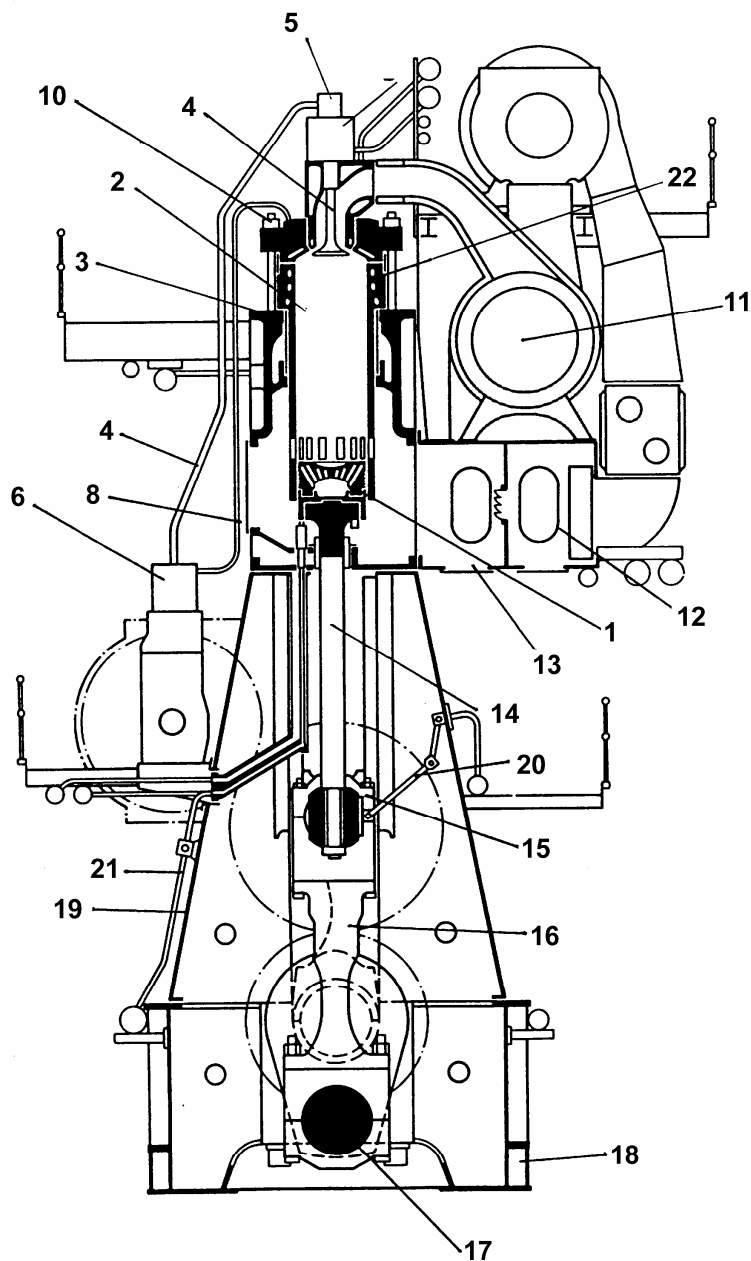
Na slici 6.21. prikazan je presjek kroz Sulzerov RTA motor s hidrauličkim otvaranjem ispušnog ventila, dok su na slici 6.22. prikazani neki elementi sustava goriva na motoru.

U zadnje vrijeme glavni propulzijski motori vodećih svjetskih proizvođača pogone se samo na teško gorivo (nije potrebno dizelsko gorivo za manevar) što znatno utječe na troškove goriva, a motor je u bilo kojoj situaciji trenutno spreman za manevar.



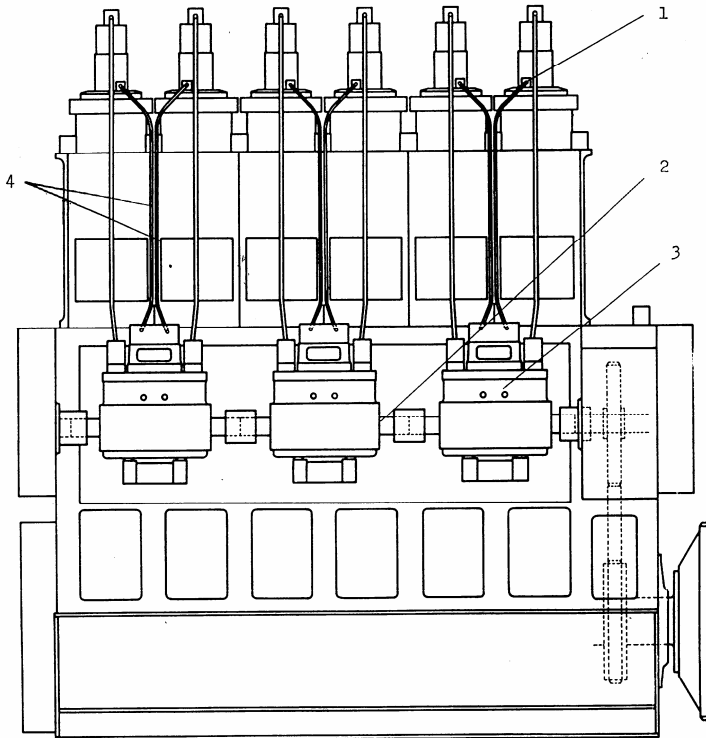
1-osnac koljena (rukavac), 2-osnac osovine, 3-rame koljena, 4-spojna prirubnica, 5-odrivni greben

Sl. 6.20. Koljenasta osovina



1-stap, 2-cilindarska košuljica, 3-cilindarski blok, 4-ispušni ventil, 5-hidraulički prijenos za otvaranje ventila, 6-aktuator, 7-dovodna cijev ulja za otvaranje ventila, 8-odvodna cijev, 9-kućište ventila, 10-vijci za pričvršćenje kućišta, 11-turbopuhalo, 12-rashladnik zraka, 13-resiver, 14-stapajica, 15-križna glava 16-ojnica, 17-koljenasta osovina, 18-temeljna ploča, 19-kućište motora, 20-zglobne cijevi za dovod ulja u križnu glavu (stap), 21-cijevi za odvod ulja iz križne glave (stapa) 22-glava cilindra

Sl. 6. 21. Presjek kroz Sulzerov RTA motor



1-rasprskać sa stalnom cirkulacijom tekućeg goriva, 2-razvodna osovina za pogon pumpi goriva,
3-pumpa goriva (visokotlačna), 4-visokotlačne cijevi

Sl. 6.22. Glavni elementi sustava goriva na motoru

6.5. POMOĆNI BRODSKI KOTLOVI

Pod tim pojmom podrazumijevamo sve one kotlove koji služe za proizvodnju pare koja se ne koristi za pokretanje brodskih turbina. To su, dakle, kotlovi koji služe za proizvodnju pare za grijanje goriva, ulja, vode, tekućih tereta, grijanje nastambi, na brodovima s dizel-motornom propulzijom itd.

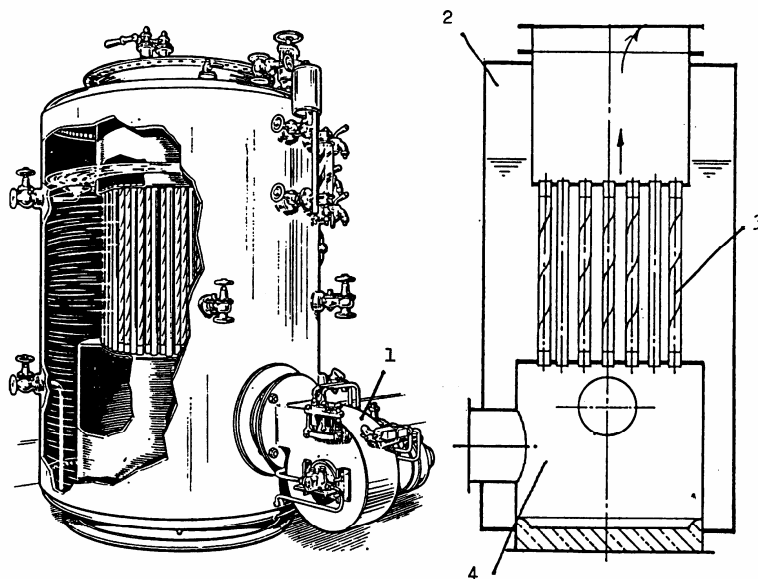
Pomoćni kotlovi mogu imati vlastito ložište, a mogu i koristiti otpadnu toplinu ispušnih plinova dizel-motora za dobivanje pare. Dizel-motorna propulzijska postrojenja obično su opremljena s dva kotla. Jedan je kotao s ložištem koji pokriva potrebe pare za vrijeme mirovanja broda, dok u navigaciji radi kotao na ispušne plinove (utilizacijski kotao) koji je dimenzioniran tako da zadovolji sve potrebe za parom u vožnji. Obično su kotlovi povezani tako da utilizator koristi parni prostor kotla na loženje kao parni bubanj, jer ga on ne posjeduje.

6.5.1. Kotao s ložištem

Na slici 6.23. prikazan je jedan od najjednostavnijih kotlova na loženje s dimnim cijevima (vatrocijevni kotao). Cijevi su vrtložnog oblika tako da omogućuju vrtloženje plinova i na taj način se stvara bolji dodir s hladnom stijenkom cijevi. Upotrebljava se za tlakove pare do 7 bara. Voda se zagrijava pomoću uređaja za loženje koji se napaja naftom.

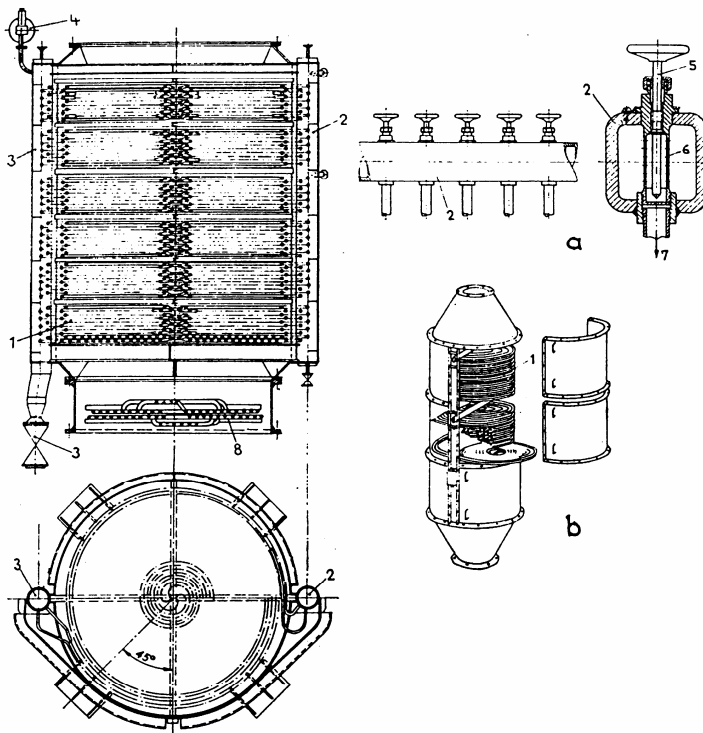
6.5.2. Utilizacijski kotao (kotao na ispušne plinove)

Na slici 6.24. prikazan je La Montov kotao. Sastoji se od više serpentina (spiralnih cijevi – 1) kroz koje prolazi voda ili mješavina voda-para. Veliki broj spiralnih cijevi potreban je zato da se bolje iskoristi toplina ispušnih plinova. Spiralne cijevi su povezane na ulaznu (2) i izlaznu (3) sekciju komoru. Radi reguliranja proizvodnje pare, kotao je podijeljen u tri sekcije po dva paketa spiralnih cijevi. Moguća je i alternativna izvedba s pregrijačem pare (8). Na slici 6.24. prikazane su spirale i paket od spiralnih cijevi.



1-uređaj za loženje, 2-parni prostor, 3-dimne cijevi, 4-ložište

Sl. 6.23. Vatrocijevni kotao s ložištem



1-paket spiralnih cijevi, 2-sekcijska komora za ulaz vode, 3-sekcijska komora za izlaz vode, 4-sigurnosni ventil, 5-zaporni ventil, 6-filtar, 7-ulaz vode u spiralne cijevi, 8-pregrijač pare

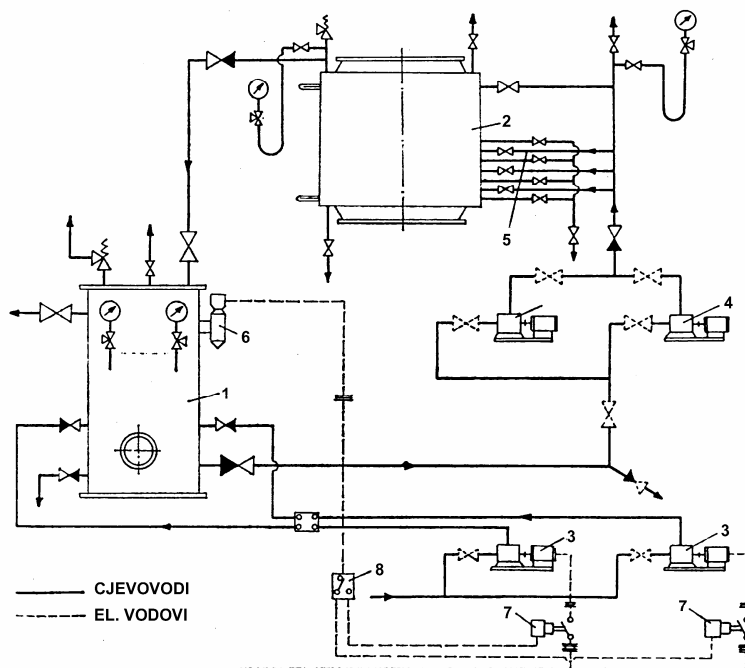
Sl. 6.24. La Montov utilizacijski kotao

6.5.3. Povezivanje pomoćnih kotlova

Na slici 6.25. prikazan je jednostavan način povezivanja kotlova gdje se kotao na ispušne plinove, bez vlastitog parnog prostora koristi parnim prostorom kotla na loženje.

Cirkulacijska pumpa (4) obavlja prisilan tok strujanja vode kroz kotao na ispušne plinove (2). Pri plovidbi, kad se kotao (1) ne loži, kotao na ispušne plinove (2) proizvodi paru i ona prelazi u parni prostor kotla (1). Pri radu u luci, kotao (1) radi bez cirkulacijske pumpe (4), tj. s prirodnom cirkulacijom vode u vlastitom kotlu. Pri zajedničkom radu obaju kotlova proizvodi se para u istom parnom prostoru kotla (1), djelomično prirodnom, a djelomično prisilnom cirkulacijom vode. Kotao (1) radi automatski, tj. isključuje se kad tlak postigne željenu vrijednost (otprilike 6 bara), a uključuje se na 1-2 bara nižem tlaku. Kod

vožnje s većim opterećenjem utilizacijski kotao proizvodi dovoljnu mješavinu vode i pare koja isparava u parnom prostoru kotla za loženje. Ta para je na tlaku višem od tlaka uključivanja kotla za loženje tako da nam kotao za loženje miruje. Obrnuto, ako npr. u manevru dođe do pada opterećenja dizel-motora, odnosno tlaka pare, uključuje se kotao na loženje u paralelan rad.

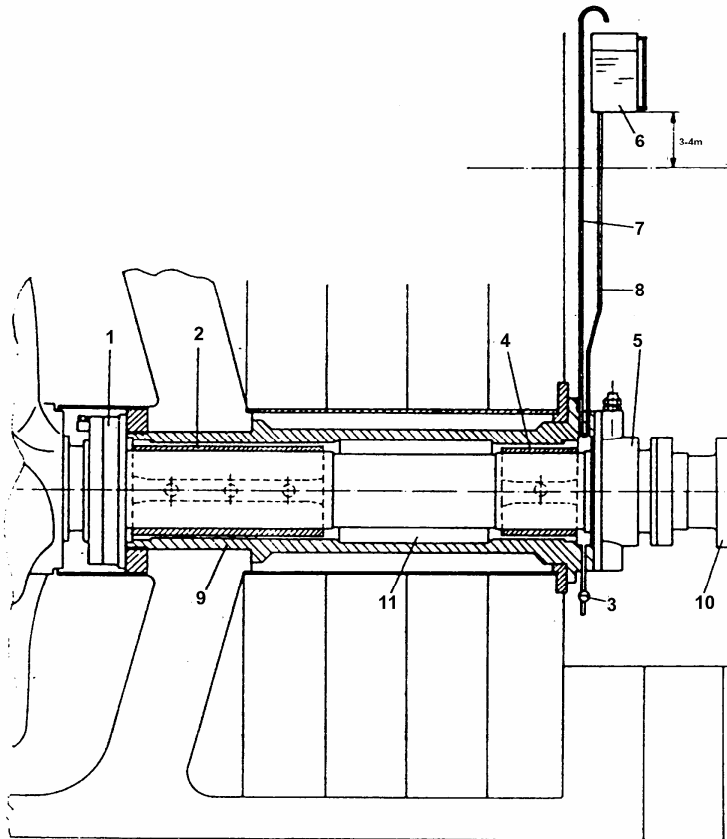


1-kotao s ložištem, 2-kotao na ispušne plinove (utilizator), 3-napojna pumpa, 4-cirkulacijska pumpa, 4-cirkulacijska pumpa kotla na ispušne plinove, 5-ventil za ulaz vode u sekciju kotla, 6-regulator napajanja, 7-automatska sklopka, 8-preklopka

SI. 6.25. Način povezivanja pomoćnih kotlova

6.6. STATVENA CIJEV I BRTVENICE

Statvena cijev omogućava izlaz osovinskog voda iz trupa broda i sprječava prodiranje vode u osovinski tunel, tj. strojarnicu. Proteže se od prednje pregrade krmenog pika do kraja krmene statve. Izrađuje se od lijevanog željeza, lijevanog čelika ili čeličnog debelog lima oblikovanog zavarivanjem u okrugli presjek. Na slici 6.26. prikazana je statvena cijev s ležajevima od bijelog metala i specijalnim brtvenicama koje sprječavaju izlaženje ulja na vanjskoj stražnjoj i prednjoj strani statvene cijevi. Podmazivanje se izvodi iz jednog gravitacijskog tanka koji se postavi u strojarnici iznad linije osovinskog voda 3-4 m iznad linije maksimalnog gaza broda.

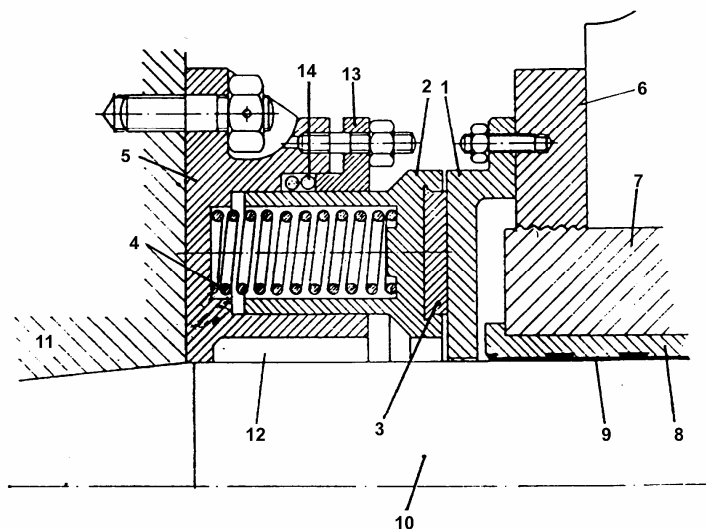


*1-stražnja brtvenica, 2-stražnji ležaj, 3-otpusni ventil za ulje, 4-prednji ležaj, 5-prednja brtvenica,
6-gravitacijski tank, 7-odušnik ulja, 8-naljevna cijev ulja, 9-statvena cijev,
10-osovina brodskog vijka, 11-prostor za ulje*

Sl. 6.26. Statvena cijev s prednjom i stražnjom brtvenicom

6.6.1. Brtvenica tipa Cederwall

Brtvljenje (slika 6.27.) se postiže dodirom plohe (1) na plohu prstena (2) između kojih je uloženi radijalni segment (3) od bijele kovine. U radijalni prsten (2) uložene su četiri opruge (4) koje se oslanjaju na kućište (5) i pritišću segment (3) na plohu (1). Na taj način je bijela kovina uvijek u kontaktu s plohom. Kućište (5) s prstenom (2) i segmentom (3) okreće se s brodskim vijkom, dok ploha (1) miruje i pričvršćena je na maticu (6) statvene cijevi.

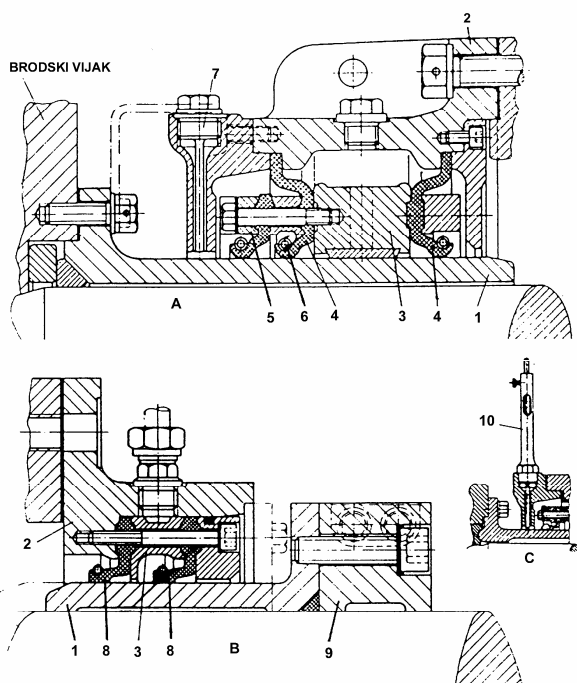


1-dodirna ploha,
2-radijalni prsten,
3-dodirni segment,
4-opruga,
5-kućište, 6-matica
statvene cijevi, 7-statvena
cijev, 8-navlaka, 9-bijela
kovina, 10-osovina
brodskog vijka,
11-glavina brodskog
vijka, 12-prostor za
sakupljanje ulja,
13-brtvenica,
14-brtveni prsten

**Sl. 6.27. Brtvenica
tipa Cederwall**

6.6.2. Brtvenica tipa Simplex

Na slici 6.28. prikazana je stražnja i prednja brtvenica Simplex.

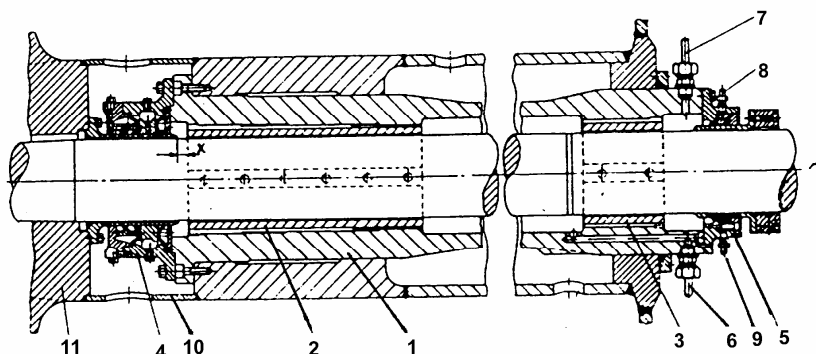


1-košuljica, 2-kućište, 3-prsten,
4-brtvene manžete, 5-brtveni prsten, 6-
opruga manžete, 7-čep za mjernu napravu,
8-brtveni prsten, 9-prednji dvodjelni
prsten, 10-mjerna naprava

**Sl. 6.28. Brtvenica tipa Simplex:
A-stražnja brtvenica, B-prednja
brtvenica, C-mjerna naprava**

Ova brtvenica se sastoji od kućišta (2), prstena (3) za nošenje brtvenih manžeta (4). Manžete su od sintetičkog kaučuka. Brtvene manžete klizu po navlaci (1) koja je pričvršćena na vijak i s njim se okreće. Navlaka je od specijalnog krom-čelika. U nastavku brtvenih manžeta (4) nalazi se dodatni brtveni prsten (5) koji sprječava ulaz nečistoće između navlake (1) i manžete (4). Rubovi manžete pritisnuti su na navlaku (1) preko ubačenih opruga (6). Kroz čep (7) može se postaviti mjerna naprava (10) sa sondom kojom se mjeri položaj navlake (1) po visini u odnosu na osovinu brodskog vijka, tj. trošenje ležaja. Na nacrtu C prikazana je mjerna naprava prednje brtvenice. Prednja brtvenica je iste konstrukcije kao i stražnja, jedino joj nedostaju manžete, ali ima dva brtvena prstena (8).

Kompletna statvena cijev s ležajevima od bijele kovine i s prednjom i stražnjom brtvenicom tipa Simplex prikazana je na slici 6.29. Prigodom ugradnje treba obratiti pažnju na dovoljan razmak (x) između okretne navlake stražnje brtvenice i navlake u statvenoj cijevi. Taj razmak je potreban da spriječi eventualni dodir koji može nastati aksijalnim pomicanjem osovine vijka.



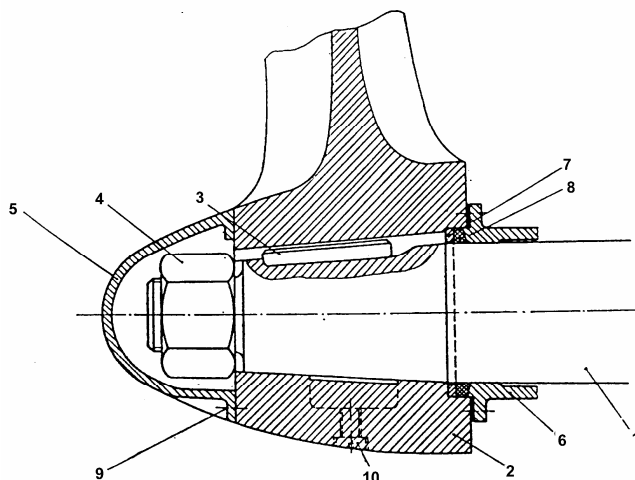
1-statvena cijev, 2-stražnji ležaj, 3-prednji ležaj, 4-stražnja brtvenica, 5-prednja brtvenica, 6-ulaz ulja,ispust, 7-odzračivanje, 8 i 9-ulaz-izlaz ulja za podmazivanje, 10-zaštita brtvenice, 11-brodski vijak

Sl. 6.29. Statvena cijev s prednjom i stražnjom brtvenicom Simplex

6.6.3. Načini spajanja vijka s osovinom

Na slici 6.30. prikazan je način spajanja glavine vijka s osovinom s konusom. Prijenos momenata torzije s konusa osovine (1) na glavinu vijka (2) osigurava klin (3). Matica (4) služi za osiguranje koničnoga spoja. Matica se priteže posebnim ključevima, a posebni se osigurači postavljaju tako da se spriječi odvijanje matice. Kroz čep (10) se ubacuje mast u radialni prostor u glavini da bi se spriječila eventualna korozija unutar konične veze vijka i osovine.

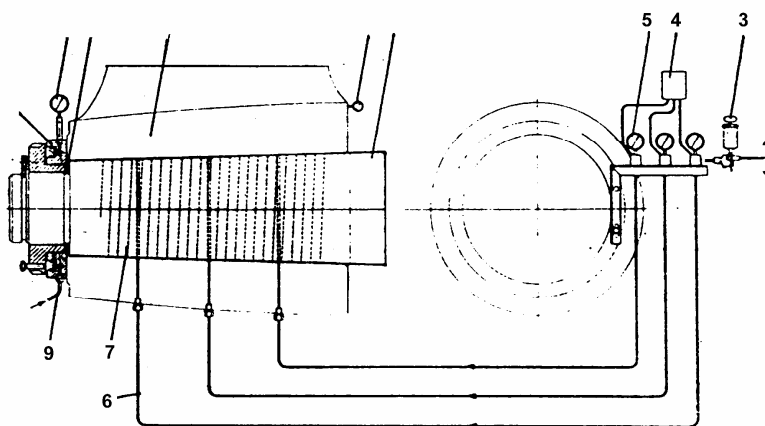
Prstenovi (7) i (8) postavljeni su da spriječe prodor mora. Kapa (5) služi kao zaštita navoju i matici, a prostor između matice i kape ispunjen je mašću.



1-osovina vijka, 2-glavina vijka, 3-klin, 4-matica, 5-kapa za vijak, 6-košuljica brtvenice, 7-brtveni prsten, 8-prstenasta brtva, 9-svornjak, 10-čep

Sl. 6.30. Spoj glavine vijka s osovinom

Osim pričvršćenja broskog vijka pomoću klina na konus, postoji i hidraulični način navlačenja vijka i stvaranja čvrstog spoja između vijka i osovine.



1-osovina vijka, 2-glavina vijka, 3-pumpa ulja, 4-spremnik ulja, 5-manometar, 6-visokotlačna cijev, 7-spiralni žljebovi, 8-hidraulična matica, 9-visokotlačna cijev, 10-manometar, 11-distantni prsten, 12-mjerni instrument

Sl. 6.31. Navlačenje vijka na osovinu uz pomoć hidraulike

Metoda tvrtke SKF je sljedeća: pomoću pumpe (slika 6.31. – 3) tlači se ulje u cijevima (6) u spiralne žljebove (7) u glavčini vijka (2). Tlak ulja iznosi

600 do 800 bara. Dubina utora za spiralne žljebove iznosi 0,5 mm. U cilju postizavanja sigurnog čvrstog spoja među dodirnim ploham, spiralni žljebovi moraju završavati na 40-60 mm prije početka i završetka konusa u glavini vijka. Tlačenjem ulja postiže se tanak film ulja kojim se odijele konusne površine glavine vijka i osovine. Film ulja smanjuje opasnost od oštećenja dosjednih površina prilikom navlačenja ili izvlačenja vijka, a sila za aksijalno pomicanje je osjetno smanjena. Istodobno, dok se obavlja tlačenje ulja u spiralne žljebove, izvodi se aksijalno pomicanje vijka putem hidrauličke naprave u matici osovine (8). Kad se postigne zahtijevani položaj vijka na konusu osovine, otpusti se tlak ulja pa se ono vraća natrag u spremnik (4). Time se postiže vrlo čvrst spoj na dodirnim površinama konusa glavine vijka i osovine. U slučaju izvlačenja vijka s osovine, ulje se ponovo tlači pumpom (3) među spiralne žljebove (7), a izvlačenje se postiže korištenjem hidrauličnog alata u matici osovine (8). Uz prednosti koje ova metoda pruža, mogu se pojaviti i neke teškoće o kojima je potrebno voditi računa prije navlačenja:

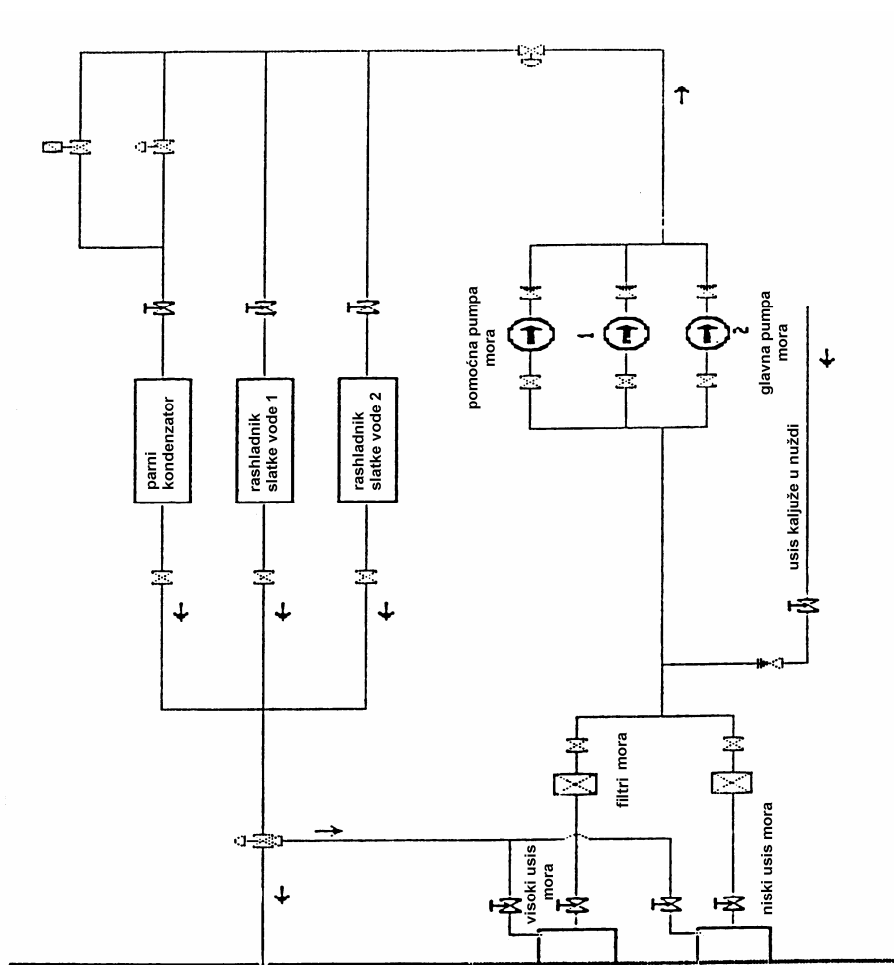
- zbog različitih materijala (brodski vijak-osovina), odnosno različitog modula elastičnosti, mogu nastati plastične deformacije na glavi broskog vijka koja je od mekšeg materijala;
- različit materijal broskog vijka i osovine ima različite koeficijente toplinske dilatacije. Vijak navučen na konus osovine pri niskim temperaturama okoline može, donekle, olabaviti u plovidbi tropskim morima.

6.7. POGONSKI SUSTAVI NA BRODOVIMA S DIZEL-MOTORNOM PROPULZIJOM

6.7.1. Sustav morske rashladne vode

Sustav morske rashladne vode napaja se morem preko dva usisa morske vode. Niski usis morske vode obično se koristi dok je brod u plovidbi, a dolaskom u luku usis se prebacuje na visoki usis zbog toga što, osobito u plićim lukama, postoji opasnost od usisavanja raznih nečistoća i mulja s dna. Pumpe morske vode usisavaju more preko usisnih košara, odnosno filtara. Na ovom primjeru (slika 6.32.) ugrađene su dvije glavne pumpe mora i jedna pomoćna. Jedna glavna pumpa mora radi u plovidbi, odnosno za vrijeme rada glavnog motora, dok je druga u pripremi (stand by). Ukoliko dođe do nepravilnosti u radu pumpe mora koja je u pogonu (nestanak napajanja na E.M., smanjenje tlaka iz bilo kojeg razloga, itd.), uređaj za automatsku zamjenu pumpi uključi pumpu koja je bila u pripremi, a isključuje pumpu koja je do tada radila, javljajući tu

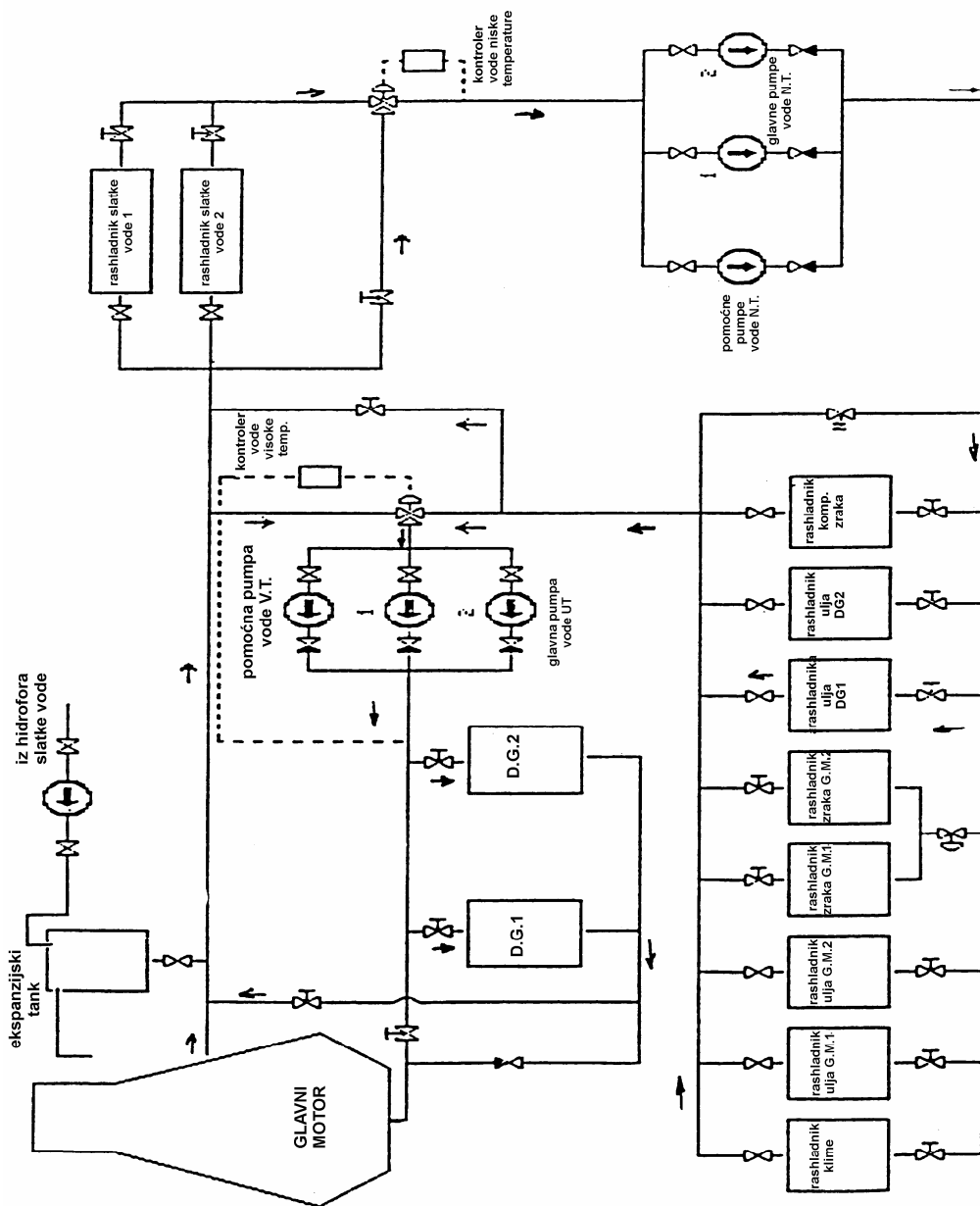
promjenu u brodsku alarmnu centralu strojarnice koja aktivira alarm. Jasno je da usisni i tlačni ventil pumpe koja je u pripremi moraju stalno biti otvoreni. Na ovom načelu rade gotovo sve pumpe u pripremi na nenadziranim strojarnicama. Pomoćna pumpa radi samo u luci gdje je njezin kapacitet dovoljan za rashlađivanje kondenzatora pare i manje opterećenih rashladnika slatke vode. More koje prođe kroz rashladnike, prima na sebe toplinu i tako zagrijano vodi se do trosmjernog automatskog ventila koji, bez obzira na promjene temperature mora i toplinsko opterećenje rashladnika, održava stalnu temperaturu morske vode u sustavu. Ukoliko je potrebna viša temperatura u sustavu, više tople vode odlazi prema pumpi, a manje izvan broda i obrnuto. Sustav se obično proračunava na maksimalnu temperaturu morske vode od 32-35°C.



Sl. 6.32. Sustav morske rashladne vode

6.7.2. Sustav slatke vode za rashlađivanje

Na slici 6.33. prikazan je suvremeniji rashladni sustav koji se sastoji od dva povezana kruga rashladne vode: kruga rashladne vode visoke temperature (HTFW – High Temperature Fresh Water) i kruga rashladne vode niske temperature (LTFW – Low Temperature Fresh Water). Razlika od klasičnog sustava, u kojem se morska voda koristila za hlađenje rashladnika kompresora ulja, zraka, rashladnih uređaja, turbogeneratora, itd., je u tome što je sada tu ulogu preuzela voda niske temperature. Osnovna prednost je u tome što otpada razgranati i složeni sustav morske vode koji je izložen agresivnom djelovanju morske vode. Zagrijana voda (80-85°C) odlazi prema rashladnicima slatke vode (1) i (2) (uvijek je jedan rashladnik u pogonu a drugi u rezervi), dok se jedan dio vode vraća na usis pumpi preko automatskog trosmjernog ventila upravljanog kontrolorom temperature HTFW. Trosmjerni ventil održava konstantnu temperaturu vode visoke temperature, miješajući prema potrebi manje zagrijanu vodu niske temperature, koja dolazi iz grupe rashladnika koji su hlađeni vodom niske temperature, i više zagrijanu vodu visoke temperature koja dolazi iz glavnog motora. Pumpe vode visoke temperature šalju rashladnu vodu prema dizel-generatorima i glavnom motoru gdje ona na sebe prima toplinu cilindara. Ekspanzijski ili kompenzacijski tank spaja se na izlaz rashladne vode iz motora uvijek na najvišu točku. Rashladne pumpe vode niske temperature usisavaju vodu preko trosmjernog automatskog ventila za održavanje konstantne temperature i tlače je prema grupi rashladnika. Konstantna temperatura vode niske temperature održava se miješanjem vode koja je prošla kroz rashladnike slatke vode. Slično kao i kod sustava morske vode glavne pumpe su “stand by” izvedbe, dok pomoćne pumpe opslužuju sustav za vrijeme mirovanja glavnog motora. Za to vrijeme glavni motor grije se vodom koja služi za rashlađivanje dizel-generatora. Sve pumpe sustava morske vode i sustava slatke vode prikazane na slikama 6.32. i 6.33. centrifugalne su izvedbe.

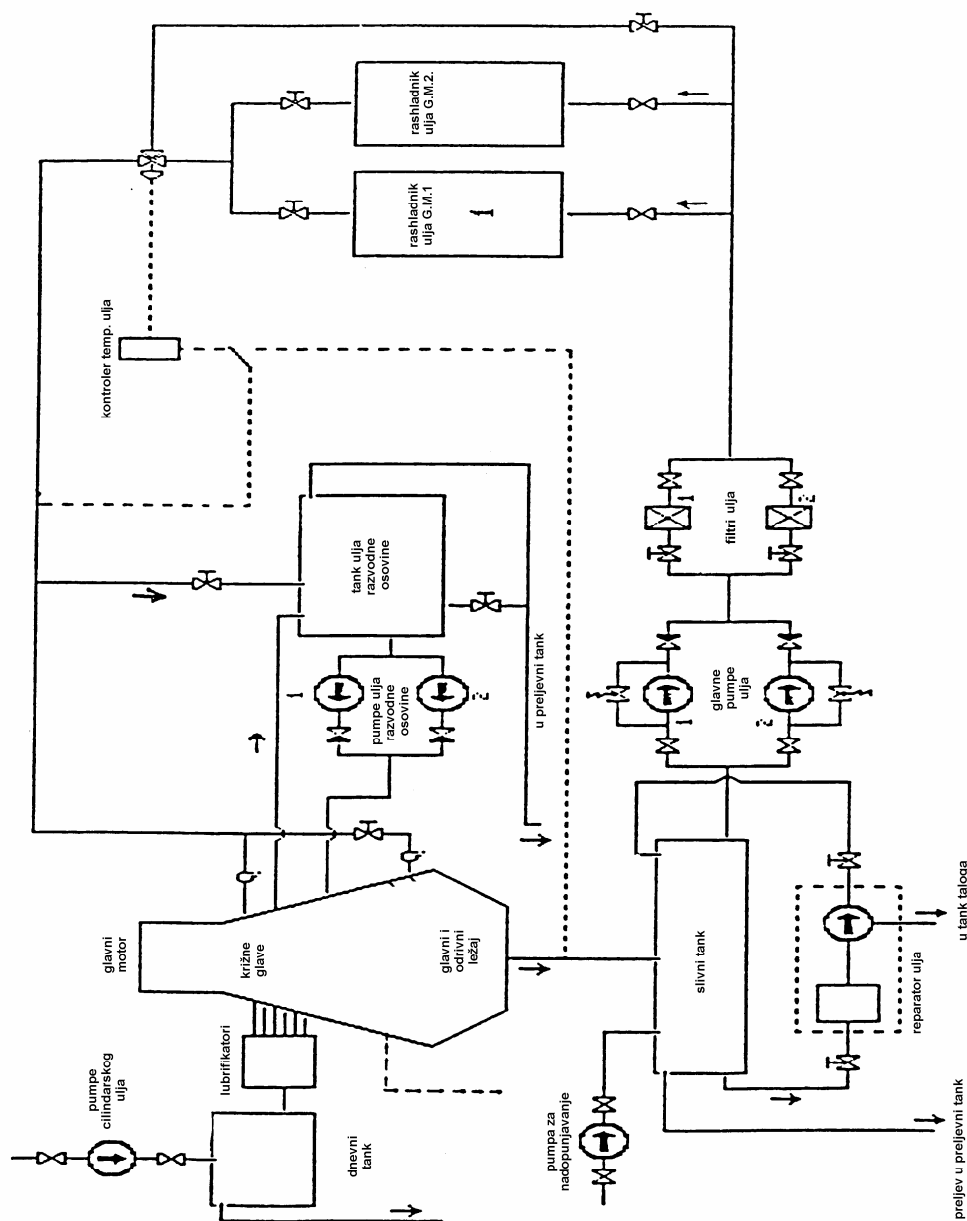


Sl. 6.33. Sustav slatke vode za rashlađivanje

6.7.3. Sustav ulja

Ulje služi za podmazivanje, odnosno stvaranje kliznog filma na ležajevima, i za odvođenje topline. Uobičajeni sustav ulja za podmazivanje prikazan je na slici 6.34. Sustav se sastoji od tri neovisna sustava ulja. Prvi je sustav za podmazivanje ležajeva glavnog motora i križne glave, te za rashlađivanje stapala. Drugi sustav služi za podmazivanje razvodne osovine (osovina koja pogoni visokotlačne pumpe goriva i aktuator za hidrauličko otvaranje ispušnog ventila), dok treći sustav služi za podmazivanje cilindra glavnog motora.

Glavne pumpe ulja su obično vijčane izvedbe i usisavaju ulje iz slivnog tanka glavnog motora te ga tlače kroz filtare prema rashladnicima ulja. Naravno, dok jedna pumpa radi, druga je u pripremi. Za održavanje konstantne temperature brine se tromjerni automatski ventil s kontrolerom čiji se pripadajući osjetnik nalazi na izlaznoj cijevi ulja iz glavnog motora. Prema potrebi miješa se ulje koje je prošlo kroz rashladnik s uljem koje ide mimo rashladnika (*by-pass*). Nakon toga ulje odlazi prema glavnom motoru gdje se jedan dio odvaja za podmazivanje križne glave i rashlađivanje stapa, dok se drugi dio koristi za podmazivanje ležajeva glavnog motora. Ulje se dalje slijeva u karter motora, a odatle u slivni tank. Centrifugalni separator služi za pročišćavanje ulja od nečistoća, te za odvajanje vode iz ulja. Separator, preko posebne ili privještene pumpe, usisava ulje iz slivnog tanka i pročišćeno ulje vraća u isti tank, dok nečistoće i vodu izbacuje u tank taloga (*sludge tank*). Na slivni tank ugrađena je i preljevna cijev prema preljevnom tanku ulja (*spill oil tank*). U slučaju potrebe nadopunjavanja, ili pak izmjene cijele količine ulja, koristi se pumpa ulja za nadopunjavanje koja je povezana sa skladišnim tankovima ulja. Detektor uljnih para (*oil mist*), u slučaju prevelike količine uljnih para u karteru, zaustavlja glavni motor i tako otklanja opasnost od eksplozije. Pumpe ulja razvodne osovine usisavaju ulje iz tanka ulja razvodne osovine i tlače ga prema razvodnoj osovini. Ulje se, nakon što obavi svoju radnju, vraća u isti tank. Taj tank se nadopunjuje iz sustava ulja za podmazivanje ležajeva, križne glave i hlađenja stapa preko pripadajućeg ventila. Ispust tanka teče u preljevni tank ulja. Dakle, u ova dva sustava nalazi se ulje iste kvalitete i osobina.



Sl. 6.34. Sustav ulja

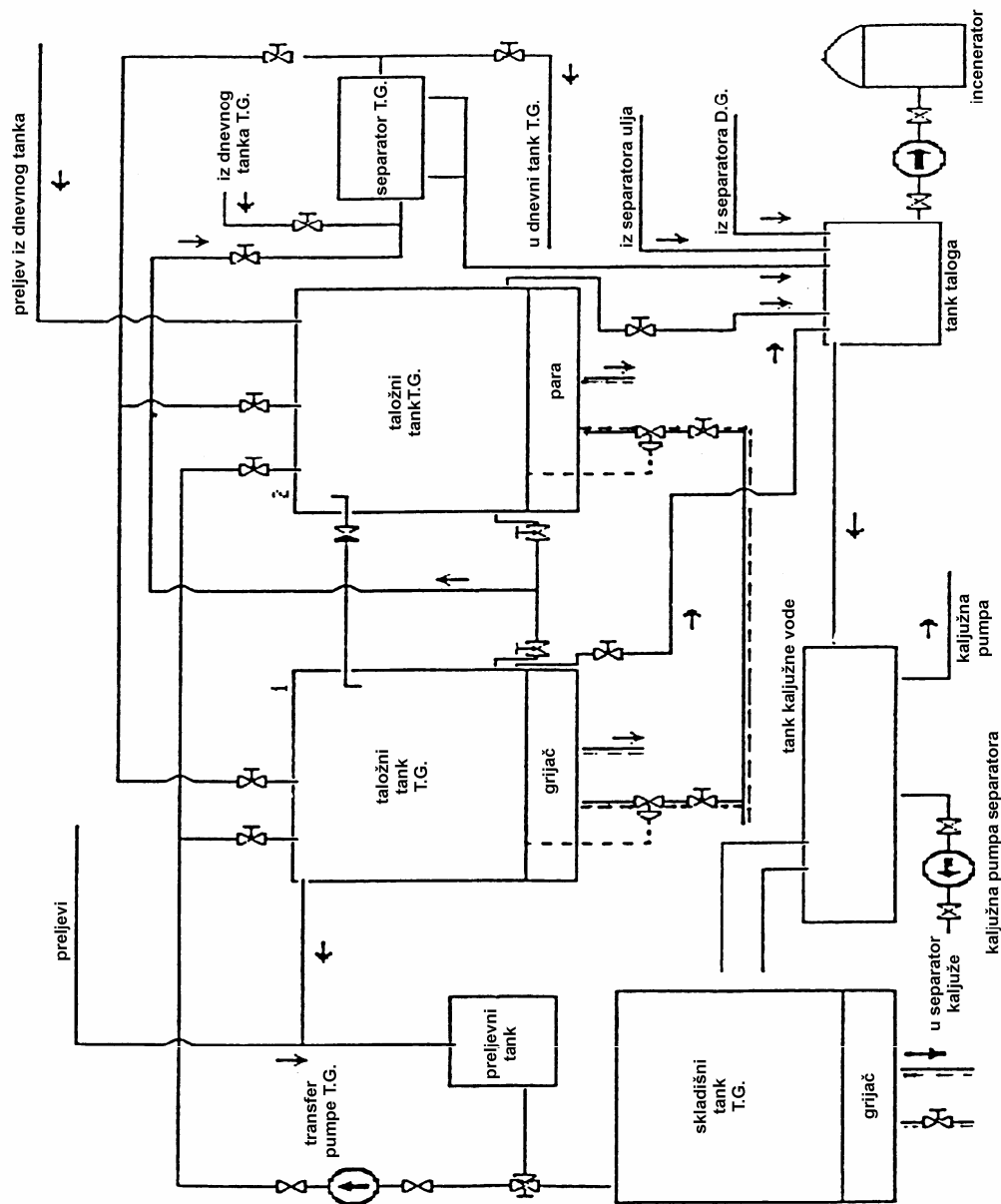
Treći sustav ulja služi za podmazivanje cilindarskih košuljica kako bi se spriječilo njihovo trošenje. Ovisno o sadržaju sumpora u gorivu koristi se ulje s više ili manje aditiva. Iz dnevnog tanka cilindarskog ulja ulje slobodnim padom dolazi do lubrifikatora i odatle se tlači u priključke za podmazivanje koji su radialno raspoređeni na više mjesta po cilindarskoj košuljici. Ulje podmazuje

cilindarsku košuljicu i stapne prstenove da bi nakon toga izgorjelo zajedno s gorivom. Za nadopunjavanje dnevnog tanka cilindarskog ulja služi pumpa cilindarskog ulja koja je cjevovodom povezana sa skladišnim tankom cilindarskog ulja.

6.7.4. Sustav goriva (od ukrcaja do dnevnog tanka)

Radi jednostavnijeg prikaza najprije će biti obrađen sustav goriva od ukrcaja do dnevnih tankova (sustav goriva I), a kasnije će biti govora o sustavu goriva od dnevnih tankova do glavnog motora (sustav goriva II).

Gorivo se krca preko odgovarajućih priključaka na palubi u skladišne tankove teškog goriva i skladišne tankove dizel-goriva čiji broj ovisi o tipu i namjeni broda (na slici 6.35. prikazan je samo jedan skladišni tank teškog goriva). Skladišni tankovi teškog goriva griju se parnim zagrijačima. Iz skladišnih tankova gorivo se transfer-pumpom prebacuje u taložne tankove gdje se taloži, tj. na dno tanka padaju teže čestice i voda koja se redovito drenira u tank taloga. Iz taložnih tankova gorivo se preko centrifugalnog separatora pročišćava i prebacuje u dnevne tankove. Kapacitet separatora podešava se tako da bude isti kao i potrošnja goriva iz dnevnog tanka. Kao što se vidi iz primjera, moguće su kombinacije da se separatorom separira taložni tank teškog goriva – taložni tank teškog goriva, kao i dnevni tank teškog goriva – dnevni tank teškog goriva. Prvi slučaj koristi se kod kraćih zadržavanja u lukama tako da se, umjesto zaustavljanja separatora, separira teško gorivo iz istog u isti tank. U tank taloga dolazi talog iz svih separatora i taložnih tankova. Talog iz taložnog tanka spaljuje se preko sustava inceneratora, a dio koji je voda prebacuje se u tank kaljužne vode i odatle se kaljužnim separatorom pročišćava i izbacuje izvan broda.

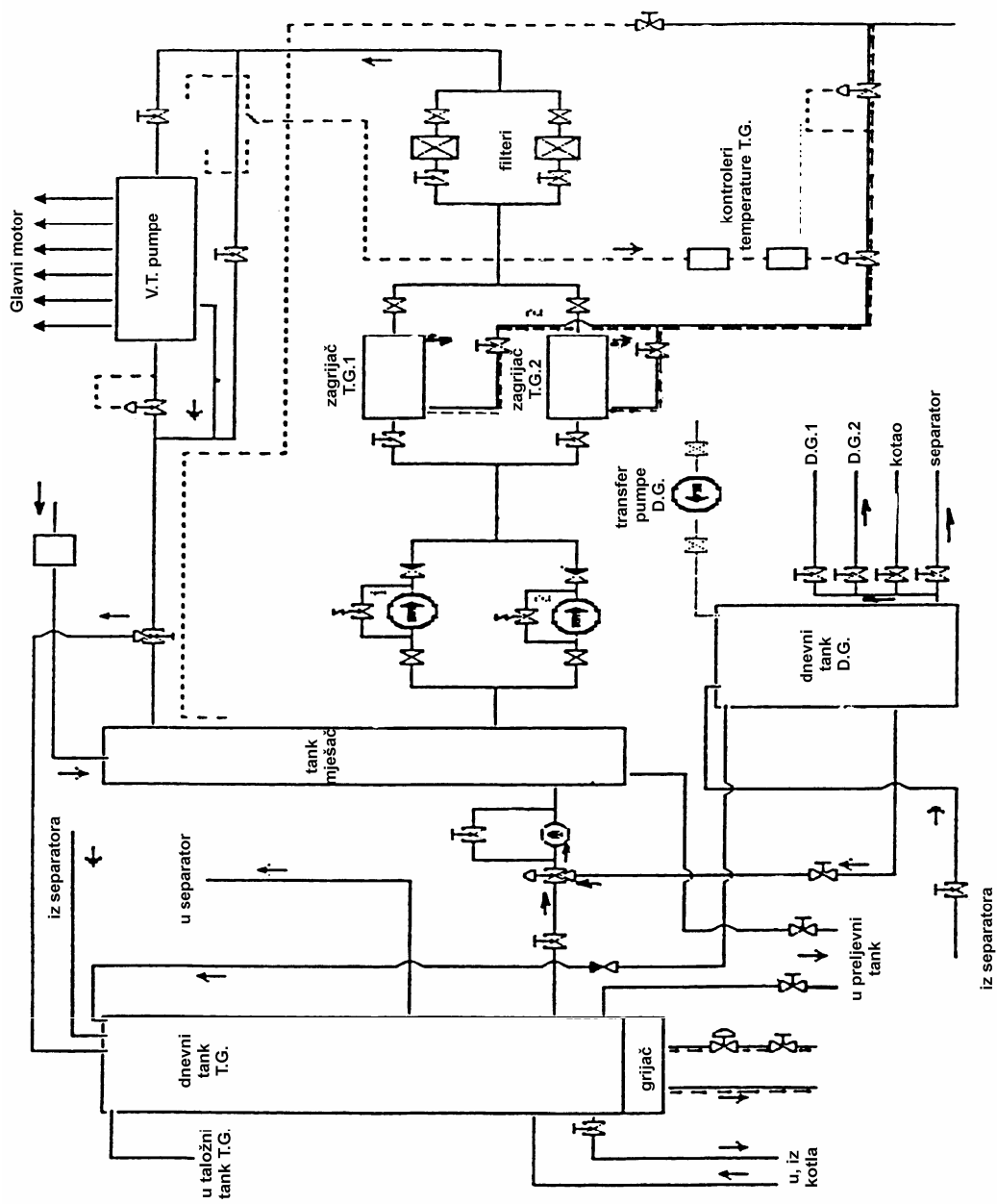


Sl. 6.35. Sustav goriva I

6.7.5. Sustav goriva (od dnevnog tanka do glavnog motora)

Na slici 6.36. prikazan je dio sustava goriva od dnevnih tankova dizel-goriva i teškog goriva do glavnog motora. Iz dnevnih tankova gorivo dolazi do trosmjernog ventila za prebacivanje kojim se određuje hoće li se koristiti teško ili dizel-gorivo. Suvremeni motori pogone se teškim gorivom i za vrijeme manevra, dok se u luci koristi stalna cirkulacija teškog goriva kako bi se održala temperatura goriva. U slučaju većih radova na glavnom motoru, sustavu goriva ili dokovanju broda kad nismo u mogućnosti zagrijavati teško gorivo u sustavu, potrošnja se prebacuje na dnevni tank dizel-goriva. Preko mjerača protoka gorivo ulazi u miješajući tank (F.O. mixer tank). Dobavne pumpe goriva (vijčane izvedbe) usisavaju gorivo iz miješajućeg tanka i tlače ga kroz zagrijače teškog goriva preko filtara u visokotlačne pumpe glavnog motora. Za održavanje konstantnog viskoziteta teškog goriva brine se automatski viskozimetar koji preko regulacijskih ventila propušta u zagrijače teškog goriva onu količinu pare koja je potrebna za održavanje željenog viskoziteta. Budući da dobavne pumpe dobavljaju veću količinu goriva nego što motor troši, višak goriva vraća se u tank mješač i tu se miješa s gorivom koje dolazi iz dnevnog tanka.

Iz dnevnog tanka dizel-goriva gorivo odlazi prema dizel-generatorima i kotlu (ukoliko je potrebno da kotao radi na dizel-gorivo).

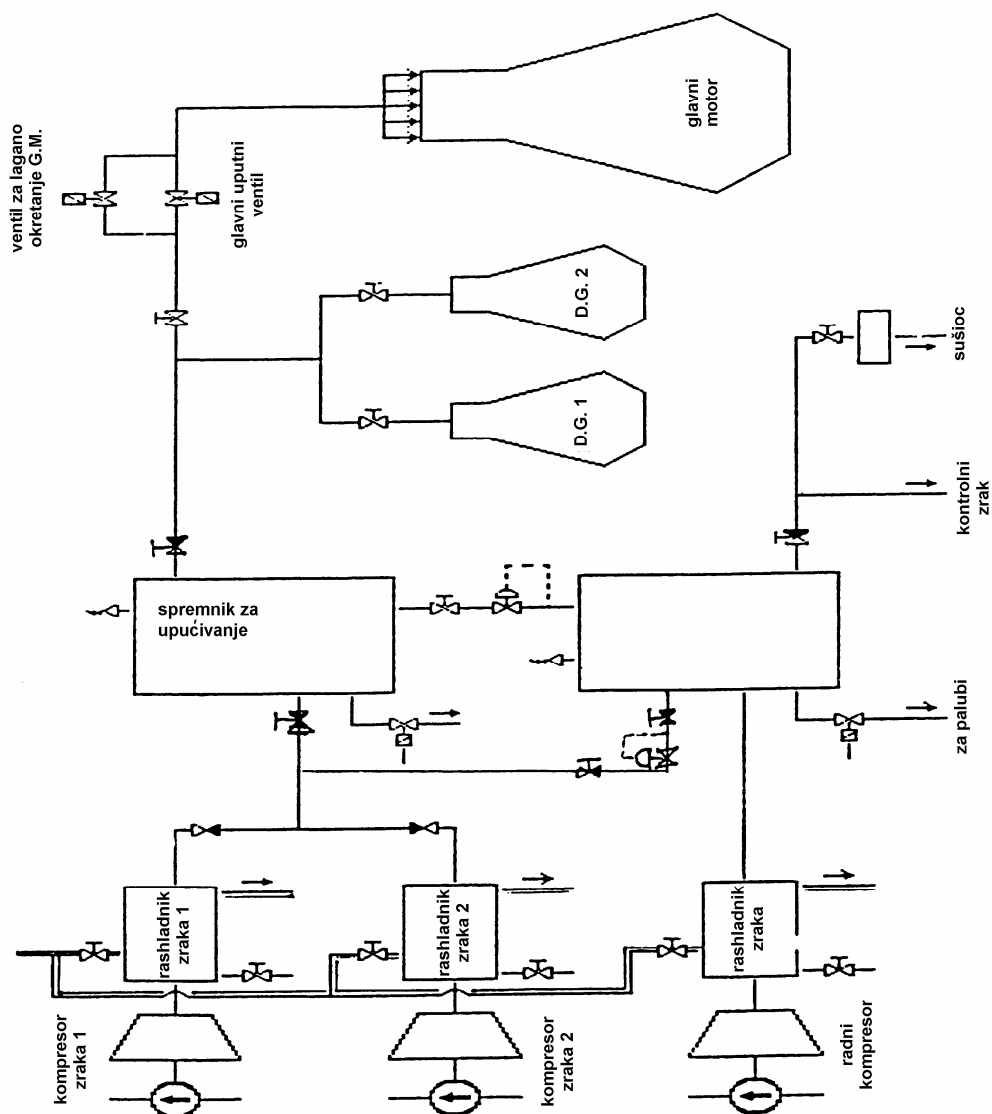


Sl. 6.36. Sustav goriva II

6.7.6. Sustav zraka

Sustav prikazan na slici 6.37. opslužuje dva glavna kompresora zraka i jedan pomoćni ili radni kompresor (*service air compresor*). Glavni kompresori zraka rade na načelu dvostupanjske kompresije s međuhlađenjem, što znači da se sastoje od dva stupnja između kojih je rashladnik (na slici 6.37. je zbog jednostavnosti sheme označeno da se rashladnik nalazi nakon kompresora).

Kompresori usisavaju zrak iz strojarnice i tlače ga u zračne spremnike. Zračni spremnici su dimenzionirani tako da omoguće ne manje od dvanaest uzastopnih upućivanja prekretnog motora, a ako je motor neprekretan (npr. s prekretnim propelerom), onda se radi o šest uzastopnih upućivanja. Međutim, budući da je to donja granica, u praksi se izvode izvedbe s daleko većim brojem mogućih upućivanja što opet ovisi od uputa proizvođača motora i pravila pojedinih klasifikacijskih zavoda. Zračni spremnici se uglavnom pune do tlaka od 30 bara, a rad kompresora zraka je automatiziran, što znači da se padom tlaka u zračnom spremniku kompresori automatski uključuju, odnosno da se isključuju kada tlak dosegne željenu vrijednost. Zrak iz gornjeg spremnika (slika 6.37.) koristi se za upućivanje glavnog motora i pomoćnih motora, tj. dizel-generatora. Spremnik za start i dva glavna kompresora predviđeni su da se koriste samo za vrijeme upućivanja motora. Zrak za pomoćne službe (kontrolni zrak za automatiku, upravljački zrak, zrak za palubu, itd.) dobiva se preko radnog (*service*) zračnog spremnika. Taj je zrak pod tlakom od obično 6-8 bara, a moguće su i kombinacije da se taj zrak dobije preko glavnih kompresora i spremnika za upućivanje. Kontrolni zrak za instrumente obvezno se vodi kroz sušilicu zraka gdje mu se oduzima vlaga.



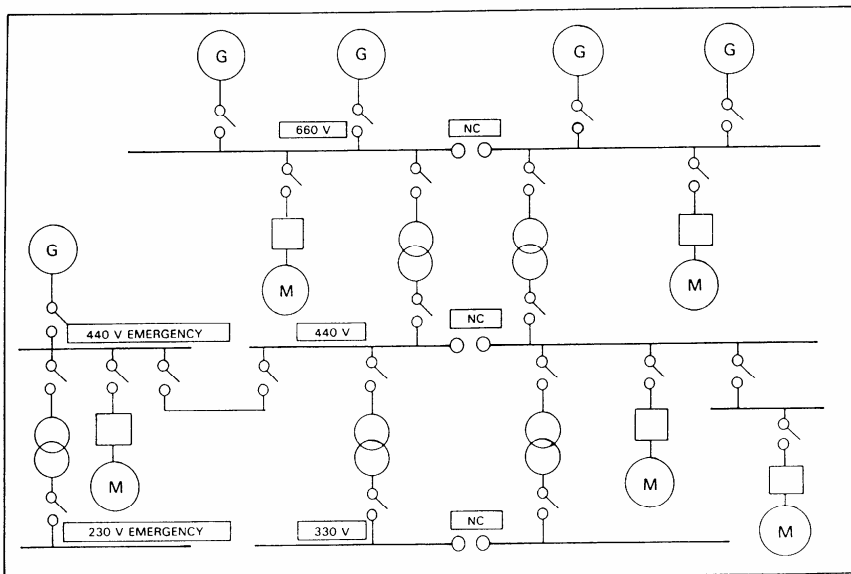
Sl. 6.37. Sustav zraka

7. SUSTAV ENERGETIKE I RASKLOPA

U sustav energetike i rasklopa pripadaju uređaji za proizvodnju i razvod električne energije na brodu.

7.1. RAZVOD I DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

Uređaji koji proizvode električnu energiju na brodu su dizel-generatori, osovinski generatori, turbogeneratori, "emergency" generatori i akumulatori. Struja je izmjeničnog napona 440/60 Hz i 380/50 Hz. Uopćena shema dobivanja i razvoda električne energije prikazana je na slici 7.1.



Sl. 7.1. Uopćena shema dobivanja i razvoda električne energije

Struja proizvedena u generatorima odlazi preko prekidača na glavnu razvodnu ploču koja je obično rasklopna. Na primjeru su ugrađena tri dizel-generatora i jedan osovinski generator, što ne mora biti pravilo, jer brod na koji se ugrađuje osovinski generator, koji pokriva potrebe za električnom energijom u vožnji, uvijek ima manje ugrađenih dizel-generatora. Putnički brodovi i brodovi s

dizel-električnom propulzijom imaju veći broj dizel-generatora. Na izbor utječe: želja naručitelja, tipizacija, mogućnost nabave i pravila klasifikacijskih zavoda. Za vrijeme rada jednog dizel-generatora ili osovinskog generatora ostali su u rezervi. Uz glavnu razvodnu ploču na brodu susrećemo i “emergency” ploču koja je u vezi s “emergency” generatorom (generatorom u nuždi). Taj generator se automatski uključuje u slučaju nestanka električne energije na brodu, a na njemu također mora postojati i sustav za ručno pokretanje dizel-motora. “Emergency” ploča, koja je u normalnim uvjetima spojena s glavnom razvodnom pločom, služi najčešće za napajanje kompresora zraka za nuždu, kormilo stroja, protupožarne pumpe, “emergency” rasvjetu, transformatora na 48V za rasvjetu i akumulatora koji se pune preko ispravljачa. Na glavnu razvodnu ploču priključeni su svi veći potrošači koji se prekidačima mogu otpojiti. Veći potrošači na brodu su u dvostrukoj izvedbi tako da su spojeni po jedan na svakoj strani glavne razvodne ploče (veći potrošači su pumpe glavnog pogona, kompresori zraka, pritezna i sidrena vitla, itd.). Povezivanje generatora s glavnom razvodnom pločom izvodi se prema istom načelu. Takva izvedba je potrebna zbog toga što u slučaju kvara jedan dio ploče možemo odijeliti, a drugi nam služi za napajanje neophodnih potrošača.

Izvori električne energije za nuždu moraju biti smješteni izvan prostora strojarnice i iznad glavne palube. U slučaju nestanka električne energije (*black-out*), automatski se uključuje akumulatorska rasvjeta, ali samo do trenutka uključivanja “emergency” generatora.

7.2. PARALELAN RAD BRODSKIH GENERATORA

Zbog specifične potrošnje goriva, koja je najmanja kod 75% opterećenja motora, na brod se ne ugrađuje jedan veliki dizel-generator, koji bi kod malih opterećenja radio u području velike specifične potrošnje goriva, već se ugrađuje više manjih generatora koji će zadovoljavati potrošnju, sigurnost i rezervu. Odabire se takva snaga dizel-generatora koja je dovoljna da jedan generator u pogonu drži konstantno opterećenje u navigaciji kod otprilike 75% opterećenja motora. Problem je kako se ponašati kod promjenjivih opterećenja kad jedan generator nema dovoljno instalirane snage. Tada se jednostavno pribjegava paralelnom radu dizel-generatora. Da bi generatori paralelno radili, potrebno je izvršiti sinhronizaciju, tj. postići sljedeće uvjete: mreža i generator moraju imati isti redosljed faza, naponi mreže i generatora moraju biti jednaki, frekvencije mreže i generatora moraju biti iste i naponi mreže i generatora moraju biti istofazni.

Ispravan redosljed faza utvrđuje se prigodom prvog spajanja generatora i više se ne mijenja. Jednakost napona postiže se podešavanjem uzbude

generatora, a frekvencija podešavanjem brzine pogonskog stroja generatora. Na istofaznost napona djeluje se pomoću ubrzanja ili usporenja pogonskog stroja. Izjednačavanje napona i frekvencije izvodi se pomoću dvostrukog voltmetra i frekvencimetra i u praksi se postiže bez problema. Kontrola izofaznosti izvodi se pomoću žarulja u tamnom spoju, svjetlom spoju ili pomoću sinhronskopa, a ponekad predstavlja problem, pogotovo kod rukovanja s osovinskim generatorom. Naime, zbog tromosti regulatora glavnog motora, pogotovo kod nemirnijeg mora, glavni motor, odnosno osovinski privješeni generator, često puta nekontrolirano ubrzava i usporava što otežava postizanje istofaznosti. U novije vrijeme taj se nedostatak rješava ugradnjom varijatora koji je smješten između motora i osovinskog generatora. Varijator je ustvari mehanički pretvarač okretaja koji “njihanje” okretaja glavnog motora pretvara u konstantan broj okretaja.

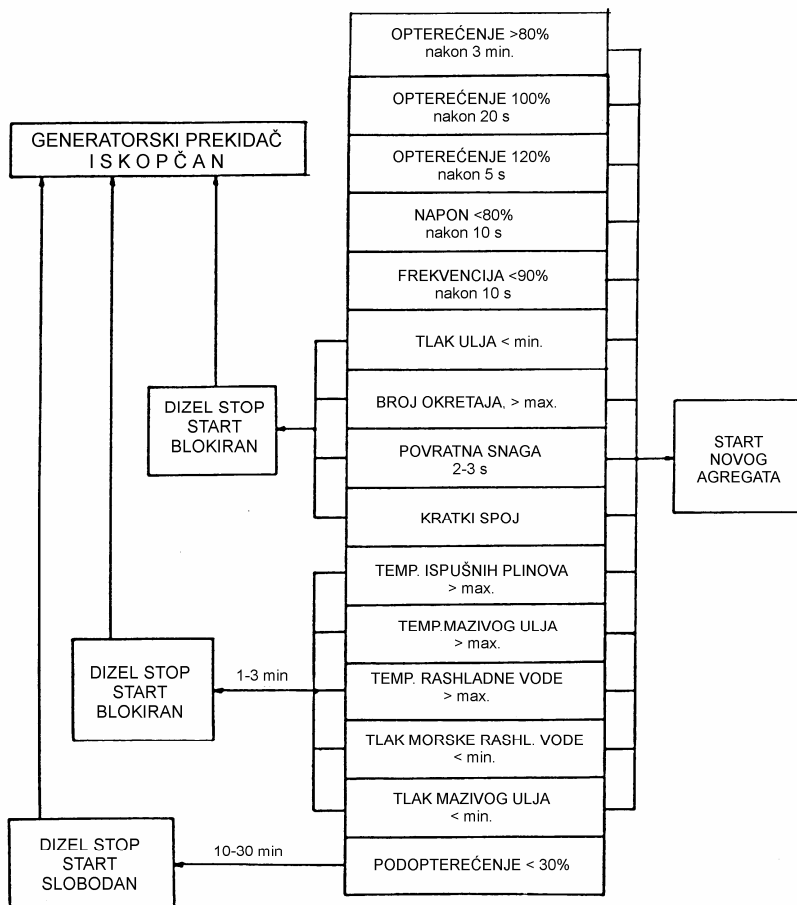
7.3. AUTOMATSKI RAD GENERATORA

Automatski rad brodskih generatora najbolje ćemo razumjeti iz blok-sheme na slici 7.2. Iz sheme su vidljive zaštite dizel-generatora čije će aktiviranje pobuditi start drugog dizel-generatora, njegovu automatsku sinhronizaciju na mrežu, ispadanje iz mreže dizel-generatora na kome je aktivirana zaštita i automatsko gašenje dizel-motora tog generatora.

Kod uključanja nekog većeg potrošača, kada je u radu jedan dizel-generator (uključenje npr. balastne pumpe ili brodske dizalice), nije potrebno ručno uključivati drugi dizel-generator. Ukoliko je opterećenje na dizel-generatoru koji radi između 80% i 100% (što je čest slučaj kod uključanja nekog većeg potrošača koji ne radi stalno) i to opterećenje traje više od 3 minute, startat će automatski drugi dizel-generator koji je bio u pripremi, automatski će se sinhronizirati na mrežu pa će se izvršiti raspodjela opterećenja. Kod isključenja više većih potrošača iz mreže, kad opterećenje na oba dizel-generatora padne ispod 30% i traje neko dulje vrijeme, jedan generator, odnosno onaj koji je prije bio u pripremi, ispada s mreže, njegov dizel-motor se gasi, a automatika ga postavlja opet u pripremu (*stand by generator*). Slično se događa kad je osovinski generator u radu, a dizel-generatori u pripremi. Ukoliko na glavnom motoru dođe do pomicanja radnih parametara vrlo blizu zaštite, koja služi za izbacivanje glavnog motora iz rada, upućuje se automatski dizel-generator u pripremi, sinhronizira se s mrežom, dok osovinski generator ispada s table. Osovinski generator se također automatski zamjenjuje kod većih torzijskih vibracija glavnog motora koje mogu biti prouzročene ispadanjem jednog cilindra iz pogona, ili naglim izlijetanjem propelera kod nemirnog mora.

U drugom slučaju javlja se opet problem istofaznosti (naravno, ako je izvedba bez varijatora).

Za motor dizel-generatora, koji je u pripremi, treba osigurati stalno ili povremeno automatsko predpodmazivanje i stalno predgrijavanje.



Sl. 7.2. Blok shema redosljeda djelovanja nekih parametara zaštite i ekonomičnosti rada dizel-generatora

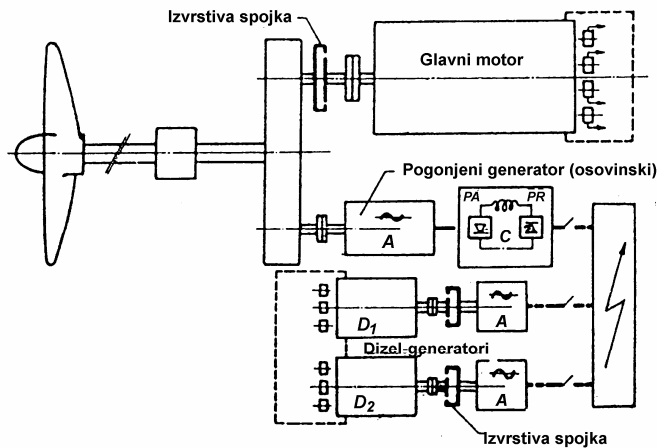
7.4. OSOVINSKI GENERATORI

Najvažnija ekonomska i tehnička prednost osovinskih generatora je u tome što oni mogu proizvesti energiju mnogo jeftinije nego dizel-generatori. Na brodovima trofazni osovinski generatori proizvode, ovisno o vrsti propelera, električnu energiju na dva različita načina.

Na brodovima s prekretnim propelerima ugrađuju se standardni generatori. Budući da je brzina vrtnje propelerske osovine približno konstantna i da propulzijski motori uvijek rotiraju u jednom smjeru u plovidbi i u manevru, osovinski generatori u tim režimima napajaju mrežu konstantnim naponom i konstantnom frekvencijom.

Na brodovima sa čvrstim, tj. krutim propelerom, odnosno promjenljivom brzinom vrtnje propelerske osovine, upotrebljavaju se sinhroni generatori sa statičkim usmjerivačima i pretvaračima i strojem jalove snage.

Interesantna i originalna je izvedba osovinskog generatora na kontejnerskom brodu “Nathalie Delmas” građenom u Chantiers de l’ Atlantique u Saint Nazareu. U nuždi se može iskopčati glavni motor i održati pogon broda preko osovinskog generatora koji tada radi kao elektromotor i pokreće osovinu propelera. Ovakvim načinom pogona brod je postigao brzinu od 8 čvorova.



Sl. 7.3. Primjer ugradnje osovinskog generatora

7.5. TURBOGENERATORI

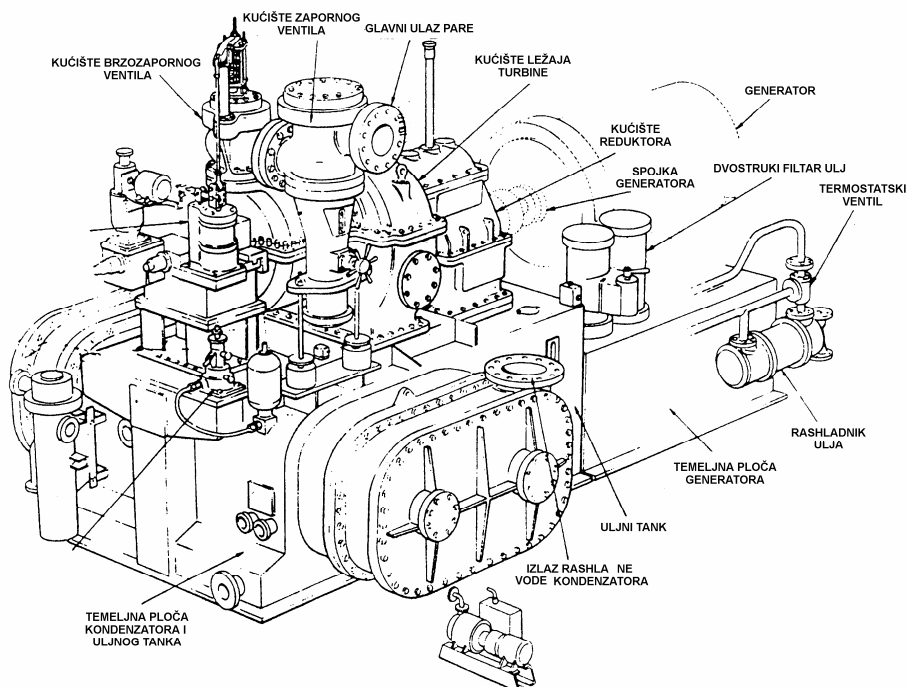
Turbogeneratori su poznati otprije kao uređaji za proizvodnju električne energije na brodovima s parnom propulzijom. Međutim, rješenja da se električna energija na brodovima ekonomičnije proizvodi dovela su do njihove primjene na brodovima s dizel-motornom propulzijom. Takvi turbogeneratori koriste “besplatnu” energiju ispušnih plinova propulzijskih dizel-motora. Para za pogon dobiva se u kotlovima na ispušne plinove koji za tu svrhu imaju ugrađeni pregrijač jer turbogeneratori koriste pregrijanu paru. Na slici 7.4. prikazan je primjer ugradnje turbogeneratora s interesantnim rješenjem iskoristivosti topline iz rashladnika zraka glavnog motora. Zasićena para, koja

se dobiva iz kotla na ispušne plinove, odnosno iz parnog bubnja, odvodi se za potrebe turbogeneratorsa kroz pregrijač i kao pregrijana para odlazi u pogonski dio turbogeneratorsa koji je ustvari parna turbina s nekoliko stupnjeva.

Ugradnja turbogeneratorsa moguća je uglavnom na brodove s većim instaliranim snagama propulzijskih motora.

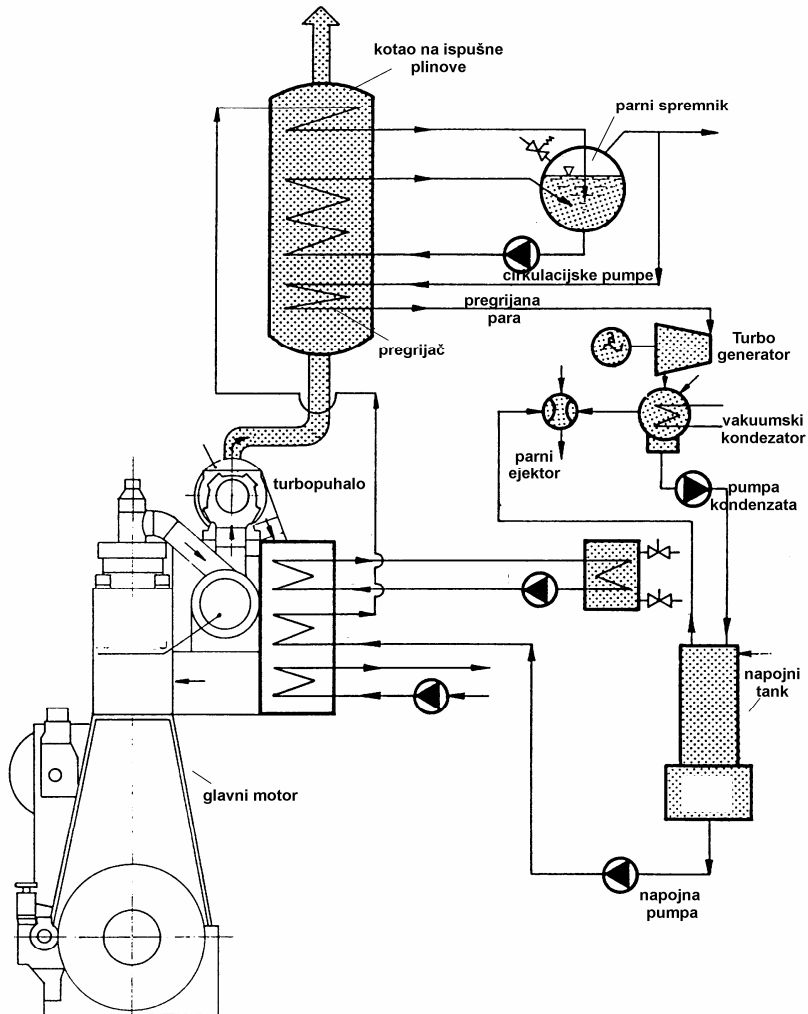
7.6. AKUMULATORI

Akumulatori su vrlo pouzdani izvori električne energije ako se pravilno održavaju. Na brodovima služe za napajanje sigurnosnih uređaja, rasvjete, nekih uređaja automatizacije, navigacije i komunikacije, pokretanje “emergency” generatora, odnosno svugdje gdje mora biti napajanje električne energije neprekinuto. Smještaju se u zasebnu prostoriju koja mora imati ventilaciju, a rasvjeta je protueksplozivne izvedbe. Akumulatori se pune preko transformatora i ispravljača. Kapacitet im se mjeri u amper-satima (Ah) koji pokazuju koliko ampera može dati akumulator u jedinici vremena. Standardni najčešće korišteni naponi akumulatora su 6, 12, 24 i 48 V, a dobivaju se spajanjem članaka u seriju.



Sl. 7.4. Turbogenerator

Koriste se olovni i čelični akumulatori. Olovni imaju nazivni napon od 2 V po članku i ne podnose dulje stajanje u ispražnjenom stanju jer se aktivni spoj ploča sulfatizacijom smanjuje. Kapacitet im s padom temperature dosta pada.



Sl. 7.5. Primjer ugradnje turbogeneratorsa

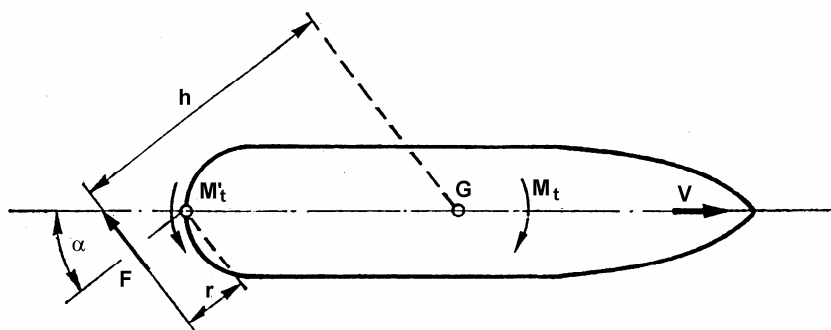
Čelični akumulatori imaju veliku mehaničku čvrstoću i neosjetljivost na mehaničke udarce, podnose bez oštećenja velike strujne udarce i neosjetljivi su prema preopterećenju. Neosjetljivi su na niske temperature. Mana im je, u odnosu na olovne akumulatore u manjoj korisnosti i većoj razlici između napona punjenja i pražnjenja. Nazivni napon im je 1,4 V po članku.

8. SUSTAV UPRAVLJANJA

8.1. KORMILARSKI UREĐAJI

Kormilarski uređaji treba da udovoljavaju zahtjevima koji se odnose na upravljanje brodom. Pod upravljanjem brodom podrazumijeva se stabilnost smjera vožnje, tj. sposobnost da se željeni smjer dobro održava, sposobnost okretanja, tj. težnja da se napravi što manji krug okretanja, te osjetljivost uređaja, odnosno sposobnost da se brod iz jednog brzo dovede u drugi smjer vožnje.

Kada se kormilo otkloni od središnjice broda koji plovi, u njega udaraju silinice i uzroče određeni pritisak na njegovu plohu. Pri tome nastaje sila F koja djeluje na kormilo.



α - kut otklona kormila, F - sila na kormilu, r - krak sile s obzirom na osovinu kormila,
 h - krak sile s obzirom na težište broda, G, M_t - moment zakretanja kormila,
 M'_t - moment zakretanja broda

Sl. 8.1. Djelovanje kormila

Moment okretanja $M_t = F \cdot h$, koji nastaje djelovanjem kormila, okreće brod u smjeru strjelice. Taj se moment postiže kormilarskim strojem. Pri tome treba savladati moment $F \cdot r$, jednak po veličini, ali protivnog smjera od momenta M_t . Sila F koja djeluje na kormilo ovisi o površini kormila, obliku kormila i trupa, brzini broda i kutu otklona. Način djelovanja kormila prikazan je na slici 8.1.

8.2. NAČELO RADA KORMILARSKIH UREĐAJA

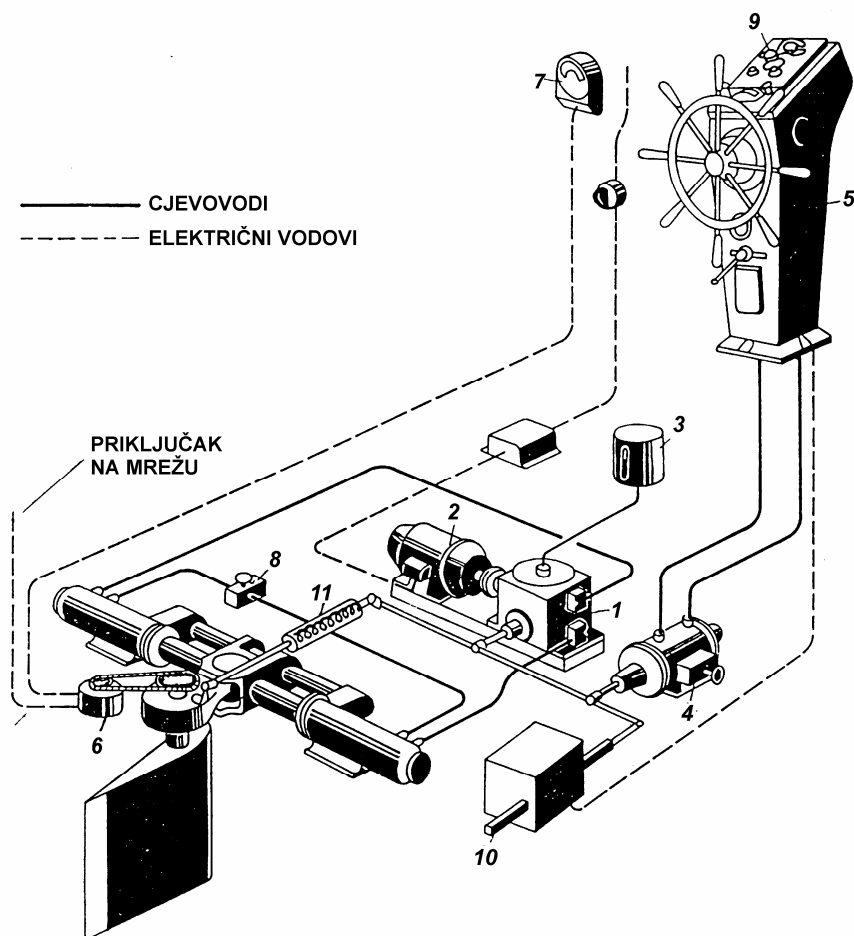
Danas su na brodovima najrašireniji elektrohidraulički kormilarski uređaji. Takvim uređajima se upravlja sa zapovjedničkog mosta određenom transmisijom za upravljanje. Ta se transmisija sastoji (u osnovnome) od kormilarskog kola, davača, primača impulsa ili telemotora, polužja za upravljanje i dobavne pumpe promjenljivog stapaja koja treba dati hidraulični tlak u cilindre stroja. Ukoliko je čitav sustav transmisije hidraulični, okretanjem kola davača djeluje se na tekućinu u njemu i na taj način se uzrokuje pomicanje u primača. Klip davača je izravno spojen s kormilarskim kolom preko zupčanika, a primač je izravno spojen s mehanizmom za pokretanje kormila preko križne glave. Odatle proizlazi da svako pomicanje preko kormilarskog kola izaziva odgovarajuće pomicanje na mehanizmu za pokretanje kormila. Svakom kutu otklona kormila odgovara kut okretanja kormila na mostu. U čitavom sustavu se nalazi specijalna tekućina otporna na smrzavanje.

Električno daljinsko upravljanje može biti izvedeno i kao vremensko upravljanje kojemu za upravljanje služe dva pritiska tastera ili jedno malo upravljačko kolo, odnosno poluga preko koje se izravno ili posredno pokreće kormilarski stroj. Postignuti otklon kormila ovisi o tome koliko je dugo uključen upravljački uređaj. Takvo upravljanje je jednostavno, ali se nikada ne primjenjuje samo, već kao dodatak drugoj vrsti upravljanja.

8.2.1. Hidraulički kormilarski uređaj (žiro-hidrauličko upravljanje)

Na slici 8.2. prikazan je hidraulički kormilarski uređaj s kombiniranim žiro-hidrauličkim upravljanjem.

Davač telemotora izvodi se s rotacijskom klipnom pumpom i nalazi se u upravljačkom stupu. Pumpa (1), kojoj se kapacitet i smjer dobave može kontinuirano mijenjati, spojena je preko tlačnih cijevi s cilindrima kormilarskog stroja.



1-pumpa promjenljiva stapaja, 2-elektromotor, 3-nadoljevni tank, 4-primač telemotora, 5-upravljački stup s davačem telemotora, 6-davač pokazivača otklona, 7-pokazivač otklona, 8-prekotlačni i protočni ventil, 9-upravljačka ploča žiro-pilota, 10-usiljivač žiro-pilota, 11-povratna veza

Sl. 8.2. Hidraulični kormilarski uređaj s kombiniranim žiro-hidrauličnim upravljanjem

Pumpa je spojena s pogonskim elektromotorom (2) i okreće se stalno u istom smjeru. Nadoljevni tank ulja (3) služi za pokrivanje vanjskih i unutarnjih gubitaka pumpe, dok je uloga prekotlačnog ventila (8) da zaštiti sustav od preopterećenja. Ručnim kolom na upravljačkom stupu (5) pokreće se izravno spojena rotacijska pumpa koja služi kao davač i potiskuje ulje u primač telemotora (4) koji se inače izvodi s oprugama za centriranje. Ukoliko se okrene ručno kolo, pokrene se davačka pumpa što uzroči sinhrono pomicanje klipa primača telemotora (4) koji preko poluzja pomiče stapaj pumpe (1) u određenom smjeru. Pumpa (1) tlači ulje u određeni cilindar kormilarskog stroja toliko dugo dok ne prestane gibanje telemotora i dok poluzje povratne veze (11) povezano s jarmom kormila ne vrati stapaj pumpe (1) na nulu.

Kombinacija dvaju odvojenih sustava upravljanja s hidrauličkim telemotorom i žiro-pilotom primjenjuje se na gotovo svim brodovima jer udovoljava najstrožim zahtjevima u pogledu sigurnosti. Ugradnjom upravljačkog dijela žiro-pilota u kormilarski stup na mostu, koji već sadrži davač normalnog hidrauličkog motora s rotacijskom pumpom, postignuta je koncentracija svih upravljačkih uređaja u jednoj jedinici. Kao “davač” žiro-pilota služi upravljačka ploča (9) na mostu, a kao primač primjenjuje se “usiljivač” (10). “Usiljivač” se priključuje na nastavak poluge kod kormilarskog stroja na čijoj je drugoj strani povezan i primač hidrauličkog telemotora. “Usiljivač” ima ugrađen elektromotor koji preko zupčanog prijenosa i jedne ozubljene letve djeluje na pumpu promjenljivog stapaja, a time i na otklon kormila. Ozubljena motka dobiva pogon od jednog malog zupčanika koji je s ostalim mehanizmom “usiljivača” vezan preko jedne elektromagnetske spojke. Pri upravljanju hidrauličkim motorom spojka nije aktivirana i odvaja “usiljivač” od poluga za podešavanje tako da primač telemotora, neovisno od usiljivača koji je u stvari odvojen, pomiče oslobođenju ozubljenju motku.

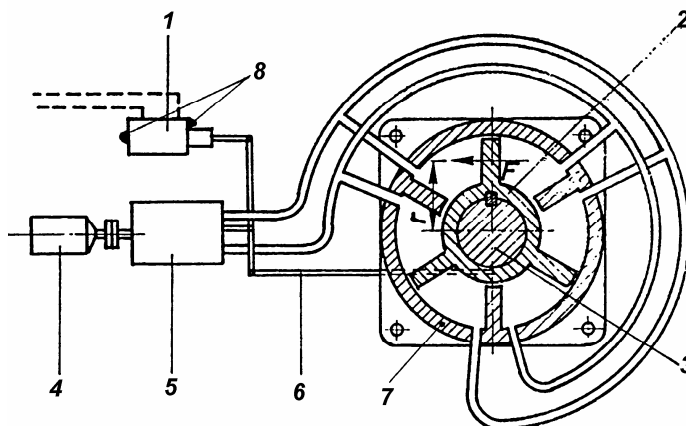
Kod prijelaza na električno upravljanje žiro-pilotom otvori se protočni ventil (8) i uključi “Usiljivač” i njegova elektromagnetska spojka. Sada je ozubljena motka povezana s “usiljivačem” i može preko poluga slobodno pokretati klip primača telemotora. Zbog otvorenog protočnog ventila, klip pruža znatno manje otpora. Automatsko se upravljanje ukopča pomoću sklopke na upravljačkom stupu. Prebacivanjem te sklopke u drugi položaj isključuje se automatsko upravljanje i uključuje uređaj za ručno električno upravljanje. Tasterima ili malim ručnim kolom na upravljačkom stupu daju se “usiljivaču” odgovarajući impulsi tako da sada on preuzima podešavanje pumpe. Protočni ventil ostaje i u tom slučaju otvoren.

Uređaj, dakle, omogućuje tri mogućnosti kormilarenja: ručno kormilarenje, automatsko kormilarenje sa žiro-pilotom i ručno-električno upravljanje s tasterima ili malim kolom.

8.2.2. Rotacijski hidraulički kormilarski stroj

Na prethodnom primjeru (slika 8.2.) prikazan je kormilarski uređaj s cilindrima. Međutim, poznata je još jedna izvedba koja se u zadnje vrijeme pretežno koristi, a to je rotacijski hidraulički kormilarski stroj (slika 8.3.).

Na osovini kormila (3) uklinjen je rotor (2) dok je stator (7) vezan na brodsku konstrukciju. Zvezdasti rotor (2) s tri krilca može se okretati na jednu ili na drugu stranu.



1-primač, 2-rotor s krilcima, 3-osovina kormila, 4-elektromotor, 5-pumpa promjenljiva stapaja, 6-povratna veza, 7-stator, 8-“ručno” upravljanje

Sl. 8.3. Rotacijski hidraulički kormilarski stroj

Krilca se pod pritiskom tekućine okreću u kućištu s tri komore. Kada primač (1) pomakne motku za upravljanje pumpe s promjenljivim stapajem, počinje, u lijevi ili desni do svake promjenljive komore, ulaziti ulje pod tlakom i zaokretati rotor s krilcima, odnosno list kormila. Uređaj zauzima manje mjesta od navedenog s cilindrima, i jednostavniji je za održavanje. Često puta se na primaču (1) nalaze elektromagnetski ventili (8) na koje se može ručno djelovati preko prekidača, a oni opet djeluju na pomicanje motke za upravljanje koja je povezana s pumpom promjenljiva stapaja. Na taj se način može “ručno” kormilariti iz prostorije kormilarskog stroja.

8.3. DALJINSKO UPRAVLJANJE GLAVNIM MOTOROM

Glavnim motorom se može upravljati s tri različita mjesta. Daljinski s mosta, daljinski iz kontrolne kabine strojarnice i lokalno na samom motoru.

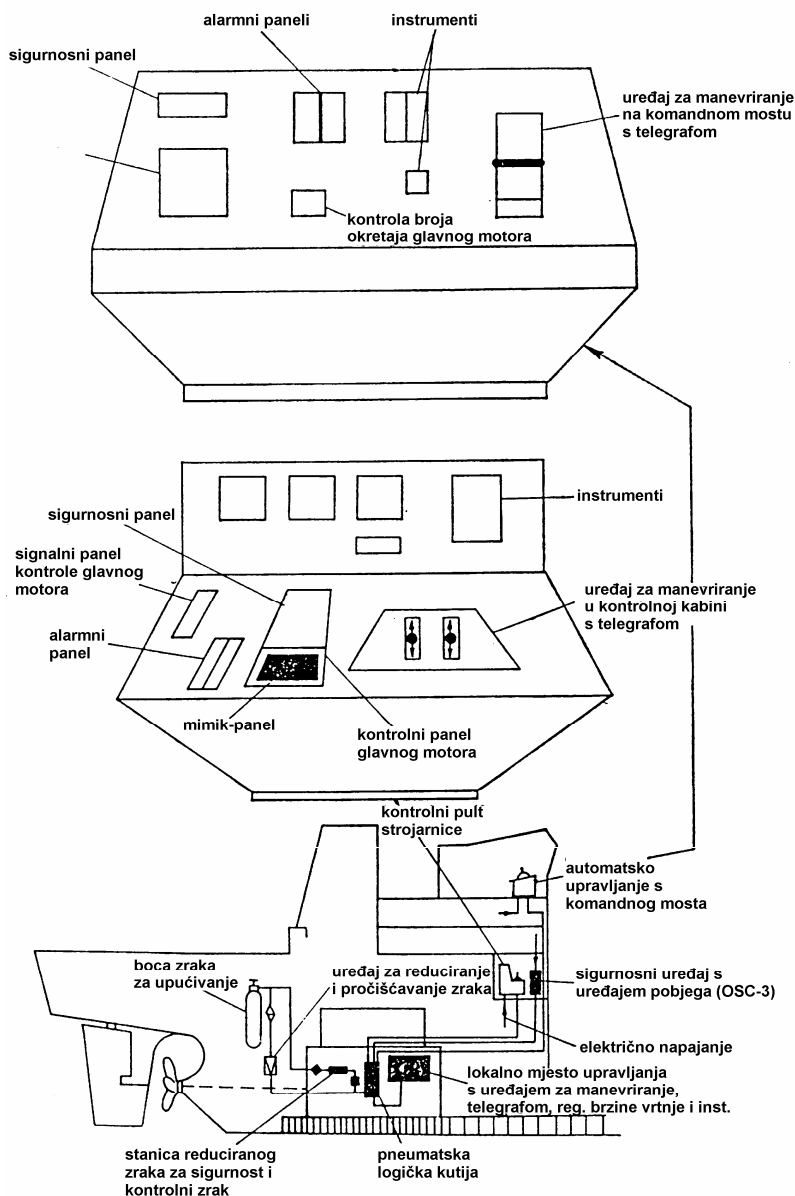
Kod motorne propulzije koristi se sustav daljinskog upravljanja glavnim motorom, daljinskog automatskog upravljanja glavnim motorom i sustav daljinskog automatskog upravljanja prekretnim propelerom. Razlika između daljinskog i daljinskog automatskog sustava upravljanja je u tome što se kod sustava koji nije automatski, svi parametri kod kojih se zahtijeva promjena zadane veličine, u ovisnosti o upravljanju, postižu u što kraćem vremenskom razmaku, a ne prema unaprijed utvrđenom programu. Kod automatskih sustava promjena parametara se postiže prema unaprijed zadanom programu koji se

razlikuje od slučaja do slučaja, a ovisi o karakteristikama glavnog motora i broda. Ovaj sustav je znatno bolji sa stajališta zaštite glavnog motora od pre naglih promjena opterećenja, odnosno termičkih stresova. Zbog jednostavnosti koristi se automatika koja časnicima palube dozvoljava da daju komande kao na uobičajen klasičan način, tj. strojarskim telegrafom.

Svi načini upravljanja moraju zadovoljavati zahtjeve u smislu sigurnosti broda i porivnog sustava koje postavljaju klasifikacijski zavodi.

8.4. AUTOMATSKO DALJINSKO UPRAVLJANJE MOTOROM S FIKSNIM PROPELEROM

Sustav automatskog daljinskog upravljanja porivnim dizel-motorima omogućava automatsku promjenu broja okretaja vrtnje prema unaprijed određenom programu. Prebacivanje mjesta upravljanja na most dozvoljeno je samo iz kontrolne kabine strojarnice. Glavnim motorom se upravlja s tri mjesta: s mosta, iz kontrolne kabine strojarnice i u strojarnici na lokalnom mjestu upravljanja. Prebacivanje mjesta upravljanja može se izvesti i u vožnji, npr. kad zbog nekog kvara treba prebaciti upravljanje s mosta u kontrolnu kabinu. Zanimljivo je napomenuti da mnogi sustavi dozvoljavaju prebacivanje most-kontrolna kabina u cijelom rasponu broja okretaja, dok se, obrnuto, kontrolna kabina – most omogućava samo u području okretaja koji dozvoljavaju vožnju manevarskom brzinom. U pravilu promjena broja okretaja unutar manevarskih prilično je brza i ovisi samo o tromosti sustava, međutim, kad se jednom pređu manevarski okretaji, daljnje povećanje broja okretaja izvodi se prema unaprijed postavljenom programu, tako da glavni motor dosta lagano “podnese” promjenu opterećenja. Neki sustavi omogućuju podizanje broja okretaja od 0,62 okretaja u minuti što znači da se do “morske brzine” dolazi za otprilike 30 minuta. Ali to nije pravilo, jer program varira od proizvođača, vrste motora, namjene broda, itd. Kod automatskog daljinskog upravljanja motorom s fiksnim propelerom pri prelasku s manevarske brzine na “morsku”, program omogućava da se ručica telegrafa pomakne odmah na maksimum (do graničnika) bez straha da će se motor preoptereti. Okretaji će se podizati prema programu sve do okretaja ograničenih preko posebnog “limitera” koji se nalazi u kontrolnoj kabini strojarnice. Slično se događa i kod prelaska iz pune vožnje na manevarsku, tj. do manevarskih okretaja okretaji se spuštaju prema predviđenom programu. To, međutim, ne znači da se okretaji motora ne mogu smanjiti. Dovoljno je ručicu telegrafa povući nešto ispod područja manevarskih okretaja i smanjivanje broja okretaja neće teći prema programu, već će biti brzo i ovisit će samo o tromosti sustava. Položaj “limitera” može se mijenjati i on nam, ustvari, određuje maksimalan broj okretaja motora za neku određenu vožnju.



Sl. 8.4. Automatsko daljinsko upravljanje motorom s fiksnim propelerom

Klasifikacijska društva postavljaju stroge zahtjeve u pogledu nekih operacija daljinskog automatskog upravljanja, no o njima će biti riječi kasnije. Na slici 8.4. prikazan je automatski sustav daljinskog upravljanja motorom s fiksnim propelerom. Upravljanje iz kontrolne kabine obavlja osposobljen pomorski strojar, dok automatsko daljinsko upravljanje s komandnog mosta pretpostavlja logičan i sekvencijalan slijed operacija glavnim motorom preko posebnih upravljačkih krugova.

8.5. AUTOMATSKO DALJINSKO UPRAVLJANJE MOTOROM S PREKRETNIM PROPELEROM

U posljednje vrijeme, na nekim tipovima brodova, sve se češće upotrebljavaju porivni sustavi s prekretnim propelerom. Upravljanje s komandnog mosta može biti izvedeno tako da se promjenom položaja ručice telegrafa mijenja samo zaokret propelera, dok je broj okretaja glavnog motora konstantan, ili da se ručicom telegrafa preko kombinatora mijenja broj okretaja glavnog motora i zakret propelera. Najčešće se izvode oba sustava zajedno što znači da se izbor načina manevra prepušta časnicima koji upravljaju. Konstantan broj okretaja glavnog motora koristi se kod rada osovinskog generatora, odnosno ovaj način omogućuje da se čitav manevar izvrši s osovinskim generatorom, bilo da je uključen za potrebe brodske mreže, ili pak odvojen od brodske mreže, te uključen za potrebe pramčanog propelera koji je inače jako veliki potrošač električne energije.

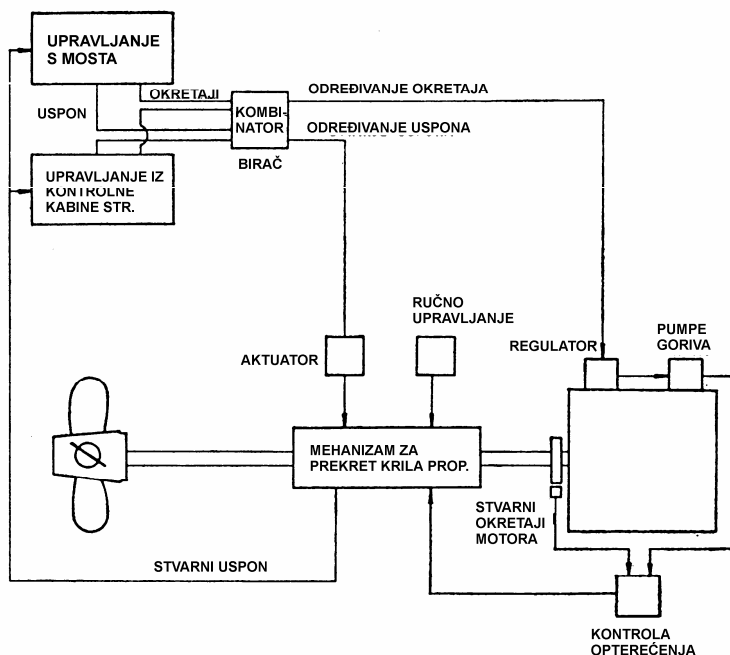
Upravljanje motorom s prekretnim propelerom može se, također kao i s fiksnim, izvoditi s tri mjesta. Kod lokalnog upravljanja iz strojarnice upravljačko mjesto se nalazi pokraj hidrauličkog mehanizma za prekrat krila propelera gdje je i ugrađen strojarski telegraf.

Brzina sustava automatskog daljinskog upravljanja prekretnim propelerom veća je od brzine servo-uređaja prekretnog propelera. Ako se pokretač daljinskog upravljanja pomiče brže nego što ga glavni servo-uređaj može slijediti, može doći do nepotrebnog mehaničkog naprezanja. Zbog toga se ugrađuje “vremensko kašnjenje”, ili “jedinica kašnjenja”, koja treba izjednačiti brzinu automatskog daljinskog upravljanja s brzinom mehanizma servo-uređaja za prekrat krila propelera.

Sustav upravljanja opterećenjem ima za svrhu da zaštiti glavni stroj pri grubom manevriranju, ili drugim promjenama opterećenja zbog vanjskih uzroka. Upravljanje opterećenjem, koje je jedan od nadzora unutar automatskog daljinskog upravljanja prekretnim propelerom, stalno uspoređuje i prati rad stroja i automatski podešava zakretanje vijka prema promjenama opterećenja. Drugi važan nadzor sustava je nadzor snage glavnog motora čija je svrha da podesi zakret propelera u vožnji na onaj koji odgovara predodređenoj snazi glavnog motora. Stalno se mjeri brzina glavnog motora i položaj pumpi goriva, te se uspoređuje s krivuljom opterećenja glavnog motora. Prema tom se opterećenju vidi je li motor podopterećen ili nadopterećen. Ako je preopterećen, zakretanje vijka se smanjuje ili usporava, a time se smanjuje i opterećenje glavnog motora. Ako je motor premalo opterećen, zakretanje se pojačava sve dok motor ne dostigne traženu mjeru, ili dok se zakret ne poravna s naređenjem upućenim preko ručice telegrafa.

Na slici 8.5. prikazana je jednostavna shema jednog od sustava automatskog daljinskog upravljanja motorom s prekretnim propelerom. Signal s kombinatora ide preko selektora signala na regulator motora i na aktuator zakreta krila propelera. Indikacija broja okretaja i uspona krila propelera vraća se kao povratna informacija na mjesta upravljanja. Ulazni signal za kontrolu opterećenja dobiva se od indikatora položaja pumpi goriva i indikatora broja okretaja. Izlazni signal je povratni i djeluje na zakret krila propelera.

Kao i sustav s fiksnim propelerom, i ovaj je opremljen vremenskim programom sporog “ubrzavanja” glavnog motora i zakreta propelera nakon manevarske brzine kada se prelazi na “morsku” brzinu. Ukoliko je sustav prebačen na konstantni broj okretaja, vremenski program će vrlo lagano zakretati propeler sve do maksimalnog opterećenja glavnog motora koje se određuje iz kontrolne kabine. Obrnuto, prelaskom na manevarsku brzinu, pomicanjem ručice telegrafa na manevarsku brzinu smanjenje zakreta propelera opet teče prema dosta sporom programu. Ukoliko je potrebno brže smanjivanje zakreta krila propelera, odnosno brzine broda, dovoljno je ručicu telegrafa povući nešto ispod manevarske brzine i zakret propelera će se brzo smanjivati ograničen jedino “jedinicom kašnjenja” koja, kao što je i rečeno, štiti servo-uređaj prekretnog propelera od prevelikih naprezanja. Isto se događa kad je sustav postavljen na promjenu broja okretaja i zakreta propelera, samo što se onda sa zakretom krila propelera mijenjaju i okretaji glavnog motora.



Sl. 8.5. Automatsko daljinsko upravljanje motorom s prekretnim propelerom

8.6. MOGUĆNOSTI DALJINSKOG AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U OVISNOSTI OD ZAHTJEVA ZA SIGURNOST BRODA

Klasifikacijska društva traže da sustavi daljinskog automatskog upravljanja moraju imati sljedeće mogućnosti manevriranja:

- manevar u nuždi (*emergency run*),
- zaustavljanje glavnog motora u nuždi (*emergency stop*),
- naglo zaustavljanje broda (*crash manoeuvre*),
- poništenje zaštite automatskog zaustavljanja glavnog motora (*override of main engine safety*).

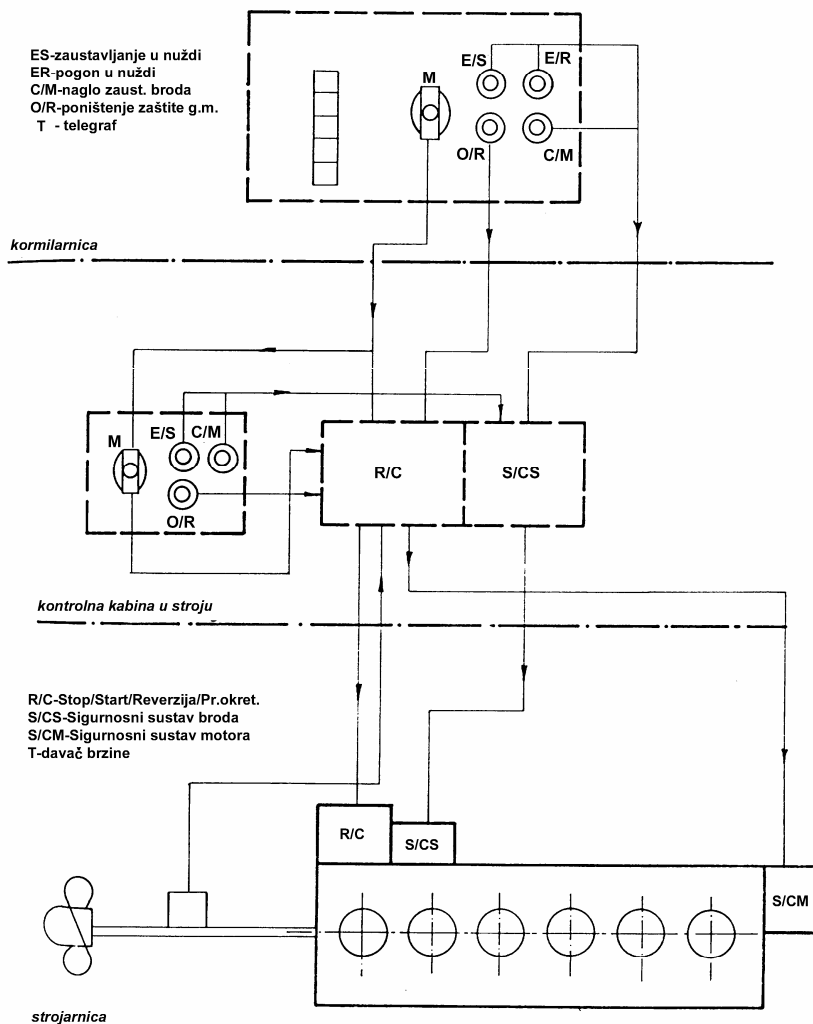
Na slici 8.6. prikazana je shema djelovanja navedenih načina upravljanja.

8.6.1. Manevar u nuždi (*emergency run*)

Pod manevrom u nuždi podrazumijeva se mogućnost premoštenja unaprijed zadanog programa promjene broja okretaja glavnog motora (ili zakreta krila propelera). Navedeno proizlazi iz situacije kad se motor nalazi u manevarskim uvjetima, a želi se brzo, odnosno mimo programa postići maksimalne okretaje. Na komandnom mostu, na sigurnosnom panelu, nalazi se taster sa signalnom žaruljom koji omogućava realizaciju te radnje. Aktiviranjem tastera, osim što se premoštava program promjene broja okretaja, premoštava se i limiter ograničenja okretaja glavnog motora u kontrolnoj kabini strojarnice, te se dopušta mogućnost brzog postizanja maksimalnog broja okretaja glavnog motora s komandnog mosta.

8.6.2. Zaustavljanje glavnog motora u nuždi (*emergency stop*)

Pod zaustavljanjem u nuždi podrazumijeva se trenutno daljinsko zaustavljanje glavnog motora bez obzira u kakvom se načinu vožnje nalazio. Izvodi se, također, tasterom sa signalnom žaruljom na sigurnosnom panelu.



Sl. 8.6. Mogućnosti automatskog daljinskog upravljanja sa stajališta sigurnosti broda

8.6.3. Naglo zaustavljanje broda (*chrash manoeuvre*)

Pod pojmom naglog zaustavljanja broda podrazumijeva se nagli prijelaz iz manevarskih okretaja naprijed u pune okretaje natrag s ciljem da se što prije brod zaustavi. Vrijeme koje je potrebno da se brod zaustavi nije fiksno određeno, već se mijenja ovisno o vrsti i tipu broda. Zapovjednik ili časnik na straži mora biti upoznat s izuzetnim mehaničkim naprezanjima koja u ovom slučaju trpi glavni motor (ili mehanizam prekretnog propelera) tako da se na aktiviranje ovog tastera odluči kad je to zaista nužno potrebno.

8.6.4. Poništenje zaštite automatskog zaustavljanja glavnog motora (*Override of Main Engine Safety*)

Pod zaštitom glavnog motora podrazumijeva se automatsko zaustavljanje glavnog motora u slučaju greške na pojedinim vitalnim sustavima. Automatsko zaustavljanje glavnog motora izvodi se u slučaju: gubitka tlaka ulja za podmazivanje, prekoračenja maksimalnog broja okretaja, aktiviranja detektora uljnih para iz kartera, gubitka tlaka rashladne vode glavnog motora. U ovisnosti od zahtjeva brodovlasnika zaštite motora mogu se ugraditi i na druge vitalne sustave. Znači, svako aktiviranje zaštite uzroči automatsko zaustavljanje glavnog motora.

Pod sustavom poništenja zaštite automatskog zaustavljanja glavnog motora (*override of main engine safety*) podrazumijeva se sustav koji svojim aktiviranjem ne dopušta zaustavljanje glavnog motora sa stajališta vlastite zaštite. Svrha ovog sustava je da u određenom momentu omogući manevriranje brodom bez obzira što je aktiviran sustav zaštite glavnog motora. Sustav poništenja zaštite automatskog zaustavljanja poništava sve zaštite motora osim zaštite od prekoračenja broja okretaja (*overspeed*).

Prije aktiviranja ovog tastera zapovjednik mora odlučiti s punom odgovornošću da li uništiti brod ili glavni motor.

Treba napomenuti da se zbog većeg broja proizvođača daljinskih upravljanja u nekim slučajevima zahtjevi “emergency run” poistovjećuju s “override of main engine safety”.

9. SUSTAV TERETA

9.1. UREĐAJI ZA SUŠENJE ZRAKA U SKLADIŠTIMA TERETA

Čim se u skladištu nalazi neki porozan teret, iako naizgled suh, krije u sebi određene reakcije. Vлага može isparavati iz jednog dijela tereta i prenositi se na drugi. Nadalje, vлага se može kondenzirati na samu brodsku strukturu i odatle kapati na teret. Takvi i slični procesi mogu izazvati razna oštećenja tereta, koroziju, pojavu plijesni, ili zagrijavanje tereta.

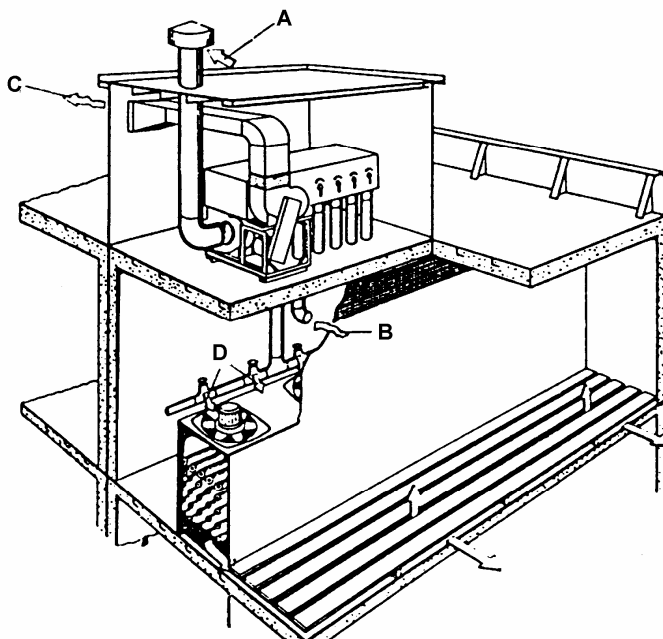
Vлага se prenosi zrakom. Da bi se spriječile gore navedene pojave, potrebno je voditi računa o kvaliteti zraka, tj. o njegovoj sposobnosti da upija ili ispušta vlagu. Otprije je poznat pojam relativne vlažnosti. Kako se zrak hladi, relativna vlažnost raste. Ako se temperatura i dalje spušta, relativna vlažnost će dalje porasti do 100% što znači da je zrak zasićen. Daljnje spuštavanje temperature uzročit će kondenzaciju viška vlage iz zraka u obliku kapljica. Točka pri kojoj zrak kod hlađenja postaje zasićen zove se točka rosišta.

Razmotrimo sada neke mogućnosti kad vлага može oštetiti teret.

1. Ako je temperatura tereta, broskog skladišta, ili ako su obje temperature ispod točke rosišta, vлага će se kondenzirati na teretu ili na broskoj strukturi.
2. Ako je zrak u skladištu bio hladan, a skladište je provjetravano vanjskim zrakom iz atmosfere čija je točka rosišta iznad temperature zraka u skladištu, mješavina jednog i drugog zraka proizvest će vlagu u obliku rose ili magle.
3. Teret u skladištu može biti sposoban da upija ili ispušta vlagu što uzroči da se relativna vlažnost u skladištu neprestano mijenja.

9.1.1. Sušioći zraka

Na slici 9.1. prikazan je uređaj “Munters” za sušenje zraka koji ima zadatak da održava točku rosišta na veličini koja nije opasna za teret i koja će spriječiti pojavljivanje prethodno navedenih pojava.



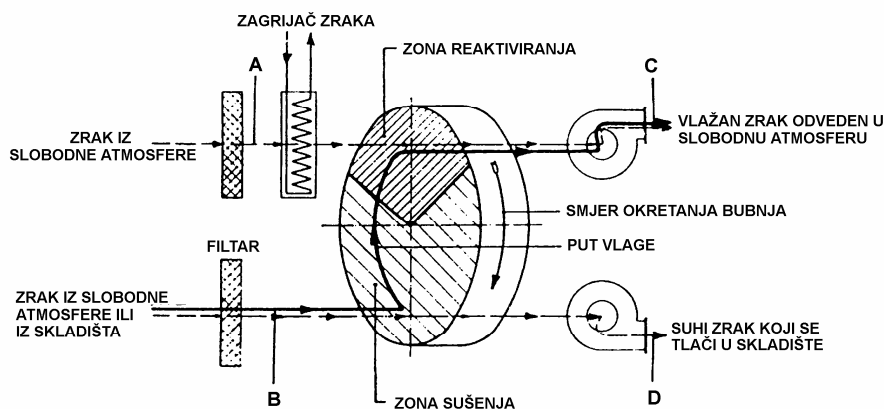
*A – usis iz slobodne atmosfere; B – usis iz skladišta; C – izlaz vlagom zasićenog zraka u atmosferu;
D – izlaz osušenog zraka u skladište*

Sl. 9.1. Uređaj za sušenje zraka

Glavni dijelovi uređaja su: sušioca, cirkulacijski sustav zraka s ventilatorima i registrator točke rošenja.

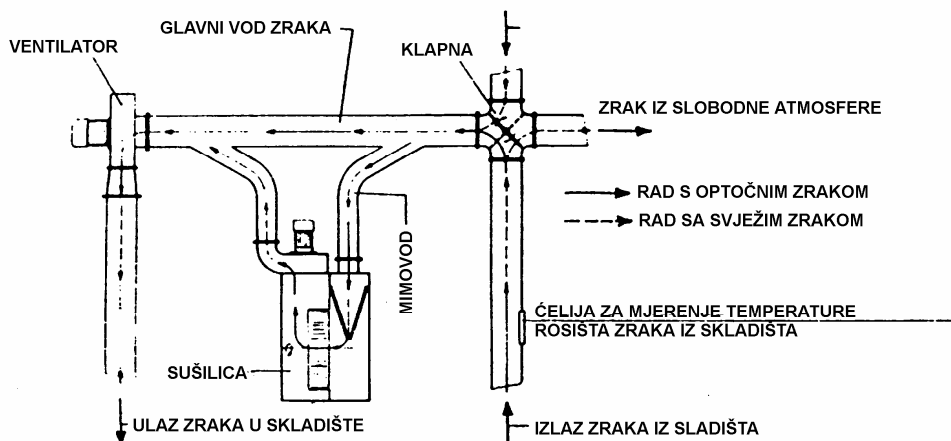
Sušioac može biti predviđena za jedno ili više skladišta, a njezina jedinica je smještena na palubi iznad skladišta ili u zatvorenoj prostoriji. Povezana je ventilacijskim vodovima s jednim ili više skladišta. Registrator točke rosišta sastoji se od osjetnog elementa za točku rosišta i kontrolnog instrumenta koji se postavlja na komandni most.

Na slici 9.2. prikazan je shematski način djelovanja sušilice tipa “Munters”. Zrak iz slobodne atmosfere ili iz skladišta dovodi se u jedinicu sušilice preko četverosmjerne klapne (B), dok zrak koji se dovodi iz slobodne atmosfere (A) prolazi kroz filter i zagrijač. Taj zrak, koji je ustvari regeneracijski, vodi se u sektor elementa za sušenje. Tu zrak pokupi vlagu iz elementa za sušenje i tlači se zasićen vlagom u atmosferu kod C. Osušeni zrak prolaskom od B kroz aktivni materijal odvodi se u skladište kod D.



Sl. 9.2. Način djelovanja sušilice tipa "Munters"

Na slici 9.3. prikazana je jedinica za određeno skladište. Preko četverosmjerne klapne zrak iz skladišta odlazi u atmosferu, a istovremeno iz atmosfere ulazi i svježiji zrak. Jedan dio recirkulacijskog zraka ulazi u sušioc koja je postavljena u mimovodu glavnog voda zraka.



Sl. 9.3. Sušilica zraka za određeno skladište

9.2. INERTNI PLIN

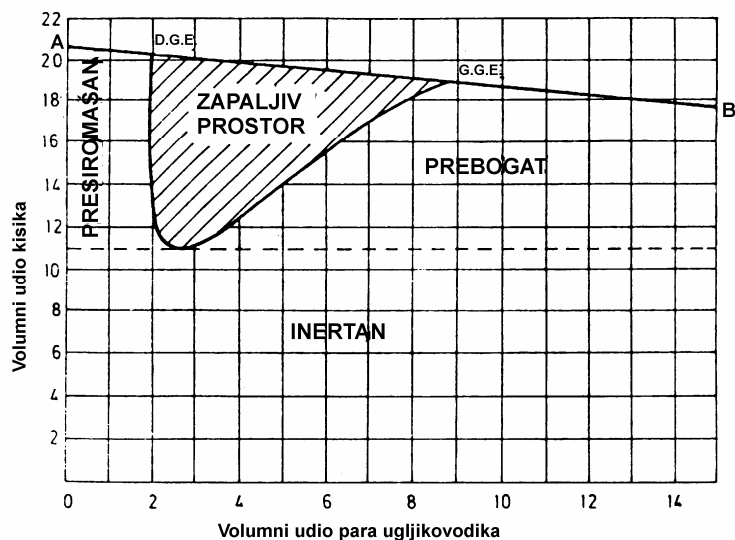
Tanker koji prevoze sirovu naftu, njezine derivate i ostale opasne kemikalije mogu doći u rizične situacije ako se ne vodi računa o sastavu i sadržaju atmosfere u tankovima tereta iznad tereta koji se prevozi. Tereti oslobađaju eksplozivne pare ugljikovodika i ukoliko se u takvoj atmosferi nađe izvor

paljenja dovoljne energije, kao što su npr. iskre statičkog elektriciteta, električne i mehaničke iskre, otvoren plamen, tople površine, itd., može doći do eksplozije. Najopasnija situacija je pri iskrcaju tereta. Opasnost od eksplozije može se izbjeći i uklanjanjem svih navedenih izvora paljenja iz opasne zone. Međutim, to se uvijek u potpunosti ne može ostvariti budući da se prilikom raznih operacija rukovanja teretom, a napose pranja tankova sirovom naftom (*cruide oil washing – C.O.W.*), javlja mogućnost statičkog elektriciteta. Da bi se potpuno spriječila opasnost od eksplozije, uvedena je kontrola atmosfere u tanku pomoću uređaja za inertni plin na taj način, što se inertiranjem smanjuje sadržaj kisika ispod granice koja podržava gorenje. Ovim postupkom u tanku se dobiva inertna atmosfera koju čine pare ugljikovodika, inertni plin i kisik koji je tu u nedovoljnoj koncentraciji da omogući eksploziju.

9.2.1. Dijagram zapaljivosti

Pare nafte su smjese ugljikovodika. Točan volumni udio sudionika ovisi o vrsti sirove nafte i parcijalnom pritisku pojedinih sudionika te o temperaturi. Donja granica eksplozivnosti predstavlja najnižu koncentraciju eksplozivnih para i plinova kod koje može doći do eksplozije. Gornja granica eksplozivnosti predstavlja najvišu koncentraciju eksplozivnih para i plinova kod koje može doći do eksplozije.

Dijagram zapaljivosti prikazan je na slici 9.4. Za smjesu para sirove nafte i atmosferskog zraka donja granica eksplozivnosti je kod 2% para ugljikovodika i 20,4% kisika. Gornja granica eksplozivnosti je kod 9% para ugljikovodika i 19% kisika. Smjesa atmosferskog zraka i para sirove nafte prikazana je u dijagramu pravcem AB.



Sl. 9.4. Dijagram zapaljivosti

Ukoliko je sadržaj kisika u zraku niži od 20,8%, tada se dobivaju pravci miješanja koji su paralelni s pravcem AB i leže ispod njega. Donja i gornja granica eksplozivnosti se mijenjaju za smjesu zraka sa sadržajem kisika nižim od 20,8% i parama ugljikovodika. Do smanjenja sadržaja kisika dolazi zbog prisutnosti inertnog plina u tanku.

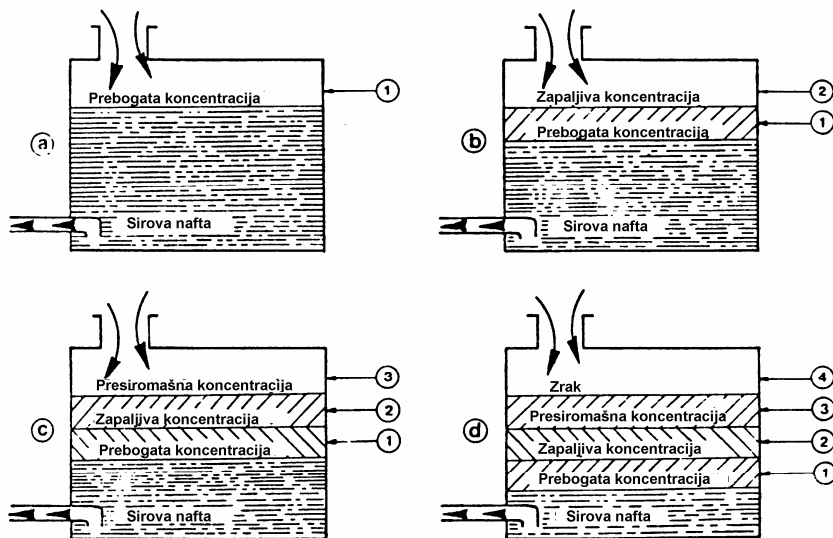
Uvođenjem inertnog plina donja granica eksplozivnosti lagano raste, a gornja se snizuje, pa se zbog toga smanjuje eksplozivni prostor. Kad je u tanku svega 11% kisika, do eksplozije više ne može doći budući da je eksplozivnoj smjesi nedovoljna količina kisika da podrži eksplozivno izgaranje.

Ako se u atmosferi tanka nalazi manje od 2% para ugljikovodika, bez obzira na sadržaj kisika, atmosfera je presiromašna i ne može doći do eksplozije. Ako je pak koncentracija para veća od gornje granice zapaljivosti, smjesa je prebogata i opet neće doći do eksplozije. Za sadržaj kisika manji od 11% atmosfera u tanku je inertna, bez obzira na sadržaj para ugljikovodika. Eksplozija u toj atmosferi je nemoguća zbog nedovoljne količine kisika za održavanje eksplozivnog izgaranja.

9.2.2. Nastajanje zapaljive koncentracije pri iskrcanju tereta

Kao što je već rečeno, iskrcavanje tereta je jedna od najopasnijih operacija zbog stvaranja eksplozivne smjese nastale miješanjem para tereta s kisikom iz zraka.

Zbog toga pri iskrcaju mora biti uključen sustav inertnog plina tako da se inertni plin uvodi s laganim nadtlakom. Kapacitet ventilatora inertnog plina podešava se na lagani nadtlak bez obzira na količinu tereta. Za vrijeme pražnjenja tekućeg tereta pumpama tereta, u tankovima se pojavljuje prazan prostor u koji ulazi zrak iz atmosfere i pare ugljikovodika iz nafte. Na slici 9.5. prikazan je, radi lakšeg razumijevanja, iskrcaj tekućeg tereta u pojedinim fazama, bez inertiranja atmosfere.



Sl. 9.5. Faze iskrcaja tekućeg tereta bez inertiranja tankova

9.2.3. Dobivanje inertnog plina

Inertni plin je svaki onaj plin koji ne podržava gorenje. Za inertiranje tankova potrebno je da u inertnom plinu sadržaj kisika bude ispod 4%. Najčešće se inertni plin dobiva iz brodskih kotlova. Tako dobiveni inertni plinovi, ako zadovoljavaju gornji uvjet, odvođe se preko posebnih uređaja u tankove tereta. Na nekim tankerima (npr. kemijski tankeri) postavljaju se dosta strogi zahtjevi za niski sadržaj kisika u inertnom plinu, tako da tim zahtjevima udovoljava generator inertnog plina, a dobiveni plinovi izgaranja iz takvih uređaja imaju oko 1% kisika. Inertni plin može se dobivati i frakcijskom destilacijom iz zraka. Na taj način dobiva se čisti dušik koji se obično nalazi na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova u prostorima između barijera tankova.

Dimni plinovi iz glavnog broskog kotla ili pomoćnih kotlova imaju sljedeći sastav izražen u volumnim udjelima pojedinih sudionika:

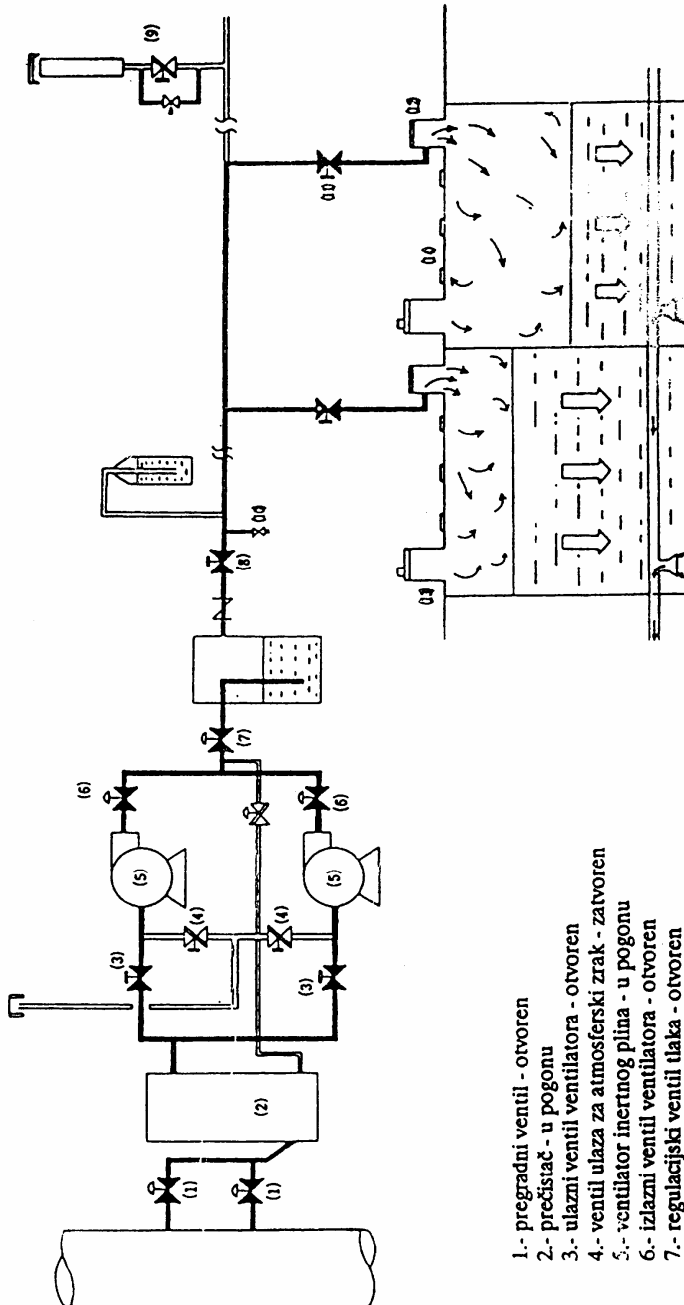
Kisik	O ₂	2 – 4%
Ugljični dioksid	CO ₂	12 – 14 %
Sumporni dioksid	SO ₂	0,2 %
Vodena para	H ₂ O	5 %
Krute čestice		300 mg/m ³
Dušik	N ₂	ostatak

Temperatura dimnih plinova na izlazu iz kotla je oko 400°C. Ti plinovi se odvođe cjevovodom prečišćavača u kojem se plinovi hlade, te se uklanjaju štetni korozivni spojevi i krute čestice. Prije ulaska u prečišćavač, plinovi se hlade strujom morske vode. Na izlazu iz prečišćavača nalazi se filtar za uklanjanje vode iz inertnog plina. Krute čestice, poslije prečišćavača, smanjuju se s prvobitnih 300 mg/m³ na 8 mg/m³, a SO₂ sa 0,2 % na 0,02 %. To naravno ovisi o vrsti i tipu prečišćavača, no uglavnom se postižu navedeni odnosi. Prolaskom inertnih plinova kroz filtar poslije prečišćavača sadržaj vlage je sveden na minimum. Temperatura inertnog plina je za oko 5°C viša od temperature rashladne morske vode.

Pročišćen i ohlađen inertni plin prolazi kroz ventile u ventilatore, odnosno puhala. Iza puhala se nalaze mjerna mjesta za mjerenje sadržaja kisika, temperature i tlaka. Iza puhala, a prije glavnog zapornog ventila, odvaja se recirkulacijski cjevovod prema prečišćavaču sa svojim ventilom. Tim se cjevovodom održava stalan tlak u sustavu kad se mijenja potreba za količinom inertnog plina.

Iza glavnog zapornog ventila nalazi se palubna vodena brtva i nepovratni ventil. Glavna im je svrha da spriječe povratak eksplozivnih para prema strojarnici. Mokri tip palubne vodene brtve ispunjen je vodom. Inertni plin se dovodi u otvor vodene brtve, koji je ispod površine vode, tako da plinovi mogu strujati samo u jednom smjeru. Vodene brtve su u pravilu opremljene grijačem, filtrom za uklanjanje čestica vode i alarmima za nivo vode. Iza nepovratnog ventila nalazi se cjevovod za razvođenje inertnog plina po tankovima. Na slici 9.6. prikazana je izvedba sustava inertnog plina.

Konferencija o sigurnosti tankera i sprječavanju onečišćenosti (TSPP), koja je održana 1978.g. u Londonu, dala je niz odredaba o sustavu inertnog plina. Granice su tonaže tankera za prijevoz nafte i naftnih derivata snižene. Ta obveza se odnosi na sve nove tankere (tj. one koji su ugovoreni poslije svibnja 1979. započeti poslije prosinca 1979. ili isporučeni poslije svibnja 1982.) ako im nosivost iznosi ili premašuje 20000 metričkih tona. Osim toga, svaki tanker koji se koristi pranjem tankova sirovom naftom, mora biti opremljen sustavom inertnog plina, a svi tankeri koji su opremljeni sustavom inertnog plina moraju imati zatvoreni sustav za mjerenje razine.



- 1.- pregradni ventil - otvoren
- 2.- prečistač - u pogonu
- 3.- ulazni ventil ventilatora - otvoren
- 4.- ventil ulaza za atmosferski zrak - zatvoren
- 5.- ventilator inertnog plina - u pogonu
- 6.- izlazni ventil ventilatora - otvoren
- 7.- regulacijski ventil tlaka - otvoren
- 8.- palubni izolacijski ventil - otvoren
- 9.- odušni ventil - zatvoren
- 10.- drenažni ventil - zatvoren
- 11.- dobavni ventil - otvoren
- 12.- poklopac iznad ulaza za inertni plin - zatvoren
- 13.- poklopac tanka - zatvoren
- 14.- otvor za strojeve kojima se pere tank - zatvoren

Sl. 9.6. Operacija sa sustavom inertnog plina pri iskrcaju tereta

9.3. PRANJE TANKOVA SIROVOM NAFTOM

Nakon iskrcaja tereta, tankovi u kojima se nalazila sirova nafta obično imaju taloge na dnu i bočnim stranicama. Talozi su uglavnom parafinskog i asfaltnog porijekla. Ukoliko bismo dozvolili taloženje tih supstanci kroz više putovanja, njihova količina bi, naravno, porasla, a to bi rezultiralo smanjenom mogućnošću ispumpavanja i manjom korisnom nosivošću tankova tereta. Pranje tankova izvodi se tako da se dio tereta, koji se iskrcava na kopno, provede kroz ugrađeni sustav za pranje tankova u onim tankovima iz kojih se iskrcava teret, na taj način da su izložene površine tankova isprane mlazovima sirove nafte. Sirova nafta se tako ispiri i s horizontalnih površina ostavljajući strukturu tanka dovoljno čistom, te nije potrebno naknadno pranje vodom, osim ako tank nije predviđen za čisti balast.

9.3.1. Usporedba pranja tankova sirovom naftom i vodom

Dugi niz godina tankovi su se prali vodom što je uvjetovalo niz problema počevši od separacije, odnosno razdvajanja nafte i vode, pa do korozije i zagađivanja mora. Oprema za pranje vodom bila je pomična, a koristili su se sustavi pranja hladnom i toplom vodom, ponekad su se dodavale i određene kemikalije.

Prednosti pranja tankova sirovom naftom u odnosu na pranje vodom očituje se u sljedećem:

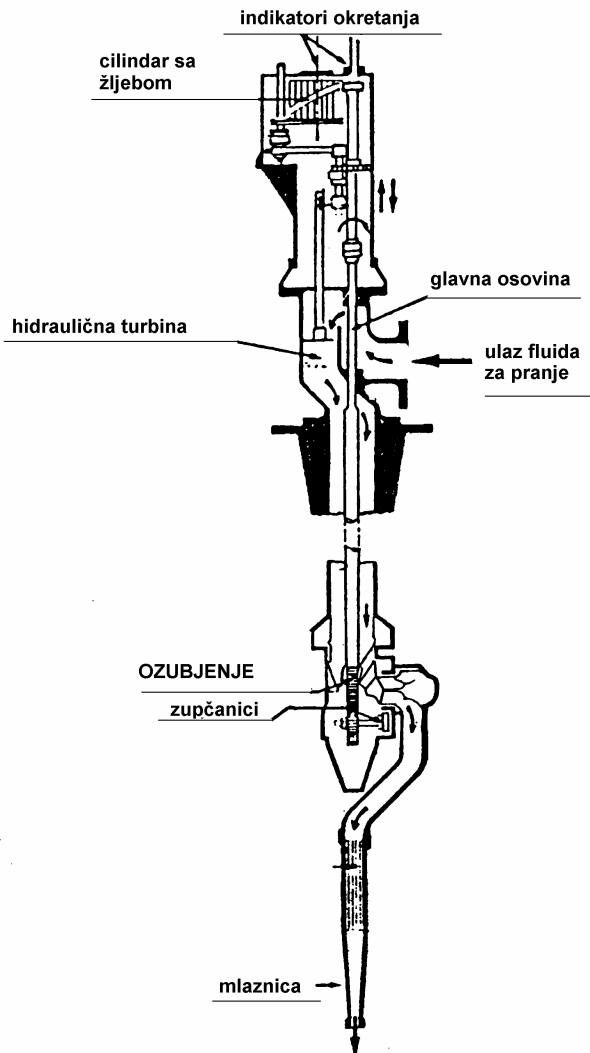
- bolja kvaliteta iskrcanog tereta,
- povećana količina iskrcanog tereta jer manje tereta ostaje na brodu,
- manje zagađenje mora zbog reduciranog pranja
- smanjenje korozije,
- smanjenje ručnog čišćenja taloga na minimum

Nedostaci su:

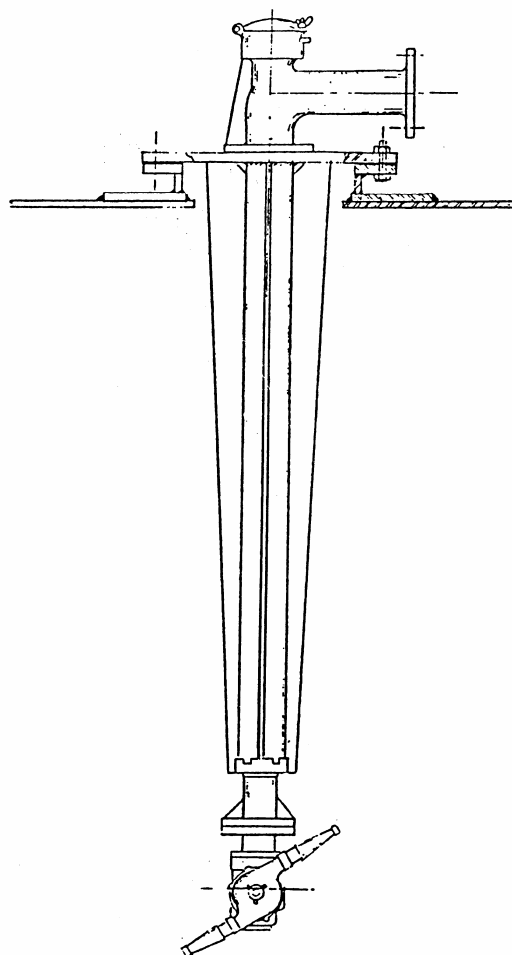
- produženo vrijeme iskrcavanja tereta,
- isparavanje lakših frakcija sirove nafte.

9.3.2. Strojevi za pranje tankova

Pranje tankova sirovom naftom obavlja se pomoću propisno konstruiranih strojeva koji su fiksirani na jednom mjestu i opremljeni stalnim cjevovodima. Performanse strojeva određene su promjerom mlaznice, radnim tlakom i veličinom gibanja u određenom vremenu. Slika 9.7. prikazuje mlaznicu jednostrukog tipa, dok je na slici 9.8. prikazana mlaznica dvostrukog tipa.



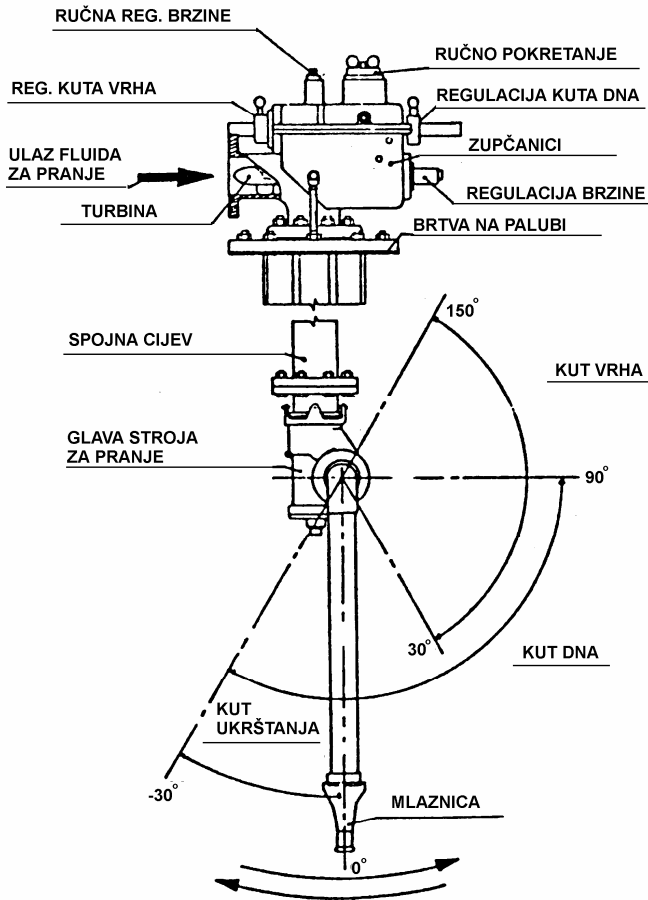
Sl. 9.7. Stroj s jednostrukom mlaznicom



Sl. 9.8. Stroj s dvostrukom mlaznicom

Na slici 9.9. prikazan je Butterwortov stroj s takozvanom SA (Selective arc) i “Programmable” alternativom. SA alternativa omogućuje operatoru da izabere granicu vertikalnog luka operacije. Raspon koji je na raspolaganju iznosi 150° (mjereno od vrha prema dnu) do 30° poslije vertikale.

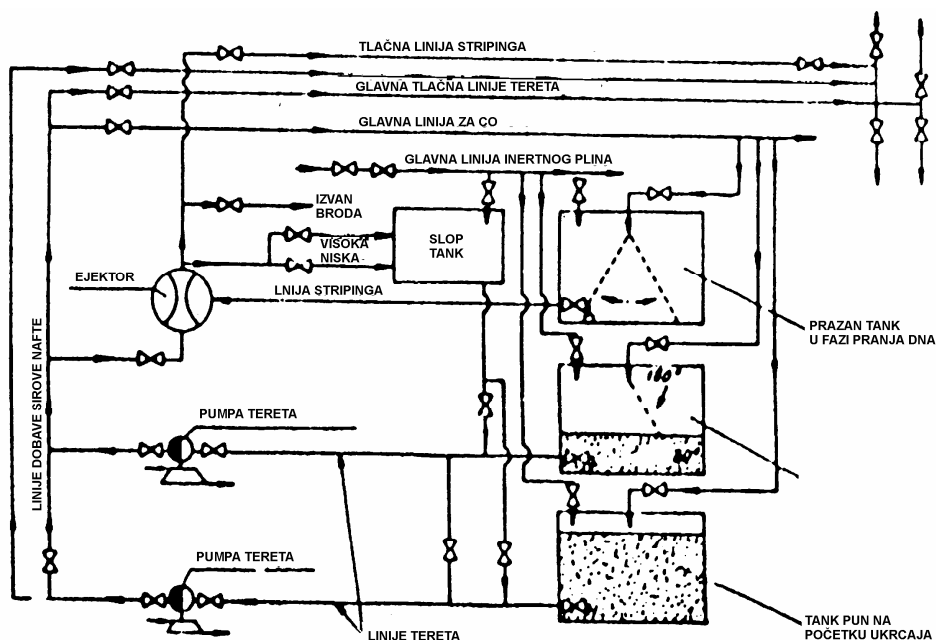
“Programmable” alternativa ugrađena u strojeve omogućava varijaciju veličine kutne rotacije. Na taj način stroj može biti programiran tako da se vrti brže kad mlaznica djeluje na bližim zonama, ili zonama koje se lakše čiste, odnosno sporije kada se radi o udaljenim zonama ili površinama koje se teže čiste.



Sl. 9.9. Stroj s programiranjem

9.3.3. Sustav pranja tankova

Na slici 9.10. prikazana je shema simultane operacije COW, inertiranja tankova, iskrcanja sirove nafte i posušivanja tankova (*stripping*).



Sl. 9.10. Simultana operacija COW, inertiranja tankova, iskrcaja sirove nafte i posušivanja tankova

Na međunarodnoj konferenciji o sigurnosti tankera i sprječavanju onečišćenosti iz 1978.g. usvojen je Protokol o izmjeni i dopuni Konvencije iz 1973.g. Što se tiče COW, u Protokolu se određuje:

Svaki novi tanker (onaj koji je ugovoren poslije svibnja 1979.g.) od 20000 ili više tona ukupne nosivosti mora biti opremljen uređajem za pranje tankova sirovom naftom. Istoj obvezi moraju udovoljiti i postojeći tankeri (tj. oni koji se ne smatraju novim) od 40000 ili više tona ukupne nosivosti ako nemaju posebne tankove za čisti balast.

9.4. BRODOVI ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA

Brodovi za prijevoz ukapljenih plinova podijeljeni su u dvije grupe i nose međunarodne oznake:

1. L.N.G. (Liquified Natural Gas – tekući prirodni plin). Metan (CH_4) je tipični predstavnik prirodnih plinova pa se L.N.G. brodovi grade s temperaturom uskladištenja tekućeg tereta do -161°C pri atmosferskom tlaku.

2. L.P.G. (Liquified Petroleum Gas – tekući umjetni plin). U ovu grupu plinova spadaju: butan (C_4H_{10}), propan (C_3H_8) i drugi, a ovi brodovi se grade s temperaturom uskladištenja tekućeg tereta do $-60^\circ C$ pri atmosferskom tlaku.

9.4.1. Ponašanje plinova

Između molekula plina djeluju odgovarajuće međumolekularne sile. Kao rezultat tog međumolekularnog djelovanja postoji potencijalna energija molekula plina koja, zajedno s kinetičkom energijom molekula i atoma, određuje unutrašnju energiju.

Realni plinovi, u ovisnosti od tlaka i temperature, mogu biti u plinovitom, tekućem i čvrstom agregatnom stanju. Prijelaz iz jednog u drugo fazno stanje naziva se faznim prijelazom. Za proučavanje prijevoza plina u tekućem stanju dovoljne su samo dvije fazne promjene: plinovito i tekuće stanje.

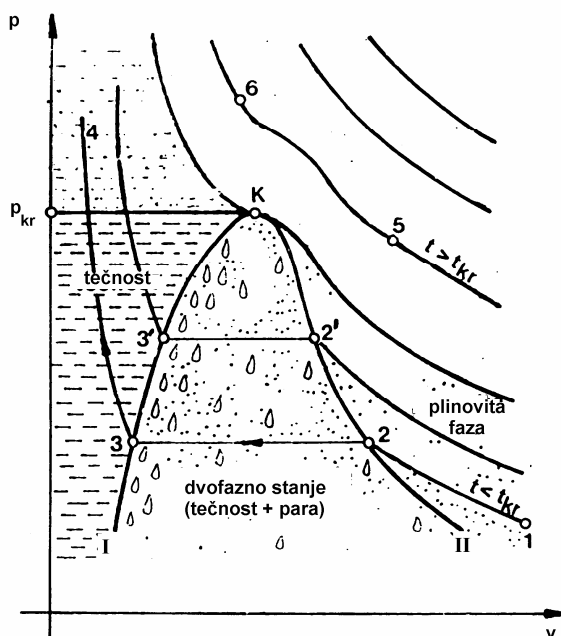
Iz slike 9.11., na kojoj je prikazan fazni P,V dijagram, vidljivo je da je kritično stanje određeno veličinama stanja (p_{kr} , t_{kr} , v_{kr}). Ako promotrimo stanje (5 – 6), gdje je $t > t_{kr}$, plinovitu fazu nije moguće dovesti u tekuću nikakvom izotermičkom kompresijom.

Iznad kritične točke K ne postoji područje dvofaznog stanja (tekućina + para).

Međutim, ukoliko je $t < t_{kr}$, plin se može pretvoriti u tekuće stanje. Ovaj proces izvodi se u tri etape:

1. kompresija do tlaka zasićenja (1-2),
2. kondenzacija pri nepromijenjenom tlaku i temperaturi (2-3),
3. tlačenje tekućine (3-4).

Isti proces događa se i kod drugih izoterma ($2' - 3'$). Spajanjem točaka početka i završetka kondenzacije plina dobivaju se granične linije koje se spajaju u točki K. Parametri kritične točke određuju se eksperimentalno i igraju važnu ulogu u prijevozu tekućih plinova. U tablici 3 dane su osnovne karakteristike plinova koje su potrebne za urkaj i iskrkaj tereta.



Sl. 9.11. Fazni P,V dijagram

Tab. 3. Osnovne karakteristike plinova

Plin	Kemijska formula	Relativna molekularna masa kg/K _{mol}	Veličine pri atmosferskom tlaku			Kritične veličine stanja		
			Vrelište °C	Gustoća kg/m ³	Toplina isparavanja	Temperatura	Tlak bar	Gustoća kg/m ³
Metan	CH ₄	16,04	-161	415	548,5	-82,5	46,28	162
Etan	C ₂ H ₆	28,05	-89	546	540	35	49,6	210
Propan	C ₃ H ₈	44	-42,6	585	448	96,8	42,4	226
Butan	C ₄ H ₁₀	58,12	-0,5	600	403,6	153,2	36,48	-
Etilen	C ₂ H ₄	28,05	-103,5	568	523,3	9,5	51,4	216
Propilen	C ₃ H ₆	42,08	-47	609	456,4	92	46	-
Butadien	C ₄ H ₆	54	-4	651	426	152	52	-
Amonijak	Nh ₃	17	-33,4	680	1369	132	113	235
Vinil klorid	C ₂ H ₃ Cl	-62	-15	970		142		

9.4.2. Načini prijevoza ukapljenih plinova

Problematika prijevoza ukapljenih plinova može se sagledati iz slike 9.12. na kojoj je prikazana ovisnost temperature zasićenja o tlaku.

Ukapljivanjem L.N.G. plina njegov se volumen smanjuje za oko 600 puta što omogućuje da se velike količine plina pohrane u brodske tankove.

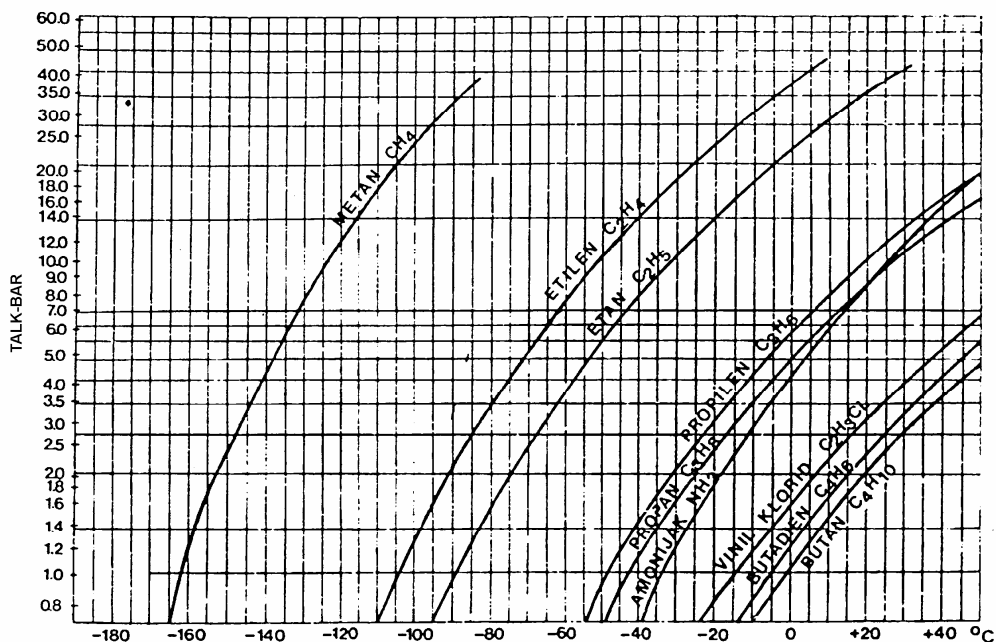
Ukapljeni plinovi se transportiraju na tri načina:

1. pri atmosferskom tlaku ($p=p_0$, $T < T_0$),
2. pri tlaku kondenzacije ($p > p_0$, $T = T_0$),
3. kombiniranim sustavom ($p > p_0$, $T < T_0$),

gdje su p_0 i T_0 tlak i temperatura okoline.

Uskladišteni ukapljeni plin nalazi se na brodu najčešće pri atmosferskom tlaku. Tankovi su cilindrične ili prizmatične izvedbe. Kako je temperatura vrlo niska (-161°C za metan, javlja se problem materijala za tankove te njihova izolacija.

Kod prijevoza plina pri atmosferskom tlaku, tlak ne smije rasti, pa se plin koji nastaje zbog ekspanzije mora ponovo ukapiti ili upotrijebiti za izgaranje u kotlovima ili dizel-motoru (ovisno o vrsti propulzije).

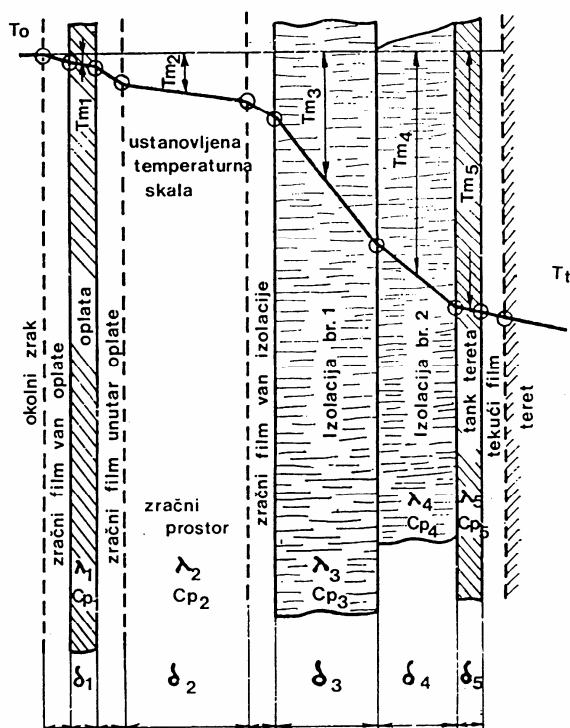


Sl. 9.12. Ovisnost temperature zasićenja o tlaku

Druga metoda koja koristi sustav pod tlakom upotrebljava se za manje tankove tereta. Tankove u ovom slučaju ne treba posebno izolirati, a brodovi su dimenzionirani za prijevoz tereta do maksimalne temperature od 45°C. Iz slike 9.12. vidljivo je da za prijevoz butana u tekućem stanju treba konstruirati tank koji bi izdržao tlak od 4,5 bara. Također je vidljivo zašto kod nekih plinova (npr. etan) otpada ovaj način, jer bi se pojavili konstruktivni zahtjevi za tankove koje bi bilo gotovo nemoguće izvesti. Zbog toga kod većih tankera ovaj način otpada.

Treći način koji se koristi je metoda podhlađenog plina kojom se dozvoljava ograničeno povećanje temperature i tlaka koji se podešavaju putem rashladnih uređaja. Obično se odabire temperatura od 0°C jer je ovo za čelike i najpogodnija temperatura.

9.4.3. Izolacija tankova ukapljenog plina



T_m (°K) - srednja temperatura; δ (m) – debljina; λ (W/m°K) - toplinska vodljivost materijala; C_p (kJ/kg°K) - specifična toplota; α (kJ/m²°K) - koeficijent prijelaza topline; T_o (°K) - temperatura okoline; T_t (°K) - temperatura u tanku tereta

Sl. 9.13. Izvedba vanjske izolacije tanka tereta

Kod gradnje plinskih tankera, koji prevoze pri atmosferskom tlaku, posvećuje se vrlo velika pažnja izolaciji tankova tereta i to iz dva razloga:

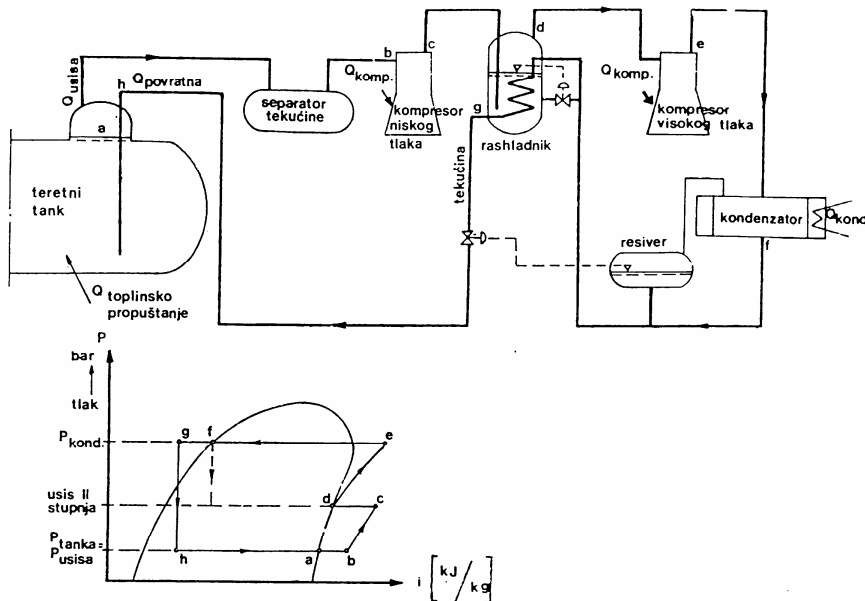
1. Zbog toga da se vanjska oplata broda zaštititi od direktnog doticaja s tekućim teretom (metan -101°C), jer kod toga doticaja obični limovi odmah postaju krhki i pucaju;
2. Potrebno je zaštititi tank od prevelike vanjske temperature što bi u tankovima prouzročilo nagli porast tlaka.

Na slici 9.13. prikazana je jedna od izvedbi vanjske izolacije tanka tereta.

9.4.4. Rashladni sustav na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova

Iz svega prije navedenog očito je da uvijek postoji razlika temperature između vanjske i unutarnje pregrade i da nije moguće spriječiti prodiranja topline u tank tereta. Zbog potrebe održanja konstantne temperature ukapljenog plina i zbog toga da tlak u tanku ne raste, ugrađuju se postrojenja za hlađenje tereta. Kao što je rečeno, najčešći prijevoz ukapljenih plinova je prijevoz pri atmosferskom tlaku. Kako ti tankovi nisu izloženi većim tlakovima, oni imaju oblik brodske strukture čime je dosta dobro iskorišten prostor unutar brodske oplate.

Na slici 9.14. prikazan je rashladni uređaj s dvostupanjskom kompresijom koji se upotrebljava kod prijevoza jedne vrste tereta. S vrha tankova koji se hlade usisavaju se pare plinova (a-b) u kompresor niskog tlaka i na taj se način ujedno održava određeni tlak u tanku. Ispred kompresora niskog tlaka nalazi se separator tekućine. Taj kompresor tlači plin u rashladnik gdje se pare hlade (c-d). Ohlađenu paru siše kompresor visokog tlaka i tlači u kondenzator (d-e). U kondenzatoru se odvija kondenzacija (e-f), a nakon toga se u kondenzatoru tekućina pothlađuje (f-g). Prolaskom kroz termoekspanzijski ventil (g-h) pada tlak kondenzata koji uzroči isparavanje i na taj se način teret ohladi na temperaturu koja vlada u tanku.



Sl. 9.14. Rashladni uređaj s dvostupanjskom kompresijom na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova

10. SUSTAV TRUPA

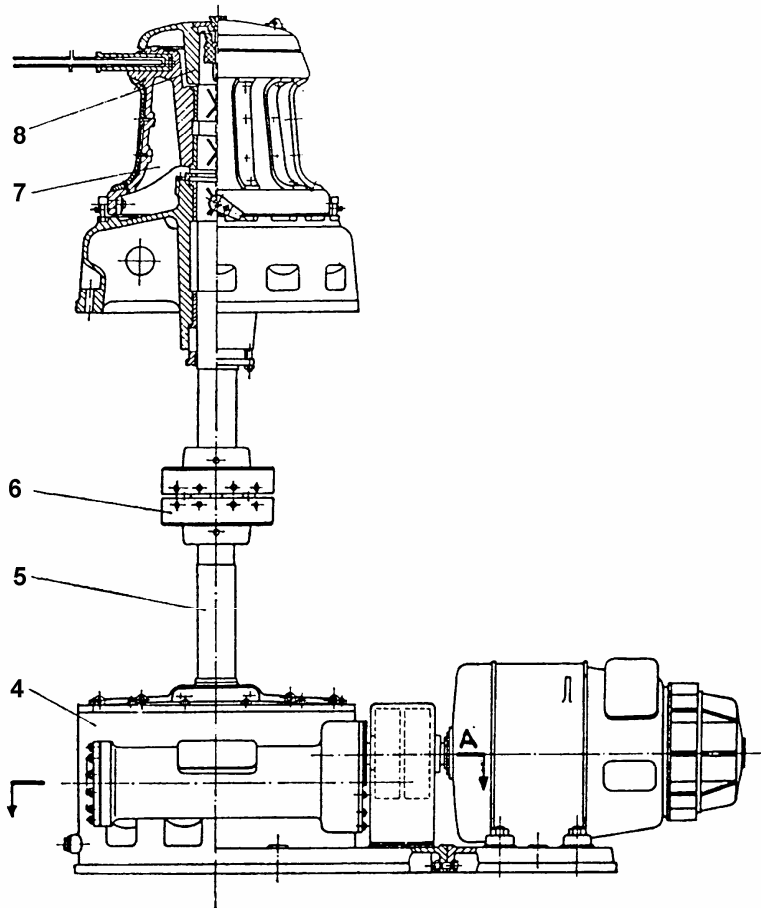
10.1. PRITEZNA VITLA

Pritezna vitla mogu imati horizontalnu ili vertikalnu osovinu prema kojoj se nazivaju horizontalnim, odnosno vertikalnim vitlima. Pritezno vitlo s horizontalnom osovinom nalazi se na palubi broda tako da može posluživati oba boka broda, a zajednički pogonski stroj nalazi se u sredini.

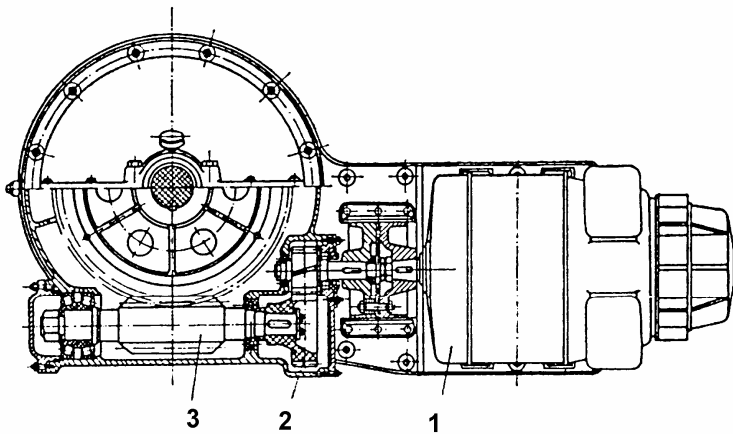
Pritezna vitla s vertikalnom osovinom zauzimaju malo prostora jer se pogonski stroj može smjestiti uz vitlo. Zupčani prijenos između pogonskog stroja vitla, najčešće elektromotora, služi da bi se veliki broj okretaja pogonskog stroja smanjio na maleni broj okretaja bubnja. U tu svrhu ugrađuje se pužni prijenos. Kod vertikalnih priteznih vitalala može se na gornjem kraju bubnja postaviti veliki vijenac u koji se umetnu motke kojima se bubanj, u slučaju nužde, okreće i tako namata uže. U tom slučaju pogonski stroj koji je u kvaru isključuje se preko izvrstive spojke. Pritezna vitla se mogu okretati u oba smjera i moguća je promjena brzine okretanja. Na slici 10.1. prikazano je vertikalno elektromotorom pogonjeno vitlo.

Posebne konstrukcije su automatska pritezna vitla. Na brodovima, kojima se gaz brzo mijenja zbog ukrcaja ili iskrcaja tereta, brzo se povećava i smanjuje razmak između broda i kopna, pa se zbog toga mijenja i pritezna sila. Da pri tome uže ne bi puklo, odnosno da se vez ne bi olabavio, u pritezno vitlo se ugrađuje automatski uređaj za održavanje konstantne pritezne sile.

Načelo rada automatskog priteznog vitla prikazano je na slici 10.2. Zupčanik (3) je vezan na osovinu bubnja vitla (5) preko jakih spiralnih pera. Spiralna pera prenose silu pritezanja i njihovo rastezanje je proporcionalno toj sili. Kad sila pritezanja poraste iznad, ili padne ispod određene vrijednosti, promjena dužine spiralnih pera prenese se sustavom polužja na uklopku (14) koja uključuje pogonski elektromotor vitla (1), pa se pritezno uže odmata ili namata sve dok sila ne poprimi zadanu vrijednost. Pomicanjem kontakta na uklopki mogu se podešavati vrijednosti dozvoljene pritezne sile.

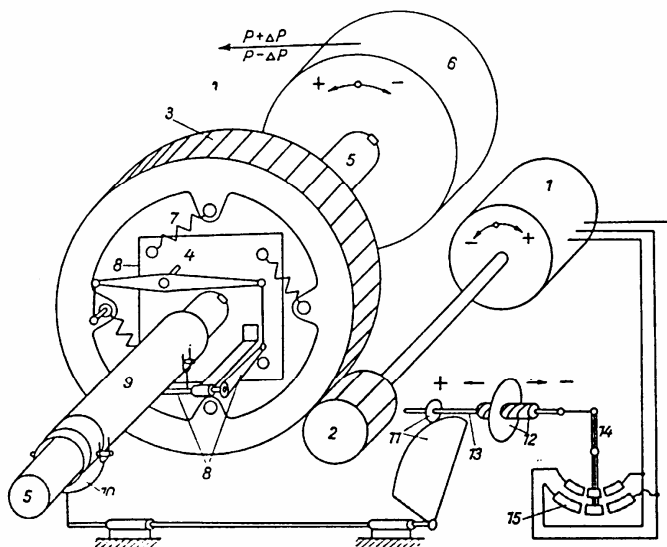


PRESJEK A-A



1-elektromotor, 2-cilindrični zupčanci, 3-pužni prijenos, 4-kućište, 5-osovina, 6-spojka, 7-bubanj, 8-poklopac bubnja

Sl. 10.1. Vertikalno elektromotorom pogonjeno pritezno vitlo

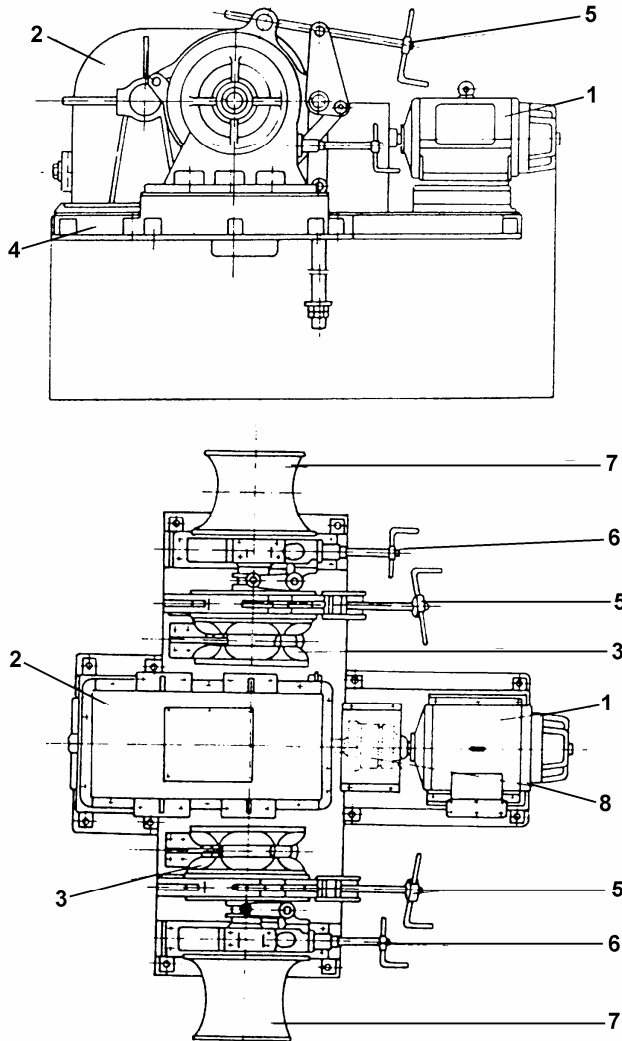


1-elektromotor vitla, 2-mali zupčanik spojen s elektromotorom, 3-veliki zupčanik, 4-ploča uklinjena na osobubnja, 5-osovina bubnja, 6-bubanj za užu, 7-spojno pero podešeno na određenu silu, 8-polužje za prenošenje međusobnog pomaka na ploču (4), 9-tuljak na osovini, 10-polužje za prenošenje gibanja na uklopku, 11-segment (zupčani) i zupčanik, 12-matica i vijak za aksijalno pomicanje, 13-vreteno za pomicanje uklopke u smjeru + ili -, 14-uklopka za elektromotor, 15-kontakti (+sila se povećava, - sila se smanjuje)

Sl. 10.2. Automatsko pritezno vitlo

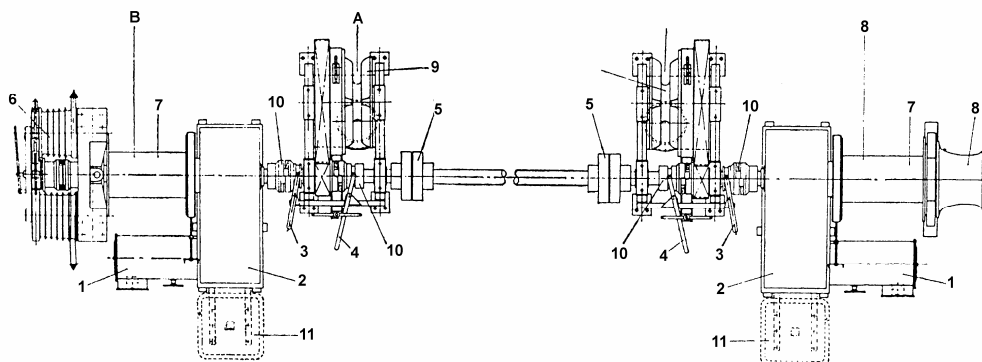
10.2. SIDRENA VITLA

Pogonski stroj sidrenog vitla može biti elektromotor, dizel-motor ili hidraulički motor. On mora biti tako dimenzioniran da izvuče sidro sa 100 metara lanca za 10 minuta. Izvedbe sidrenih vitala mogu biti horizontalne i vertikalne. Vertikalna izvedba koristi se na brodovima kojima je potrebna veća slobodna površina na pramcu (npr. na trajektima s pramcem koji se podiže). Prednost takve izvedbe je mnogo bolje zaštićen pogonski stroj jer se nalazi ispod palube. Na slici 10.3. prikazano je horizontalno sidreno vitlo.



Sl. 10.3. Horizontalno sidreno vitlo

Na stražnjoj strani vitla postavlja se potpuno zatvoreni elektromotor s kojega se prenosi snaga preko sigurnosne spojke prijenosa na glavne osovine s lančanicima i kočnicama. Prijenos je zatvorene izvedbe i sastoji se od pužnog prijenosa i više pari čelnih zupčanika koji se nalaze u uljnoj kupki. Elastična sigurnosna spojka čini spoj između reduktora i elektromotora i štiti mehaničke dijelove vitla od preopterećenja. Lančana kola su smještena na glavnim osovinama i mogu se slobodno oko njih kretati. Zupčaste spojke služe za hvatanje lančanika na osovinama. Na vanjskim krajevima glavnih osovine uklinjeni su pritezni bubnjevi. Pojasne kočnice, koje su postavljene na lančanicima, služe za blokiranje lančanika.



1-elektromotor, 2-kućište prijenosa, 3-ručka za upravljanje spojkom priteznog vitla, 4-ručka za upravljanje spojkom sidrenog vitla, 5-elastična spojka, 6-bubanj za namatanje prvog užeta, 7-bubanj priteznog vitla, 8-pritezna glava, 9-lančanik, 10-kandžasta izvrstiva spojka, 11-upravljačka kutija

Sl. 10.4. Kombinacija sidrenog i priteznog vitla

Na slici 10.4. prikazana je kombinacija sidrenog i priteznog vitla. Obje strane su međusobno spojene s osovinom i elastičnom spojkom. S lijeve strane priteznog vitla nalazi se bubanj za namatanje prvog užeta koje se baca na obalu. Ovakva kombinacija osigurava veliku fleksibilnost pri sidrenju ili pritezanju broda.

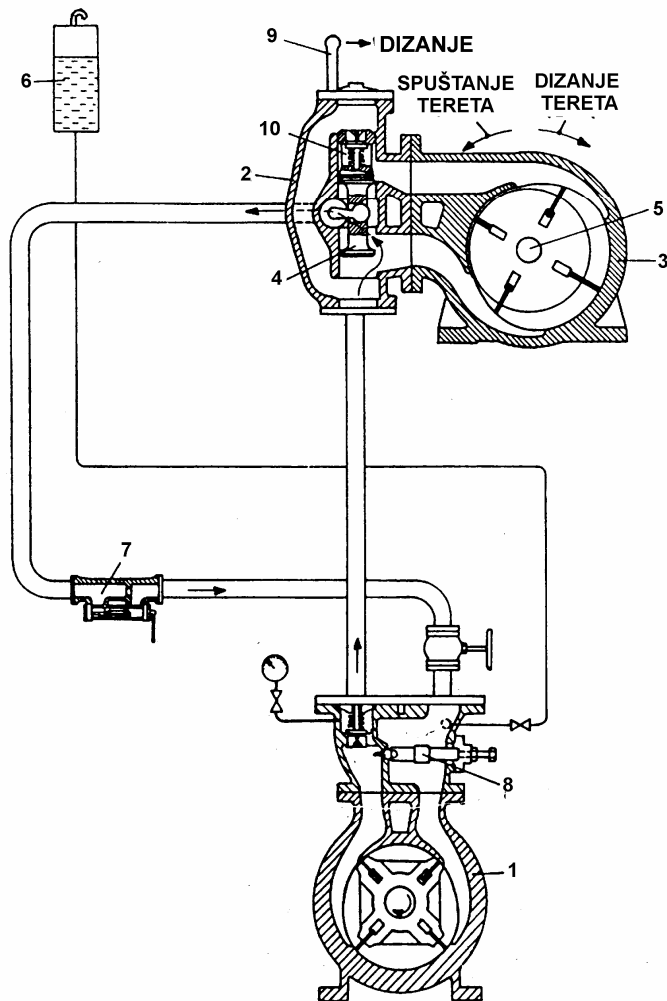
Između sidrenog vitla i lanca nalazi se stoper koji na sebe preuzima silu, koja djeluje između lanca i broda, u slučaju kad je brod usidren. Najjednostavniji oblik stopera je obična kuka s kojom se zahvati lanac. Najveću primjenu našao je stoper s kolom gdje se sidreni lanac za vrijeme dizanja kotrlja preko kola u stoperu i time smanjuje snagu za dizanje sidra i trošenje lanca.

10.3. HIDRAULIČKI UPRAVLJANA VITLA

Ovaj tip vitala sve je češće u uporabi na brodovima. Njima nije potreban pogonski stroj svakog vitla s pripadnim uređajem upravljanja, prijenos, spojka i mjenjač brzine. Kod hidraulički upravljanih vitala jedna pumpa može pogoniti više vitala. Svako vitlo ima izravno prigradeni hidraulički motor.

Prednosti hidrauličkih vitala su:

- smanjenje električne opreme,
- izravno djelovanje i linearna promjena broja okretaja,
- adekvatno podmazivanje (jer se svi dijelovi okreću u ulju),
- jednostavno opsluživanje.



1-cirkulacijska pumpa ulja, 2-ventil upravljanja, 3-hidraulički motor, 4-klizač ili razvodnik, 5-osovina za spoj bubnja vitla, 6-nadoljevni visinski tank, 7-magnetski filter, 8-sigurnosni ventil, 9-ručka za upravljanje, 10-nepovratni ventil

Sl. 10.5. Načelo rada hidrauličkog motora

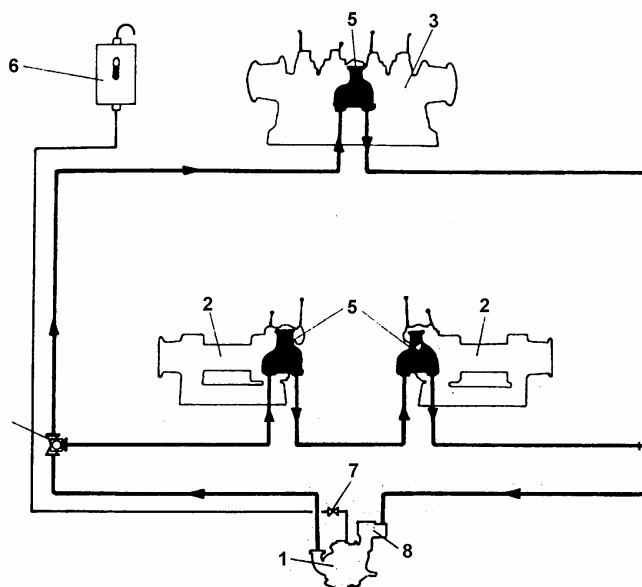
Načelo rada hidrauličkog motora prikazano je na slici 10.5. Od pumpe (1), koja je pogonjena elektromotorom, ulje protječe pod tlakom do ventila upravljanja (2) spojenog na kućištu hidrauličkog motora (3). Smjer protjecanja ulja u ventilu upravljanja usmjerava se klizačem ili razvodnikom (4). S klizačem u položaju prema slici, odnosno s ručkom upravljanja (9) u vertikalnom položaju, teret vitla miruje, a ulje prolazi kroz kontrolni ventil natrag povratnim cjevovodom na usisnu stranu pumpe preko magnetskog filtera (7). Klizač se upravlja ručkom. U slučaju dizanja tereta, ručka se pomiče desno, a klizač ide prema dolje i zatvara povratni vod ulja. Ulje mora proći odozgo kroz

prekotlačni ventil u hidraulički motor. Ulje pod tlakom djeluje na lopatice hidrauličkog motora i okreće ga u smjeru dizanja tereta, jer je bubanj vitla izravno spojen na osovinu (5). S tlačne strane hidrauličkog motora put ulja je otvoren kroz ventil upravljanja natrag na pumpu. Teret koji visi na kuki, ručkom (9) i klizačem (4) u položaju mirovanja, pokušava pokretati motor u smjeru spuštanja. Tlak između krila u hidrauličkom motoru i nepovratnom ventilu (10) podići će se i na taj način spriječiti pokretanje motora u smjeru za spuštanje.

Razlike u količini ulja promjenom temperature nadoknađuju se iz nadoljevanog tanka (6) koji je spojen na usisnu stranu pumpe. Tank se postavlja na oko 4-6- metara iznad najviše točke vitla.

Tlakovi u sustavu vitala su do 30 bara, ako je sustav niskotlačan, ili do 250 bara ako je sustav visokotlačan.

Na slici 10.6. prikazan je raspored vitala na palubi s mogućnošću istodobnog i pojedinačnog rada. Pri takvim rješenjima hidraulički motor ima kućište s dvije dijametralno postavljene komore, dok se rotor u kućištu okreće, te ima osam krila postavljenih u parovima. Jedinica upravljanja, pričvršćena na kućište hidrauličkog motora, sastoji se od dvaju ventila s pripadnom ručkom. Jednim ventilom moguće je regulirati područje brzine hidrauličkog motora, dok se drugim upravlja smjer njegovog okretanja.



1-cirkulacijska pumpa ulja, 2-teretno vitlo, 3-sidreno vitlo, 4-ventil za promjenu smjera ulja, 5-hidraulički motor, 6-nadoljevni visinski tank, 7-zaporni ventil, 8-filtar

Sl. 10.6. Raspored vitala na palubi

10.4. SUSTAV BALASTA

Zadatak sustava balasta je povećanje stabilnosti broda, poboljšanje uvjeta rada brodskog propelera, ili pak trimovanje i poravnavanje broda. Za pražnjenje, odnosno punjenje balasta, predviđene su obično dvije pumpe centrifugalne izvedbe koje imaju na sebi prigraden samousisni uređaj. Kao balastna pumpa, u raznim kombinacijama, može poslužiti protupožarna pumpa, kaljužna pumpa ili rezervna pumpa morske rashladne vode.

Cjevovod balasta izrađen je od pocinčanog čelika, a ako se to posebno zahtijeva, može biti od legure aluminij-mjed.

Unutarnji promjeri ogranaka balastnih cjevovoda za pojedine tankove određuju se prema jednadžbi:

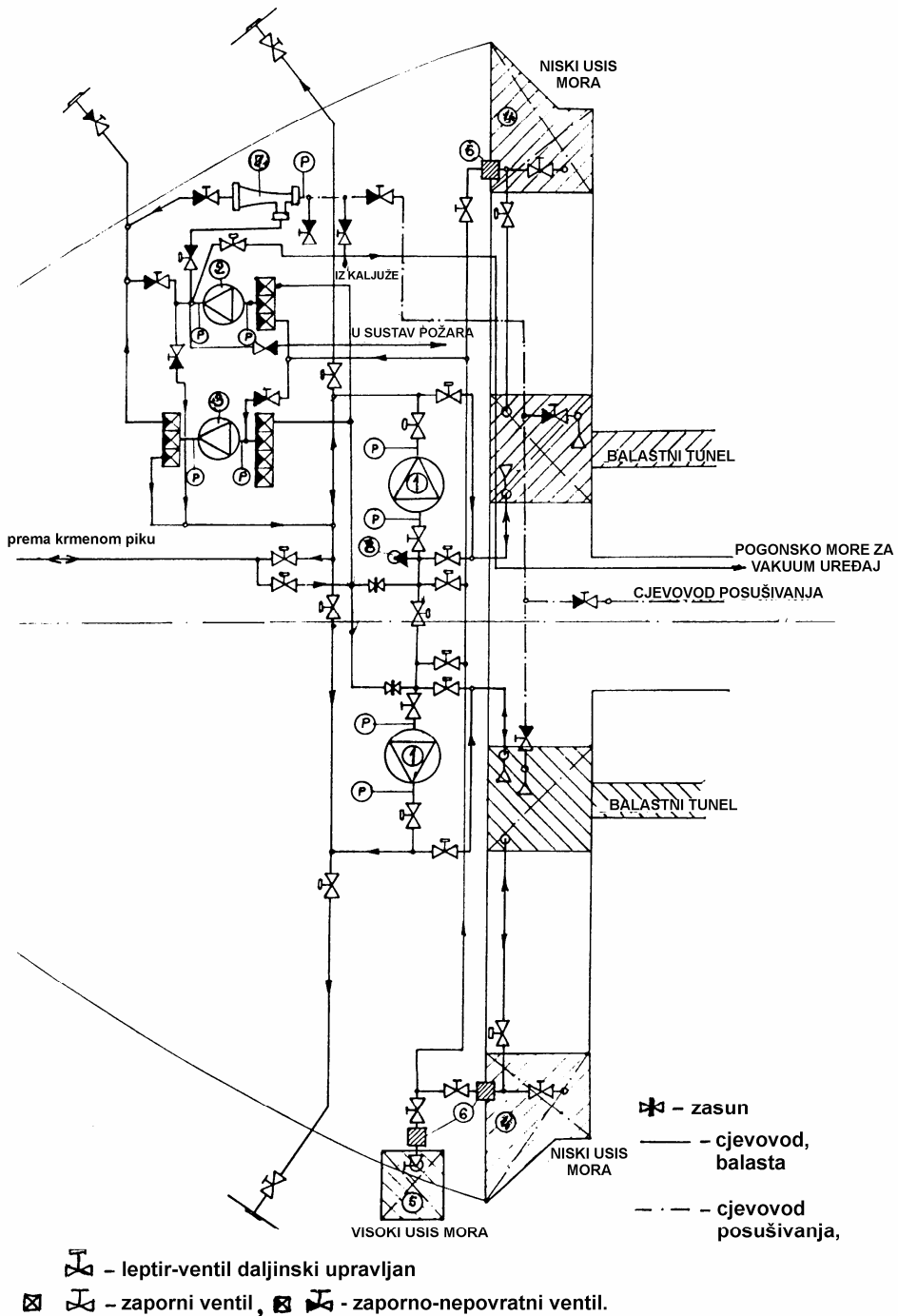
$$d_B = 18 \cdot \sqrt[3]{V} \quad (mm)$$

gdje je d_B unutarnji promjer cijevi izražen u milimetrima, a V zapremina balastnog tanka izražena u kubnim metrima.

Tankovi koji se koriste za balast su tankovi dvodna, bočni tankovi, pikovi, visinski tankovi, a te su za balast predviđena i određena skladišta tereta.

Ventili pojedinih balastnih tankova danas su najčešće daljinski upravljani leptir ventili, kojima se upravlja putem hidrauličkog cilindra, koji je uklinjen na samom ventilu. Daljinsko upravljanje izvodi se iz posebne prostorije u kojoj je smješten pult upravljanja balastom, a taj pult može se smjestiti i u kontrolnoj kabini strojarnice ili u samoj strojarnici. Svaki daljinsko-upravljani ventil ima na sebi mogućnost ručnog otvaranja, bilo putem mehaničkog okretanja vretena, ili priključenjem ručne hidrauličke pumpe na aktuator ventila.

Na slici 10.7. prikazan je tipičan razmještaj balastnih tankova na brodu za prijevoz rasutih tereta. Za balast su predviđeni lijevi i desni tankovi dvodna s time da su ispod skladišta tereta broj 7 smještene dva centralna i dva bočna tanka balasta. Balastu su, također, namijenjeni pramčani i krmni pik, te visinski tankovi u koje se može krcati i žito. Skladišta broj 4 i 6 mogu se koristiti za balast.



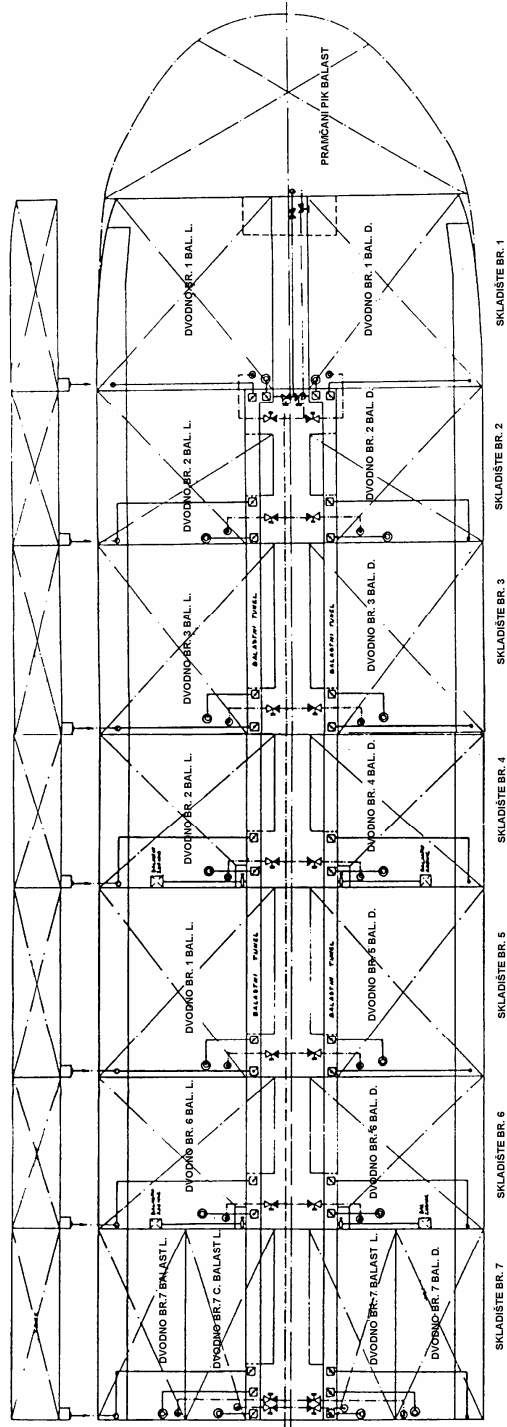
1-balastna pumpa, 2-kaljužno-požarna pumpa, 3-kaljužna pumpa, 4-niski usis mora,
5-visoki usis mora, 6-filtar, 7-ejektor, 8-direktan usis iz strojarnice u nuždi

Sl. 10.8. Sustav balasta u strojarnici

Slika 10.8. prikazuje sustav balasta u strojarnici istog broda, dok je na slici 10.9. prikazan sustav balasta izvan strojarnice. Za balast su predviđene dvije balastne pumpe (1), a preko odgovarajuće kombinacije ventila mogu se koristiti pumpa kaljuže (3) i kaljužno-požarna pumpa (2). Svaki tank, osim, naravno, krmenog pika, spojen je preko odgovarajućeg ogranka cjevovoda i pripadajućeg daljinski-upravljanog ventila s balastnim tunelom. Balastni tunel ima, ustvari, ulogu glavnog balastnog voda i svaki tunel opslužuje jednu stranu balastnih tankova, lijevu ili desnu. Balastni tuneli povezani su sa pumpama balasta i s visokim i niskim usisima. Moguće su kombinacije pražnjenja balasta mimo pumpe kad se pojedini tankovi nalaze iznad vodene linije (visinski tankovi i donekle pikovi), te punjenje balasta u tankove dvodna također slobodnim padom. Prije ukrcaja žita u visinske tankove potrebno je postaviti slijepu prirubnicu koja zatvara zdenac tanka kad se u njemu nalazi žito. Prostor skladišta 4 i 6 puni se balastom tako da se prije punjenja skladišta izvrši određena priprema. Zaštitni poklopac s dvaju balastnih zdenaca (lijevo i desno) premjesti se i učvrsti na perforiranu ploču kaljužnih zdenaca u istom skladištu. Na taj način omogućava se nesmetano punjenje i pražnjenje skladišta balastom, a ujedno je i prostor kaljuže odijeljen tako da voda ne prodire u prostor odakle se crpi kaljuža.

Za posušivanje tankova dvodna i balastnih tunela služi ejektor (7) koji pogonski medij dobiva preko kaljužno-požarne pumpe (2). U tom slučaju pumpa (2) je priključena na kolektor morske vode. Svi tankovi dvodna spojeni su na jednu liniju posušivanja koja prolazi kobličnim tunelom, a posušivanje određenog tanka obavlja se aktiviranjem pripadajućeg daljinski upravljano ventila.

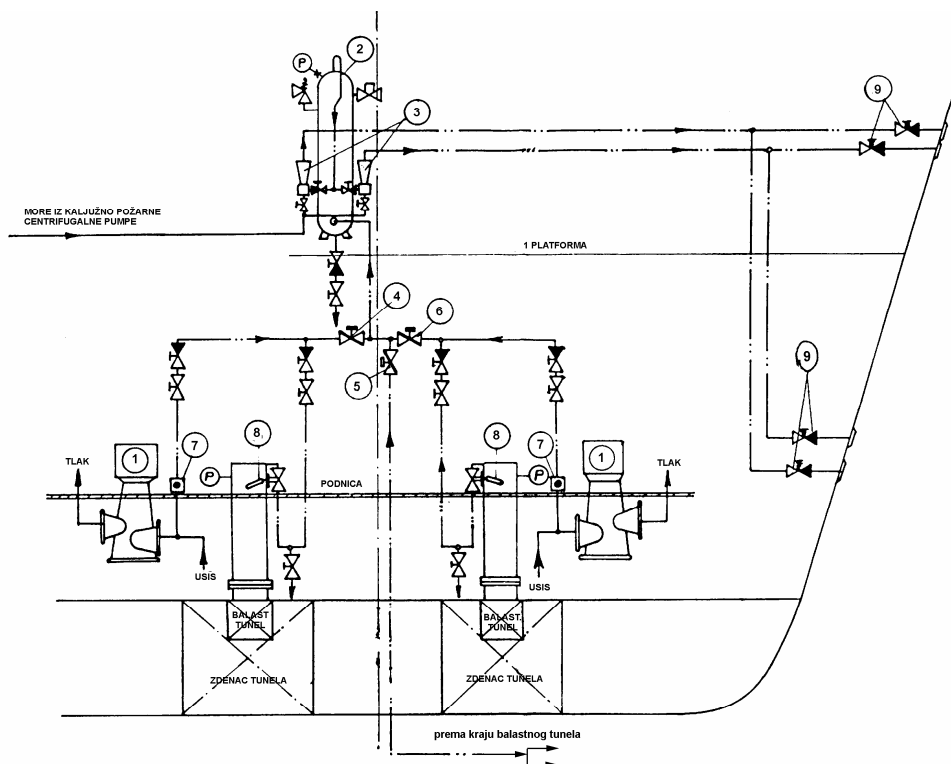
Budući da pumpa balasta (1) ima najveći kapacitet od svih pumpi u strojarnici, na lijevu pumpu je priključen izravan usis kaljuže iz strojarnice u slučaju nužde.



Sl. 10.9. Sustav balasta izvan strojarnice

10.4.1. Uređaj za vakuumiranje

Uređaj za vakuumiranje balastnih tunela i usisnih cijevi balastnih pumpi omogućava brže i lakše pražnjenje balastnih tankova smještenih u dvodnu broda. Tim uređajem se stvara dovoljan vakuum u usisnom cjevovodu pumpe, odnosno balastnim tunelima, i na taj način se potpomaže dotjecanje balasta iz tankova dvodna u pumpe.



1-centrifugalna balastna pumpa, 2-vakuum tank, 3-ejektor, 4-daljinsko upravljani ventil za vakuumiranje balastnog tunela lijevo, 5-daljinsko upravljani ventil za vakuumiranje pramčanog dijela balastnih tunela, 6-daljinsko upravljani ventil za vakuumiranje balastnog tunela desno, 7-ventil s plovkom, 8-plovak ventila, 9-oplatni nepovratni ventil

Sl. 10.10. Uređaj za vakuumiranje

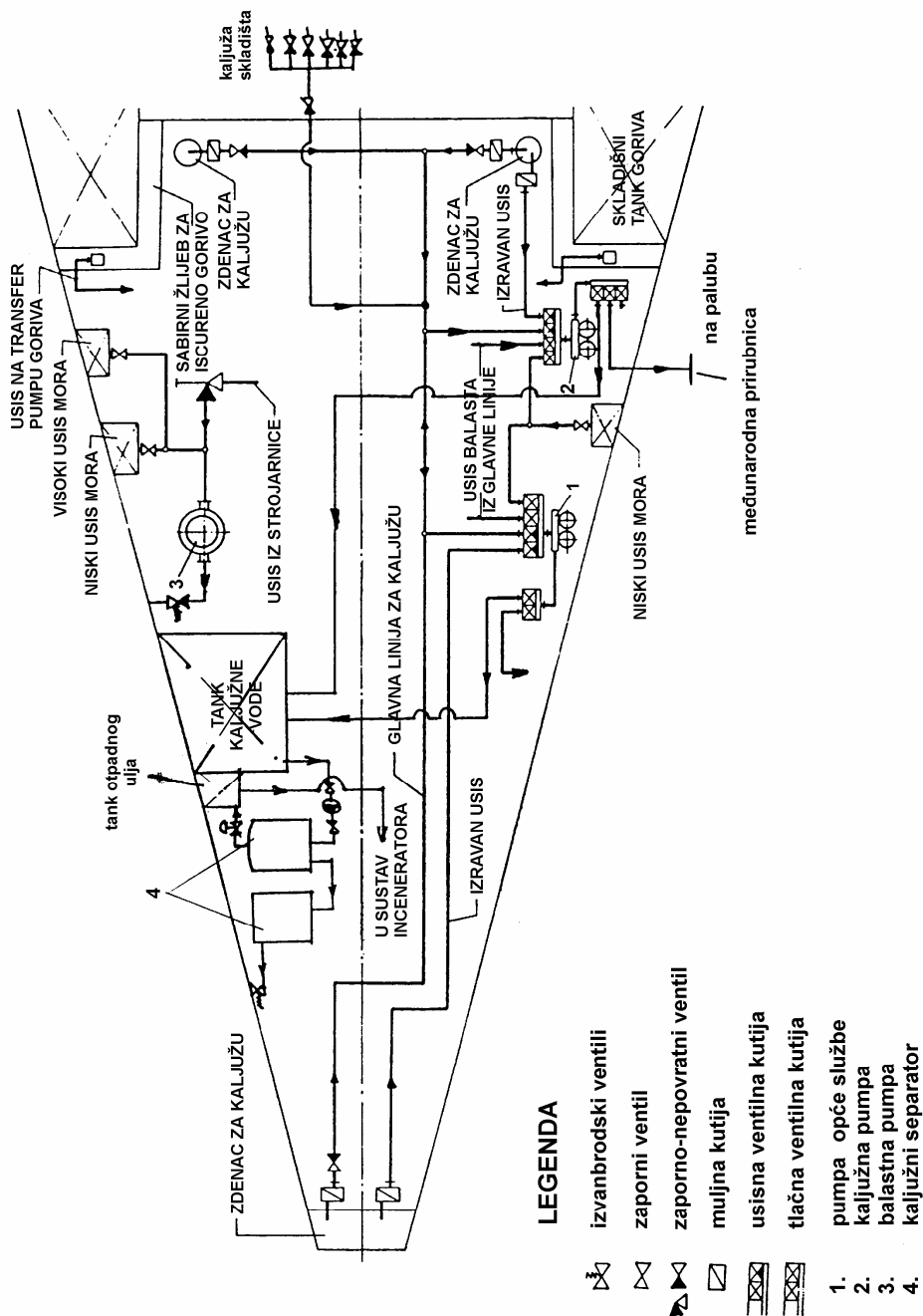
“Pogonsko” more za dva ejektora (3) dobiva se putem kaljužno-požarne centrifugalne pumpe. To more, nakon što prođe kroz ejektor, izlazi izvan broda kroz ventile (9) bilo na višoj ili nižoj razini oplata broda. U vakuum tanku (2) na taj se način stvara potreban vakuum s kojim, preko određene kombinacije daljinski upravljanih ventila, možemo vakuumirati usisne cjevovode pumpi balasta, balastne tunele i balastne zdence tunela. Na početku balastnog tunela u

strojarnici i na kraju, na pramčanoj strani broda, nalaze se na svakom tunelu balasta komore pri čijem se vrhu nalazi ventil s plovkom (8). Zrak se iz balastnog tunela isisava sve dok ne nadođe voda i podigne plovak, te na taj način zatvori ventil na komori. Slični ventili s plovkom (7) smješteni su na usisnim cjevovodima pumpi balasta (1). Uređaj za vakuumiranje prikazan je na slici 10.10.

10.5. SUSTAV KALJUŽE

Kao što je otprije poznato, u strojarnici susrećemo razne sustave s bezbroj cijevi, ventila, zasuna raznih medija (more, voda, nafta, ulje) na kojima su, usprkos svih konstrukcijskih mjera da do toga ne dođe, ipak prisutna razna propuštanja (npr. na šupernicama, pumpi, ventilu i dr.). Sva ta propuštanja dopijevaju u prostor ispod podnica strojarnice koji se zove kaljuža strojarnice. Skladišta tereta također su opremljena prostorima za skupljanje kaljuže koja se eventualno može stvoriti iz nekog hidroskopskog tereta ili propuštanjem poklopaca skladišta. Eventualna oštećenja broskog trupa mogu biti uzrokom prodora morske vode čime može biti ugrožena sigurnost broda i posade. Zbog toga klasifikacijska društva propisuju izvedbu i opseg sustava kaljuže. Pored toga Međunarodna konferencija o sigurnosti tankera i sprječavanju onečišćenosti iz 1978.g., na kojoj je usvojen i izmijenjen Protokol o izmjeni i dopuni MARPOL konvencije, donijele su niz propisa koji se odnose na ispuštanje ulja ili zauljenih tvari s brodova u more.

Pojednostavnjeni sustav kaljuže strojarnice prikazan je na slici 10.11. Kaljuža strojarnice sakuplja se u kaljužnim zdencima. Kaljužna pumpa (2) ili pumpa opće službe (1) služe za pražnjenje kaljuže iz zdenca koja se dalje može voditi do sabirnog tanka kaljužne vode. Postoji i mogućnost ispumpavanja kaljuže u specijalne brodove ili obalne uređaje kojima su opremljene neke luke. Iz tanka kaljužne vode kaljuža se pročišćava, odnosno odvaja se voda od ulja i čista voda izbacuje se izvan broda, dok su ulje i masnoće odvojene i odvedene u tank otpadnog ulja.

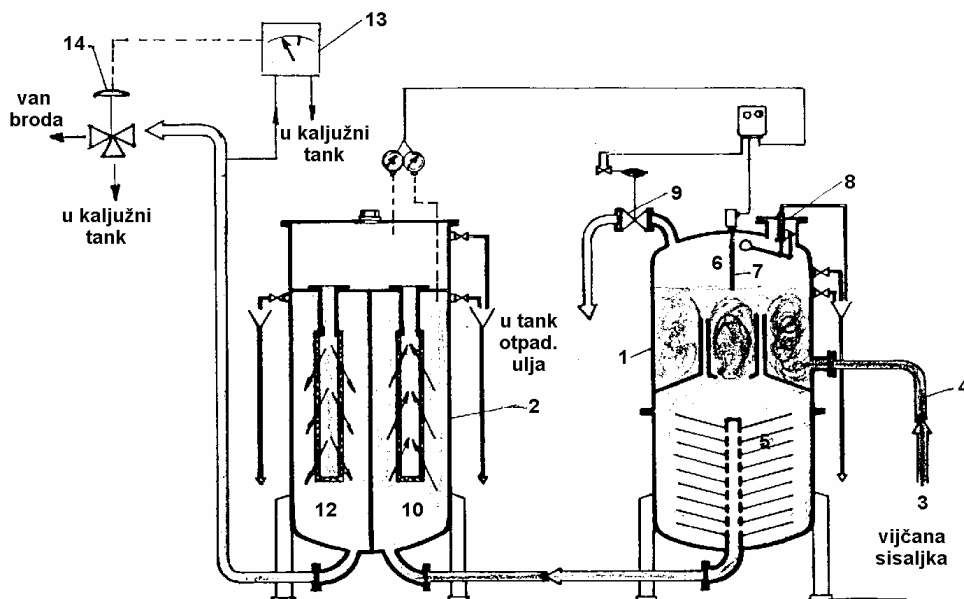


Sl. 10.11. Shema sustava kaljuže

Tu funkciju separiranja kaljuže obavlja kaljužni separator (4). Otpadno ulje odvodi se u sustav inceneratora, uređaja u kojem se spaljuju otpadna ulja, razni talozi preostali od separacije goriva i ulja, a uređaj se koristi i za spaljivanje smeća. Dakle, kombinacija kaljužnog separatora i inceneratora uvjetuje ekološki čist brod. Kao što je iz sheme vidljivo, ne postoji mogućnost direktnog ispumpavanja kaljuže izvan broda. Izuzetak je, naravno, balastna pumpa (3) koja, kao pumpa najvećeg kapaciteta, ima zadatak da u nuždi izbacuje vodu direktno van strojarnice (npr. kod naglog prodora morske vode kroz neko oštećenje). Kaljužne pumpe mogu biti stapne ili centrifugalne sa samousisnim uređajem. Ventilne kutije na sebi imaju nepovratne ventile za sprječavanje naplavlivanja preko usisa mora. Izlazni ventili na oplati broda su nepovratni i lagano opterećeni oprugom da bi se osiguralo vraćanje ventila na sjedište kad pumpa ne radi.

10.5.1. Kaljužni separator

S obzirom na odredbe prije navedenih konvencija, svi brodovi nosivosti 400 BRT i više moraju biti opremljeni uređajem za odvajanjem ulja iz zauljene vode (kaljuže), odnosno separatorsko-filterskim postrojenjem, a brodovi od 10000 BRT i više moraju biti opremljeni s uređajem za kontrolu sadržaja ulja u vanjskom izljevu (izlazu izvan broda) koji ima sposobnost automatskog očitavanja sadržaja ulja i alarmiranja ako taj sadržaj pređe 15 ppm (15 dijelova na milijun).



1-separatorski dio, 2-filtarski dio, 3-vijčana pumpa, 4-dovodna cijev, 5-tanjuri za sepraciju, 6-prostor za ulje, 7-sonda za detekciju ulja, 8-automatski odzračni ventil, 9-automatski ventil za ispuštanje ulja, 10-prvi stupanj filtra, 11-prostor za sakupljanje eventualnog ulja, 12-drugi stupanj filtra, 13-uređaj za kontrolu sadržaja ulja, 14-trosmjerni automatski ventil

Sl. 10.12. Načelo rada kaljužnog separatora

Načelo rada kaljužnog separatora može se shvatiti iz slike 10.12. Vijčana pumpa kaljužnog separatora (3) usisava kaljužu iz sabirnog tanka kaljužne vode i tlači u separatorski dio (1). U separatorskom dijelu zbog posebne konstrukcije stvara se vrtloženje i nagla promjena smjera te dolazi do grubog odvajanja ulja iz vode. Zbog manje gustoće, ulje se penje u gornji prostor (6). Sonda za detekciju ulja (7), koja radi na načelu različitog električnog otpora u ulju i vodi, povezana je preko svoga uređaja s automatskim ventilom za ispuštanje ulja (9).

Kako nivo ulja u prostoru (6) sve više raste, sonda je sve više prekrivena uljem, a manje vodom. U određenom momentu automatski se otvori ventil (9) i ulje biva izbačeno u tank otpadnog ulja. Dok je ventil (9) otvoren, voda se penje sve više oplakujući sondu koja u određenom trenutku daje signal za zatvaranje ventila (9). Ti ciklusi su, naravno, učestaliji ako je prisutnost ulja u kaljužnoj vodi veća i obrnuto. Grubo separirana voda dalje se tlači kroz filtarski dio (2). U prostoru (10) nastavlja se preko filtra odvajanje eventualno zaostalih čestica ulja koje se dalje skupljaju u prostoru (1) iz koga se izvodi ručna drenaža, tj. provjera ima li uopće ima zaostalih čestica. Voda dalje prolazi kroz drugi stupanj filtra (12) do izlazne cijevi iz koje se jedan vrlo mali dio vode uzima kao uzorak i odvodi u uređaj za kontrolu sadržaja ulja. Ukoliko sadržaj ulja u

vodi prijeđe zadanu vrijednost, aktivira se trosmjerni ventil tako da kaljužu vraća natrag u sabirni tank kaljužne vode, dok je izlaz prema oplatnom ventilu izvan broda zatvoren. U isto vrijeme aktivira se i alarm kaljužnog separatora.

10. 6. NEKE ODREDBE MEĐUNARODNIH KONVENCIJA U SVEZI S ISPUŠTANJEM ULJA ILI MJEŠAVINA ULJA S BRODOVA

Svako ispuštanje ulja ili uljnih mješavina s brodova, prema odredbama Pravila 9 Dodatka I MARPOL Protokola, bit će zabranjeno osim ako je udovoljeno sljedećim uvjetima:

Za tanker:

- da se ne nalazi u posebnim (zabranjenim) zonama,
- da se brod nalazi više od 50 NM udaljen od najbliže obale,
- da se brod nalazi u plovidbi,
- da ispuštanje uljnog sadržaja ne premašuje 60 litara po nautičkoj milji,
- da ukupna ispuštena količina ulja ne prelazi 1/15000 dio ukupnog ukrcanog tereta kod postojećih tankera, odnosno 1/30000 dio ukupnog ukrcanog tereta kod novih tankera,
- da je brod opremljen uređajima za upravljanje, kontrolu, pokazivanje i bilježenje količine ispuštenog ulja prema odredbama MARPOL-a.

Za brod od 400 BRT i više koji nije tanker:

- da se ne nalazi u posebnim (zabranjenim) zonama,
- da je brod udaljen od najbliže obale 12 NM,
- da se brod nalazi u plovidbi,
- da je sadržaj ulja u izljevu manji od 100 dijelova na milijun,
- da je brod opremljen uređajima za upravljanje, kontrolu i ispuštanje ulja prema odredbama MARPOL-a.

Posebne zarbanjene zone i područja koja se odnose na “područja Sredozemnog, Baltičkog, Crnog i Crvenog mora i područje zaljeva” ovako su definirana:

- a) Područje Sredozemnog mora znači samo to more zajedno sa zaljevima i morima unutar njega, s granicom između Sredozemnog i

Crnog mora koju tvori paralela 41°N i koje je na zapadu ograničeno Gibraltarskim tjesnacem na meridijanu $5^{\circ} 36' \text{W}$.

- b) Područje Baltičkog mora znači samo Baltičko more s Botnijskim zaljevom, Finskim zaljevom, ulazom u Baltičko more, ograničeno paralelom Skawa u Skagerraku na $57^{\circ}44,8' \text{N}$.
- c) Područje Crnog mora znači samo Crno more s granicom između Sredozemnog i Crnog mora koju čini paralela 41°N .
- d) Područje Crvenog mora znači samo Crveno more uključujući Sueski i Akuepski zaljev, ograničeno na jugu loksodromskom linijom između Ras si Ane ($12^{\circ}08,5' \text{N}$, $43^{\circ}19,6' \text{E}$) i Husn Murada ($12^{\circ}40,4' \text{N}$, $43^{\circ}30,2' \text{E}$).
- e) "Područje zaljeva" znači područje mora smješteno sjeverozapadno od loksodromske linije između Ras al Hadda ($22^{\circ}30' \text{N}$, $59^{\circ}48' \text{E}$) i Ras al Fasteha ($25^{\circ}04' \text{N}$, $61^{\circ} 25' \text{E}$).

LITERATURA

1. Ante Pažanin, Brodski motori, Zagreb, 1987.
2. Brodski motori s unutrašnjim izgaranjem, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1970.
3. Velimir Ozretić, Brodski pomoćni strojevi i uređaji, Rijeka, 1980.
4. I. Crawfords Lloyd's Register of Shipping, London, 1974.
5. Inst. Mar. Eng., Marine Engineering Practice (Part 1 to 10), London, 1981.
6. Orest Fabris, Osnove inženjerske termodinamike, Dubrovnik, 1994.
7. Rules and Regulations for Clasifications of Ships, London, 1985.
8. T. Morton, Steam Engineering Knowledge for Marine Engineers, London, 1974.
9. M. J. Nesle, Tribology handbook, London, 1973.