

# 1. UVOD

## 1.1 UVOD U KOTLOVSKA POSTROJENJA

Osnovni je zadatak kotlovskeg postrojenja transformacija kemijske energije goriva u toplinsku energiju radnog fluida, a u pravilu mu je glavni dio parni kotao – protočni sustav za transformiranje energije. U području izgradnje energetske, toplinske i procesne sustava problemi gradnje parnih kotlova čine zasebno područje.

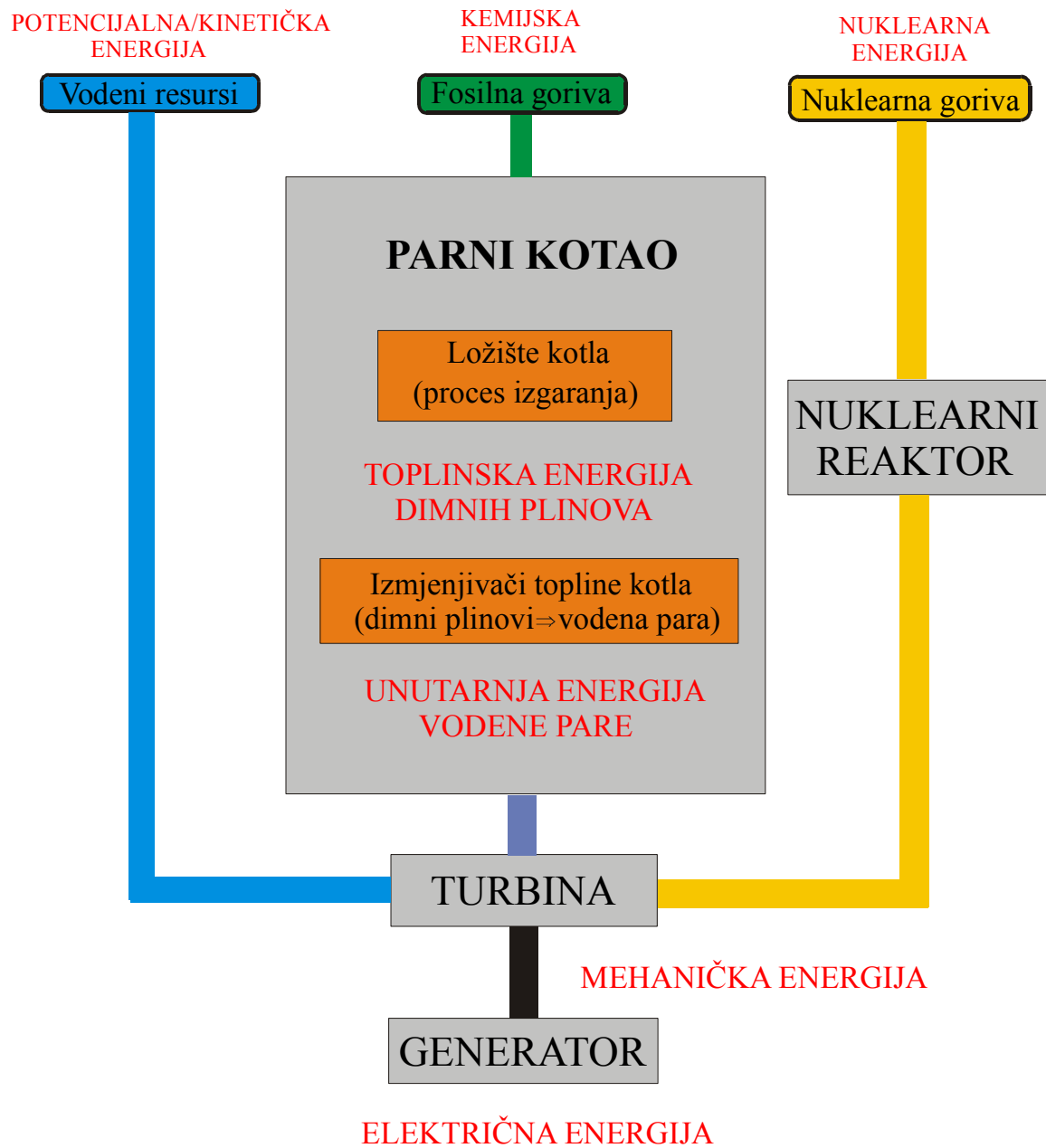
Osnovna namjena parnog kotla je proizvodnja vodene pare tlaka većeg od atmosferskog koja se može koristiti za dobivanje mehaničkog rada, za grijanje i za industrijske procese ili za kombinirano proizvodnje mehaničkog rada i topline.

Na slici 1.1 je prikazano mjesto parnog kotla u pretvorbi energije. Parni kotao je dio kompleksnog energetske, procesne ili toplinske sustava u kojem se kemijska energija goriva pretvara u energiju vodene pare. Vrste energije koje se javljaju u parnim kotlovima prilikom pretvorbe energije su:

- Kemijska energija goriva čija količina ovisi o kemijskom sastavu goriva,
- Toplinska energija dimnih plinova koji nastaju procesom izgaranja,
- Energija vodene pare traženih karakteristika (tlak, temperatura),
- Toplinske energija vode ako se radi o toplovodnim kotlovima.

Nedostatak i nedovršen razvoj teorijskih osnova primijenjenih u gradnji parnih kotlova na području strujanja fluida, izmjene topline, čvrstoće specijalnih materijala, poznavanja izgaranja goriva, te uporaba iskustvenih veličina i podataka za gradnju parnih kotlova umjesto provjerenih teorijskih osnova doveo je do gradnje različitih tipova parnih kotlova, različitih učina i svojstava pare (parametara pare). Brzi razvoj parnih kotlova ima za posljedicu mnoga rješenja koja nisu dokraja ispitana.

## IZVORI ENERGIJE



Slika 1.1 Pretvorbe energije i parni kotao

Spomenuto stanje u gradnji parnih kotlova posljedica je činjenica:

- koriste se različite vrste goriva (kruta, tekuća i plinovita), različitih kemijskih sastava, što stvara teškoće u primjeni jedinstvenih tipova parnih kotlova;
- istraživanja kompleksnih uvjeta i procesa izgaranja raznih vrsta goriva različitih sastava još nisu završena;
- pitanja optimiranja uvjeta strujanja fluida i izmjene topline, te postavljanja optimalnog proračuna veličine ogrjevnih površina treba teorijski i računski riješiti, te sistematizirati za pojedine vrste parnih kotlova;

- zbog izgaranja sve lošijih goriva javljaju se novi, teži uvjeti regulacije i automatizacije;
- zbog povišenja radnih tlakova i temperatura pregrijanja pare upotrebljavaju se kvalitetnije vrste konstrukcijskih čelika (prelazi se od feritnih čelika na austenitne čelike), a potrebno je provesti pogonska ispitivanja toplinskih i mehaničkih svojstava materijala tijekom deset pa i više godina da bi se pouzdano utvrdile dopuštene granice deformacija i naprezanja materijala za izradu cijevi, komora, bubnja i drugih dijelova parnih kotlova;
- pitanja korozije, trošenja i oštećenja kao i pitanja onečišćenja ogrjevnih površina na strani vode i pare, kao i na strani dimnih plinova, postaju sve složenija zbog sve viših radnih tlakova i temperatura i sve šire primjene goriva s velikim postotkom sumpora i mineralnih tvari;
- nova rješenja u razvoju termoenergetskih postrojenja, povezivanje procesa vodena para-plin i upotreba ložišta parnog kotla pod tlakom, stvaraju niz novih pitanja izgaranja, strujanja fluida i prolaza topline.

Novija područja u razvoju energetskih postrojenja, (npr. korištenje nuklearne energije), uvjetuju druge karakteristike gradnje parnih kotlova i otvaraju niz novih problema.

Razvoj gradnje parnih kotlova, zbog povećanja potrebnih količina električne energije i težnje za što ekonomičnijim energetskim postrojenjem, uvjetuje gradnju jedinica velikih učina s istodobnim povećanjem parametara proizvedene vodene pare (tlak, temperatura).

Osnovni parametri parnih kotlova, koje mogu dati uvid u njihov razvoj, a koji se pokušavaju normirati, odnosno uklopiti u određene granice jesu:

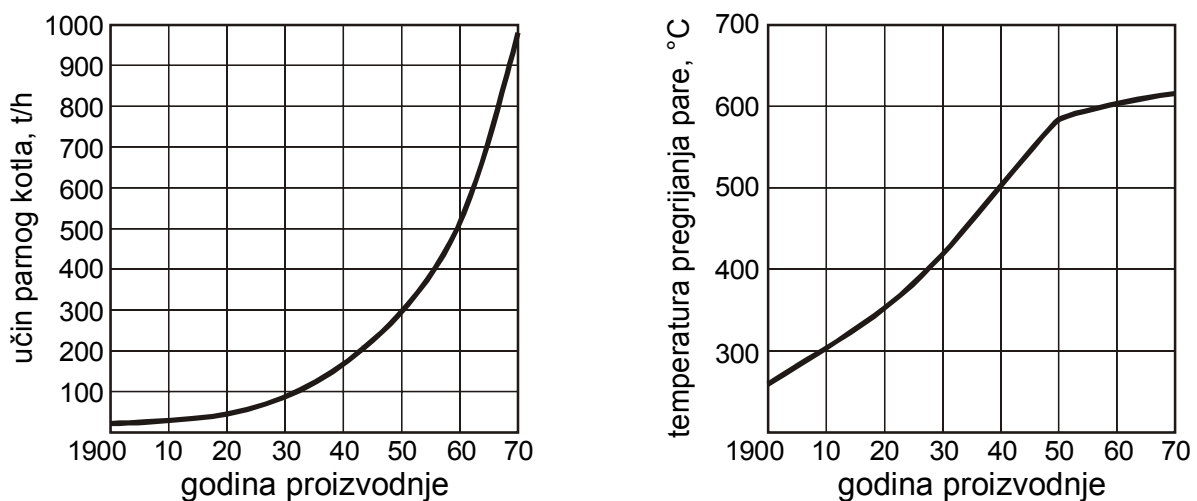
$D$  - učin (kapacitet) parnih kotlova, kg/s

$p$  - tlak u parnom kotlu, Pa

$t_{pr}$  - temperatura pregrijane pare, °C.

$\eta_{gp}$  – korisnost parnog kotla, %

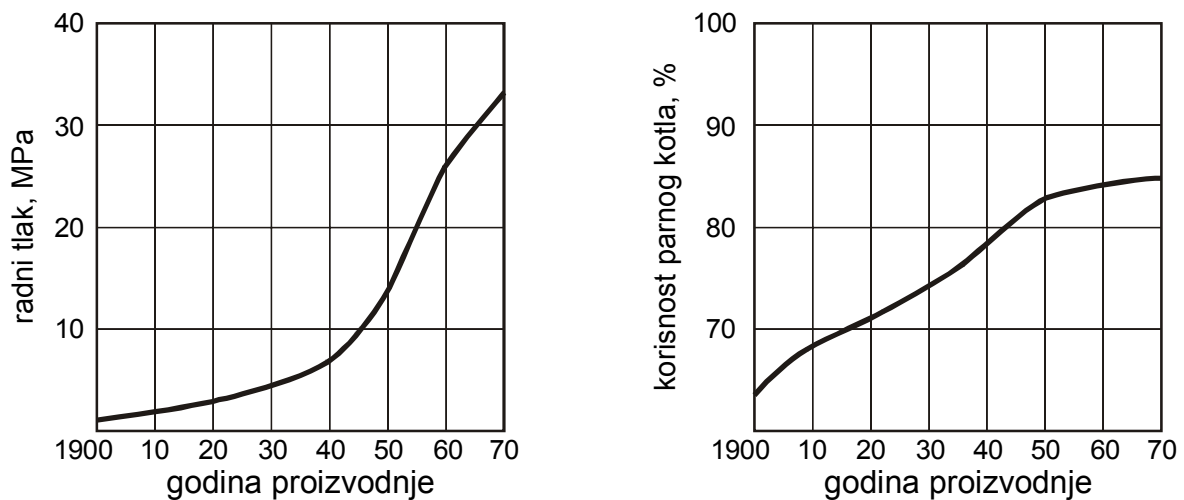
Razvoj parnih kotlova u posljednjih 60 godina prikazan je parametrima na slici 1.2 i 1.3. Treba napomenuti da taj razvoj još nije dovršen.



Slika 1.2 Razvoj parnih kotlova prema osnovnim parametrima od 1900. do 1970.  
(Ladislav Kreuh «GENERATORI PARE»)

Za procjenu razvoja parnih kotlova i vrijednosti energetskih postrojenja mogu poslužiti i slijedeći primjeri:

- Za energetsko postrojenje učina 50 MW bilo je potrebno u 1900. izgraditi 85 parnih kotlova učina po 2,1 kg/s, s ukupnim učinkom ~ 180 kg/s pare parametara: tlak = u parnom kotlu 1,2 MPa, i temperatura pregrijanja pare 275 °C. Utrošak toplinske energije iznosio je 23,4 MJ/kWh (5600kcal/kWh).
- Za isto takvo energetsko postrojenje učina 50 MW mogao se 1960. izgraditi jedan parni kotao od 47 kg/s pare, s tlakom pare ~ 19 MPa i temperature pregrijanja 565 °C. Utrošak toplinske energije iznosio je za takvo postrojenje 10,2 MJ/kWh (2440 kcal/kWh).
- U godini 1900. isključivo se upotrebljavalo gorivo (ugljen) visoke toplinske vrijednosti i sa samo 4-5% balastnih materija (pepeo i voda). Korisnost tadašnjeg parnog kotla s tako vrijednim gorivom iznosila je  $\eta_{gp} \approx 75\%$ . U godinama iza 1960. u parnim kotlovima upotrebljavalo se gorivo (ugljen) i s više od 50% balastnih materija s korisnosti  $\eta_{gp}$  i do 90%.



Slika 1.3 Razvoj parnih kotlova prema osnovnim parametrima od 1900. do 1970. (Ladislav Kreuh «GENERATORI PARE»)

Postoje četiri etape razvoja parnih kotlova s konvencionalnim gorivom i 5. etapa s nuklearnim gorivom (parni kotao prelazi u ovoj etapi u izmjenjivač topline).

1. etapa: početak gradnje parnih kotlova u vrijeme oko 1900: ručno loženje na nepomičnim rešetkama; parni kotlovi s velikim sadržajem vode; za potrebe većih učina grade se nizovi ili baterije parnih kotlova; parametri kotlova iznose: tlak pare ~ 1,5 MPa, temperatura pregrijanja pare do 250 °C.
2. etapa: gorivo izgara u sloju na mehaničkim rešetkama, tj. rešetkama s pogonom za pokretanje. Osnovni predstavnici ove etape jesu parni kotlovi sa sekcijama (sekcionalni) i strmocijevni parni kotlovi; parametri iznose: tlak pare do ~ 4 MPa i temperatura pregrijanja pare do 450 °C; vrijeme gradnje od 1900. do 1925.
3. etapa: u razvoju parnih kotlova osim izgaranja u sloju uvedeno je i izgaranje goriva u prostoru odnosno izgaranje pomoću ugljena samljevena u mlinovima. Zbog potpuno novih uvjeta izgaranja ugljene prašine, ložište je dobilo određeni oblik i niža volumenska opterećenja nego pri izgaranju ugljena u sloju. Parametri pare iznose: tlak

pare do 12,5 MPa i temperatura pregrijanja do 525 °C; vrijeme gradnje od 1925. do 1950.

4. etapa: to je izvedba velikih parnih kotlova u blok-sustavu, tj. parni kotao i turbina čine jednu pogonsku jedinicu; tlakovi se penju i preko kritične točke, tj. i preko 22,1 MPa, a temperatura pregrijanja pare i preko 525 °C; vrijeme gradnje od 1950. nadalje.
5. etapa: upotrebljavaju se potpuno novi izvori toplinske energije. Kao gorivo služe određeni elementi atomske mase preko 230: thorij (Th-232); uran (U-233, U-235, U-238); transuranski elementi; plutonij (Pu-239) itd.; fisijom (cijepanjem) atoma takvih elemenata stvaraju se uz regulirano vođenje procesa goleme količine toplinske energije. Parni kotao u ovom slučaju, tj. u nuklearnim elektranama postaje samo izmjenjivač topline na koji se posredno prenosi toplina dobivena u reaktoru. Nuklearni reaktor sa sustavom izmjenjivača dolazi na mjesto klasičnog oblika parnih kotlova i čini primarni krug nuklearne elektrane, dok ostali dio nuklearnih termo postrojenja kao turbina, cjevovodi i ostalo, ostaje u osnovi nepromijenjen.

Zbog širokog područja koje obuhvaća gradnja parnog kotla nastoji se sistematizirati i normatizirati osnovne parametre parnih kotlova.

Osnovna standardizacija obuhvaća propise o tlaku, učinku i temperaturi pregrijanja parnih kotlova.

1. Tlakovi u parnom kotlu su:

$p_d$ , Pa, - dopušteni, koncesijski tlak; to je najviši tlak pri kojem je dopušteno da parni kotao radi. Na taj tlak djeluje sigurnosni ventil, odnosno sigurnosni ventil se automatski otvara kad je dopušteni tlak prekoračen. On je osnova za proračun čvrstoće stijenci cijevi, komora, bubnja, itd.;

$p_r$ , Pa, - radni, pogonski ili nazivni tlak (tlak u bubnju); najčešće je to tlak 5% ispod dopuštene tlaka pa se pri manjim oscilacijama tlaka ne otvara sigurnosni ventil. Veličina radnog tlaka je osnova za proračun cjevovoda izvan parnih kotlova u sklopu termoenergetskog postrojenja;

$p_i$ , Pa, - izlazni tlak iz pregrijača pare; to je stvarni tlak koji se mjeri na izlazu iz parnih kotlova. Taj je tlak pogonski ili radni umanjeno za veličinu pada tlaka zbog trenja u sustavu pregrijača pare i spojnog cjevovoda u sklopu parnih kotlova. Izlazni tlak je najčešće 10 do 15% manji od dopuštenog tlaka;

2. Temperatura pregrijanja pare  $t_{pr}$  danas iznosi 540 °C a izuzetno je utvrđena sa 675 °C. Ograničena je čvrstoćom i sastavom materijala za gradnju pregrijača pare. Temperature pregrijanja mjere se na izlazu iz pregrijača i odnose se, prema propisima, na maksimalni trajni učin parnih kotlova. Ako nisu utvrđeni specijalni uvjeti, temperatura pregrijanja pare mora biti ostvarena i pri normalnom učinku parnih kotlova.

3. Učin parnih kotlova (kapacitet) određen je slijedećim veličinama:

$D_N$ , kg/s, - normalni učin (proizvodnja, kapacitet); služi kao osnova i mjerodavan je za projektiranje cijelog postrojenja;

$D_{max}$ , kg/s, - maksimalni trajni učin; služi proizvođaču parnih kotlova za proračun veličina ogrjevnih površina i ostalih elemenata pojedinih dijelova kotla;

$D_{max30'}$ , kg/s, - maksimalni učin (proizvodnja ili kapacitet) u 30 minuta;

$D_{min}$ , kg/s, - tehnički minimalni učin.

Kod većih jedinica parnih kotlova upotrebljava se kao karakteristična veličina »maksimalni trenutni učin«, koji je za oko 10% veći od maksimalnog trajnog učina ali je dopušteno trajanje takvog učina samo 30 minuta.

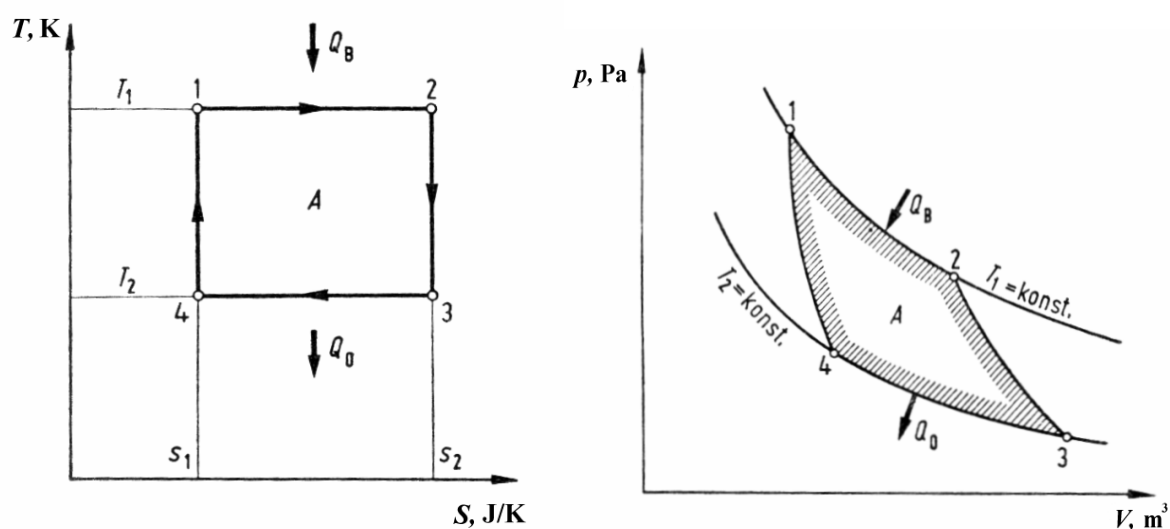
## 1.2 CILJI I ZADACI KOTLOVSKOG POSTROJENJA

U kotlovskom postrojenju se nastoji postići što veća iskoristivost pri pretvorbi energije (toplinske u mehaničku). Proces dobivanja rada može se najbolje prikazati u toplinskim kružnim procesima.

Toplinski kružni proces je niz promjena stanja radnog medija. Odvija se u dijelovima termoenergetskog postrojenja: generatoru pare – turbini – kondenzatoru.

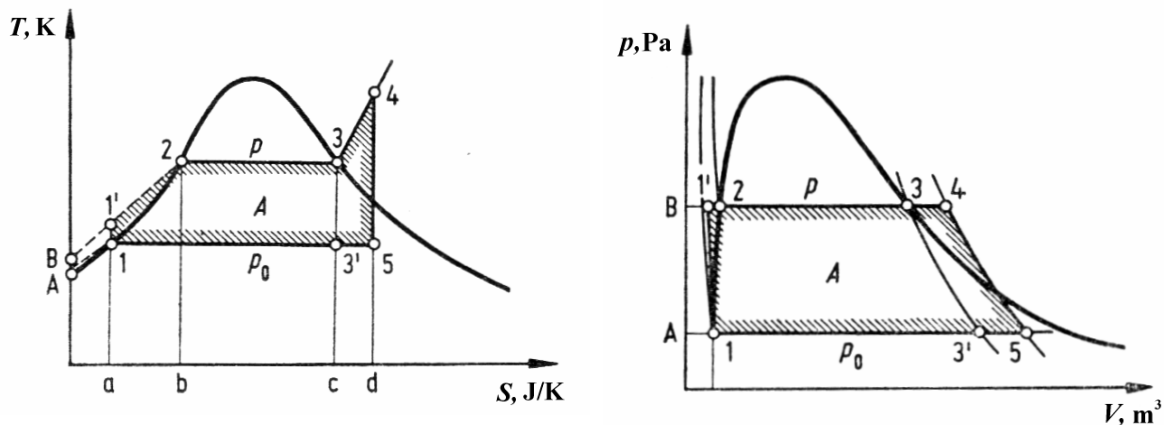
Promjene stanja medija odnosno pretvorba energije odvijaju se u teorijskim uvjetima prema Carnotovu procesu između dvije izotermne i dvije adijabatske promjene stanja prema sl.1.4. Toplinska je korisnost prema tom procesu:

$$\eta_{tc} = \frac{Q_B - Q_0}{Q_B} \cdot 100 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$



Slika 1.5 Carnotov kružni proces u dijagramu  $T-s$  i  $p-v$

Prikazom Carnotova kružnog procesa utvrđuje se optimalna toplinska korisnost odnosno minimalni utrošak topline u odnosu prema dobivenom radu  $W$ . Stvarna toplinska korisnost kružnog procesa pretvorbe toplinske energije u rad je znatno manja od Carnotova procesa i dana je u prikazu po Clausius – Rankinovu dijagramu prema sl.1.6

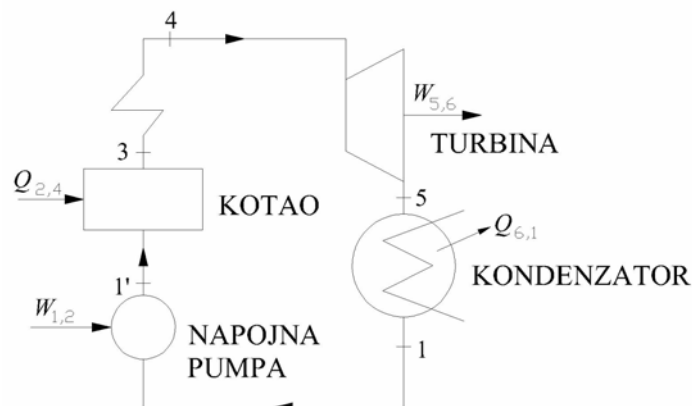


Slika 1.6 Clausius– Rankinov proces

Carnotov kružni proces tehnički je nemoguće ostvariti zbog:

- tehničke nesavršenosti dijelova postrojenja odnosno svojstava i izvedbenih karakteristika parnih kotlova, turbine itd. ;
- određenih fizikalnih karakteristika medija s kojima se proces odvija.

Teorijski proces u termoenergetskim postrojenjima je Clausius – Rankinov proces prema kojem se odvijaju promjene stanja medija prilagođene uvjetima rada pojedinih dijelova postrojenja (parni kotao, parna turbina) i prilagođena svojstvima radnih medija. Clausius – Rankinov proces odvija se između dvije izobarne i dvije adijabatske promjene stanja. Prema slici odvija se Clausius – Rankinov proces sa slijedećim promjenama stanja medija u generatoru pare i parnoj turbini:



Promjena stanja 1 – 2 – dovođenje topline za zagrijavanje vode

Promjena stanja 2 – 3 – dovođenje topline isparenja

Promjena stanja 3 – 4 – dovođenje topline pregrijanja

Promjena stanja 3 – 3' – adijabatska ekspanzija zasićene pare

Promjena stanja 4 – 5 – adijabatska ekspanzija pregrijane pare

Promjena stanja 3' – 1 – odvođenje topline kondenzacije pri zasićenoj pari

Promjena stanja 5 – 1 – odvođenje topline kondenzacije pri pregrijanoj pari.

Toplinska je korisnost parnog Clausius – Rankinova procesa za zasićenu paru:

$$\eta_{\text{tR}} = \frac{A_{1233'1}}{A_{123\text{ca}1}} \cdot 100, \%$$

za pregrijanu paru:

$$\eta_{\text{tR}} = \frac{A_{123451}}{A_{1234\text{da}1}} \cdot 100, \%$$

$$\eta_{\text{tR}} < \eta_{\text{tC}}$$

Načini na koje se tehnički mogu povećati toplinska korisnost  $\eta_t$  su:

- podizanje radnog tlaka i temperature pregrijanja svježe pare u parnom kotlu i sniženje tlaka izlazne pare na turbini (kondenzacijski tlak),
- uvođenje međupregrijane pare u parnom kotlu,
- regenerativno predgrijanje napojne vode.

Navedene mjere neposredno utječu na utvrđivanje osnovnih karakteristika parnog kotla te proces pretvorbe energije u termoenergetskim postrojenjima izravno određuje karakteristike parnog kotla.

### 1.3 PODJELA KOTLOVSKIH POSTROJENJA (PARNIH KOTLOVA)

U razvoju parnih kotlova i strojeva energetske postrojenja postignut je velik napredak osobito posljednjih 50 godina. U teorijskim rješenjima, konstruktivnom izvođenju i usvajanju novih materijala, upotrebljavani su viši tlakovi proizvedene pare i više temperature pregrijanja pare.

Osnovne karakteristike razvoja parnih kotlova usmjerene su na upotrebu goriva male toplinske vrijednosti (otpadni ugljeni u rudnicima) kao i na ostala otpadna goriva. U toplinskim proračunima i u projektno-konstruktivnim rješenjima razvoj parnih kotlova je usmjeren na smanjenje pasivnog dijela parnih kotlova (ozid, izolacija, čelična konstrukcija itd.), i na relativno povećanje aktivnog dijela parnih kotlova (ogrjevne površine). Činioci koji uvjetuju različitost u gradnji, odnosno u određivanju tipova i izvedbi parnih kotlova, jesu:

- učin parnih kotlova,
- temperatura pregrijanja pare,
- prostorni smještajni zahtjevi,
- zahtjevi higijensko-tehničkih propisa (čišćenje dimnih plinova),
- zahtjevi regulacije i automatike parnih kotlova,
- zahtjevi zaštite okoline itd.

Razdioba parnih kotlova na određene tipove može se provesti s obzirom na:



- namjenu parnih kotlova - na stabilne i brodske parne kotlove,
- optok ili cirkulaciju vode i pare (optočni ciklus) u parnim kotlovima,
- izvedbu ložišta, tj. način izgaranja goriva.

Brodski parni kotlovi moraju zadovoljiti velik broj specifičnih pogonskih uvjeta koji ih čine različitim od stabilnih parnih kotlova.

S obzirom na ciklus strujanja voda-para, odnosno cirkulacija vode i pare generatori se mogu podijeliti na tri osnovne skupine:

- Parni kotlovi s prirodnim optocima ili cirkulacijom vode - vodna i parna faza odvajaju se u isparivaču, u spojnim cjevovodima i u bubnju parnih kotlova.
- Parni kotlovi s prisilnim optokom (pomoću cirkulacijske pumpe ugrađene između bubnja i isparivača) - ovaj tip parnog kotla poznat je pod imenom La Mont.
- Parni kotlovi bez bubnja s prisilnim protjecanjem vode i pare u isparivačkim ogrjevnim površinama - u ovu skupinu kotlova uključeni su Benson, Sulzer, Ramzin i još neki tipovi.

Ložišta parnih kotlova s obzirom na vrstu goriva, odnosno na način izgaranja goriva, mogu se podijeliti na slijedeće osnovne tipove:

- ložišta za izgaranje krutih goriva s raznim vrstama nepomičnih rešetki ili manjih rešetki na mehanički pogon;
- ložišta za izgaranje krutog goriva u sloju s mehaničkom puzajućom rešetkom s raspodjelom zraka za izgaranje po pojedinim dijelovima rešetke (zonama rešetke) ili sa stupnjevanom rešetkom s reguliranim dovodom zraka po pojedinim redovima rešetke;
- ložišta za izgaranje raznih vrsta otpadaka (industrijski ili gradski otpaci) s raznim vrstama rešetki (ovaj tip ložišta razvio se u posljednje vrijeme u industrijskim i gradskim centrima zbog izgaranja vrlo velikih količina raznih otpadaka);
- ložišta za izgaranje krutih goriva u prostoru, odnosno ložišta za izgaranje ugljene prašine (mlinsko loženje);
- ložišta za izgaranje tekućih goriva s velikim brojem tipova gorionika;
- ložišta za izgaranje plinovitih goriva s različitim tipovima gorionika;
- ložišta za istodobno izgaranje više vrsta goriva s odvojenim gorionicima za svaku vrstu goriva i kombiniranim gorionicima za više vrsta goriva (plinsko-uljni gorionici);
- ložišta za korištenje otpadne topline, npr. korištenje topline plinova iz visokih peći, konvertera itd.

Navedena razdioba na određene tipove parnih kotlova nije jedina i nije konačna, jer i mnogi drugi činioci uvjetuju razne izvedbe parnih kotlova.

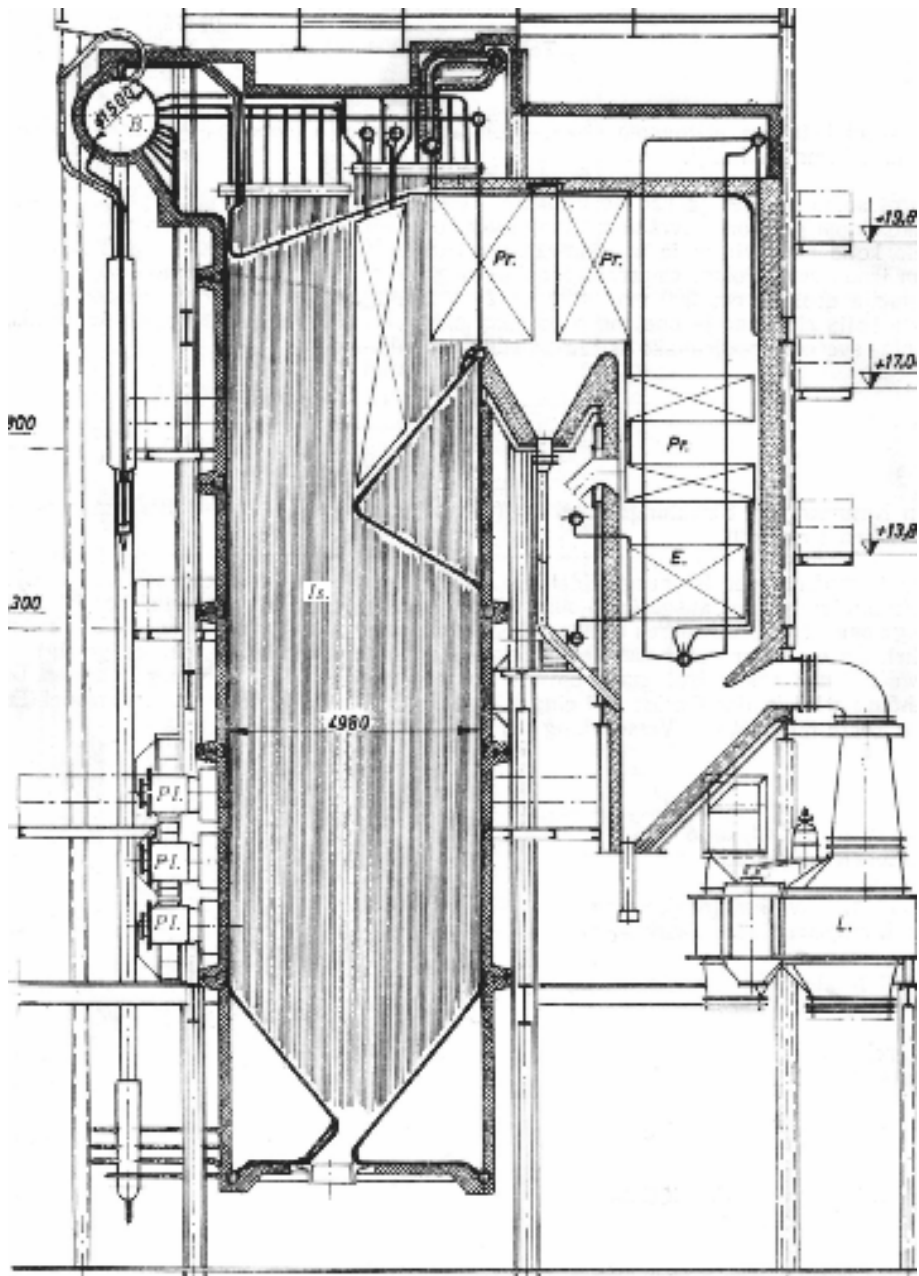
U tvornici "Đuro Đaković" Termoenergetska postrojenja, d.o.o. danas se proizvode: blok kotlovi, kotlovi za elektrane, integral kotlovi, kutnocijevni kotlovi, kotlovi za spaljivanje smeća, kotlovi utilizatori itd.

Jedan od primjera kotlovskog postrojenja proizvedenog u "Đuro Đaković"- TEP je TE "Plomin II" na slici 1.7.



*Slika 1.7 Termoelektrana "Plomin II"*

U termoelektrani "Plomin II" se nalazi kotao sa prirodnom cirkulacijom i ložen je sa ugljenom prašinom. Na slici 1.8 je prikazan primjer takvog kotla.



- |                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Is. – isparivači | Pr. – pregrijač pare |
| B. – bubanj      | E. – ekonomajzer     |
| Pl. – plamenik   | L. – zagrijač zraka  |

*Slika 1.8 Ozračeni parni kotao("Đuro Đaković"- TEP d.o.o.)*

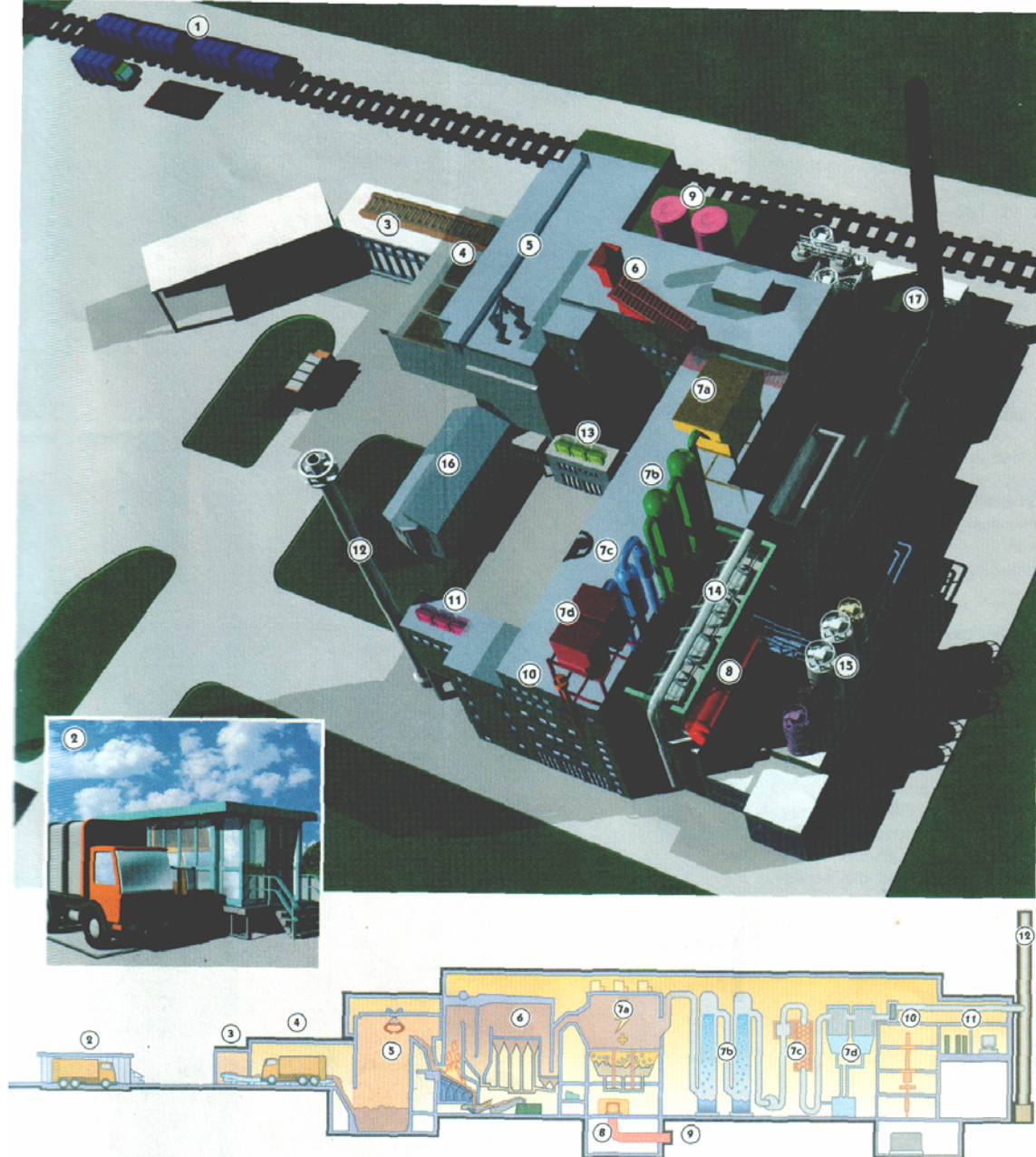
U posljednje vrijeme sve se manje proizvode kotlovska postrojenja koje kao gorivo koriste ugljen(TE "Plomin II"), a sve se više prave kotlovi - spalionice smeća.

Jedan od takvih postrojenja je prikazano na slici 1.9.

1-dovoz smeća željeznicom  
2-vaganje/kontrola smeća

7b-pranje sa vodom  
7c-katalizator

13-komadno mjesto  
14-spremnik za



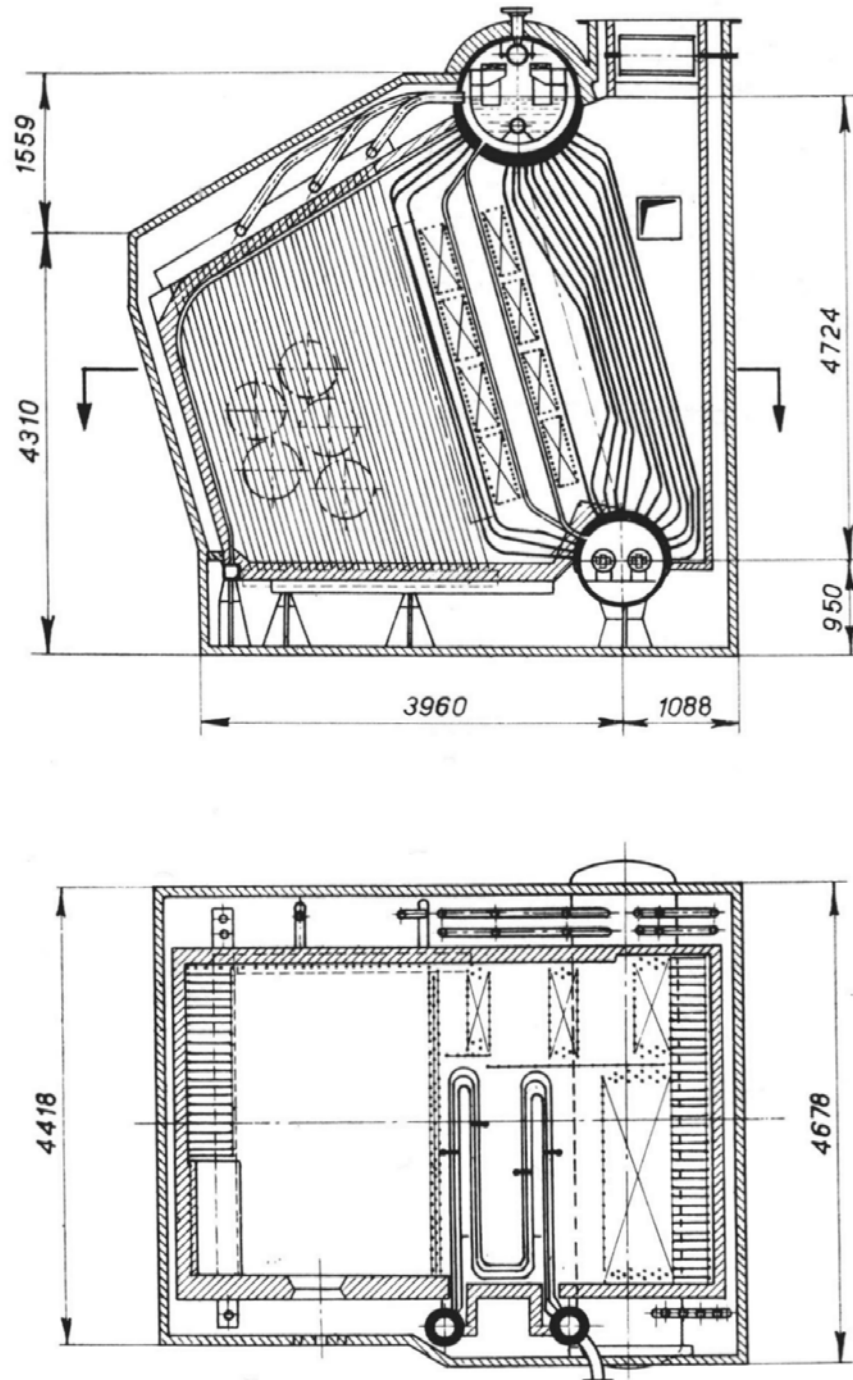
3-razdvajanje smeća  
4-odvodnja smeća  
5-spremište smeća  
6-kotlovnica  
7-prostor za pročišćavanje dimnih plinova  
7a-elektrofilter

7d-sakupljač letećih čestica  
8-prostor sa parnom turbinom  
9-izmjenjivačka stanica topline  
10-postrojenje za pripremu solne kiseline  
11-laboratoriji  
12-dimnjak

sušenje zraka  
15-silos i odlagalište  
otpadnih čestica  
16-društvene  
prostorije  
17-staro postrojenje

Slika 1.9 Postrojenje za spaljivanje smeća

Brodski kotao tipa Integral koristi se za proizvodnju zasićene pare i ugrađuje se na brodovima raznih tipova, a najčešće na motorne tankere. Para iz ovih kotlova koristi se za razne namjene na brodu, a na tankerima i za grijanje tereta. Takav kotao je prikazan na slici 1.10.



Slika 1.10 Brodski kotao integral ("Đuro Đaković"- TEP d.o.o.)

## 1.4 DIJELOVI KOTLOVSKOG POSTROJENJA(PARNOG KOTLA)

Parni kotlovi sastoje se po pravilu od slijedećih osnovnih skupina dijelova i opreme:

- ložišta kao prostori za izgaranje goriva s potrebnom opremom za pretvorbu kemijske energije goriva u toplinsku energiju dimnih plinova;
- sustav izmjenjivača topline (tlačni dio parnog kotla i zagrijač zraka), odnosno ogrjevne površine parnog kotla na kojima se toplinska energija dimnih plinova prenosi na vodu i vodenu paru; ovi su izmjenjivači topline: zagrijači vode, isparivači vode, pregrijači pare i zagrijači zraka;
- pomoćni uređaji u parnom kotlu: armatura parnih kotlova (fina i gruba), nosiva čelična konstrukcija, ozid i izolacija
- postrojenje ili uređaji izvan parnog kotla: postrojenje ili uređaji za dovod goriva do parnog kotla, postrojenje ili uređaji za pripremu vode, postrojenje ili uređaj i za napajanje vodom, postrojenje ili uređaji za opskrbu zrakom, postrojenje ili uređaji za odvod i čišćenje dimnih plinova, postrojenje ili uređaji za odvod pepela i troske, postrojenje ili uređaji instrumentacije, regulacije i automatike.

### 1.4.1 Ložišta, dovod goriva i zraka, odvod dimnih plinova

U ložištu se kemijska energija goriva pretvara u toplinsku energiju dimnih plinova. Veličina i oblik ložišta i ostale karakteristike ovise u najvećoj mjeri o upotrijebljenom gorivu, o veličini jedinice, o dovodu goriva i zraka za izgaranje itd. Osnovni zadatak ložišta jest osiguranje pravilnog i potpunog izgaranja goriva u optimalnim uvjetima, tj. s minimalnim pretičkom zraka. Proces izgaranja goriva mora završiti u ložištu. Dimni plinovi prenose svoju toplinsku energiju strujanjem na ogrjevnim površinama izmjenjivača topline. Toplinska energija dimnih plinova predaje se u uobičajenih izvedbi prema slijedećem redoslijedu; cijevni sustav ogrjevnih površina isparivača vode, pregrijača pare, zagrijača ili predisparivača vode i ogrjevne površine zagrijača zraka.

Redoslijed smještaja ogrjevnih površina može biti i drugačiji, a ovisi o toplinskom proračunu jedinice. Dimni plinovi struje dimnim kanalima u sklopu parnog kotla i izlaze pomoću prirodne ili prisilne promaje u slobodnu atmosferu. Kod današnjih jedinica zrak se dovodi na rešetku ili u gorionike pomoću ventilatora svježeg zraka (primarna promaja), a dimni plinovi se odvođe iz jedinice pomoću ventilatora dimnih plinova (sekundarna promaja). Kod suvremenih parnih kotlova s tekućim gorivom često se izvode ložišta s pretlakom tako da ventilator za dovod svježeg zraka služi ujedno i kao ventilator za odvod dimnih plinova u atmosferu. Kod manjih jedinica moguć je rad i bez ventilatora, tj. s prirodnom promajom pomoću dimnjaka određene visine.

### 1.4.2 Tlačni dio parnog kotla

U tlačni dio parnih kotlova dovodi se napojna voda pod tlakom mnogo višim od atmosferskog. U njemu se zagrijava, predisparuje i isparuje voda i pregrijava vodena para na traženu temperaturu. Prema tome sve ogrjevne površine izmjenjivača topline u sklopu parnog kotla: zagrijači vode, predisparivači, isparivači i pregrijači pare, kao i spojni cjevovodi, komore i bubanj parnih kotlova (ako je parni kotao izveden s prirodnim optokom), obuhvaćeni su pojmom "tlačni dio parnih kotlova".

### **1.4.3 Ogrjevne površine isparivača vode**

Osnovni dio parnog kotla je ogrjevna površina isparivača vode. To je površina koja je s jedne strane u dodiru s dimnim plinovima a s druge strane s vodom i mješavinom vode i vodene pare. Isparivači su cijevi povezane s komorama i bubnjem tako da se odvija normalni optok vode i pare. Kod parnih kotlova s prirodnim optokom bubanj i cijevni sustav isparivača i zagrijača vode moraju biti ispunjeni vodom 50 do 70% visine, a iznad toga dijela bubnja nalazi se parni prostor. Kod parnih kotlova s prisilnim optokom voda i para često se izravno odvajaju u cijevnom sustavu isparivača bez bubnja. Ova vrsta jedinica ima malu količinu vode a brze promjene u opterećenju postižu se dobrom regulacijom dovoda goriva, odnosno izgaranja. Najniži i najviši vodostaj u generatoru pare moraju biti jasno određeni. Time se sprečava izravan dodir dimnih plinova visoke temperature s ogrjevnim površinama isparivača koje nisu s druge strane hladene mješavinom vode i vodene pare.

### **1.4.4 Ogrjevne površine pregrijača pare**

Pregrijač pare je sklop ogrjevnih površina izmjenjivača topline u kojem se pregrijava vodena para iz zasićena stanja do određene temperature pregrijanja. U pregrijaču se, osim toga, suši para koja na ulazu u pregrijač sadrži određeni postotak vodenih čestica (od 1 do 5%). Ogrjevne površine pregrijača pare izvede se u obliku snopova čeličnih bešavnih cijevi, a prema potrebi i od legiranog čelika smještenih bilo u ložištu bilo u vodovima dimnih plinova. Kod suvremenih velikih jedinica visokog pregrijanja pare ogrjevne površine pregrijača podijeljene su na više dijelova. Toplina se konvektivnim prolazom i zračenjem prenosi od dimnih plinova na vodenu paru koja struji cijevima pregrijača.

### **1.4.5 Ogrjevne površine zagrijača i predisparivača vode**

Zagrijač, odnosno predisparivač vode je sklop ogrjevnih površina izmjenjivača topline u kojem se voda zagrijava ili djelomično predisparuje. Za niže pogonske tlakove (4-5 MPa) ogrjevne površine zagrijača vode izvedene su često i od rebrastih lijevanih cijevi. Za visoke tlakove i novije izvedbe izvedene su od čeličnih bešavnih cijevi savijenih u obliku cijevnih zmijsa. Temperatura zagrijavanja vode u zagrijačima kreće se od 25-50°C ispod temperature zasićene pare. Često se u zagrijaču voda zagrijava i do temperature isparavanja, a može se i predispariti do 25%.

### **1.4.6 Ogrjevne površine zagrijača zraka**

Ogrjevnim površinama izmjenjivača topline zagrijava se zrak za izgaranje na određenu temperaturu. Ogrjevne površine zagrijača zraka mogu se izvesti kao limeni pločasti zagrijači, cijevni zagrijači, lijevano-rebraste cijevi i kao specijalne izvedbe (Ljungström) itd. Zrak koji se zagrijava prijenosom topline od dimnih plinova, suši se i zagrijava gorivo i stvaraju povoljni uvjeti izgaranja (povišenje temperature procesa izgaranja) u ložištu parnih kotlova.

### **1.4.7 Armatura parnog kotla**

U ovu skupinu opreme uključeni su svi pomoćni dijelovi potrebni za potpunu izgradnju jedinice i normalan rad. Gruba armatura obuhvaća pomoćne uređaje ložišta,

kontrolna vrata, zaklopke, otvore za nadgledanje, razne lijevane dijelove itd. Fina armatura obuhvaća bitne dijelove za sigurnost pogona i rada jedinice (manometri, termometri, ventili itd.)

#### **1.4.8 Nosiva čelična konstrukcija parnog kotla**

Nosiva čelična konstrukcija parnog kotla osigurava izgradnju kompletne jedinice u jedinstvenu cjelinu i povezuje pojedine dijelove parnog kotla. Nosiva konstrukcija jedinice preuzima opterećenje koje nastaje ugradnjom svih dijelova u parni kotao (ložište sa svojim uređajima, ogrjevne površine izmjenjivača topline kao što su isparivač vode, pregrijač pare, zagrijač vode, armatura i ostali dijelovi). U novije vrijeme ima raznih izvedbi jedinica parnih kotlova kod kojih ogrjevne površine ili optočne cijevi (kutnocijevni parni kotlovi) ujedno služe i kao nosiva konstrukcija. Kod parnih kotlova s velikim sadržajem vode kao nosiva konstrukcija služi tijelo parnog kotla.

#### **1.4.9 Ozid i izolacija parnog kotla**

Ozid i izolacija parnih kotlova sprečavaju prodor vanjskog zraka u ložište i kanale jedinice i dopuštaju minimalne toplinske gubitke. Vatrostalni i izolacijski materijal odabire se na osnovi toplinskih i mehaničkih naprezanja koja se javljaju zbog temperaturnih stanja u pojedinim područjima parnog kotla. Postoje dvije izvedbe parnog kotla (kad je u pitanju izolacija ili ozid parnog kotla): normalna (teška) i laka (izolacija).

Normalna izvedba je ozid koji se sastoji od vatrostalnih (šamotnih) opeka normalnih i fazonskih oblika i vatrostalnih (šamotnih) svodova. Između sloja vatrostalne opeke i vanjskog ozida (strojna građevinska opeka) često se nalazi izolacijski međusloj.

Izvedba izolacije primjenjuje se u suvremenim kotlovima većeg učina gdje su stijene ložišta potpuno pokrivena ogrjevnim površinama izvedenih od cijevi zavarenih u jednom bloku. Iza takvih cijevnih stijena u bloku (membranske stijene) smješten je sloj izolacijskog materijala (staklena ili mineralna vuna); s vanjske strane je parni kotao kao cjelina pokriven limenom oplatom.

#### **1.4.10 Postrojenje za pripremu napojne vode**

Ovo se postrojenje sastoji kao cjelina od termičke (toplinske) i kemijske pripreme vode. U kemijskoj pripremi vode odstrane se štetne materije kao što su soli, mehanička nečistoća itd. Uvjeti kojima napojna voda mora odgovarati određeni su u parnom kotlu temperaturom pregrijanja, radnim tlakom, toplinskim opterećenjem ogrjevnih površina i dr.

#### **1.4.11 Uređaji za napajanje parnih kotlova**

Ovi se uređaji sastoje od napojnih pumpi, koje se danas redovito izvode kao elektropumpe i turbopumpe; u sklop toga dijela pomoćnih uređaja ulaze napojni cjevovodi, sigurnosna i pogonska armatura i zavješnja cjevovoda. Napajanje se regulira u sklopu regulacije parnog kotla. Sigurna opskrba parnog kotla napojnom vodom je najbitniji uvjet sigurnosti pogona te zato postoje vrlo strogi propisi o izgradnji i veličini napojnih pumpi (TRD – Technische Regeln für Dampfkessel).



#### **1.4.12 Postrojenja za transport i pripremu goriva**

Ovo se postrojenje sastoji od niza transportnih uređaja ovisno o vrsti goriva (kruto, tekuće ili plinovito gorivo), kao i o konkretnim smještajnim uvjetima parnih kotlova, njegovih pomoćnih uređaja i kotlovske postrojenja u cjelini. Postrojenja za transport i pripremu goriva čine u kotlovskim postrojenjima, a osobito kod krutih goriva, složeno i veliko postrojenje.

#### **1.4.13 Uređaji za čišćenje dimnih plinova**

Ovi uređaji, odnosno čistači (filtri) dimnih plinova mogu biti izvedeni na osnovi mehaničkog odvajanja čestica pepela, tj. djelovanjem centrifugalne sile na čestice pepela u dimnim plinovima, ili kao elektrofiltri na osnovi djelovanja elektrostatičkog elektriciteta. Sadašnje izvedbe takvih uređaja dijele se na četiri skupine:

- mehanički-suhi filtri,
- mehanički vlažni filtri,
- elektrosuhi filtri,
- elektrovlažni filtri.

Izvedba i upotreba pojedinih vrsta filtara primjenjuje se prema zahtjevima koji se postavljaju kvaliteti čišćenja dimnih plinova od pepela.

#### **1.4.14 Uređaji za odvod troske i pepela**

Tim se uređajima odstranjuju i odvođe troska, pepeo i ostale balastne materije iz ložišta parnih kotlova. Mogu se izvesti kao mehanički, hidraulički i pneumatski uređaji.

#### **1.4.15 Oprema za instrumentaciju, regulaciju i automatiku parnog kotla**

Za ispravan rad i pogon parnih kotlova ugrađuje se oprema i uređaji za instrumentaciju, upravljanje, regulaciju i automatiku. Osnovna zadaća te opreme je slijedeća:

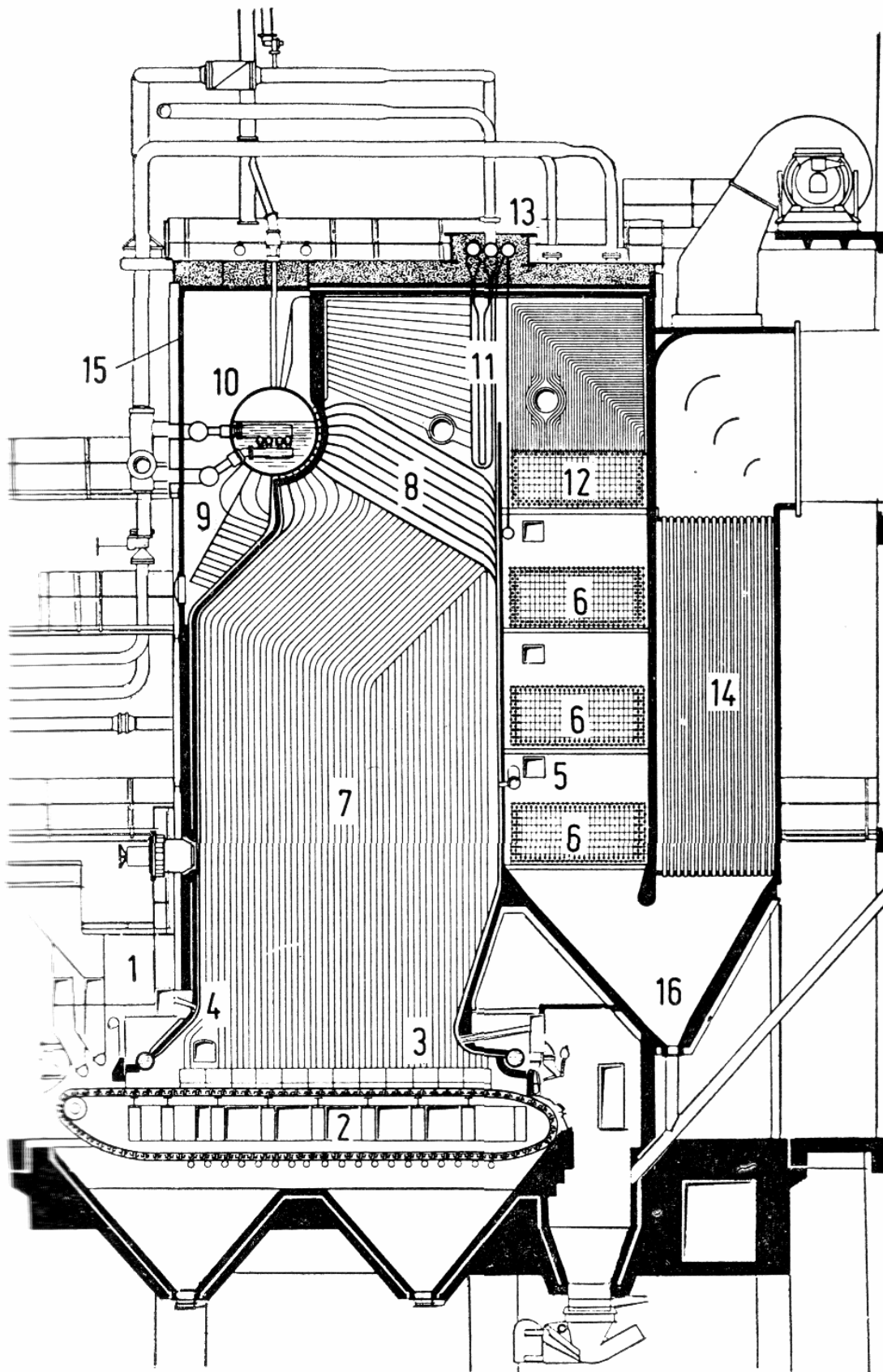
- uskladiti dovedenu energiju u obliku goriva s potrebnom toplinskom energijom koju proizvodi parni kotao;
- uskladiti odnose goriva i zraka da proces izgaranja u ložištu parnih kotlova bude najpovoljniji;
- održavati tlak u ložištu (podtlak ili pretlak) stalnim u svim pogonskim uvjetima;
- održavati temperaturu pregrijanja pare stalnom;
- održati sigurno snabdijevanje napojnom vodom.

## 1.5 PRINCIP RADA PARNOG KOTLA

Generator pare prikazan na sl. 1.11 izveden je s ložištem za izgaranje goriva u sloju. Ugljen se nalazi u bunkeru (1); u ložištu je ugrađena mehanička ravna rešetka (2) s dovodom zraka. U ložištu je ugrađena i ogrjevna površina isparivača (7), gdje se toplina izmjenjuje zračenjem. Drugi dio ogrjevne površine isparivača izveden je u obliku snopa cijevi (8), gdje se toplina izmjenjuje djelomično zračenjem a djelomično konvekcijom. Ogrjevne površine pregrijača pare izvedene su u dva dijela u obliku cijevnog vodoravnog (12) i uspravnog (11) snopa cijevi (cijevne zmije). Između obaju dijelova ugrađen je regulator pregrijanja pare (13). Zagrijač vode izveden je od 3 snopa vodoravno položenih cijevnih zmija (6). Iza zagrijača vode u toku strujanja dimnih plinova smješten je cijevni zagrijač zraka (14). Dimni plinovi izlaze nakon trećeg voda iz generatora pare u atmosferu odnosno u čistač dimnih plinova.

Ložište je izvedeno s prednjim (4) i stražnjim svodom (3) za osiguranje pravodobnog paljenja goriva i pravilnog odvijanja procesa izgaranja.

Napojna voda ulazi u zagrijač vode (6) generatora pare preko komore (5). Iz zagrijača vode (6) zagrijana voda ulazi preko vodova u bubanj (10) koji služi za odvajanje vode i vodene pare (prirodni optok). Iz bubnja na najnižem mjestu spušta se voda silaznim cijevima (9) u komore smještene u ložištu, a uzlaznim cijevima, koje čine površinu isparivača (7), mješavina vode i vodene pare diže se prirodnim uzgonom u bubanj, gdje se odvajaju faze vode i vodene pare. U sabirniku i odvajaču pepela (16) djelomično se odvaja pepeo (veće čestice) iz dimnih plinova. Čelična konstrukcija i galerije generatora pare (15) izvedene su od normalnih čeličnih profila.



*Slika 1.11 Parni kotao s ravnom mehaničkom rešetkom*

## 2. MATERIJALI I PROIZVODNI POSTUPCI U KOTLOGRADNJI

### 2.1 Materijali koji se koriste u kotlogradnji

Elementi parnog kotla, osobito tlačnog dijela podvrgnuti su djelovanju:

- visokih temperatura radnih medija (voda, para, dimni plinovi),
- visokih tlakova vode i pare
- agresivnom djelovanju radnih medija
- trošenju (eroziji) zbog velikih brzina strujanja balastnih čestica u dimnim plinovima,
- niskotemperaturne korozije zbog djelovanja sumporne kiseline
- visokotemperaturne korozije
- termodinamičko naprezanja zbog toplinskih dilatacija elemenata parnog kotla.

Sve te pojave koje se javljaju u parnim kotlovima moraju se izbjeći ili ublažiti izborom odgovarajućeg materijala. Zbog toga materijali moraju imati točno određen kemijski sastav koji se potvrđuje atestom o sastavu (npr. postotak C, postotak S, postotak P itd.). Osim toga treba imati i ateste o propisno obavljenim ispitivanjima uzoraka materijala. Na uzorcima se vrši ispitivanja sljedećih svojstava:

#### Čvrstoće na vlak

Ispitivanja naprezanja na vlak se vrši pri temperaturi od 20°C i pri mirnom opterećenju, koja se računa kao kvocijent veličine opterećenja pri lomu i polaznog poprečnog presjeka ispitivanog uzorka.

#### Granica istežanja (na određenoj temperaturi)

Granica istežanja je naprezanje kod kojeg postoji istežanje materijala i kada opterećenje ostaje nepromijenjeno ili čak i opada. Kod viših temperatura ova karakteristika materijala nestaje. Granica istežanja  $\sigma_B$  je naprezanje kod kojeg nakon ispitivanja ostaje trajno produženje uzorka od 0,2% mjerne duljine.

#### vremenska čvrstoća (ispitivanje na zamor)

Ispitni uzorak se podvrgava dugotrajnim ispitivanjima, a pri kojima dolazi do trajne deformacije ili kidanja uzorka. Takova su ispitivanja potrebna kada temperatura prelazi preko 500°C, jer su iskustva pokazala da se materijal pri toj temperaturi pri konstantnom opterećenju neprekidno dalje isteže. Materijal počinje puzati, pri čemu brzina puzanja ovisi o temperaturi i naprezanju. Vremenska čvrstoća se označava sa npr.  $R_{B/100\ 000/T}$ , što znači da se materijal ispitivao 100000 sati pri temperaturi  $T$ .

Danas se u kotlogradnji vrši normizacija prema euro normama (EN), ali u nekim slučajevima se još uvijek koriste DIN norme. U Evropskoj Uniji se uvode novi propisi koje se odnose na dijelove pod tlakom (PED – pressure equipment directive). Normizacijom se postiže da čelike pod istom oznakom imaju isti sastav i ista mehanička svojstva. Materijali se označavaju prema normi EN 10027 koja je uglavnom preuzeta od DIN normi.

Legirani čelici kao materijal za tlačne i ostale dijelove parnog kotla imaju prednosti jer zbog primjesa mogu podnositi veće naprezanje na vlak. Imaju i poboljšana neka druka svojstva, kao npr. otpornost na starenje. Postoji razlika između visoko i niskolegiranih čelika. Granicu među njima označuje postotak legiranih primjesa; ako udio svih primjesa (legiranih dodataka) prelazi 5% čelik se ubraja u visokolegirane.

U normi EN 10028 su opisana svojstva plosnatih proizvoda od različitih čelika za posude pod tlakom. To su: nelegirani i legirani vatrootporni čelici, hladnovučeni čelici legirani s niklom, normalno žareni finoizrnuti čelici pogodni za zavarivanje, toplovaljani finoizrnuti čelici, nehrđajući čelici. U tablici 2.1 dan je kemijski sastav čelika prema EN 10028-2. Mehanička svojstva čeličnih plosnatih proizvoda prema normi EN 10028-1 dana su u tablici 2.2. Trajna granica istezanja za 1 % plastične deformacije i vremenska čvrstoća za plosnate proizvode prema EN 10028 dana je u tablici 2.3.

Vrsta čelika		Maseni udjeli u %														
Naziv	Mat.	C	Si	Mn	P max.	S	Al	N	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Napomena
P235GH	1.0345	≤0,16	≤0,35	0,60± 1,20	0,025	0,015	≥0,02	≤0,012	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,020	≤0,30	0,03	≤0,02	Cr+Cu+Mo+Ni: ≤0,70
P265GH	1.0425	≤0,20	≤0,40	0,80± 1,40	0,025	0,015	≥0,20	≤0,012	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,020	≤0,30	0,03	≤0,02	-
P295GH	1.0481	0,08± 0,20	≤0,40	0,90± 1,50	0,025	0,015	≥0,02	≤0,012	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,020	≤0,30	0,03	≤0,02	-
P355GH	1.0473	0,10± 0,22	≤0,60	1,10± 1,70	0,025	0,015	≥0,02	≤0,012	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,020	≤0,30	0,03	≤0,02	-
16Mn3	1.5415	0,12± 0,20	≤0,35	0,40± 0,90	0,025	0,010	-	≤0,012	≤0,30	≤0,30	0,25± 0,35	-	≤0,30	-	-	-
18MnMo4-5	1.5414	≤0,20	≤0,40	0,90± 1,50	0,015	0,005	-	≤0,012	≤0,30	≤0,30	0,45± 0,60	-	≤0,30	-	-	-
20MnMoNi4-5	1.6311	0,15± 0,23	≤0,40	1,00± 1,50	0,020	0,010	-	≤0,012	≤0,20	≤0,20	0,45± 0,60	-	0,40±0, 80	-	≤0,02	-
15NiCuMoNb5-6-4	1.6368	≤0,17	0,25± 0,50	0,80± 1,20	0,025	0,010	≥0,015	≤0,020	≤0,30	0,50± 0,80	0,25± 0,50	0,015± 0,045	1,00±1, 30	-	-	-
13CrMo4-5	1.7335	0,08± 0,18	≤0,35	0,40± 1,00	0,025	0,010	-	≤0,012	0,70± 1,15	≤0,30	0,40± 0,60	-	-	-	-	-
13CrMoSi5-5	1.7336	≤0,17	0,50± 0,80	0,40± 0,65	0,015	0,005	-	≤0,012	1,00± 1,50	≤0,30	0,45± 0,65	-	≤0,30	-	-	-
10CrMo9-10	1.7380	0,08± 0,14	≤0,50	0,40± 0,80	0,020	0,010	-	≤0,012	2,00± 2,50	≤0,30	0,90± 1,10	-	-	-	-	-
12CrMo9-10	1.7375	0,10± 0,15	≤0,30	0,30± 0,80	0,015	0,010	0,010± 0,040	≤0,012	2,00± 2,50	≤0,25	0,90± 1,10	-	≤0,30	-	-	-
X12CrMo5	1.7362	0,10± 0,15	≤0,50	0,30± 0,60	0,020	0,005	-	≤0,012	4,00± 6,00	≤0,30	0,45± 0,65	-	≤0,30	-	-	-
13CrMoV9-10	1.7703	0,11± 0,15	≤0,10	0,30± 0,60	0,015	0,005	-	≤0,012	2,00± 2,50	≤0,20	0,90± 1,10	≤0,07	≤0,25	0,03	0,25± 0,35	≤0,002B ≤0,015Ca
12CrMoV12-10	1.7767	0,10± 0,15	≤0,15	0,30± 0,60	0,015	0,005	-	≤0,012	2,75± 3,25	≤0,25	0,90± 1,10	≤0,07	≤0,25	0,03	0,20± 0,30	≤0,003B ≤0,015Ca
X10CrMoVNb9-1	1.4903	0,08± 0,12	≤0,50	0,30± 0,60	0,020	0,005	≤0,040	0,030± 0,070	8,00± 9,50	≤0,30	0,85± 1,05	0,06± 0,10	≤0,30	-	0,18± 0,25	-

Tablica 2.1. Kemijski sastav čelika namijenjenih za plosnate proizvode u kotlogradnji (prema EN10028)

Vrsta čelika		Toplin. stanje pri isporuci	Debljina $t$ mm	Granica elast. $R_{eH}$ MPa min.	Vlačna čvrstoća MPa	Produženje kod kidanja $A_{10}$ % min.	Radna žilavost J min. na temp. u °C		
Naziv	Broj mat.						-20	0	+20
P235GH	1.0345	N	≤16	235	360÷480	24	27	34	40
			16 < t ≤ 40	225					
			40 < t ≤ 60	215					
			60 < t ≤ 100	200	350÷480				
			100 < t ≤ 150	185					
			150 < t ≤ 250	170					
P265GH	1.0425	N	≤16	265	410÷530	22	27	34	40
			16 < t ≤ 40	255					
			40 < t ≤ 60	245					
			60 < t ≤ 100	215	400÷530				
			100 < t ≤ 150	200					
			150 < t ≤ 250	185					
P295GH	1.0481	N	≤16	295	460÷580	21	27	34	40
			16 < t ≤ 40	290					
			40 < t ≤ 60	285					
			60 < t ≤ 100	260	440÷570				
			100 < t ≤ 150	235					
			150 < t ≤ 250	220					
P355GH	1.0473	N	≤16	355	510÷650	20	27	34	40
			16 < t ≤ 40	345					
			40 < t ≤ 60	335					
			60 < t ≤ 100	315	490÷630				
			100 < t ≤ 150	295					
			150 < t ≤ 250	280					
16Mo3	1.5415	N	≤16	275	440÷590	22	-	-	31
			16 < t ≤ 40	270					
			40 < t ≤ 60	260					
			60 < t ≤ 100	240	430÷560				
			100 < t ≤ 150	220					
			150 < t ≤ 250	210					
18MnMo 4-5	1.5414	NT	≤60	345	510÷650	20	27	34	40
			60 < t ≤ 150	325					
		QT	150 < t ≤ 250	310	480÷620				
20MnMoNi 4-5	1.6311	QT	≤40	470	590÷750	18	27	40	50
			40 < t ≤ 60	460	590÷730				
			60 < t ≤ 100	450	570÷710				
			100 < t ≤ 150	440					
			150 < t ≤ 250	400	560÷700				

Vrsta čelika		Toplin. stanje pri isporuci	Debljina $t$ mm	Granica elast. $R_{eH}$ MPa min.	Vlačna čvrstoća MPa	Produženje kod kidanja $A$ % min.	Radna žilavost J min. na temp. u °C		
Naziv	Broj mat.						-20	0	+20
15NiCuMoNb 5-6-4	1.6368	NT	$\leq 40$	460	610÷780	16	27	34	40
			$40 < t \leq 60$	440					
			$60 < t \leq 100$	430					
		NT ili QT	$100 < t \leq 150$	420	590÷740				
		QT	$150 < t \leq 200$	410	580÷740				
13CrMo4-5	1.7335	NT	$\leq 16$	300	450÷600	19	-	-	31
			$16 < t \leq 60$	290					
			$60 < t \leq 100$	270					
		NT ili QT	$100 < t \leq 150$	255	430÷580				
		QT	$150 < t \leq 250$	245	420÷570				
13CrMoSi5-5	1.7336	NT	$\leq 60$	310	510÷690	20	-	27	34
			$60 < t \leq 100$	300	480÷660				
		QT	$\leq 60$	400	510÷690				
			$60 < t \leq 100$	390	500÷680				
			$100 < t \leq 250$	380	490÷670				
10CrMo9-10	1.7380	NT	$\leq 16$	310	480÷630	18	-	-	31
			$16 < t \leq 40$	300					
			$40 < t \leq 60$	290					
		NT ili QT	$60 < t \leq 100$	280	470÷620				
		QT	$100 < t \leq 150$	260	460÷610	17	-	-	27
			$150 < t \leq 250$	250	450÷600				
12CrMo9-10	1.7375	NT ili QT	$\leq 250$	355	540÷690	18	27	40	70
X12CrMo5	1.7362	NT	$\leq 60$	320	510÷690	20	27	34	40
			$60 < t \leq 150$	300	480÷660				
		QT	$150 < t \leq 250$	300	450÷630				
13CrMoV9-10	1.7703	NT	$\leq 60$	455	600÷780	18	27	34	40
			$60 < t \leq 150$	435	590÷770				
		QT	$150 < t \leq 250$	415	580÷760				
12CrMoV12-10	1.7767	NT	$\leq 60$	455	600÷780	18	27	34	40
			$60 < t \leq 150$	435	590÷770				
		QT	$150 < t \leq 250$	415	580÷760				
X10CrMoVNb 9-1	1.4903	NT	$\leq 60$	445	580÷760	18	27	34	40
			$60 < t \leq 150$	435	550÷730				
		QT	$150 < t \leq 250$	435	520÷700				

N – normalizirano; NT – normalizirano i popušteno; QT – poboljšano

Tablica 2.2 Mehanička svojstva čelika za plosnate proizvode u kotlogradnji  
(prema EN 10028-1)



Norma EN 10029 sadrži opis tolerancija oblika, mjera i mase toplovaljanih čeličnih limova iznad 3mm debljine.

Toplovaljani proizvodi od nelegiranih konstrukcijskih čelika se koriste na mjestima koji nisu izloženi visokim temperaturama i agresivnim medijima. Tehnički opis ovih limova dan je u EN 10025.

Vatrotporni čelici i legure nikla opisani su u EN 10095.

Mehanička svojstva i kemijski sastav kovanih dijelova od čelika za tlačne posude dani su u EN 10222-2.

Vrsta čelika		Temp. °C	Tehnička granica elastičnosti za 1 % plast. def. u Mpa za		Vremenska čvrstoća u MPa za		
Naziv	Broj mat.		10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> h	10 <sup>5</sup> h	2·10 <sup>5</sup> h
P235GH, P265GH	1.0345, 1.0425	380	164	118	229	165	145
		390	150	106	211	148	129
		400	136	95	191	132	115
		410	124	84	174	118	101
		420	113	73	158	103	89
		430	101	65	142	91	78
		440	91	57	127	79	67
		450	80	49	113	69	57
		460	72	42	100	59	48
		470	62	35	86	50	40
480	53	30	75	42	33		
P295GH, P355GH	1.0481, 1.0473	380	195	153	291	227	206
		390	182	137	266	203	181
		400	167	118	243	179	157
		410	150	105	221	157	135
		420	135	92	200	136	115
		430	120	80	180	117	97
		440	107	69	161	100	82
		450	93	59	143	85	70
		460	83	51	126	73	60
		470	71	44	110	63	52
480	63	38	96	55	44		
490	55	33	84	47	37		
500	49	29	74	41	30		
16Mo3	1.5415	450	216	167	298	239	217
		460	199	146	273	208	188
		470	182	126	247	178	159
		480	166	107	222	148	130
		490	149	89	196	123	105
		500	132	73	171	101	84
		510	115	59	147	81	69
		520	99	46	125	66	55
530	84	36	102	53	45		

Tablica 2.3 Trajna granica istezanja za 1 % plastične deformacije i vremenska čvrstoća čelika za plosnate proizvode koji se koriste u kotlogradnji (prema EN 10028)

Vrsta čelika		Temp. °C	Tehnička granica elastičnosti za 1 % plast. def. u Mpa za		Vremenska čvrstoća u MPa za		
Naziv	Broj mat.		10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> h	10 <sup>5</sup> h	2·10 <sup>5</sup> h
18MnMo 4-5	1.5414	425	392	314	421	343	
		430	383	302	407	330	
		440	360	272	380	300	
		450	333	240	353	265	
		460	303	207	325	230	
		470	271	176	295	196	
		480	239	148	263	166	
		490	207	124	229	140	
		500	177	103	196	118	
20MnMoNi 4-5	1.6311	450			290	240	
		460			272	211	
		470			251		
		480			225		
		490			194		
15NiCuMoNb 5-6-4	1.6368	400	324	294	402	373	
		410	315	279	385	349	
		420	306	263	368	325	
		430	295	245	348	300	
		440	281	227	328	273	
		450	265	206	304	245	
		460	239	180	274	210	
		470	212	151	242	175	
		480	180	120	212	139	
13CrMo4-5	1.7335	450	245	191	370	285	260
		460	228	172	348	251	226
		470	210	152	328	220	195
		480	193	133	304	190	167
		490	173	116	273	163	139
		500	157	98	239	137	115
		510	139	83	209	116	96
		520	122	70	179	94	76
		530	106	57	154	78	62
		540	90	46	129	61	50
		550	76	36	109	49	39
		560	64	30	91	40	32
		570	53	24	76	33	26
13CrMoSi5-5	1.7336	450		209		313	
		460		200		300	
		470		185		278	
		480		141		212	
		490		119		179	
		500		113		169	
		510		81		122	
		520		66		99	
		530		41		62	
10CrMo9-10	1.7380	450	240	166	306	221	201
		460	219	155	286	205	186
		470	200	145	264	188	169
		480	180	130	241	170	152
		490	163	116	219	152	136
		500	147	103	196	135	120

Tablica 2.3 Trajna granica istezanja za 1 % plastične deformacije i vremenska čvrstoća čelika za plosnate proizvode koji se koriste u kotlogradnji (prema EN 10028)

Vrsta čelika		Temp. °C	Tehnička granica elastičnosti za 1 % plast. def. u Mpa za		Vremenska čvrstoća u MPa za		
Naziv	Broj mat.		10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> h	10 <sup>5</sup> h	2·10 <sup>5</sup> h
10CrMo9-10	1.7380	510	132	90	176	118	105
		520	119	78	156	103	91
		530	107	68	138	90	79
		540	94	58	122	78	68
		550	83	49	108	68	58
		560	73	41	96	58	50
		570	65	35	85	51	43
		580	57	30	75	44	37
		590	50	26	68	38	32
		600	44	22	61	34	28
12CrMo9-10	1.7375	400			382	313	
		410			355	289	
		420			333	272	
		430			312	255	
		440			293	238	
		450			276	221	
		460			259	204	
		470			242	187	
		480			225	170	
		490			208	153	
500			191	137			
510			174	122			
520			157	107			
X12CrMo5	1.7362		107				
		460	96				
		470	87		147(475°C)		
		480	83				
		490	78		139		
		500	70		123		
					108		
		510	56		94		
		520	50		81		
		530	44		71		
		540	39		61		
		550	35		53		
		560	31		47		
		570	27		41		
580	24		36				
590	21		32				
600	18		27				
610	16						
620	14						
625	13						
13CrMoV 9-10	1.7703	400			430	383	
		410			414	365	
		420			397	346	
		430			380	327	
		440			362	309	
		450			344	290	
		460			326	271	
		470			308	253	
		480			290	235	
		490			272	218	
		500			255	201	
		510			237	184	
		520			221	169	
		530			204	144	
540			188	126			
550			173	108			

Tablica 2.3 Trajna granica istezanja za 1 % plastične deformacije i vremenska čvrstoća čelika za plosnate proizvode koji se koriste u kotlogradnji (prema EN 10028)

Vrsta čelika		Temp. °C	Tehnička granica elastičnosti za 1 % plast. def. u Mpa za		Vremenska čvrstoća		
Naziv	Broj mat.		10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	u MPa za		
					10 <sup>4</sup> h	10 <sup>5</sup> h	2 · 10 <sup>5</sup> h
12CrMoV 12-10	1.7767	400			430	383	
		410			414	365	
		420			397	346	
		430			380	327	
		450			362	309	
		460			326	271	
		470			308	253	
		480			290	235	
		490			272	218	
		500			255	201	
		510			237	184	
		520			221	169	
		530			204	144	
		540			188	126	
		550			173	108	
X10CrMoVNb 9-1	1.4903	500			289	258	246
		510			271	239	227
		520			252	220	208
		530			234	201	189
		540			216	183	171
		550			199	166	154
		560			182	150	139
		570			166	134	124
		580			151	120	110
		590			136	106	97
		600			123	94	86
		610			110	83	75
		620			99	73	65
		630			89	65	57
		640			79	56	49
		650			70	49	42
		660			62	42	35
670			55	36	-		

*Tablica 2.3 Trajna granica istezanja za 1 % plastične deformacije i vremenska čvrstoća čelika za plosnate proizvode koji se koriste u kotlogradnji (prema EN 10028)*

Svojstva bešavnih nelegiranih i legiranih čeličnih cijevi pri različitim temperaturama i povišenim tlakom dani su u EN 10216-2. Granica istezanja cijevi na određenoj temperaturi dana je u tablici 2.4.

Vrsta čelika		Debljina stijenke mm	Granica istezanja $R_{p0,2}$ u MPa na određenoj temperaturi °C										
Naziv	Broj mat.		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
P195GH	1.0348	≤16	175	165	150	130	113	102	94	-	-	-	-
P235GH	1.0345	≤60	198	187	170	150	132	120	112	108	-	-	-
P265GH	1.0425	≤60	226	213	192	171	154	141	134	128	-	-	-
20MnNb6	1.0471	≤60	312	292	264	241	219	200	186	174	-	-	-
15Mo3	1.5415	≤60	243	237	224	205	173	159	156	150	146	-	-
8MoB5-4	1.5450	≤16	368	368	368	368	368	368	368	368	-	-	-
14MoV6-3	1.7715	≤60	282	276	267	241	225	216	209	203	200	197	-
10CrMo5-5	1.7338	≤60	240	228	219	208	165	156	148	144	143	-	-
13CrMo4-5	1.7335	≤60	264	253	245	236	192	182	174	168	166	-	-
10CrMo9-10	1.7380	≤60	249	241	234	224	219	212	207	193	180	-	-
11CrMo9-10	1.7383	≤60	323	312	304	296	289	280	275	257	239	-	-
25CrMo4	1.7218	≤60	-	315	305	295	285	265	225	185	-	-	-
20CrMoV13-5-5	1.7779	≤60	-	575	570	560	550	510	470	420	370	-	-
15NiCuMoNb 5-6-4	1.6368	≤80	422	412	402	392	382	373	343	304	-	-	-
X11CrMo5+I	1.7362 +I	≤100	156	150	148	147	145	142	137	129	116	-	-
X11CrMo5+NT1	1.7362 +NT1	≤100	245	237	230	223	216	206	196	181	167	-	-
X11CrMo5+NT2	1.7362 +NT2	≤100	366	350	334	332	309	299	289	280	265	-	-
X11CrMo9-1+I	1.7386 +I	≤60	187	186	178	177	175	171	164	153	142	120	-
X11CrMo9-1+NT	1.7386 +NT	≤60	363	348	334	330	326	322	316	311	290	235	-
X10CrMoVNb9-1	1.4903	≤100	410	395	380	370	360	350	340	320	300	270	215
X20CrMoV11-1	1.4922	≤100	-	-	430	415	390	380	360	330	290	250	-

Tablica 2.4 Granica istezanja  $R_{p0,2}$  na različitim temperaturama (prema EN 10216-2)

Čvrstoća svih čelika opada s porastom temperatura pa se granice upotrebe pojedinih vrsta materijala - čelika određuju ovisno o stupnju legiranja. Izbor vrste čelika koji dolaze u obzir za dijelove pod tlakom ovisi u prvom redu o temperaturi kojoj je podvrgnut materijal u pogonu. Legirani čelici s obzirom na strukturu su:

- feritno legirani čelici,
- austenitno legirani čelici,
- duplex čelici (feritno – austenitni čelici),
- martenzitno legirani čelici (npr. X20CrMoV12 1).

U temperaturnom području zasićene pare i ispod nje najčešće zadovoljavaju ugljični čelici. Kod visokih tlakova i velikih dimenzija dijelova, cijevi, komora i slično upotrebljavaju se legirani materijali da bi debljine stijenki bile u dopuštenim granicama moguće tehnološke obrade. Npr. za bubnjeve vanjskog promjera 1400-2000 mm i stijenki 80-120 mm dolaze manganski čelici a iznad toga upotrebljavaju se molibdenski i krom-molibdenski čelici.

Dio parnog kotla	Temperature pare odnosno vode, °C	Materijal
zagrijači vode: cijevi i sabirne komore	do temperature zasićenja	C-čelici (lijev samo kod srednjih tlakova)
isparni sustav: bubnjevi i sabirnici	temperatura zasićenja	C-čelici, Mn-čelici
isparne i padne cijevi		C-čelici
pregrijača pare: cijevi i sabirnici	temperatura pare: – 330÷430 – 430÷460 – 460÷540 – 540÷550 – 550÷600 (i više)	C-čelici Mo-čelici Cr-Mo-čelici visokolegirani Cr-čelici austenitni Cr-Ni-čelici

Tablica 2.5 Pregled materijala konstruktivnih elemenata tlačnog dijela parnog kotla [1]

Elementi pregrijača, ako temperatura pare ne prelazi 350-430 °C najčešće se grade od ugljičnih odnosno manganskih čelika (feritno legirani čelici). U područj viših temperatura pregrijanja upotrebljavaju se ugljični čelici s dodatkom molibdena koji znatno povisuje čvrstoću na višim temperaturama i ne smanjuje žilavost materijala. Uz dodatak drugih elemenata za legiranje, naročito kroma, silicija, vanadija i ostalih, ugljični se čelici upotrebljavaju i za područje pregrijane pare do 540 °C (kao npr. 15Mo3; 13CrMo4-4; 10CrMo9-10). Kod temperatura pregrijane pare viših od 540 °C moraju se upotrebljavati visokolegirani materijali, ugljični čelici s kromom, molibdenom i vanadijem, kao npr. čelik X20CrMoV12-1. Kad temperatura pregrijane pare prelazi 550 °C u obzir dolazi upotreba samo austenitnih čelika, struktura kojih je određena udjelom nikla. Gornja granica upotrebe

austenitnih čelika nije još utvrđena, no danas se oni upotrebljavaju za temperaturu pregrijanja pare i preko 600 °C.

Materijali X20CrMoV12 1 se dosta često koristi u kotlogradnji. Zbog svoga visokog udijela kroma koristi se na mjestima gdje temperature prelaze 500 °C.

## **2.2 Proizvodni postupci**

U kotlogradnji se primjenjuju gotovo sve konvencionalne strojarske tehnologije, a najčešće:

- tehnologija obrade odvajanja čestica
- tehnologija obrade deformiranja materijala
- tehnologija toplinske obrade materijala
- tehnologija zaštite materijala
- tehnologija zavarivanja materijala

U tehnologiji obrade odvajanja čestica primjenjuju se postupci tokarenja, glodanja, rezanja i bušenja.

U nastavku se daje kratki osvrt na proizvodne postupke i opremu koja je zastupljena u jednoj renomiranoj tvrtki na području kotlogradnje.

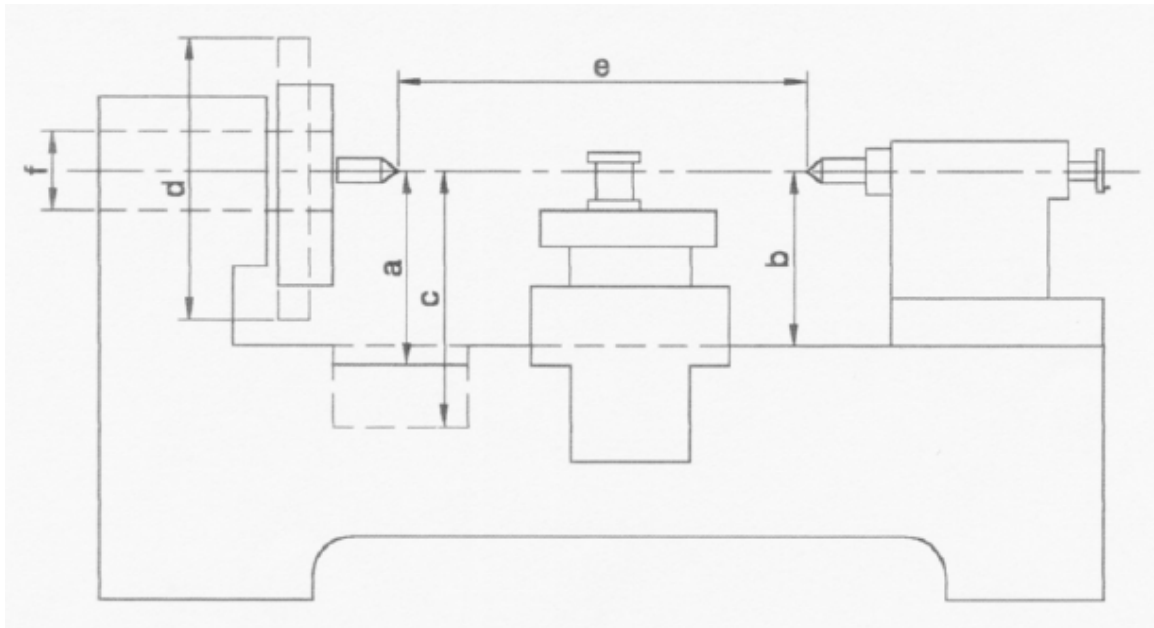
Stroj koji se koristi za serijsko tokarenje priključaka komora, reducira i sl., je CNC tokarilica koja je prikazana na slici 2.1.



*Slika 2.1 CNC tokarilica*

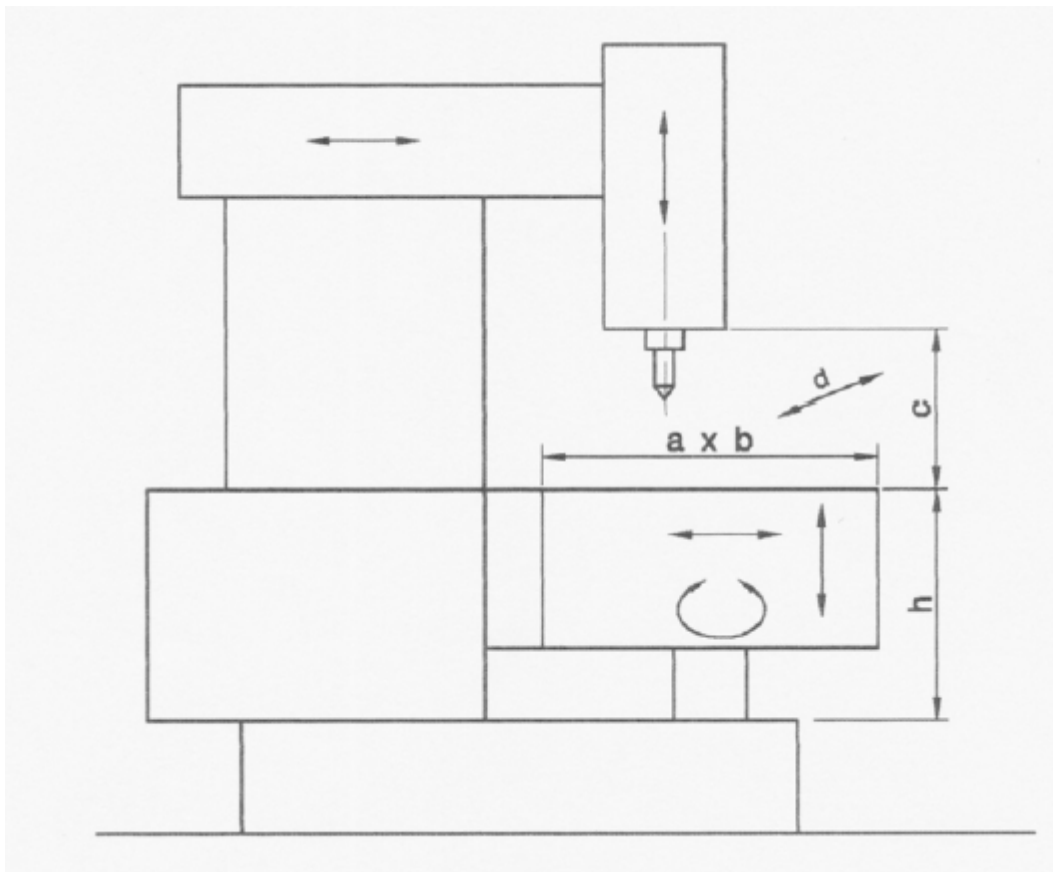
Za ostalu obradu bušenja i tokarenja raznih dijelova te strojnu obradu cijevnih vilica u posebnim napravama koriste se univerzalne tokarilice, slika 2.2.





*Slika 2.2 Univerzalna tokarilica*

Glodalice su namijenjene za glodanje i bušenje pozicija različitih oblika, slika 2.3.



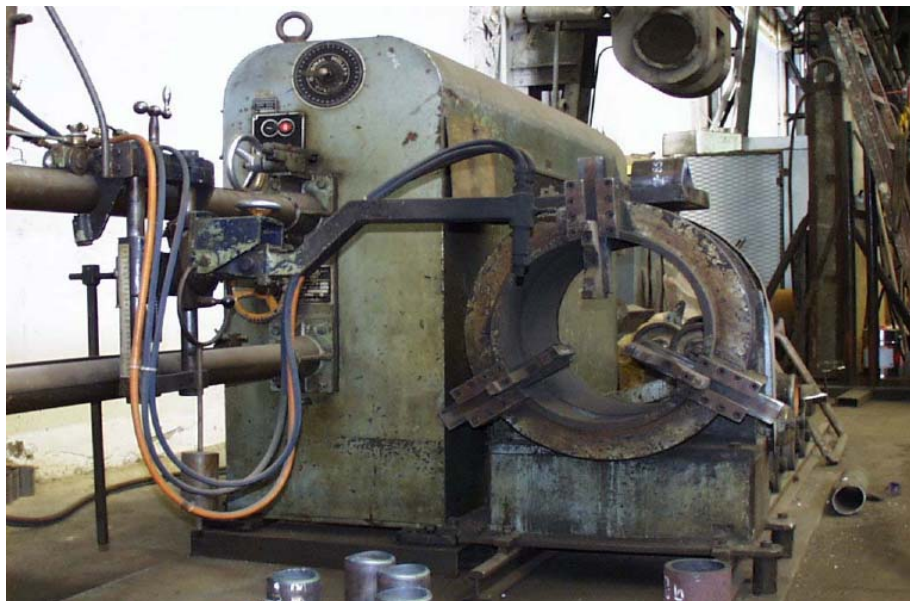
*Slika 2.3 Univerzalna glodalica*

Za rezanje različitih cijevi, profila, otkivaka i sl. pod kutom 90°, koriste se pile na kojima se automatski mogu namjestiti duljine reznog komada. Primjer takve pile za rezanje prikazan je na slici 2.4.



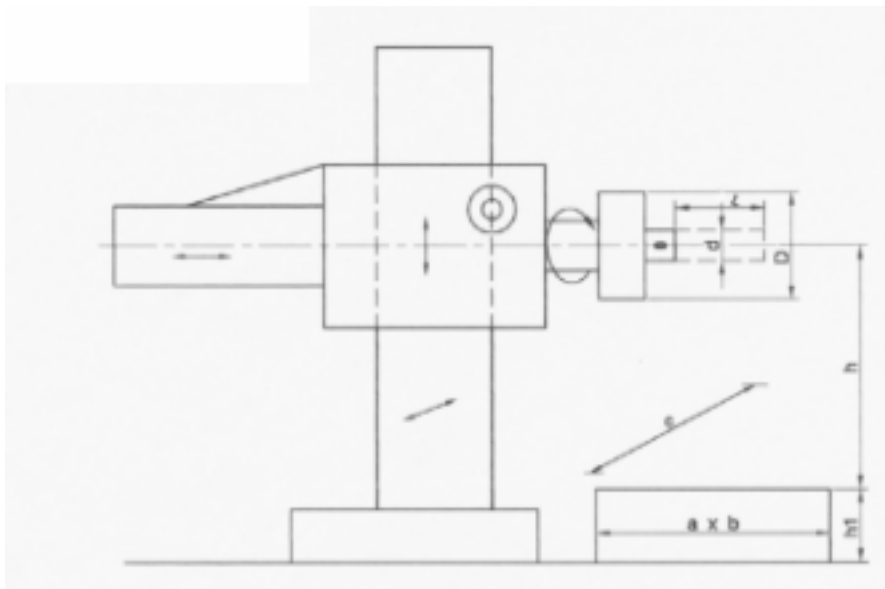
*Slika 2.4 Pila za rezanje*

Stroj namijenjen za plinsko rezanje prodora cijevi (valjak/valjak – priključak/komora) prikazan je na slici 2.5.



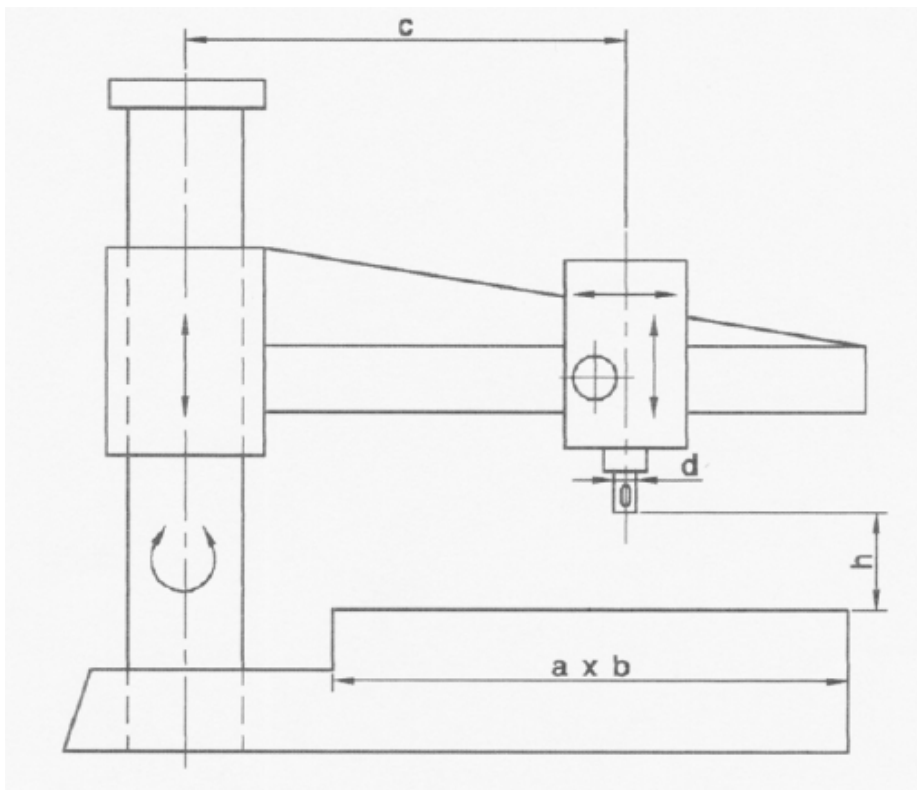
*Slika 2.5 Stroj za plinsko rezanje prodora cijevi*

Obrada krajeva komora, izrada provrta i priprema za zavarivanje na komorama, te bušenje i glodanje raznih dijelova izvodi se na horizontalnoj bušilici i glodalici. Primjer takvog stroja prikazan je na slici 2.6.



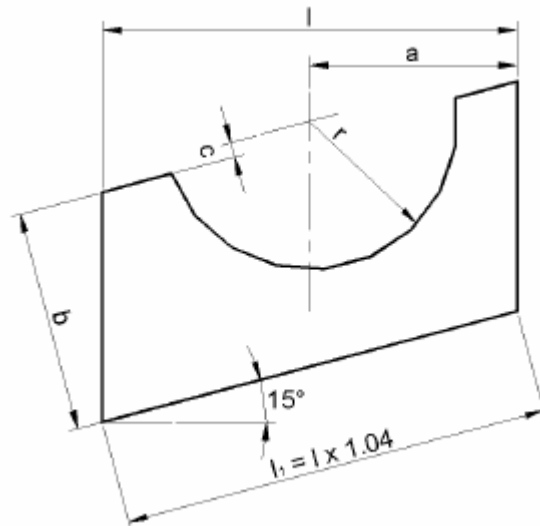
*Slika 2.6 Horizontalna bušilica i glodalica*

Radijalne bušilice su namijenjene za bušenje limova cijevi, komora, profila itd.



*Slika 2.7 Radijalna bušilica*

Za štancanje nosivih pločica nosivih cijevi kotla i drugih pločica, ili prosijecanje otvora različitih oblika koristi se ekscentar preša. Na prešu se stavljaju različiti alati ovisno o željenim oblicima. Primjer nosive pločice prikazan je na slici 2.8, a ekscentar preše na slici 2.9.

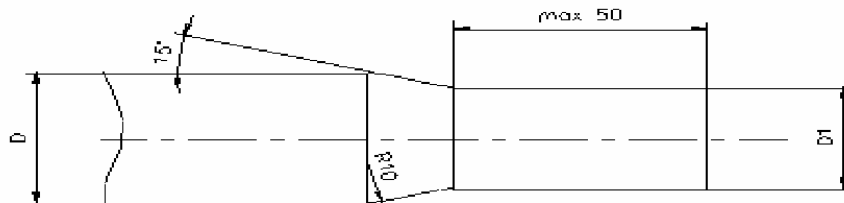


*Slika 2.8 Nosiva pločica*



*Slika 2.9 Ekscentar preša*

Horizontalna preša je namijenjena za sužavanje cijevi, prešanje jednostavnih otpresaka i za hladno ravnanje dijelova nakon zavarivanja, slika 2.10. Poželjno je da cijevi prije obrade budu osačmarene sa strojem za vanjsko sačmarenje cijevi i za unutrašnje sačmarenje komora.



*Slika 2.10 Horizontalna preša*

Prilikom gradnje kotlova obavljaju se mnoge obrade savijanja cijevi. Savijanje cijevi se vrši na stroju za hladno savijanje cijevi i pojedinačnih cijevnih lukova u jednoj ravnini (slika 2.11), a savijanje u prostoru se izbjegava. U slučaju da se to ne može izbjeći problem se rješava sućeonim montažnim zavarima.



*Slika 2.11 Strojevi za hladno savijanje cijevi*

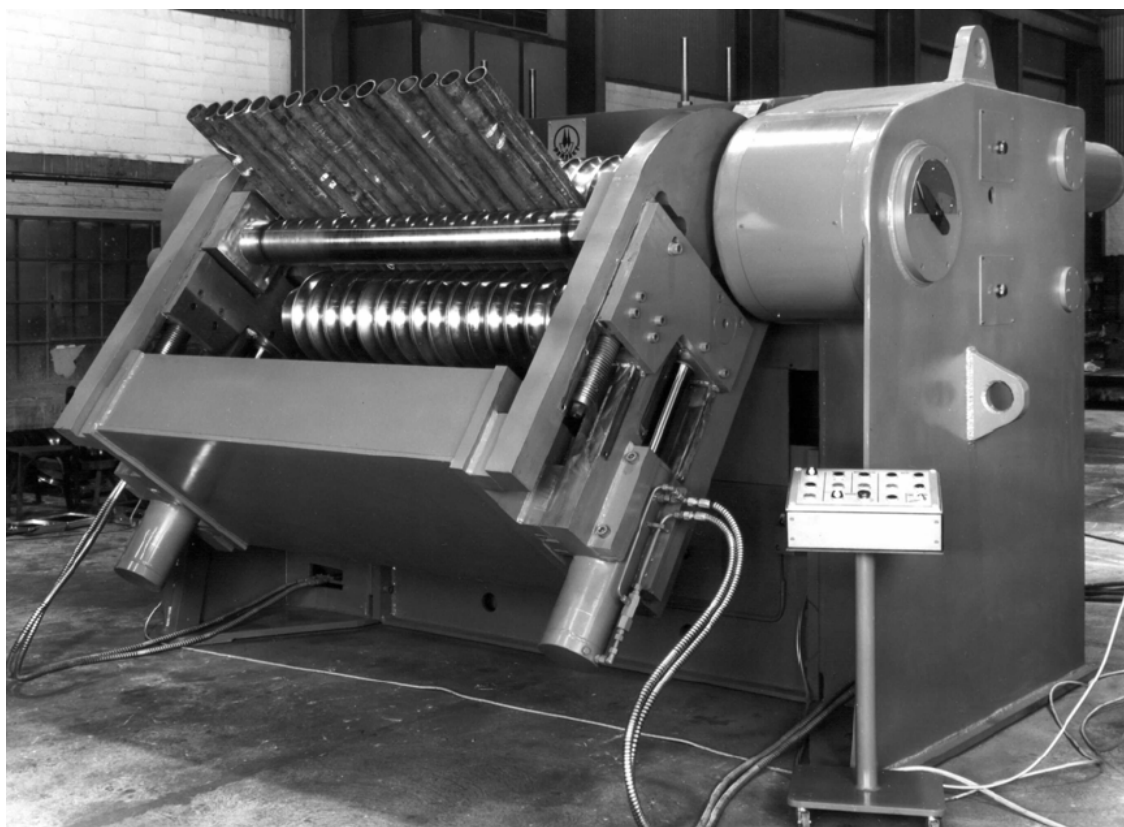
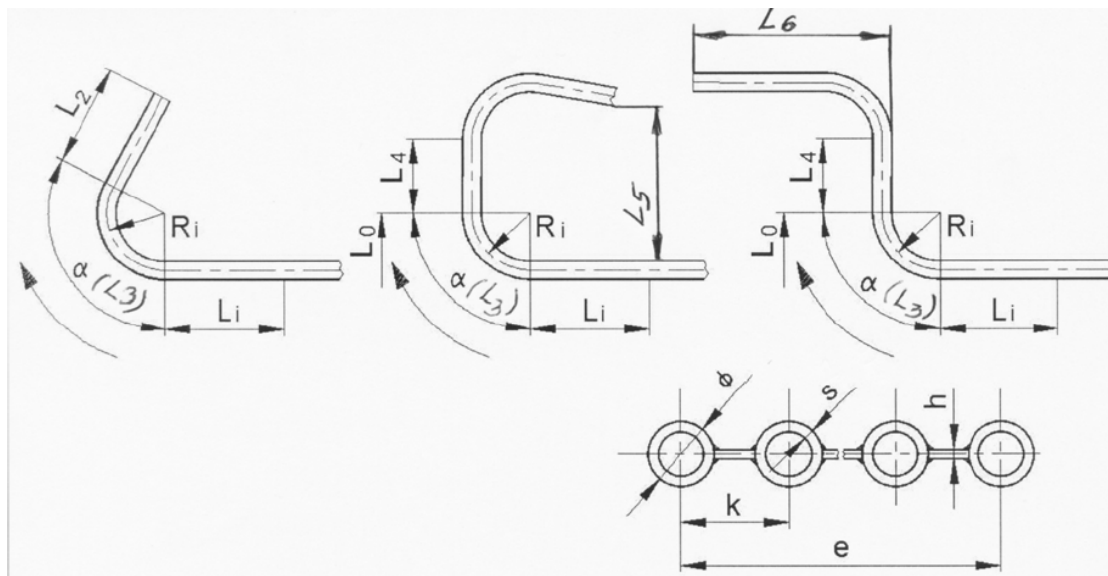
Cijevne zmiје pregrijača, isparivača i ekonomajzera proizvode se savijanjem cijevi na CNC stroju za hladno savijanje, slika 2.12. Cijevi koje se stavljaju u stroj mogu biti do 100 metara dužine.



*Slika 2.12 CNC stroj za hladno savijanje cijevi*

Željeni oblik membranskih zidova pregrijača, isparivača i predisparivača dobije se savijanjem u stroju za savijanje membranskih zidova. Na slici 2.13 su prikazani oblici savijanja membranskih stijena i stroj za savijanje.

Plastevi posuda pod tlakom ili ne tlačni dijelovi iz lima oblikuju se valjcima za hladno savijanje.



*Slika 2.13 Stroj za savijanje membranskih zidova ("na hladno")*

Tijekom procesa hladnog sužavanja cijevi, a u nekim slučajevima i hladne deformacije materijala, dolazi do prevelikog otvrdnjavanja i očvrstnuća materijala na mjestu sužavanja (kad je deformacija veća od 5%). U tom slučaju potrebno je izvršiti naknadnu toplinsku obradu u smislu smanjenja unutarnjih napetosti i tvrdoće. U tablici 2.5 prikazane vrijednosti temperatura i dužine trajanja rekristalizacijskog žarenje za različite materijale.



Materijal	Temperatura, T, °C	Vrijeme držanja, t, min		
		Postotak deformacije, %		
		≤ 5%	> 5% do 30%	> 30%
15Mo3	530-620	-	60	60
13CrMo44	600-700	-	60	60
10CrMo9-10	650-750	-	60	60
X20CrMoV12-1	720-780	-	60	60

*Tablica 2.5 Rekrystalizacijsko žarenje (tehnološki postupak AE TEP d.o.o.)*

Toplinska obrada u zavarivanju se može vršiti prije zavarivanja, za vrijeme zavarivanja i poslije zavarivanja. Toplinske obrade se mogu provoditi lokalno, za zonu zavarenog spoja, ili za čitav proizvod, napr. u peći za žarenje kao što je na slici 2.14.



*Slika 2.14 Elektrootporna peć za toplinsku obradu*

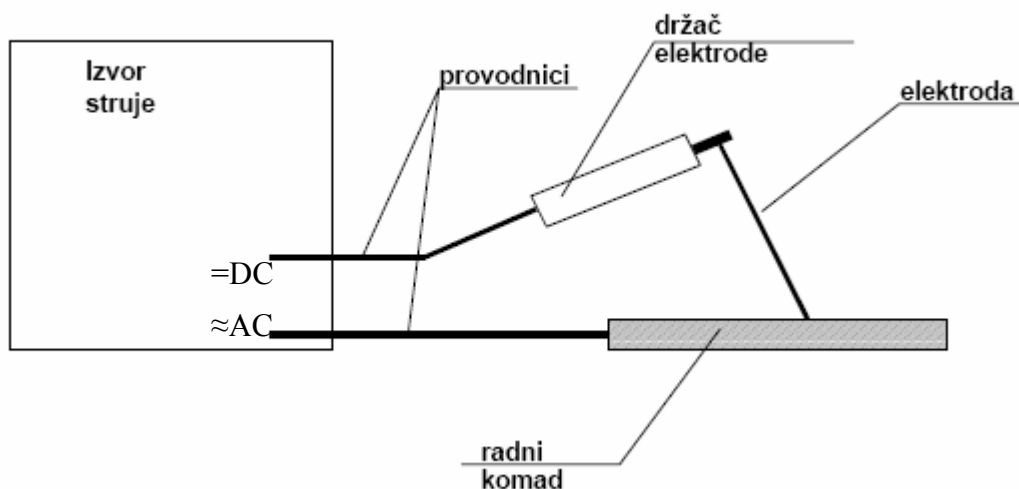
Svi dijelovi i komponente kotlovskeg postrojenja koji mogu korodirati do ugradnje, tijekom ugradnje, i za vrijeme eksploatacije moraju biti zaštićeni od korozije. Zaštita se može vršiti različitim premazima i vrućom galvanizacijom (pocinčavanjem).

### **2.2.1 Tehnologija zavarivanja u izradi kotlovskeg postrojenja**

Neki dijelovi kotlovskeg postrojenja su izloženi visokim tlakovima. Za zavarivanje na tlačnim dijelovima dozvoljeni su sljedeći postupci zavarivanja:

2. REL zavarivanje; ovaj postupak se primjenjuje i za netlačne dijelove
3. TIG zavarivanje
4. EPP zavarivanje
5. MIG zavarivanje i navarivanje
6. MAG zavarivanje punim žicama u plinskoj zaštiti CO<sub>2</sub> ili plinske mješavine; ovaj postupak se primjenjuje i za netlačne dijelove
7. MAG zavarivanje punjenim žicama sa zaštitnim praškom i plinskom zaštitom
8. Zavarivanje svornjaka

1. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom (REL) je postupak koji ima široke mogućnosti primjene kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Zbog male brzine zavarivanja (1,5 do 2kg depozita na sat) se primjenjuje za izvođenje kraćih zavara, obično debljine ne iznad 15mm kod sučeonih zavarenih spojeva, te kraćih kutnih spojeva manje debljine zavara. Elementi REL procesa su izvor struje zavarivanja, obložena elektroda, zavarivački provodnici, kliješta za učvršćenje elektrode i stezaljka za priključak zavarivanog komada. Zavarivanje se ostvaruje tako da električni luk se uspostavlja kratkim spojem – kresanjem između elektrode i radnog komada, tj. priključka na polove električne struje (istosmjerne ili izmjenične). Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje elektrode u električni luk od strane zavarivača, te taljenje elektrode i formiranje zavarenog spoja. Shema REL postupka prikazana je na slici 2.15.



Slika 2.15 Shema REL postupka

Izvori struje zavarivanja kod REL postupka nazivaju se i strojevi za zavarivanje. Oni daju struju potrebne jakosti i napona za zavarivanje. Koriste se četiri osnovna tipa izvora struje: generatori, transformatori, ispravljači i inverteri.

Danas se u kotlogradnji najviše upotrebljavaju inverteri. Oni daju istosmjernu ili visokofrekventnu pulsirajuću struju. Inverter se sastoji od ispravljača koji daje istosmjernu struju napona gradske mreže, zatim tiristorskog dijela koji sječe istosmjernu struju i daje impulse frekvencije do 50 kHz. Ovi visokofrekventni impulsi napona gradske mreže se zatim transformiraju na napon potreban u zavarivanju. Zbog visoke frekvencije ne dolazi do

zagrijavanja transformatora. Inverterima se uz poseban programski paket ostvaruje vrlo precizna digitalna kontrola zavarivanja.

Mijenjanjem upravljačkih panela, sa istim inverterima, mogu se vršiti zavarivanja REL, MIG/MAG, impulsni MIG i TIG. Primjeri takvih invertera su na slici 2.16.



*Slika 2.16 Inverteri sa upravljačkim panelima*

U kotlogradnji za zavarivanje REL postupkom koriste se samo elektrode sa bazičnom oblogom. Osim tih još postoje kisele, rutilne i celulozne obloge elektroda.

2. Zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitom inertnog plina (TIG) se ostvaruje tako da se električni luk uspostavi pomoću visokofrekventnog generatora koji se uključuje u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka između netaljive volframove elektrode i radnog komada, tj. priključka na polove električne struje (istosmjerne ili izmjenične), visokofrekventni generator se isključuje, a proces zavarivanja se odvija sa ili bez dodavanja dodatnog materijala (žice) u električni luk. Kako volfram lako oksidira na visokoj temperaturi, zaštita luka i elektrode se osigurava inertnim plinom argonom. Žica za zavarivanje u električni luk se dodaje ručno, te se tali i formira zavareni spoj. Kod zavarivanja debljih materijala (npr. komora) sa TIG postupkom se vrši provarivanje korijena zavara, a ostatak žlijeba se ispunjava REL postupkom (zbog ekonomske isplativosti).

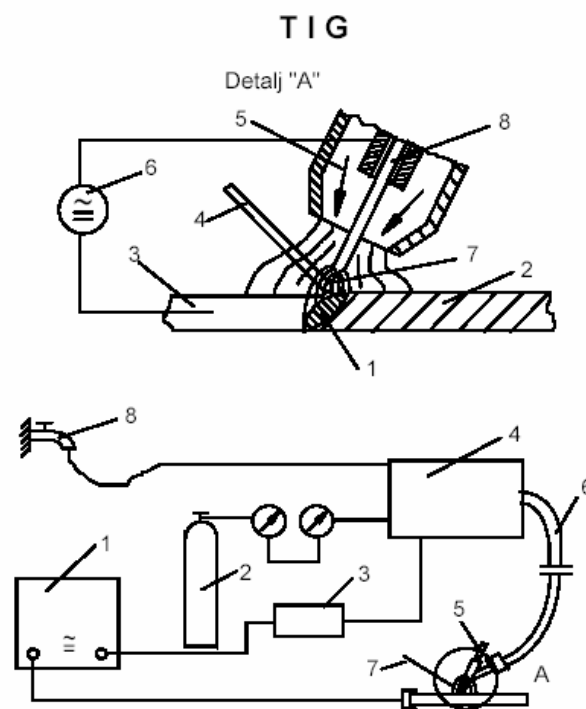
Većinu metala zavaruje se istosmjernom strujom s priključkom na "-" pol, dok se aluminijske i magnezijeve legure zavaruju s izmjeničnom strujom stabiliziranom, visokofrekventnom strujom. Izmjenična struja je potrebna da se omogući čišćenje površinskih oksida na aluminiju bombardiranjem pozitivnih iona argona i izlaskom elektrona s katode, u periodu kada je elektroda pozitivna. Elektroda se ne spaja na "+" pol jer se pretjerano zagrijava (anodni pad napona je veći od katodnog, pa se oslobađa i više topline na pozitivnoj elektrodi).

Stroj za TIG zavarivanje sastoji se od izvora struje (1), upravljačke kutije (4) i eventualno hladnjaka vode (8) za hlađenje pištolja. Izvor struje može biti isti kao i kod REL zavarivanja. U upravljačkoj kutiji je dodatni visokofrekventni izvor struje (3) koja se superponira na struju zavarivanja. Ova visokofrekventna struja omogućava probijanje iskre i bez kratkog spoja, što štiti volframovu elektrodu (5) od oštećenja. Zaštitni plin se dovodi iz boce (2) u upravljačku kutiju, a iz kutije se vodi provodnikom (6) na pištolj za TIG zavarivanje. U pištolj se dovodi i rashladna voda za zavarivanje strujama jačim od 150 A. Sapravnica je od vatrostalne keramike. Tehnika zavarivanja je vrlo slična tehnici kod plinskog

zavarivanja. Pištolj se drži blago nagnut dok se rubovi ne rastale, zatim se doda žica (7) u kupku i otali potreban dio žice. Ponovno se približi pištolj i grije talinu dok se rubovi i dodatak ne rastale. Shema TIG postupka prikazana je na slici 2.17.

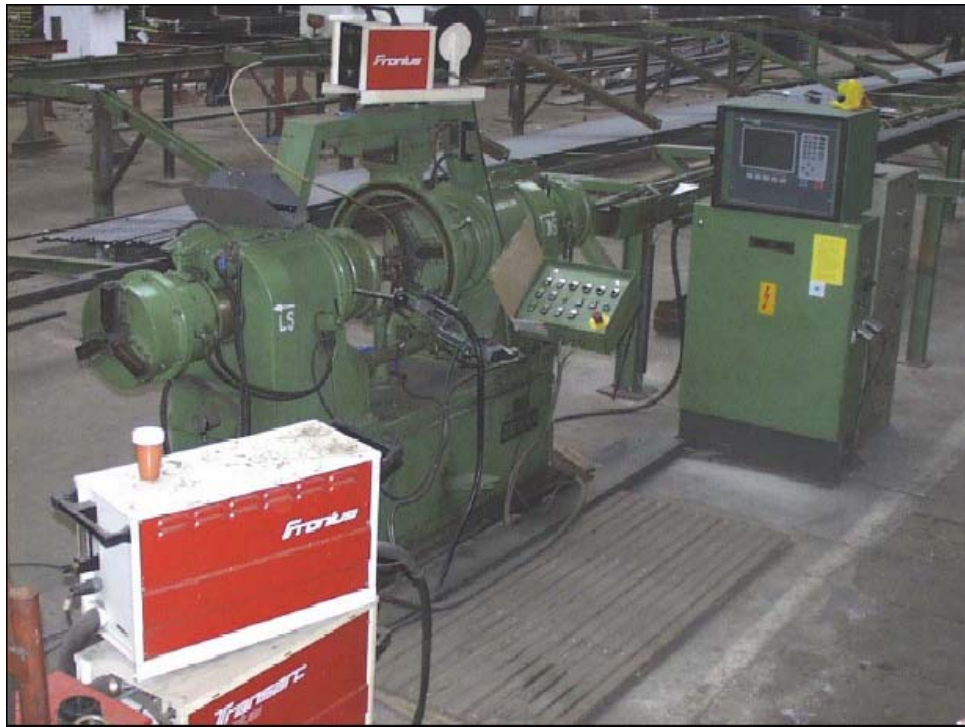
Električni luk je vrlo miran i lijepo se može pratiti proces taljenja i stapanja materijala, što omogućava kvalitetnije zavarivanje korijenskih zavora. Jakosti struje zavarivanja su u rasponu od 40 – 400 A. Promjeri elektroda kreću se od 0,5 do 4 mm. Žice dodatnog materijala moraju biti metalurški i površinski čiste jer u talini nema mogućnosti pročišćavanja zbog inertne atmosfere luka. Promjeri žice dodatnog materijala su od 0,5 do 8 mm. Kao dodatni materijal može se koristiti i trake lima. Čistoća spajanih površina također utiče na kvalitetu zavarenog spoja.

TIG-om se može zavarivati u svim položajima gotovo sve metale i legure osim onih koji sadrže lako hlapljive komponente. Argon je neotrovan plin, teži od zraka, istiskuje kisik.



Slika 2.17 Shema TIG postupka zavarivanja

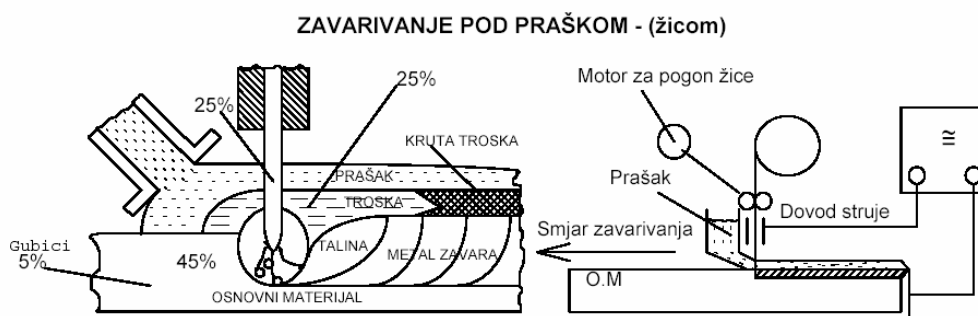
U kotlogradnji se TIG postupak uglavnom izvodi ručno za provarivanje korijena zavora komora debljih stijenki, ali postaje i automatizirani postupak sučelnog zavarivanja cijevi kao što je prikazano na slici 2.18. Cijevi se spajaju u veće dužine prije savijanja u cijevnu zmiiju ili zavarivanja u membranski zid.



*Slika 2.18 CNC stroj za automatsko sučelno zavarivanje cijevi TIG postupkom*

3. Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška (EPP) je modernija varijanta REL postupka sa kojom se postiže veća produktivnost. To je automatizirani postupak zavarivanja i na kvalitetu zavara neovisi ručna spretnost zavarivača već pravilno podešavanje parametara zavarivanja (jakost i napon struje, brzina zavarivanja).

Električni luk se uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka, visokofrekventni generator se isključuje, žica za zavarivanje kontinuirano dolazi u električni luk, tali se i sudjeluje u formiranju zavarenog spoja.. Proces se odvija pod zaštitnim praškom. Luk stabilno gori ispod sloja praška, koji zadržava bljesak i dimove. Sastav praška je sličan kao i kod obloge elektroda (REL), samo za razliku od REL postupka postoji mogućnost kombinacija različitih žica i praška, dok je kod obložene elektrode taj izbor izvršio proizvođač elektrode. Prašak za zavarivanje se nasipa iz spremnika iznad mjesta zavarivanja. Sloj praška je visok nekoliko centimetara i potpuno prekriva električni luk. Ispod sloja praška nastaje kaverna, obložena troskom, u kojoj stabilno gori električni luk. Metalne kapi ne izlijeću iz te šupljine, nego se deponiraju u zavar. Shema postupka prikazan je na slici 2.19.



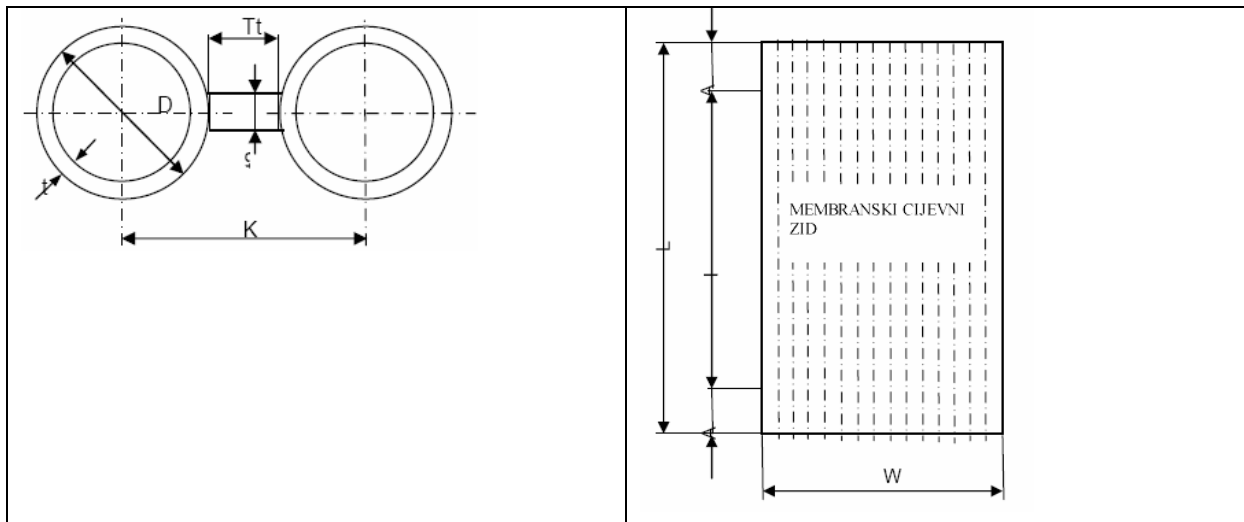
*Slika 2.19 Shema postupka zavarivanja pod praškom (EPP)*

Brzina dodavanja dodatnog materijala se automatski regulira, tako da je visina luka stalna. To se postiže ujednačenjem brzine dodavanja materijala s brzinom taljenja. Brzina dovođenja žice se postavlja na izabranu stalnu vrijednost za željenu visinu luka, pa se razlike u duljini nadoknađuju bržim ili sporijim taljenjem elektrode. Visina luka još se može regulirati promjenom jakosti struje zbog položene statičke karakteristike izvora struje.

EPP proces se najviše koristi za zavarivanje ugljičnih čelika, niskolegiranih čelika, a koristi se i za navarivanje visokolegiranih čelika i bakra na podlogu od ugljičnog čelika.

Zbog manje duljine slobodnog kraja žice moguće je iste promjere žice opteretiti puno većim strujama nego kod REL postupka (gdje je duljina slobodnog kraja praktično duljina elektrode koja se koristi za zavarivanje). Jakost struje ( $I$ ) zavarivanja, ovisno o promjeru elektrode, je od 100 A do 1000 A, a napon ( $U$ ) se kreće od 26 do 40 V. Brzina zavarivanja ( $v$ ) je značajno veća u odnosu na REL i MAG postupak (od 200 do 600 mm/min). Napon praznog hoda je 100 V (veći nego kod REL postupka iz razloga što se kod EP postupka teže uspostavlja električni luk).

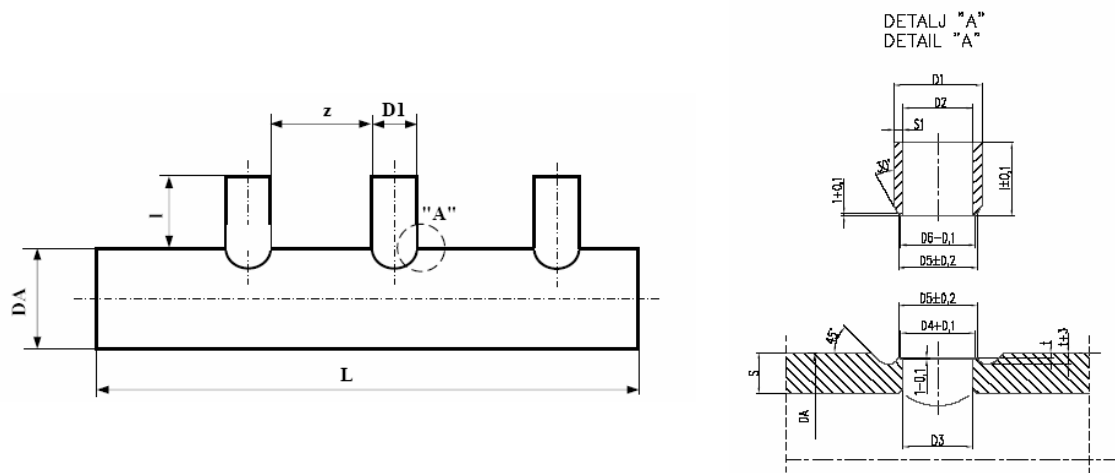
Površina zavara je glatka zbog pritiska obilne količine troske za vrijeme skrućivanja. EP postupak se zbog svoje brzine i čistoće zavara koristi za zavarivanje membranskih stijena u kotlogradnji. Primjer takvog stroja je prikazan na slici 2.20.



*Slika 2.20 Stroj za membransko zavarivanje*

Poseban problem kod EPP zavarivanja je izrada korijenskog zavara. Tokom zavarivanja prašak prekriva žlijeb pa kontrola provarivanja nije moguća. Korijenski zavar izvodi se nekim drugom postupkom. Tako se u kotlogradnji zavarivanje priključaka na komori vrši sa dva postupka:

- TIG – iznutra radi provarivanja korijena zavara
- EPP – izvana se popunjava zavar.
- Primjer takvog postrojenja je prikazan na slici 2.21.



*EPP automat (neorbitalni)*

*TIG orbitalni automat*

*Slika 2.21 Postrojenje za automatsko zavarivanje priključaka na komore*

4. Zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom inertnog plina (MIG postupak) je proces kod kojeg se električni luk uspostavlja kratkim spojem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje. Izvor struje ima položenu statičku karakteristiku što omogućava brzu regulaciju duljine luka uz konstantnu brzinu dobave elektrodne žice. Duljina luka se ustali kada se izjednače brzine dobave i taljenja žice. Žica se s koluta dovodi u pištolj, zajedno sa zaštitnim plinom. Pištolji (gorionici) za zavarivanje jačim strujama hlađeni su vodom. Primjer pištolja (gorionika) za zavarivanje prikazan je na slici 2.22.



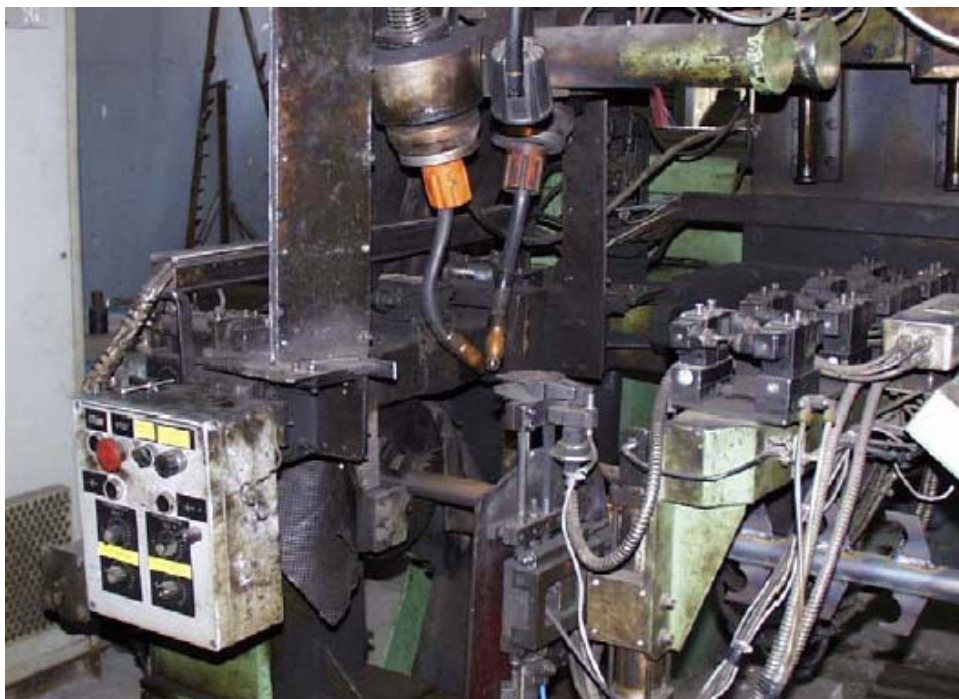
Elektrodnu žicu kroz provodnik gura pogonski elektromotor pomoću nazubljenih kotačića ili impulsnim dodavačem.



*Slika 2.22 Ergonomični MIG gorionik sa zglobom*

Napon zavarivanja ( $U$ ) se kreće od 16 do 36 V, a jakost struje od 120 do 300 A ovisno o promjeru žice za zavarivanje. Brzina zavarivanja ( $v$ ) ovisi o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja, a iznosi od 2 do 4 mm/s. Napon praznog hoda je najčešće 60 V. Stupanj iskorištenja energije za taljenje je 0,75 – 0,85.

S obzirom da je kupka vidljiva, dobro se može kontrolirati provarivanje korijenskog zavara, što je teže kod REL, a nemoguće kod EPP postupka. Kako kod pune žice nema ni troske koju treba čistiti, ne začinjuje veliki broj automatiziranih strojeva za zavarivanje opremljenim ovim procesom. Primjer stroja za zavarivanje MIG/MAG postupkom nosivih pločica za nosive cijevi na kotlovima prikazan je na slici 2.23.



*Slika 2.23 Stroj za automatsko zavarivanje pločica za nosive cijevi MIG/MAG postupkom*

MIG postupak ima široke mogućnosti primjene kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijskih legura i drugih korozijski postojanih materijala i legura. On se uglavnom uspoređuje sa TIG postupkom. Ima prednosti pred TIG zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kg/depozita na sat) i brzine zavarivanja, ali sa TIG postupkom dobije se kvalitetniji zavar. Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1mm do 20 mm.

5. Zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom aktivnog plina (MAG postupak) je isti kao i MIG postupak, samo se umjesto inertnog plina (argona) koristi aktivni plin ( $\text{CO}_2$ ). Koriste se isti strojevi za zavarivanje, samo se mijenja plin i žica za zavarivanje.

MAG postupkom se zavaruju ugljični i niskolegirani čelici. Zaštitni plin ( $\text{CO}_2$ ) se disocira u električnom luku na CO i O. Kako CO reducira metalne okside, omogućava dezoksidaciju kapi i same taline. Ujedno odstranjuje vodik iz atmosfere luka (slično se događa i izgaranjem bazične obloge elektrode REL postupka koja sadrži vapnenac). Slobodni kisik oksidira elemente s većim afinitetom prema njemu, a to su kod čelika siliciji i mangan. Odgaranjem dijela ovih elemenata nastaje mala količina troske, koja se izdvaja na površini u obliku sitnih ljuskica.

6. Kod MAG postupka koriste se žice za zavarivanje koje su punjene bazičnim ili rutilnim praškom. Uloga ovog praška je ista kao i kod obloge u REL postupku, odnosno praška u EPP postupku.

7. Ovaj postupak se primjenjuje u kotlogradnji za zavarivanje svornjaka na cijevne stjenke ili oplata kotlova. Postupak zavarivanja je automatiziran, a zavaruju se svornjaci od čelika koji su postojani na visokim temperaturama u dugom vremenskom periodu. Svornjaci moraju imati aluminizirani vrh da bi se mogao ostvariti dobar zavareni spoj. Na slici 2.24 je prikazan uređaj za zavarivanje svornjaka i tijek postupka zavarivanja.



*Slika 2.24 Uređaj za zavarivanja svornjaka*

### 3.2.1 ATEST ZAVARIVAČA I OPREME ZA ZAVARIVANJE

Svaki zavarivač mora biti izučen i osposobljen za postupak kojim zavaruje. Potvrda koju mora imati svaki zavarivač je atest zavarivača koji je definiran prema EN 287-1. Atest zavarivača potvrđuje osposobljenost zavarivača da zavaruje određenim postupkom zavarivanja.

Svaki stroj za zavarivanje ima svoje tehničke karakteristike propisane od proizvođača. Međutim prije upotrebe stroja vrši se umjeravanje karakterističnih parametara (npr. napon, jakost struje itd.). U atestu opreme za zavarivanje se unose izmjerene vrijednosti i teoretske vrijednosti date od proizvođača, te kolika su odstupanja. Takav dokument se u obliku kartice stavlja na stroj tako da svatko može znati stvarne karakteristike stroja.

### 3.2.2 DNEVNIK ZAVARIVANJA I PROTOKOL O ZAVARIVANJU

Dnevnik zavarivanja se vodi radi evidencije da se uvijek zna koji zavarivač je zavario koji zavar, prema kojem WPS-u i sa kojim dodatnim materijalom. On se morao voditi svaki dan. Zbog pojednostavljenja se uvode protokoli zavarivanja koji se odnose na duži vremenski period. Svi zavari koji se moraju izvesti prema jednom crtežu se nalaze na jednom protokolu zavarivanja. Te zavare mogu izvesti jedan ili više zavarivača. Svaki zavarivač ima za identifikaciju svoj žig. U dnevnik zavarivanja i u protokolu zavarivanja se unosi žig zavarivača.

### 3.2.3 UPUTA ZA TOPLINSKU OBRADU I OSTALA DOKUMENTACIJA

Nakon zavarivanja ponekad se vrše toplinske obrade zavara. Toplinske obrade se izvode prema uputama za toplinsku obradu. U uputama za toplinsku obradu se ucrtavaju stvarni (realni) dijagrami toplinske obrade. Na slici 3.4 je prikazan primjer upute za toplinsku obradu.

Osim ove postoji i druga dokumentacija koja omogućava statističku obradu podataka.

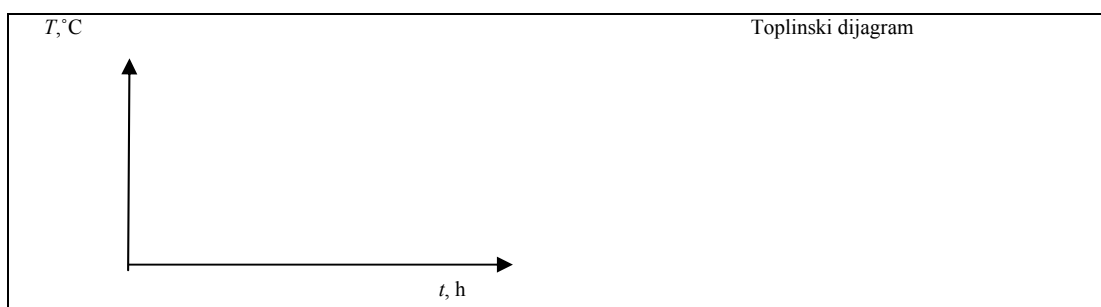
**UPUTA ZA TOPLINSKU OBRADU**  
**INSTRUCTION FOR HEAT TREATMENT**

Broj/No.

Objekt Object			
Naziv dijela Part		Proizvodni broj Works No.	

Osnovni podaci / Base data

Vrsta toplinske obrade Heat treatment		Norma Standard	TRD
Broj crteža Drawing No.	Materijal Material	Dimenzije Sizes	



Toplinski izvor Heat source	Peć Furnace	Kontrola temperature Temperature control	Termopar Thermocouple
--------------------------------	----------------	---	--------------------------

Podaci o toplinskoj obradi / Heat treatment data

Početna temperatura peći Furnace start temperature	$T_p$	°C	15	Max. temperatura držanja Max. holding temperature	$T_2$	°C	600
Brzina zagrijavanja Heating rate	$V_t$	°C/h	150 ±25	Brzina hlađenja Cooling rate	$V_2$	°C/h	150±25
Vrijeme progrijavanja Holding time	$t$	min	75	Temperatura kod izlaza Temperature at removal	$T_h$	°C	300
Min. Temperatura držanja Min. Holding temperature	$T_1$	°C	580	Hlađenje ispod temp. $T_h$ Cooling under temperature $T_h$	Izvan peći Out of the furnace		

Skica/Schema oslanjanja i termoelementa

## 4. VRSTE ŽLJEBOVA ZA ZAVARIVANJE U KOTLOGRADNJI

Na cijevima od membranskog zida se vrši izmjena topline. Toplina nastala izgaranjem goriva se prenosi na vodu i/ili paru koja struji cijevima. Limene kalibrirane trake između cijevi imaju funkciju sprječavanja nekontroliranog izlaza dimnih plinova. Izgled membranskog zida sa komorom je prikazan na slici 4.1.



*Slika 4.1 Membranski cijevni zid sa komorom*

Sa membranskim cijevnim zidovima (prednji, zadnji, bočni) stvara se kanal pravokutnog presjeka kroz koji struji dimni plinovi. Dužina kanala se određuje toplinskim proračunima na osnovu kapaciteta kotla (količina proizvedene pare po satu određenih karakteristika  $p$ ,  $T$ ) i vrste goriva. Nakon iskorištavanja topline dimnih plinova, oni prolaze kroz različite filtre i pročišćeni se ispuštaju u atmosferu.

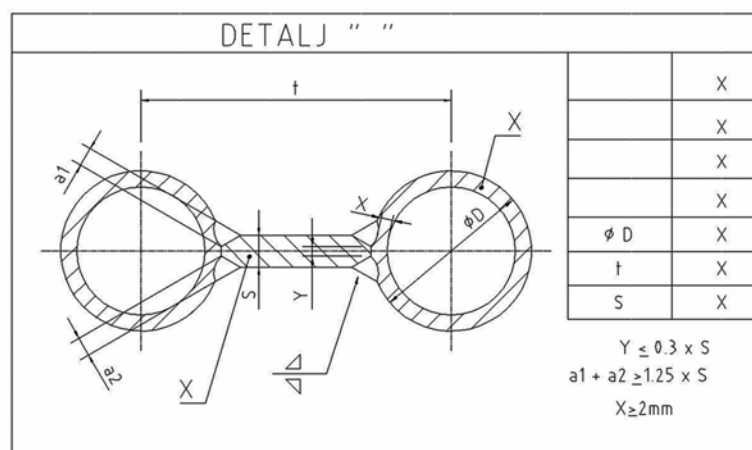
Dijelovi membranskih zidova se izrađuju na automatima za EPP zavarivanje (slika 2.20). U jednom prolazu se zavaruju nekoliko cijevi i traka (zavisno od vrste stroja). Na slici 4.2 je prikazan tijek zavarivanja cijevi i trake na automatima za EPP zavarivanje.



Slika 4.2 Tijek zavarivanja na stroju za automatsko zavarivanje EPP postupkom

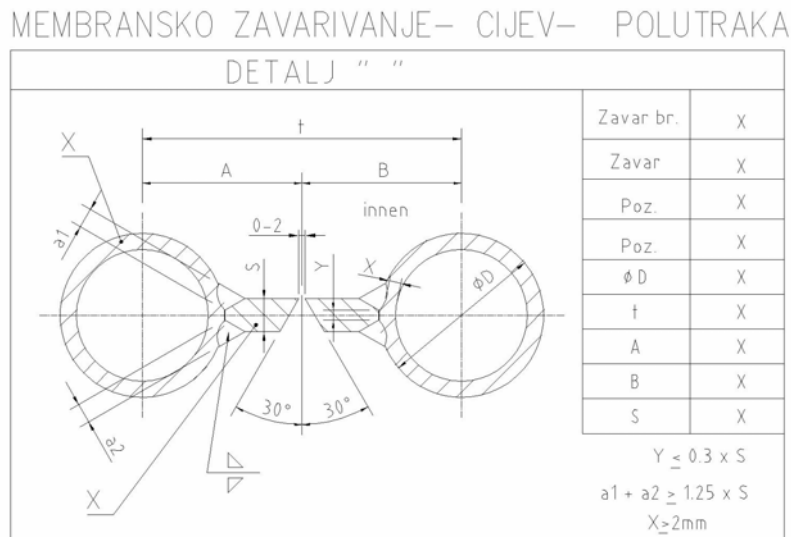
Izgled zavara je prikazan na slici 4.3. Dio membranskog zida proizvedenog na stroju za

MEMBRANSKO ZAVARIVANJE – CIJEV – TRAKA



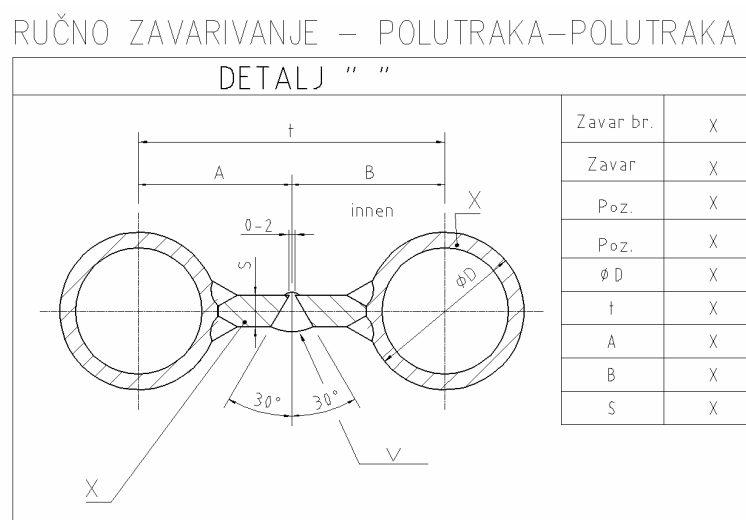
Slika 4.3 Detalj membranskog zavarivanja cijev – traka

automatsko zavarivanje EPP postupkom je nedovoljnih dimenzija za jedan membranski zid kanala, pa se mora spojiti nekoliko njih. Zbog toga se na krajevima dijelova membranskog zida zavaruju polutrake. Oblik žlijeba za zavarivanje dva dijela membranskog zida je prikazan na slici 4.4.



*Slika 4.4 Detalj žlijeba za zavarivanje*

Zavarivanje dijelova membranskih zidova (okrupnjavanje) se obavlja automatskim strojem za EPP zavarivanje ili ručno MAG postupkom. Zbog dozvoljenih transportnih dimenzija dijelovi zida se moraju zavariti na gradilištu ručnim MAG postupkom. Slika 4.5 prikazuje izgled žlijeba za zavarivanje.



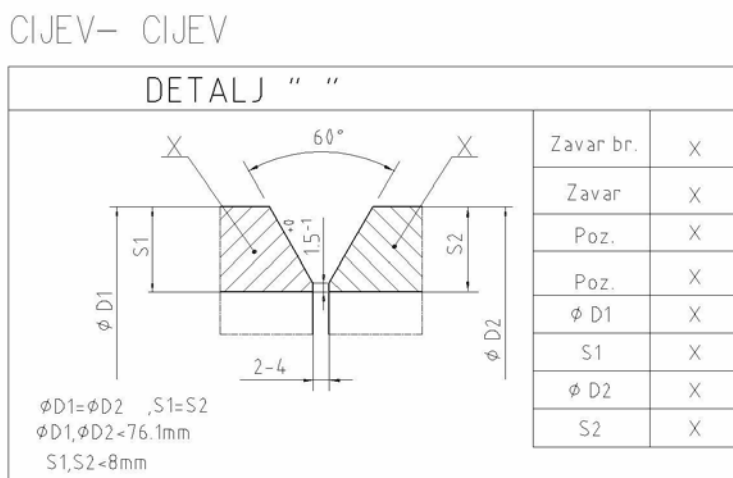
*Slika 4.5 Detalj žlijeba za ručno zavarivanje polutranka*

Na membranskim zidovima postoje različiti otvori (za gorionike, revizorni otvori, prolazi komora, mjerna mjesta itd., slika 4.6) koji se izrađuju isijecanjem dijela membranskog zida i sučeonim spajanjem savijenih cijevi.



Slika 4.6 Otvori na membranskom zidu

Debljine stjenke cijevi na membranskim zidovima manja su od 8 mm te se zavaruju "V" zavarom prikazanim na slici 4.7.



Slika 4.7 Detalj "V" zavora za sučelno zavarivanje cijevi



Pregrijači pare, zagrijači i predisparivači vode se izrađuju u obliku snopova savijenih cijevi ("cijevne zmijs", slika 4.8).



*Slika 4.8 Savijene cijevi namijenjene za izradu "cijevne zmijs"*

Zbog veličine pregrijača potrebno je sučelno spojiti više cijevi (duljina spojenih cijevi je 120 m). Spajaju se zavarivanjem na CNC stroju za automatsko zavarivanje TIG postupkom (slika 2.18), a oblik žlijeba je isti kao na slici 4.7.

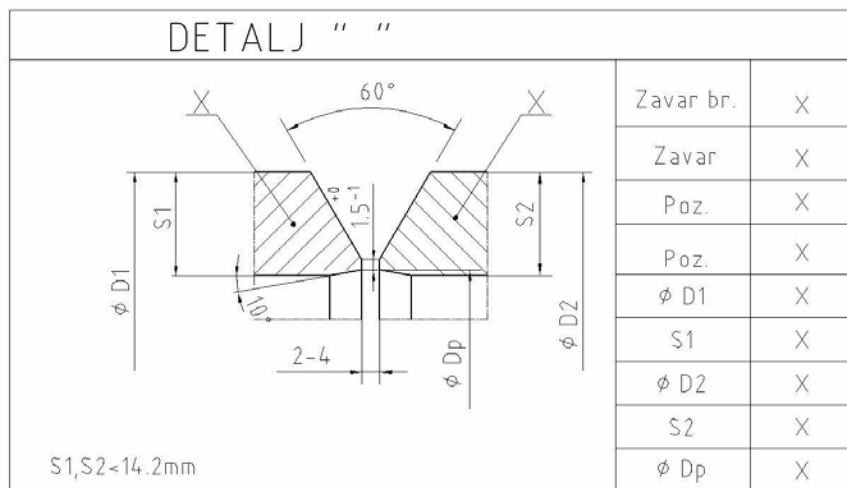
Za sučelno spajanje prestrujnih cijevi koje su većih debljina stjenke i velikih promjera koriste se "V" i "U" zavar (slika 4.9). Oblik tih zavara ovisi o debljini stjenke cijevi.



*Slika 4.9 Pripremljeni žlijeb za zavarivanje "U" zavarom*

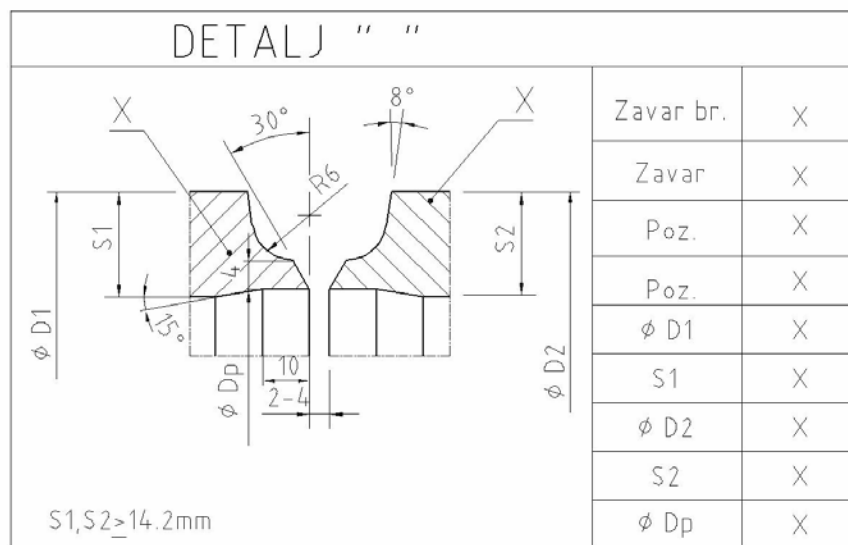
Cijevi čije su stjenke debljine manje od 14,2 mm se zavaruju "V" zavarom (slika 4.10) a cijevi stjenke veće ili jednake od 14,2 mm se zavaruju "U" zavarom (slika 4.11).

### CIJEV– CIJEV



Slika 4.10 Detalj žlijeba za sučelno zavarivanje cijevi "V" zavarom

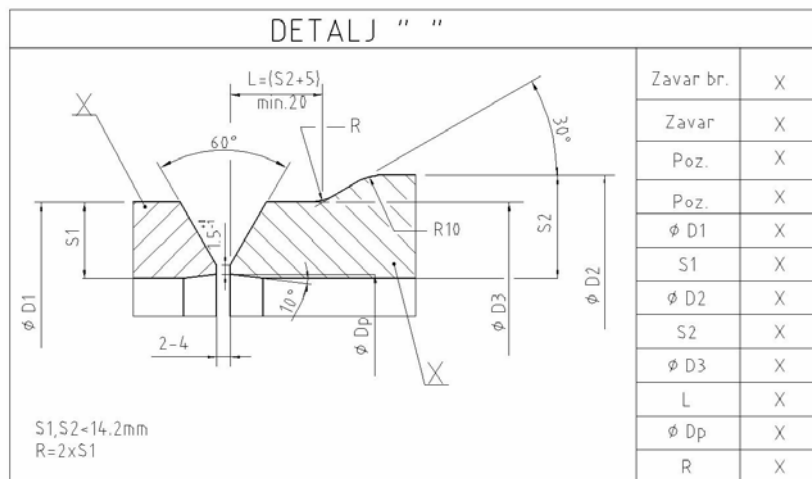
### CIJEV– CIJEV



Slika 4.11 Detalj žlijeba za sučelno zavarivanje cijevi "U" zavarom

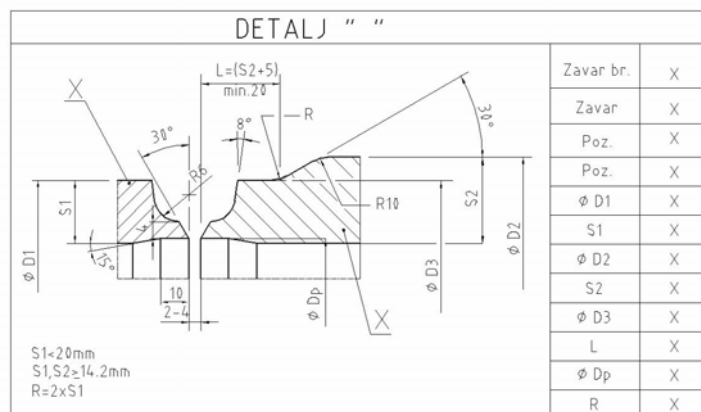
Na nekim mjestima se spajaju cijevi različitih promjera i različitih debljina stijenki. Odabir žlijeba za zavarivanje se vrši prema debljini stjenke. Žlijeb za sučelno zavarivanje stjenke debljine manje od 14,2 mm je prikazan na slici 4.12, a žljebovi za sučelno zavarivanje cijevi stijenki većih ili jednakih 14,2 mm su prikazani na slici 4.13.

CIJEV- CIJEV

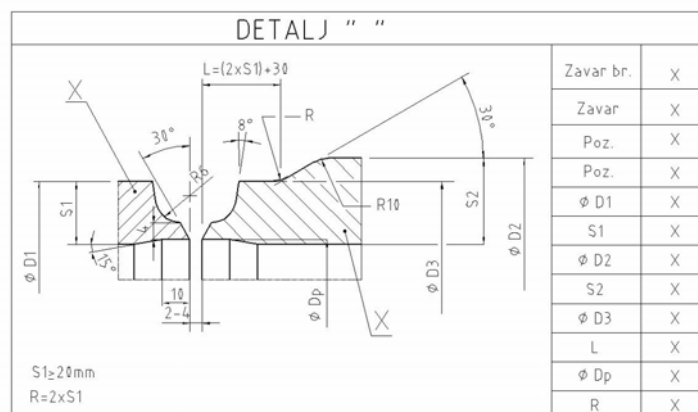


Slika 4.12 Detalj žlijeba za zavarivanje različitih debljina stijenki manjih od 14,2 mm

CIJEV- CIJEV

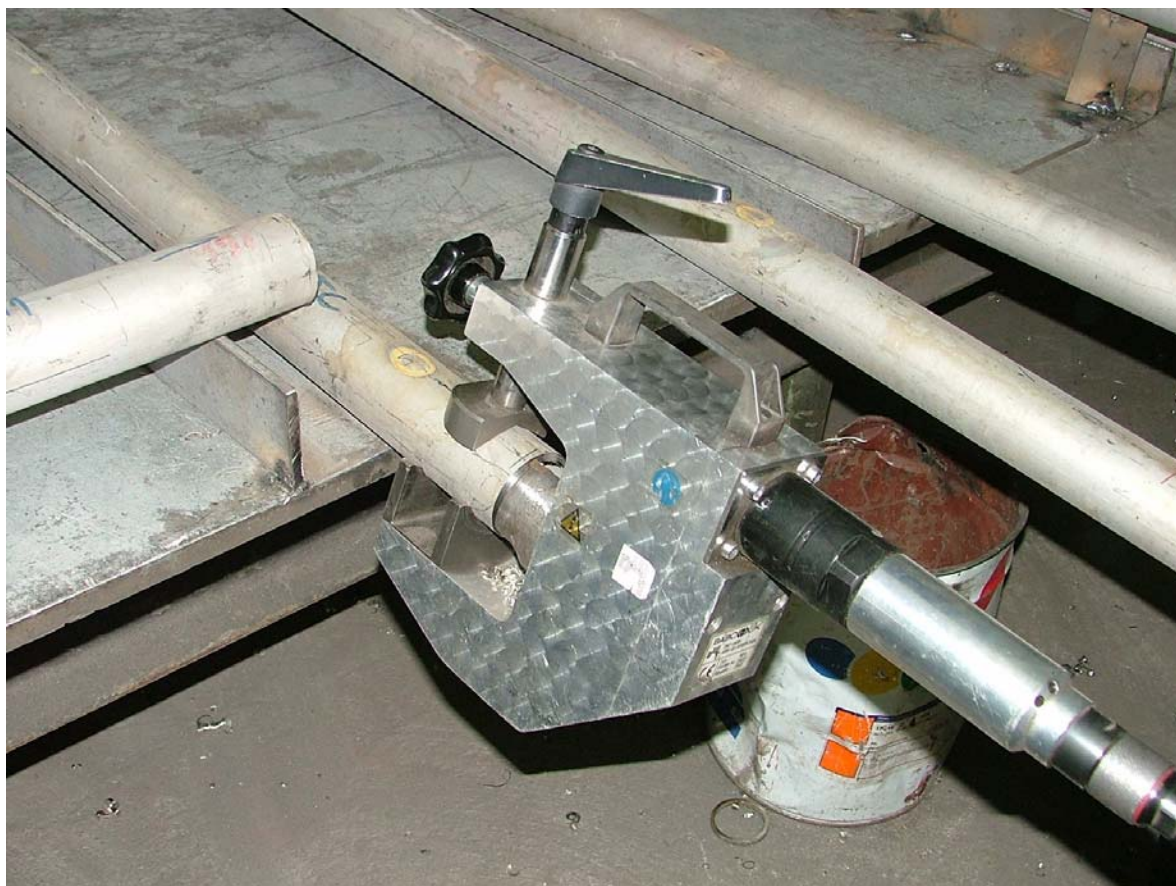


CIJEV- CIJEV



Slika 4.13 Detalji žljebova za sučelno zavarivanje cijevi stijenki većih ili jednakih 14,2 mm

Zbog dužine cijevi žljebovi za sučelno zavarivanje se ne mogu praviti na običnim tokarilicama, već se izrađuju na posebnim napravama. Te naprave se pričvrste za krajeve cijevi i simuliraju rad tokarilica. Jedna takva naprava je prikazana na slici 4.14.



*Slika 4.14 Naprava za izradu žljebova za zavarivanje cijevi*

Cijevi koji vrše raspodjelu vode i pare radi pravilne cirkulacije u svim dijelovima kotla se nazivaju komore. Komora se spaja sa membranskim zidom preko priključaka (slika 4.15).

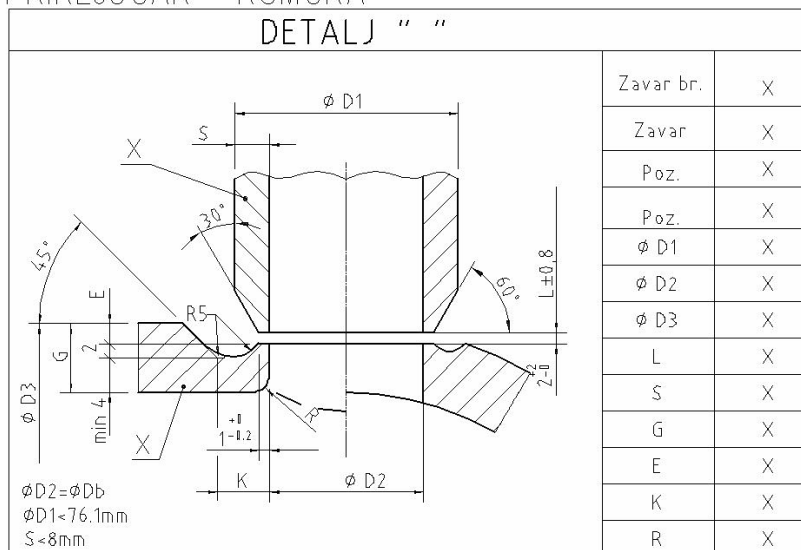


*Slika 4.15 Komora kotla sa priključcima*

Komora od jednog membranskog zida mora imati uglavnom isti broj priključaka koliko ima cijevi na membranskom zidu. Zbog velikog broja rupa na komori potrebnih za priključke, i zbog tlaka i temperature koji vladaju u komori, stjenke komora moraju biti većih debljina. Promjer komore ovisi o količini protoka medija. Oblici žljebova za zavarivanje priključaka na komoru ovise o debljini stjenke priključka na komoru i promjera priključka.

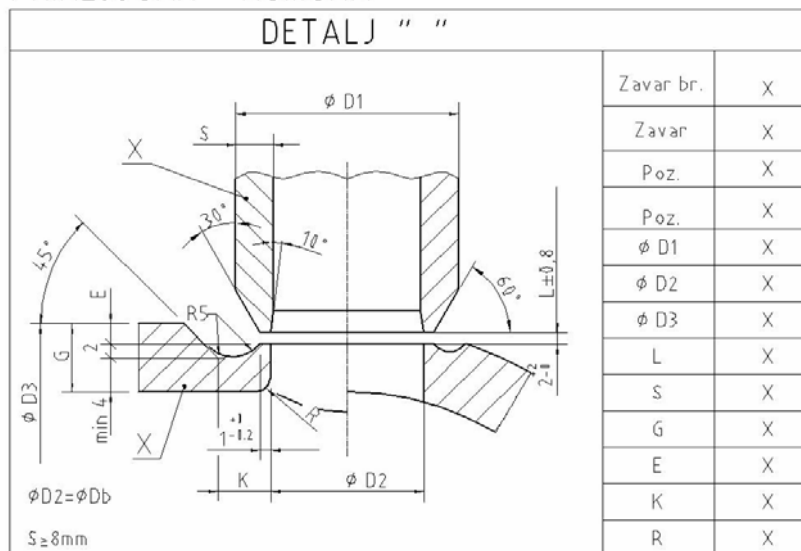
Kada su stjenke priključka manje od 8 mm i vanjski promjer priključka manji od 76,1mm, žlijeb za zavarivanje se izrađuje prema slici 4.16., a kod priključaka čije su stjenke veće ili jednake od 8 mm žlijeb za zavarivanje se izrađuje prema slici 4.17.

PRIKLJUČAK– KOMORA



Slika 4.16 Detalj žlijeba za zavarivanje priključka na komoru

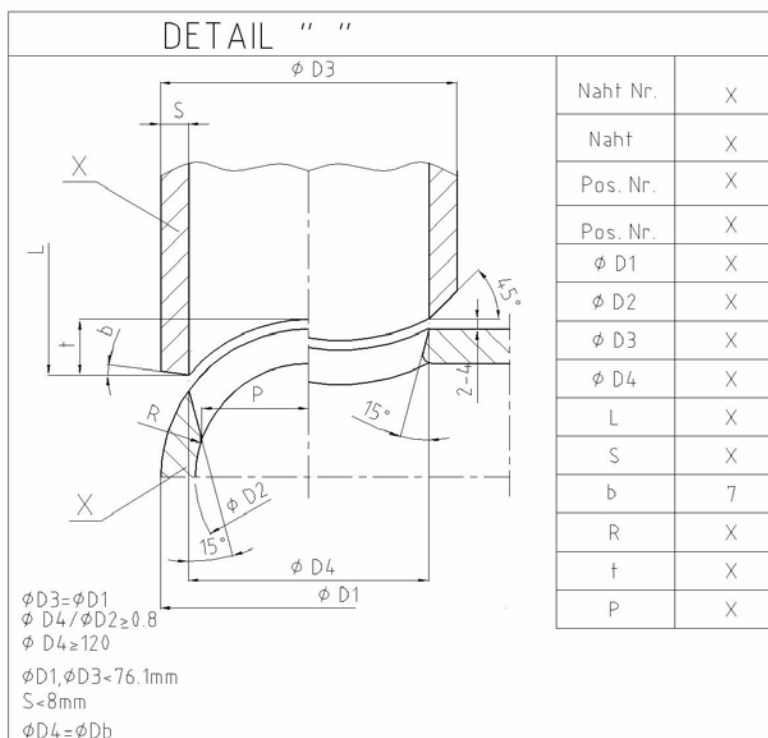
PRIKLJUČAK– KOMORA



Slika 4.17 Detalj žlijeba za zavarivanje priključka na komoru

Kada je komora vanjskog promjera manjeg od 76,1 mm, a vanjski promjer priključka jednak promjeru komore, žlijeb za zavarivanje izrađuje se prema slici 4.18.

## PRIKLJUČAK – KOMORA



Slika 4.18 Detalj žlijeba za zavarivanje priključka na komoru

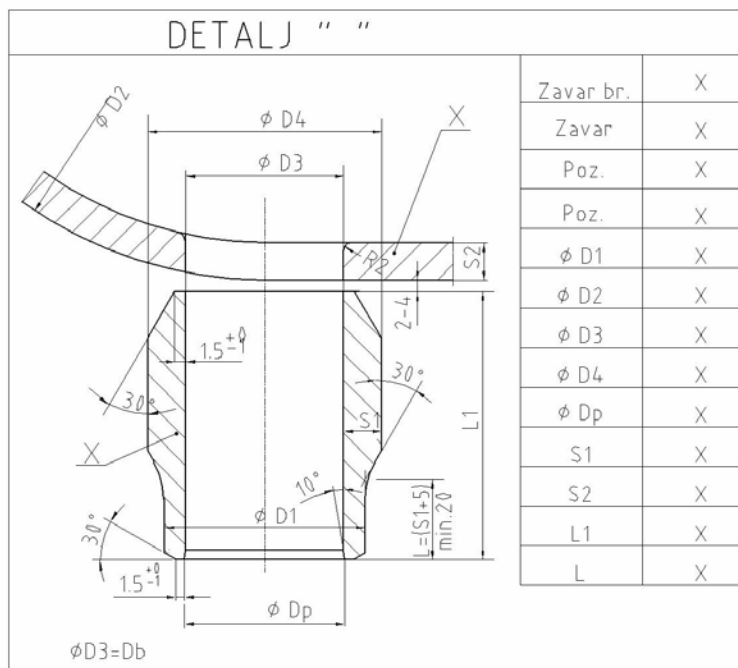
Izgled žlijeba za zavarivanje na komori može se vidjeti na slici 4.19.



Slika 4.19 Pripremljeni žljebovi za zavarivanje na komori

U cijevima kotla ne smije biti prisutan zrak. Prilikom punjenja kotla vodom, mora se izvesti odzračivanje. Na komoru se stavljaju priključci za odzraku i odvodnju zaostale vode prilikom pražnjenja kotla. Izgled žlijeba za zavarivanje priključka odzrake i odvodnje je prikazan na slici 4.20.

### PRILJUČAK ODZRAKE, ODVODNJE – KOMORA

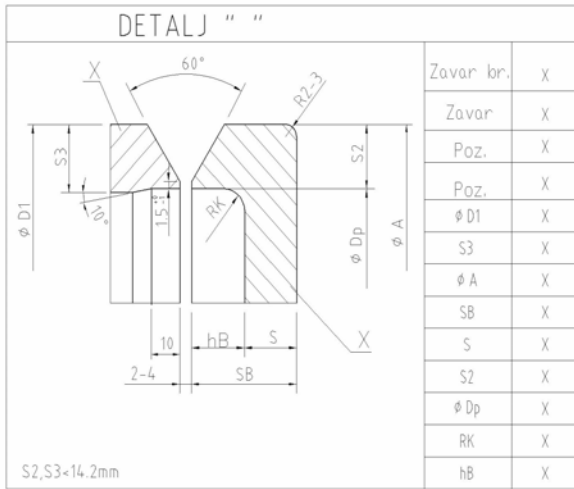


Slika 4.20 Detalj žlijeba za zavarivanje odzrake - odvodnje i komore

Čela komora se zatvaraju sa dancima. Danca mogu biti ravna (slika 4.21) ili sferična (slika 4.22). Oblik danca se određuje na osnovu proračuna čvrstoće. Na pojedina danca komore se stavljaju kontrolni priključci. Kroz te priključke se kontrolira unutrašnje stanje komore. Priključci mogu biti smješteni u gornjoj zoni (slika 4.21h,g), donjoj zoni (slika 4.21e,f) ili srednjoj zoni (slika 4.21c,d) ravnog danca komore. A kod sferičnih danaca samo u srednjoj zoni (slika 4.22d,c). Priključak se zatvara sa dancem. Oblik zavara danca sa komorom ovisi o debljini stjenke komore. Ako je debljina stjenke manja od 14,2 mm koristi se "V" zavar (slika 4.21a,c,e,g i slika 4.22a,c), a kod debljine stjenke veće ili jednake od 14,2 mm koristi se "U" zavar (slika 4.21b,d,f,h i slika 4.22b,d)

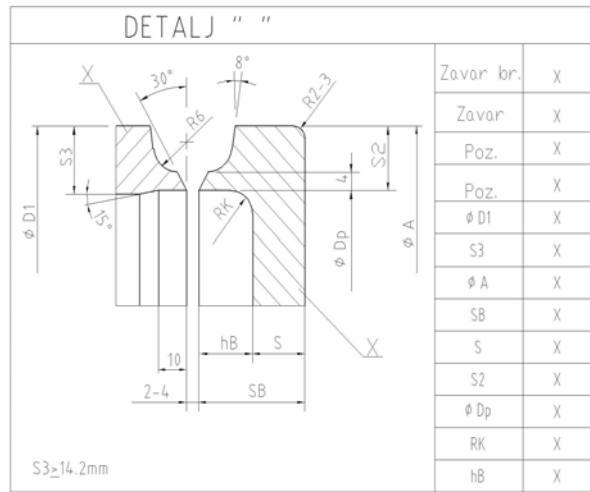


DANCE BEZ RUPE NA KOMORU



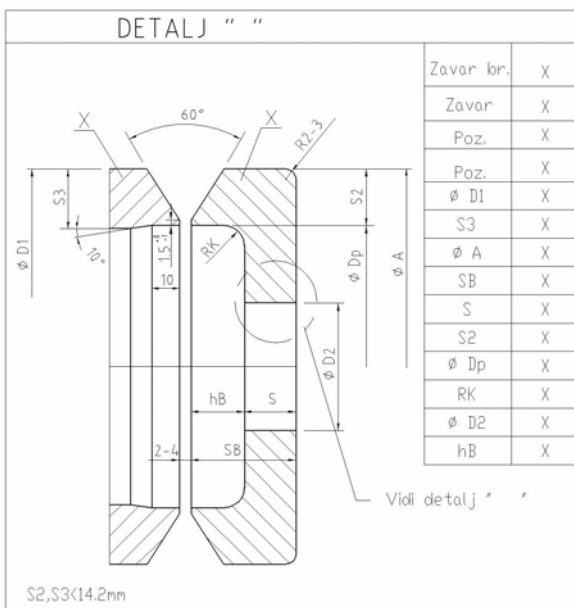
Slika 4.21 a

DANCE BEZ RUPE NA KOMORU



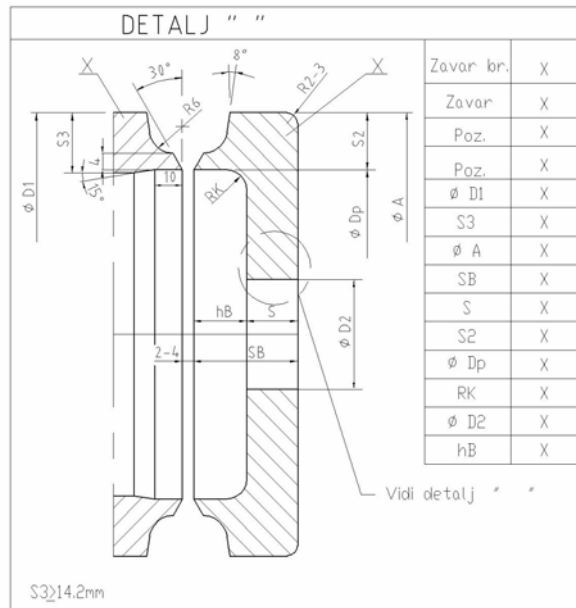
Slika 4.21 b

DANCE S RUPOM NA KOMORU



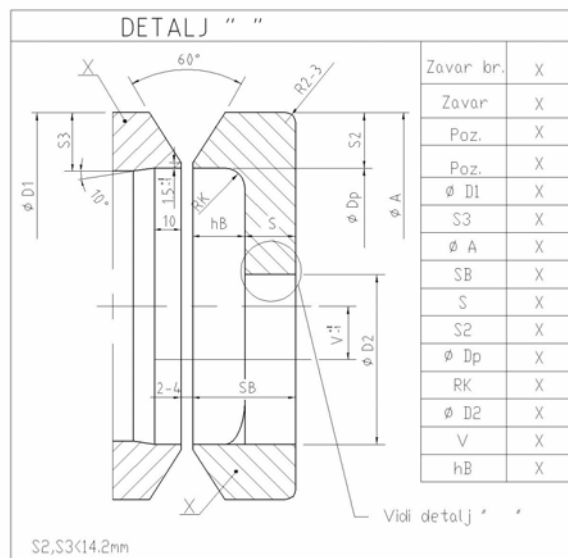
Slika 4.21 c

DANCE S RUPOM NA KOMORU



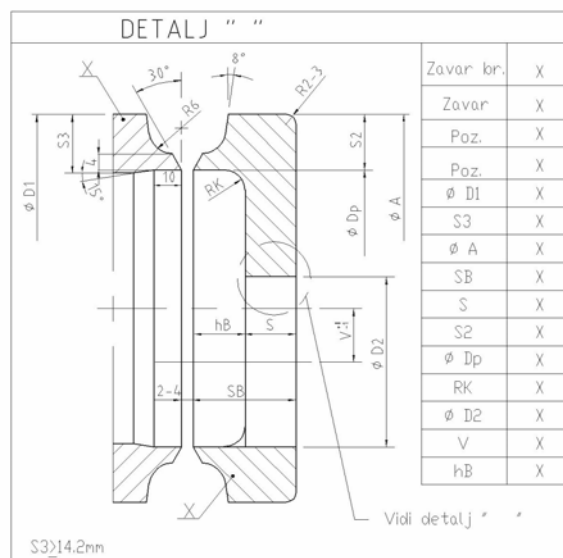
Slika 4.21 d

DANCE S RUPOM NA KOMORU



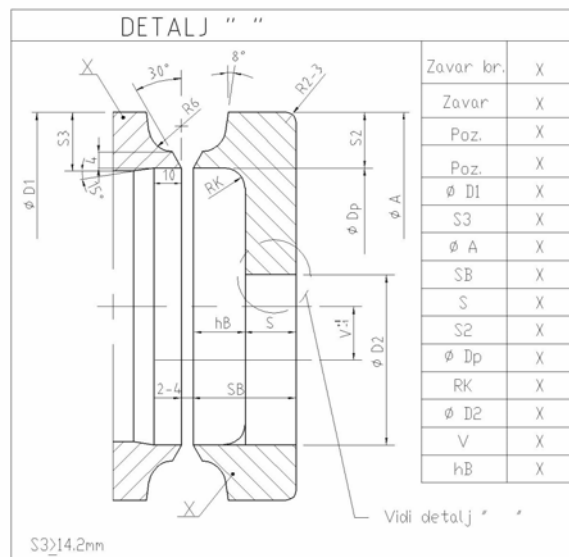
Slika 4.21 e

DANCE S RUPOM NA KOMORU



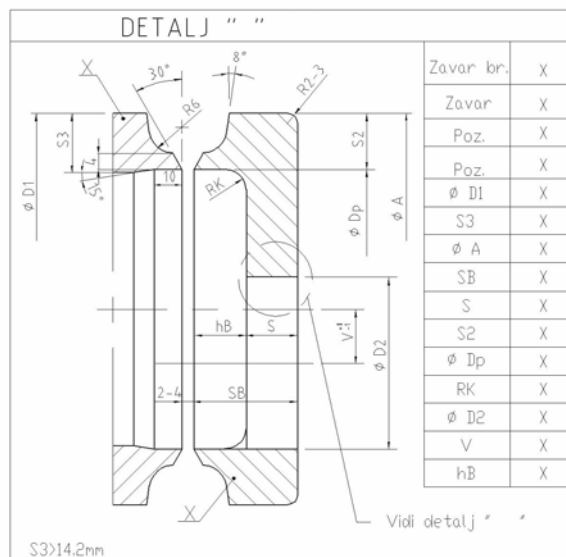
Slika 4.21 f

DANCE S RUPOM NA KOMORU



Slika 4.21 g

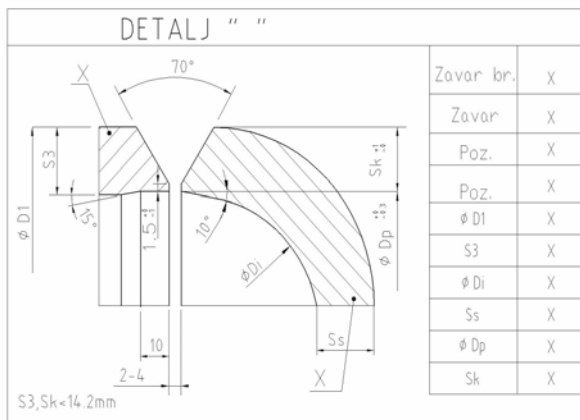
DANCE S RUPOM NA KOMORU



Slika 4.21 h

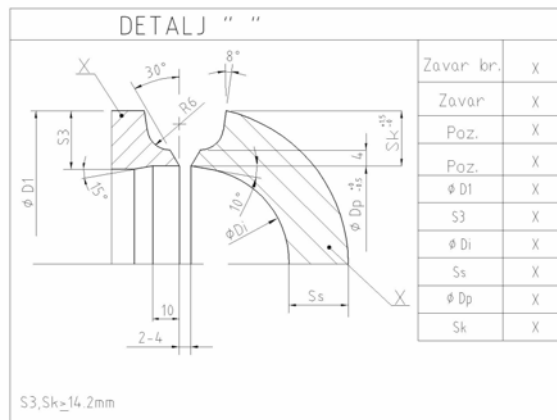
Slika 4.21 Detalji žljebova za zavarivanje ravnog danca na komoru

SFERIČNO DANCE BEZ RUPE NA KOMORU



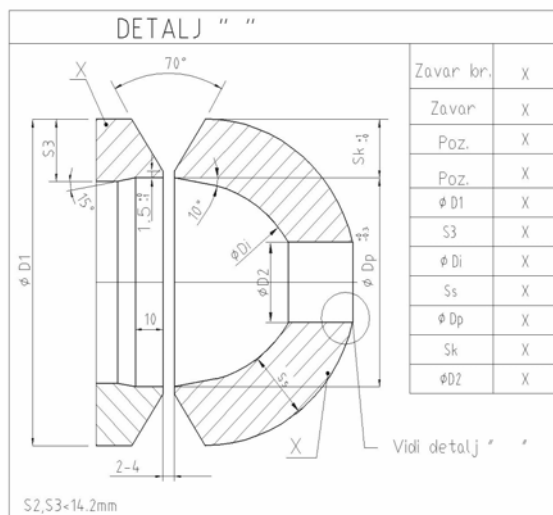
Slika 4.22 a

SFERIČNO DANCE BEZ RUPE NA KOMORU



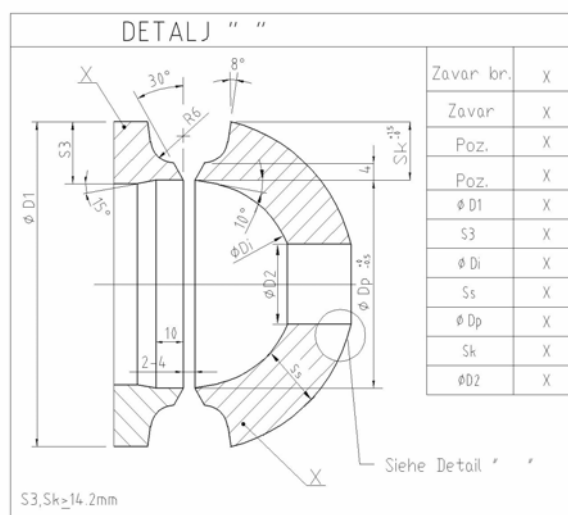
Slika 4.22 b

SFERIČNO DANCE S RUPOM NA KOMORI



Slika 4.22 c

SFERIČNO DANCE S RUPOM NA KOMORI

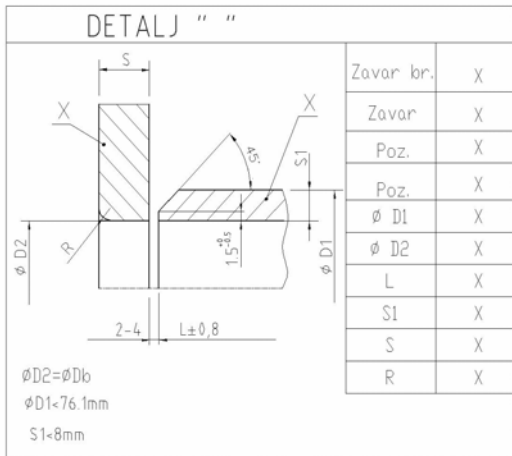


Slika 4.22 d

Slika 4.22 Detalji žljebova za zavarivanje sferičnog danca na komoru

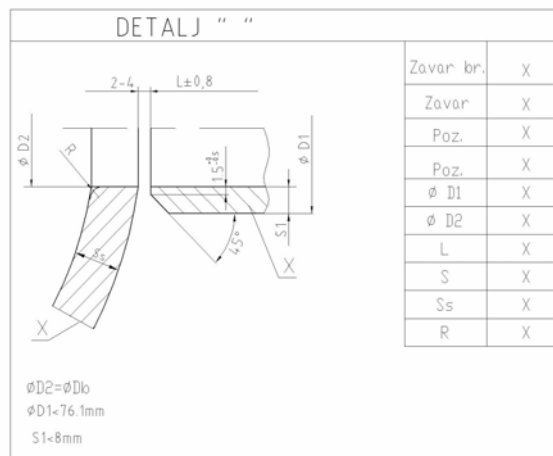
Oblik žlijeba za zavarivanje priključka na dance komore ovisi o debljini stjenke priključka. Priključci sa stjenkom tanjom od 8 mm priprema se za zavarivanje prema slici 4.23, a priključci sa debljinom stjenke većom ili jednakom 8 mm se pripremaju za zavarivanje prema slici 4.24.

PRIKLJUČAK-DANCE S RUPOM NA KOMORU



Slika 4.23 a

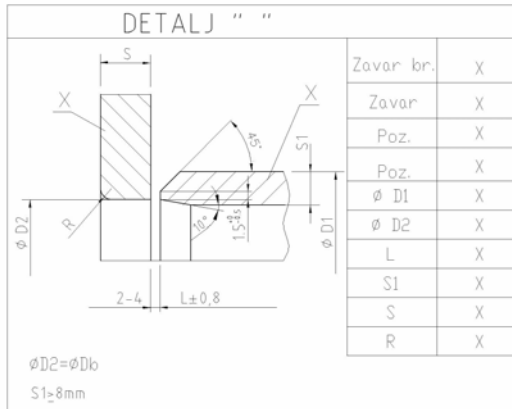
PRIKLJUČAK-DANCE S RUPOM NA KOMORU



Slika 4.23 b

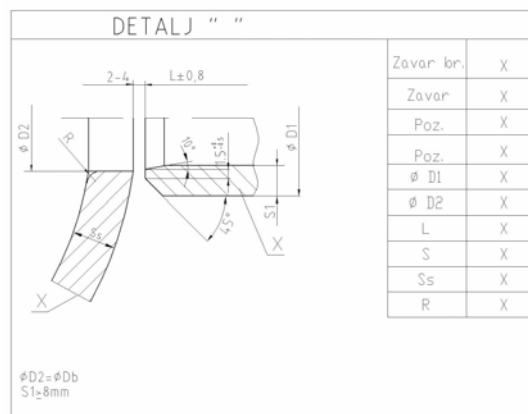
Slika 4.23 Detalji žlijeba za zavarivanje priključka (<math>< 8\text{mm}</math>) na dance komore

PRIKLJUČAK-DANCE S RUPOM NA KOMORU



Slika 4.24 a

PRIKLJUČAK-DANCE S RUPOM NA KOMORU

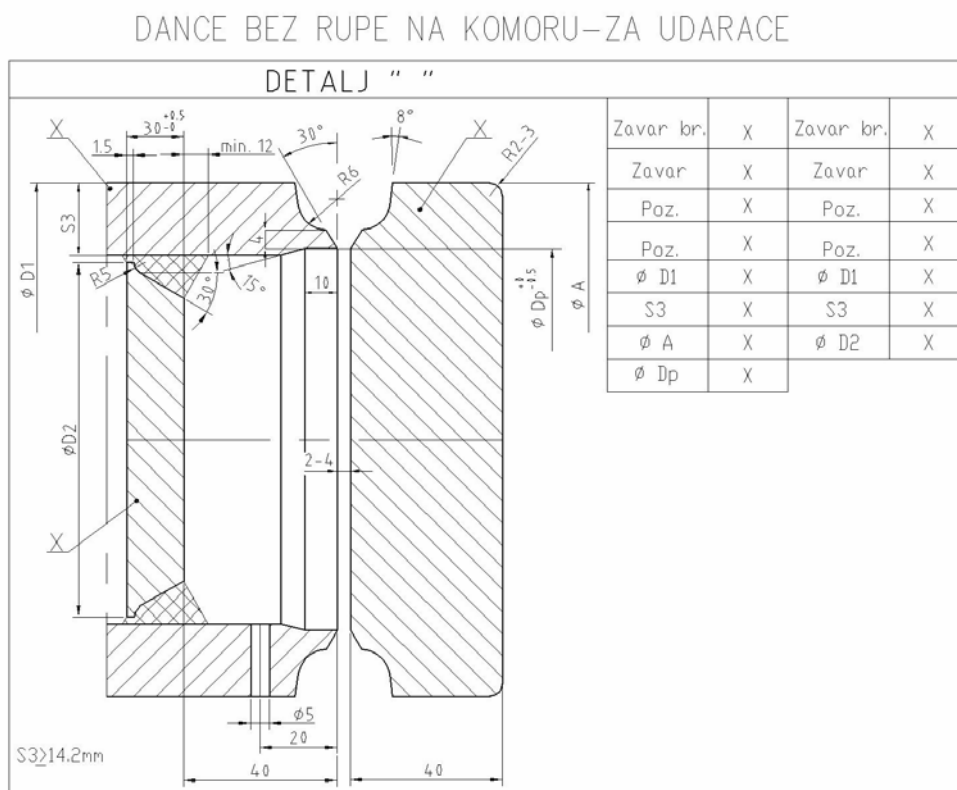


Slika 4.24 b

Slika 4.24 Detalji zavarivanja priključka (<math>\ge 8\text{mm}</math>) na dance komore

Kod kotlova koji se koriste za spaljivanje smeća dimni plinovi su puni čestica koje najčešće pristanju na pregrijačima pare i zagrijačima vode. Te nakupine čestica smanjuju prijelaz topline sa dimnih plinova na paru – vodu. Zbog toga se smanjuje iskoristivost kotla . Da bi se taj problem riješio ugrađuju se naprave nazvane "udarači" koji periodično udaraju po

čeonom ravnom dancu donjih komora pregijača pare i zagrijača vode. Čelo komore se zatvara tako da se prvo ugradi blenda unutar komore na udaljenosti 40 mm od kraja. Zatim se zavaruje ravno dance bez rupe. Po tom dancu "udarači" udaraju u svrhu stresanja nakupine čestica na cijevima. Način zavarivanja i izgled žlijeba za zavarivanje prikazan je na slici 4.25.

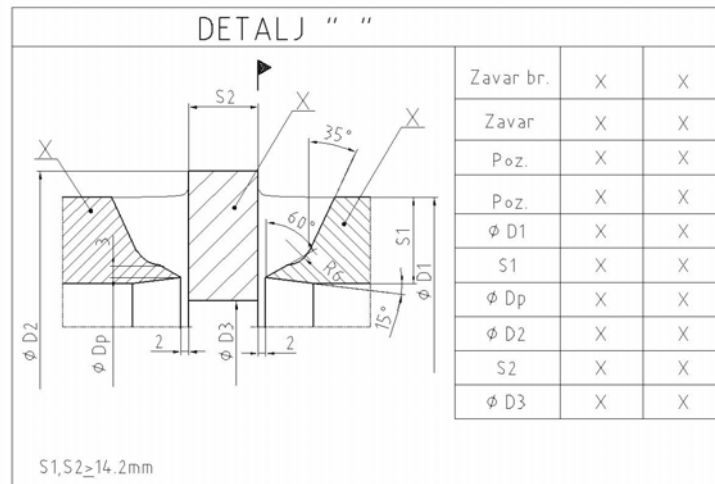


Slika 4.25 Detalj zavarivanja danca bez rupe na komori za "udarače"

Prije zavarivanja danca mora se izbušiti rupa na donjoj strani komore kako bi plinovi, nastali zavarivanjem, mogli slobodno izlaziti.

Kod montažnog sučelnog spajanja komora u nekim slučajevima se stavljaju prsteni za prilagodbu. Komore se spajaju na montaži zbog velikih dimenzija membranskih zidova. Izgled žlijeba za zavarivanje je prikazan na slici 4.26.

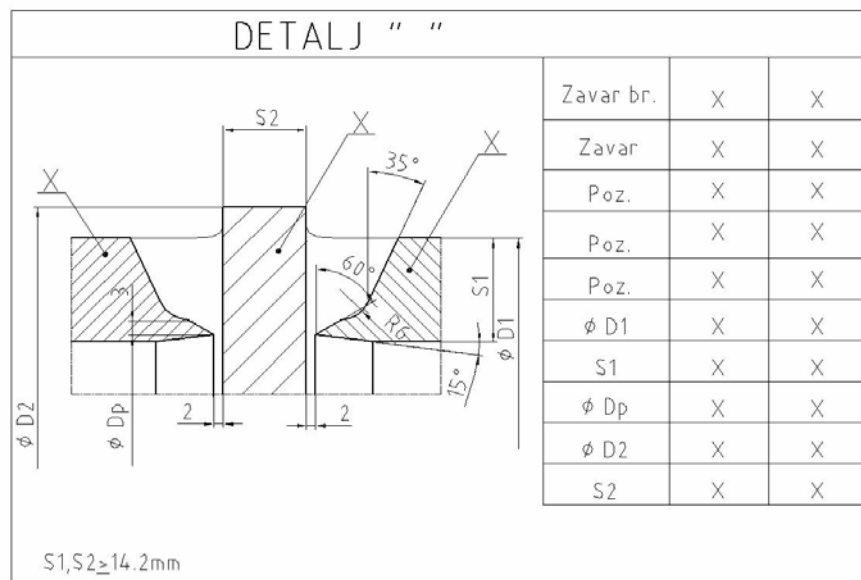
## KOMORA- PRSTEN ZA PRILAGODBU



*Slika 4.26 Detalj zavarivanja prstena za prilagodbu i komore*

Zbog konstrukcijskih izvedbi komora se ponekad mora podijeliti na dva dijela. Podjela se izvodi stavljanjem blende na komoru, slika 4.27.

## BLENDA NA KOMORI



*Slika 4.27 Detalj zavarivanja blende na komoru*

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

### 5.1.Uvod

Najviše opterećeni dijelovi u kotlovskim postrojenjima u većini slučajeva su izrađeni od legirnog čelika X20Cr MoV12 1. Čelik X20CrMoV12 1 je martenzitno – feritni čelik. Koristi se za izradu dijelova od bešavnih cijevi u kotlogradnji, gdje temp. prelazi 500°C. Veoma je dobro postojan na povišenim temperaturama. Počeo se koristiti početkom šezdesetih godina prošlog stoljeća.

Otpornost na visoke temperature mu daje visoki sadržaj kroma u čeliku.

Dopušteno naprezanje čelika X20CrMoV12 1 se računa prema formuli:

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{R_{p0,2/T}}{1,5}, \text{ N/mm}^2,$$

- $R_{p0,2/T}$  – minimalna vrijednost granice razvlačenja pri pogonskoj temperaturi,  $\text{N/mm}^2$ ,
- $\sigma_{\text{dop}}$  - dopušteno naprezanje,  $\text{N/mm}^2$ .

Granica temperature za proračun prema granici razvlačenja  $R_{p0,2}$  za ovaj materijal je oko 485°C, a za čvrstoću loma pri puzanju nakon  $R_{m/200000/T}$  je oko 550°C.

U ovom radu pratit će se ponašanje cijevi od materijala X20CrMoV12 1 prilikom savijanja "na hladno".

### 5.2Ispitivanje uzorka

Uzorak koji se ispituje je cijev vanjskog promjera 38 mm i debljine stijenke 7,1mm. Savija se na stroju za hladno savijanje, slika 6.1.



*Slika 5.1 Stroj za hladno savijanje cijevi i pojedinačnih cijevnih lukova*

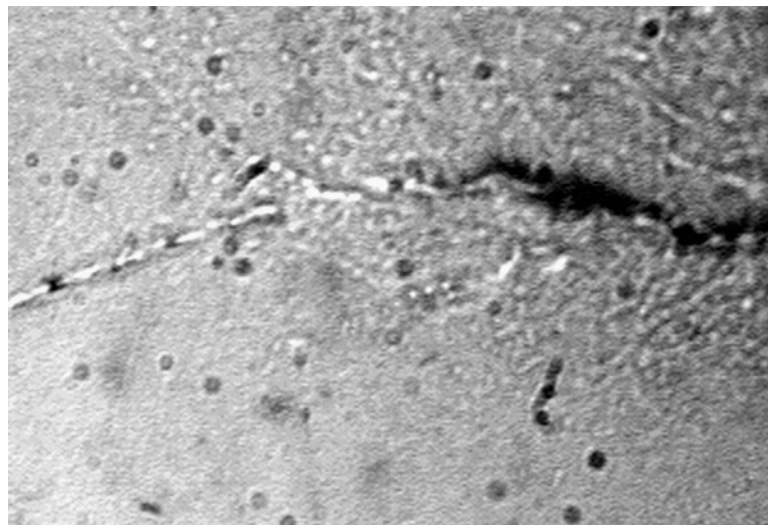
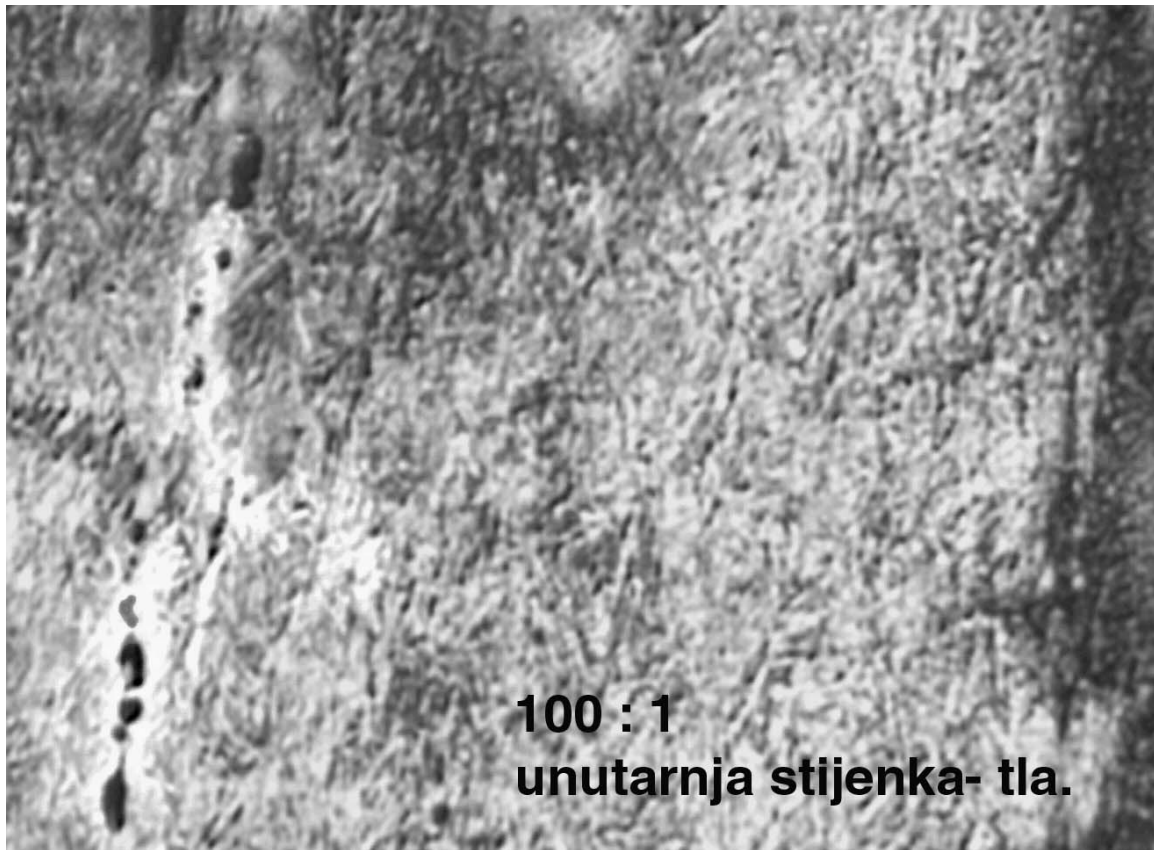
Kut savijanja cijevi je oko  $90^\circ$ . Nakon savijanja cijevi vrši se rezanje cijevi po uzdužnoj osi i priprema površine obradka do metalnog sjaja. Izgled uzorka može se vidjeti na slici 6.2.





*Slika 5.2 Savijeni prepolovljeni uzorak*

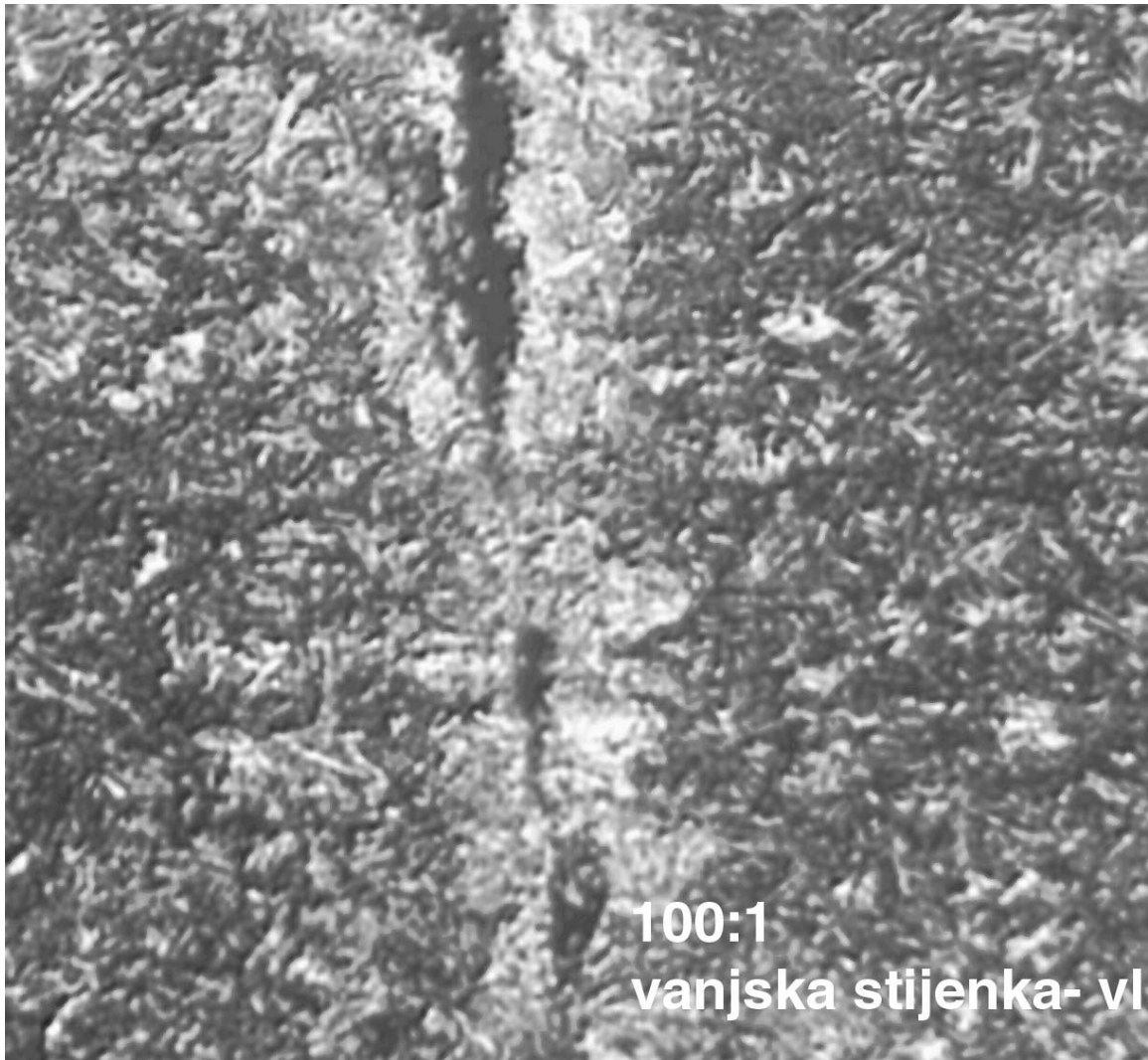
Na prvi pogled može se uočiti nakupljanje materijala u tlačnoj zoni savijenog uzorka. Malo detaljnijim promatranjem se uočava i pojava pukotina u tlačnoj zoni savijene cijevi. To se bolje može vidjeti na mikroskopskim snimcima, slika 5.3.



*Slika 5.3 Mikroskopski prikaz unutarnje stijenke, tlačne zone savijene cijevi*

Ta vrsta pojave još nije dobro ispitana ali se pretpostavlja da prilikom stlačivanja kristalnih zrna, na granicama zrna gdje postoje nakupine karbida, dolazi do transkristalnog klizanja zrna. Na tim mjestima klizanja se pojavljuju pukotine. Do te pojave se dolazi samo pri određenim stupnjevima deformacije.

Daljnjom mikroskopskom analizom se uočavaju pukotine i u vlačnoj zoni. Oni nastaju zbog razvlačenja materijala i pucanja veza između kristala, slika 5.4.



*Slika 5.4 Mikroskopski prikaz vanjske stijenke savijene cijevi*

Možemo zaključiti da cijevi od materijala X20CrMoV12 1 su vrlo osjetljive na hladnu obradu savijanja. Te cijevi se koriste na mjestima u kotlovima koji su izloženi visokim temperaturama pa se mora obratiti posebna pažnja na moguću pojavu pukotina prilikom obrade cijevi.

Da bi se što bolje iskoristili ljudski potencijali u procesu nastajanja proizvoda i dobila zahtijevana kvaliteta zavarenog spoja potrebna je nesmetana (kvalitetna) komunikacija između odijela tehnologije zavarivanja i projektno-konstruktorskog biroa, te sa druge strane kvalitetna komunikacija između poslovođe zavarivanja i zavarivača (operatera) na radnom mjestu. Na taj način se ubrzava proces proizvodnje, vrši se neka vrsta interne kontrole između pojedinih sektora proizvodnje i rješavaju eventualne nejasnoće "u hodu". Stalnom komunikacijom se može doći i do novih rješenja u tehnologiji zavarivanja.

U komunikaciji između poslovođe zavarivanja i zavarivača naglašava se potreba usmjeravanja na najbitnije elemente vezane uz zavarivanje i što ono ubrzava proizvodnju, za razliku od nebitnog ili manje bitnog za proizvodni proces, a što može zbunjivati sudionike u procesu proizvodnje, odnosno usporavati proizvodnju i povećati mogućnost pogreške.

Zbog toga je važan kvalitetan ustroj i rad odjela tehnologije zavarivanja. Tehnolozi zavarivanja naglašavaju značaj popisivanja, provođenja i dokumentiranja aktivnosti vezano za zavarivanje i kontrolu zavarenog spoja. Na taj način unapređuju i osiguravaju kvalitetan rad zavarivača.

Mogući problemi prilikom projektiranja i provedbe tehnologija zavarivanja se mogu riješiti ili ublažiti pomoću:

- kvalitetnih podloga,
- korištenje odgovarajućih normi i propisa,
- korištenje pomoćnih računalnih programa,
- stvaranje baze podataka PQR, WPS i korištenje istih,
- prikupljanje i sistematiziranje potrebne literature,
- sistematiziranje uobičajenih žljebova i postupaka koji se često javljaju u proizvodnji određenih proizvoda i dr.

U proizvodnji se uvijek nastoji što više iskoristiti raspoloživa oprema za zavarivanje. Zbog toga se inženjer zavarivanja treba dobro upoznati sa mogućnostima opreme za zavarivanje, proizvodnog pogona, te osoblja koje sudjeluje u procesu proizvodnje. Uvijek treba biti poznata informacija o zauzetosti opreme za zavarivanje kako bi se mogla kvalitetno planirati proizvodnja.

Ostvarivanje kvalitetnog zavarenog spoja ovisi o:

- projektantu koji mora voditi računa o namjeni proizvoda, uvjetima eksploatacije, vrsti žlijeba, mogućnosti pristupa zavarivača do mjesta zavarivanja itd.,
- inženjeru zavarivanja koji odlučuje o postupku zavarivanja, vrsti dodatnog materijala, odnosno propisuje WPS,
- kontroli kvalitete (SOK) koja izdaje atest (PQR, WPAR) za odgovarajući WPS, kontrolira zavarivača i zavarene spojeve,
- poslovođi zavarivanja koji objašnjava WPS zavarivaču,
- zavarivaču koji provodi postupak zavarivanja odnosno zavaruje.

Svaki od navedenih elemenata doprinosi da se na kraju dobije dobro zavareni spoj (minimalno zahtijevana kvaliteta) i tražena funkcionalnost zavarenog spoja.

Inženjeri zavarivanja pokušavaju sistematizirati uobičajene greške koje se javljaju u proizvodnji. Određuje se mjesto i način nastajanja grešaka zavarivanja. Na taj način se u budućnosti izbjegavaju karakteristične greške i ubrzava se proizvodnja.

Problemi i poteškoće kod projektiranja i provedbe tehnologije zavarivanja raspravljaju se na stručnim sastancima nakon završetka pojedinih projekata (npr. gradnja mosta) ili periodično (po kvartalima). Rezultat toga je izbjegavanje pojavljivanja istih grešaka na novim projektima, smanjivanje troškova i unapređenje kvalitete proizvoda.

Neupućenost nadređenih u probleme (zahtjeve) projektiranja i proizvodnje može usporavati proizvodni proces i dovesti do tehnološkog zaostajanja. Samo sa konstantnim ulaganjem u modernizaciju opreme (strojevi, računalni programi), i konstantnim obrazovanjem kadra, može se konkurirati na globalnom tržištu.