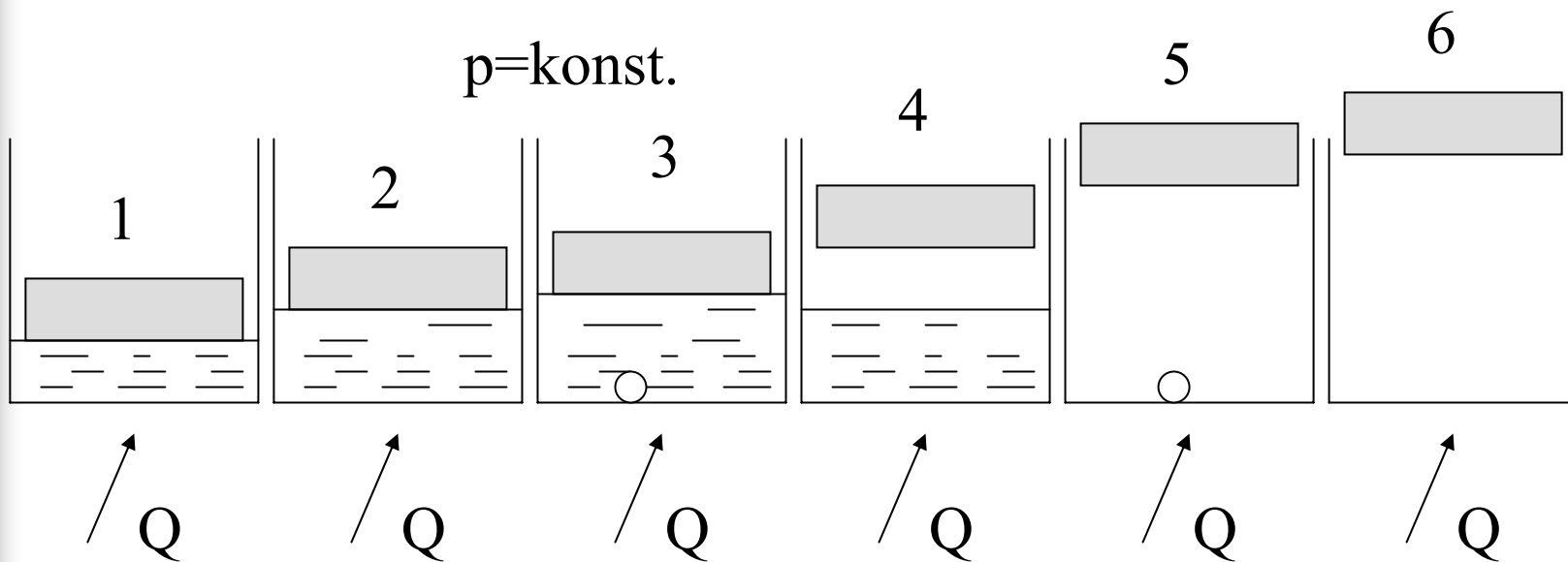


BRODSKI STROJNI KOMPLEKSI

Brodski generatori pare

Voda i vodena para





Primjena pare na brodu

- grijanje
 - goriva
 - ulja
 - tereta
 - zraka (klimatizacija)...
- pogon parnih turbina
 - poriv propelera
 - generatori el. struje
 - pumpe (tereta)

Podjela generatora pare

<p>Prema namjeni:</p> <ul style="list-style-type: none">■ glavni■ pomoćni	<p>Prema mediju u cijevi:</p> <ul style="list-style-type: none">■ vatrocijevni (dimnocijevni, plinocijevni)■ vodocijevni	<p>Prema načinu oslobađanja energije:</p> <ul style="list-style-type: none">■ loženi■ na ispušne plinove■ kombinirani■ nuklearni
<p>Prema cirkulaciji:</p> <ul style="list-style-type: none">■ prirodna■ prisilna	<p>Prema provjetravanju:</p> <ul style="list-style-type: none">■ prirodno■ prisilno (isisno, tlačno, kombinirano, inducirano)	<p>Prema vrsti goriva:</p> <ul style="list-style-type: none">■ kruto■ tekuće■ plinovito■ kombinirano



Osnovne značajke BGP

- radni ili pogonski tlak
- dopušteni ili koncesijski tlak
- izlazni tlak pregrijača pare
- normalni kapacitet (učin)
- maksimalni trajni kapacitet
- maksimalni kratkotrajni kapacitet
- minimalni kapacitet



Osnovne značajke BGP

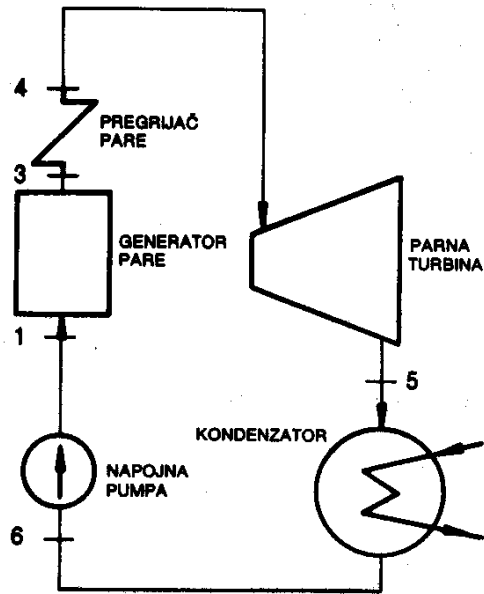
- pretičak zraka
- normalna para (2662 kJ/kg)
- stupanj iskorištenja



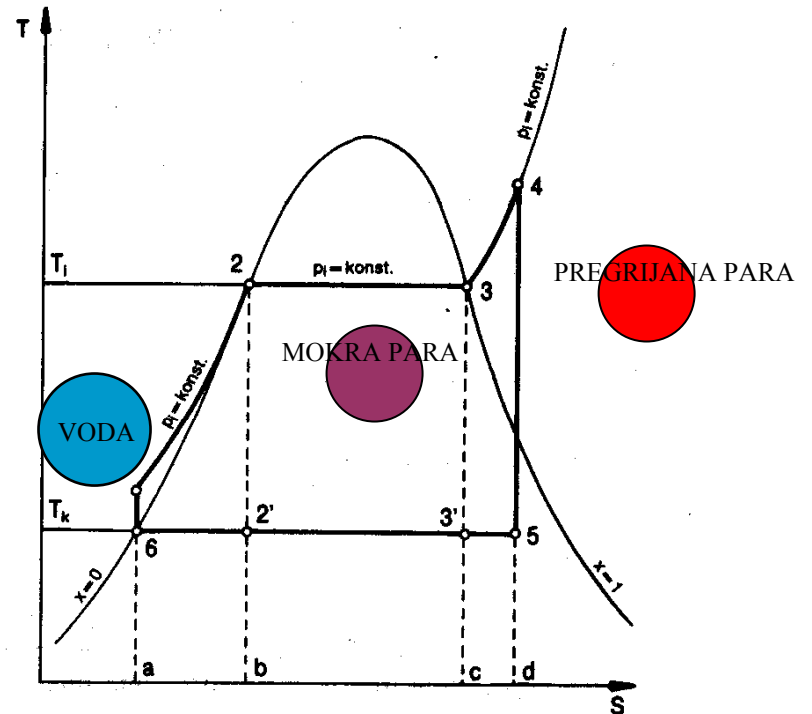
Današnji BGP

- pomoćni
- loženi HFO (DO za potpaljivanje)
- vodocijevni
- prirodna cirkulacija vode - pare
- prisilna cirkulacija zraka - plinova

PARNI PROCES



OSNOVNA SHEMA PARNOG PROCESA



T-s DIJAGRAM PARNOG PROCESA

VODA





MORSKA

- 25000 g/m³ NaCl + MgCl₂, MgSO₄, CaSO₄...
- obično oko 35000 g/m³



PRIRODNA

- Otapa CO₂ i O₂
- Otapa CaCO₃ i dr. minerale
- hidrogenkarbonati, nitrati, sulfati, fosfati
- Ca(HCO₃)₂ i Mg(HCO₃)₂ - alkalna
- CO₂ - kisela

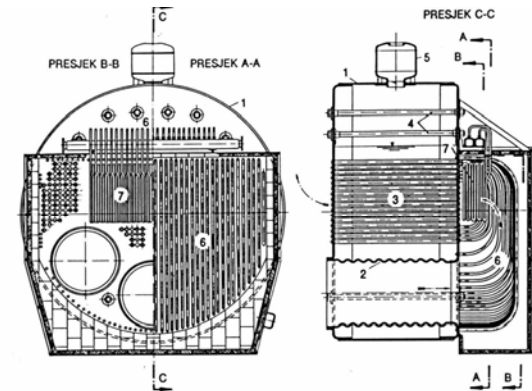


DESTILIRANA

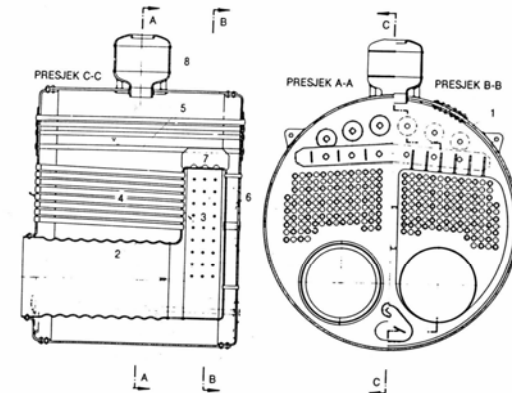
- Manje od 4 mg/l
- vakuumski evap. - manje od 2 mg/l
- ako treba manje od 1 mg/l - IONSKI IZMJENJIVAČI (smanjuje se i udio CO₂)

CILINDRIČNI

- Konstrukcija - dijelovi
- zakovični spojevi
- zavarene konstrukcije



Parni kotao »Howden – Johnson«
Legenda: 1-plašt bubnja, 2-plamenica, 3-dimne cijevi, 4-kotveni vijci, 5-parni dom, 6-konvektivni snop isparivača, 7-pregrijač pare



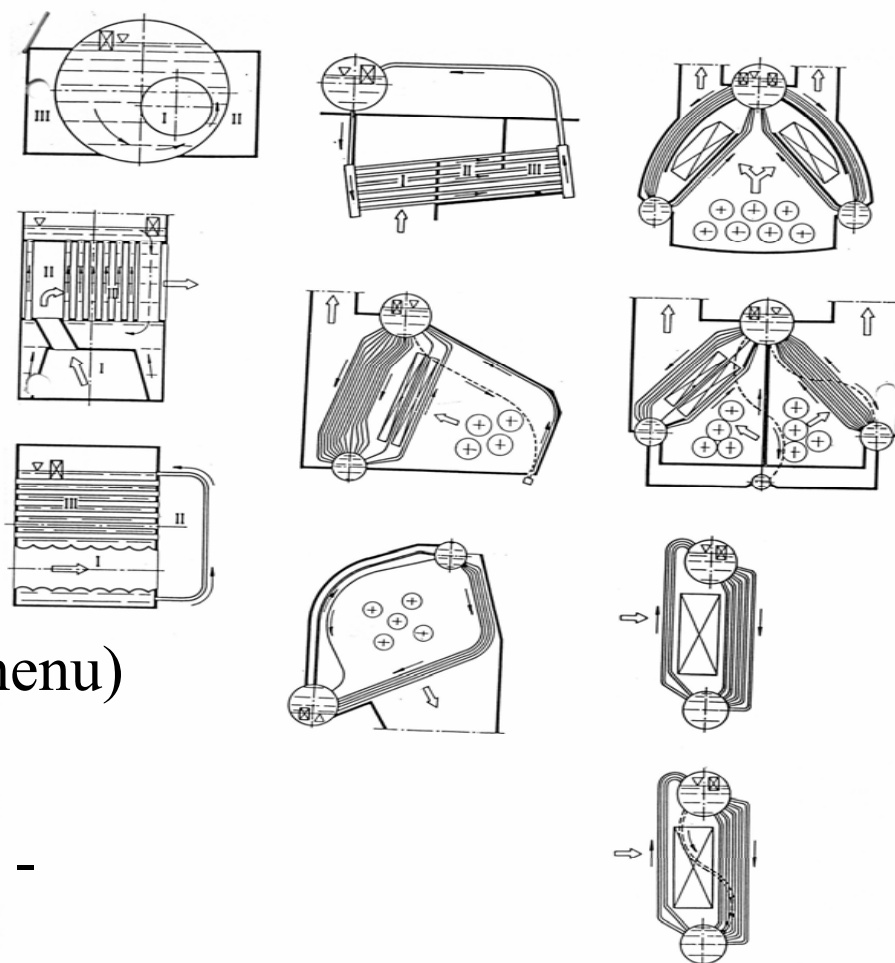
Škotski kotao
Legenda: 1-plašt bubnja, 2-plamenica, 3-skretna komora, 4-dimne cijevi, 5-kotve, 6-spreznjaci, 7-ukrepe, 8-parni dom



CIRKULACIJA VODE

- Odvođenje topline – hlađenje materijala
- Prijenos topline na radni fluid
- Usmjeravanje mjehurića pare
- Prirodna
- Ograničenje: radni tlak – 100 bar
- Prisilna: optočna i protočna
- Omjer količine vode koja cirkulira i koja ispari
- Optočna 4-10, protočna 1

CIRKULACIJA VODE



- Cijevi bliže ložištu (plamenu) su uzlazne
- udaljenije cijevi, vanjske - silazne

HIDRODINAMIKA PRIRODNE CIRKULACIJE

■ Cirkulacijski broj $C=D_c/D$

■ Uzgon $\Delta p_u \cong (h_g - h_z)(\rho_{sil} - \rho_m)g [\text{Pa}]$

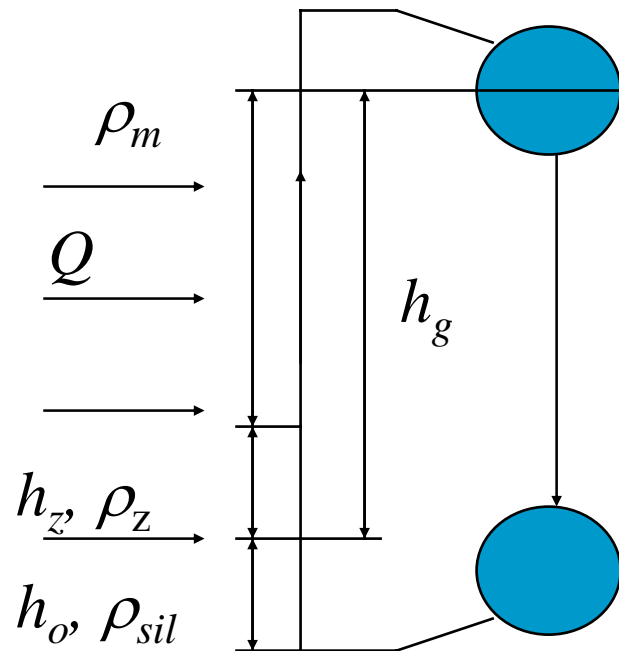
■ $\Delta p_{u,kor} = \Delta p_u - \Delta p_{uzl}$

■ $\Delta p_{u,kor} = \Delta p_{sil}$

■ Brodski:

– srednji tlakovi 10-6

– niski tlakovi 25-15



CIRKULACIJA ZRAKA/PLINOVA

- Prirodna

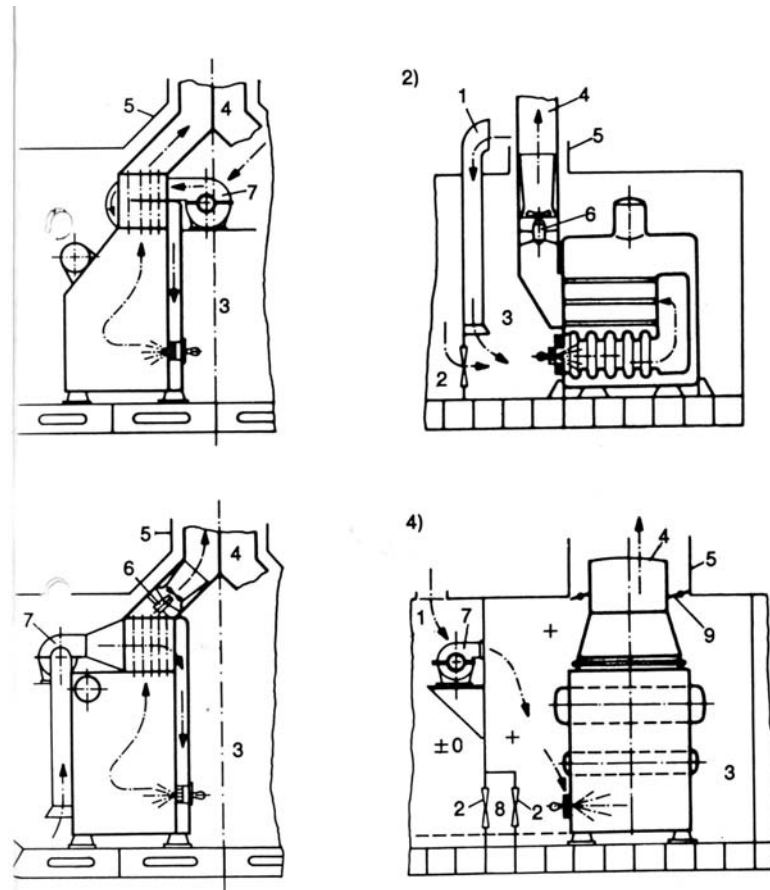
- $h i t_{pl}$

- Prisilna

- Tlačna, isisna, kombinirana, pretlak u prostori (inducirana)

$$\Delta p_u = 273h \left(\frac{\rho_{zro}}{273 + t_o} - \frac{\rho_{plo}}{273 + t_{pl}} \right) g [\text{Pa}]$$

CIRKULACIJA ZRAKA/PLINOVA



7.2. Umjetno provjetravanje brodskih generatora pare

1) tlačna, 2) isisna, 3) kombinirana, 4) pretlak u prostoriji

Legenda: 1-ulaz zraka, 2-vrata, 3-prostorija za smještaj generatora pare, 4-izlaz dimnih plinova, 5-grotlo, 6-isisni ventilator, 7-tlačni ventilator, 8-vrata, 9-brtvena klapna

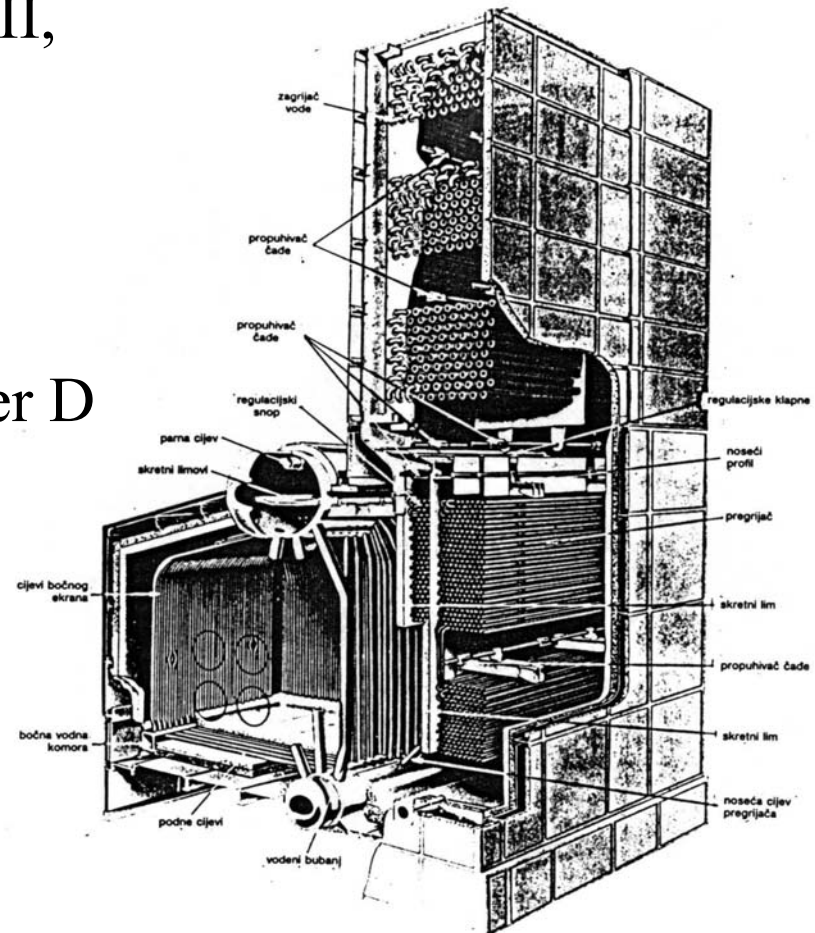
Glavni dijelovi vodocijevnog GP

- isparivač
 - bubnjevi
 - cijevi
 - komore
- zagrijač vode
- zagrijač zraka
- pregrijač pare
- izolacija
- temelj
- sustav goriva i dr.

Skica!

FOSTER WHEELER

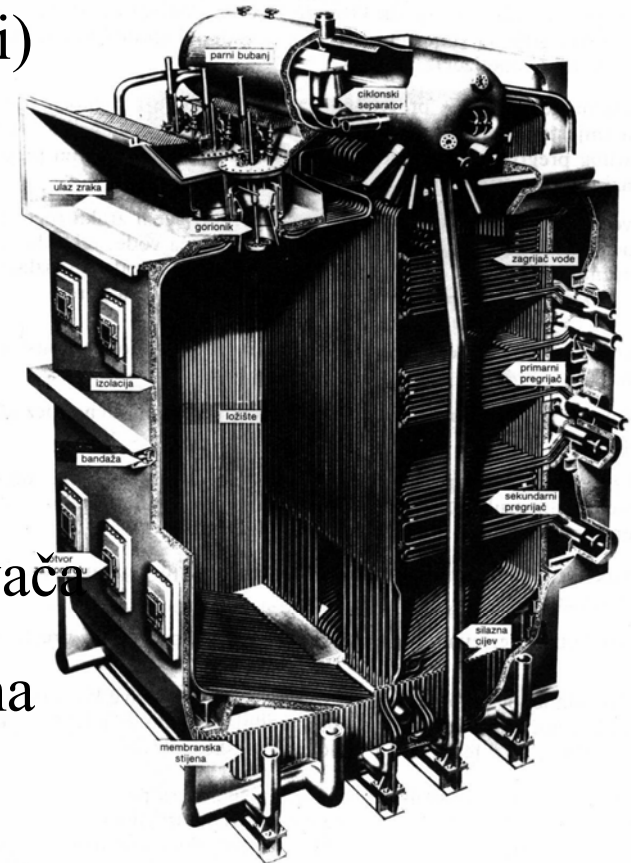
- D, ESD I, ESD II, ESD III, ESD IV, ESRD
- D - 40-55 t/h, 40-70 bar, $T_{pp} = 723-773$ K
- ESD=external superheater D



Sl. 1.19. Brodski »D« generator pare (»Foster Wheeler«)

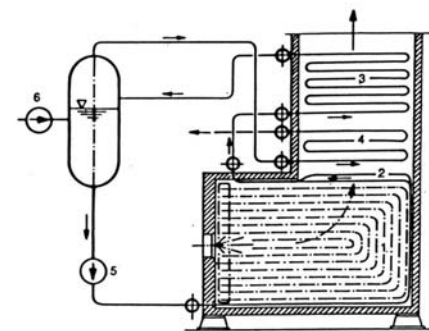
OZRAČENI “U” KOTAO

- Viši parametri – za propulziju (tankeri)
- Ložište ekranizirano – membransko
- Drugi dimni prolaz-pregrijač, međupregrijač, zagrijač vode
- Ljungströmov zagrijač traka
- Nema klasičnog konvektivnog isparivača
- Jednostavna izolacija – mineralna vuna
- $D=130$ t/h, $p=80$ bar, $T_{pp}=788$ K

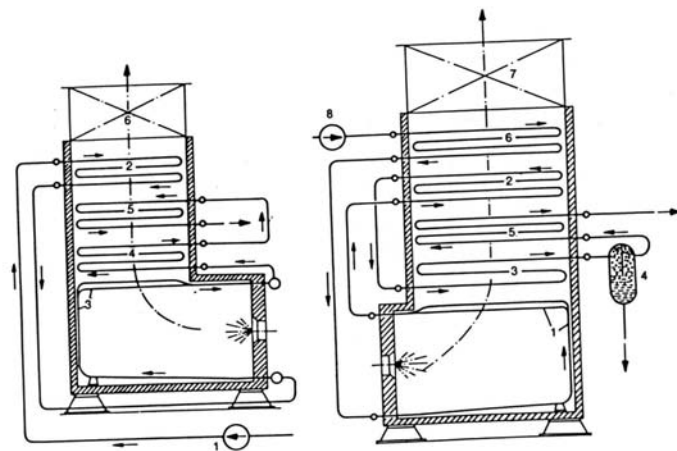


Ozračeni »U« generator pare (»Deutsche Babcock«)

PRISILNA CIRKULACIJA



- Optočna – “La Mont”
- Protočna – “Benson” i “Sulzer”

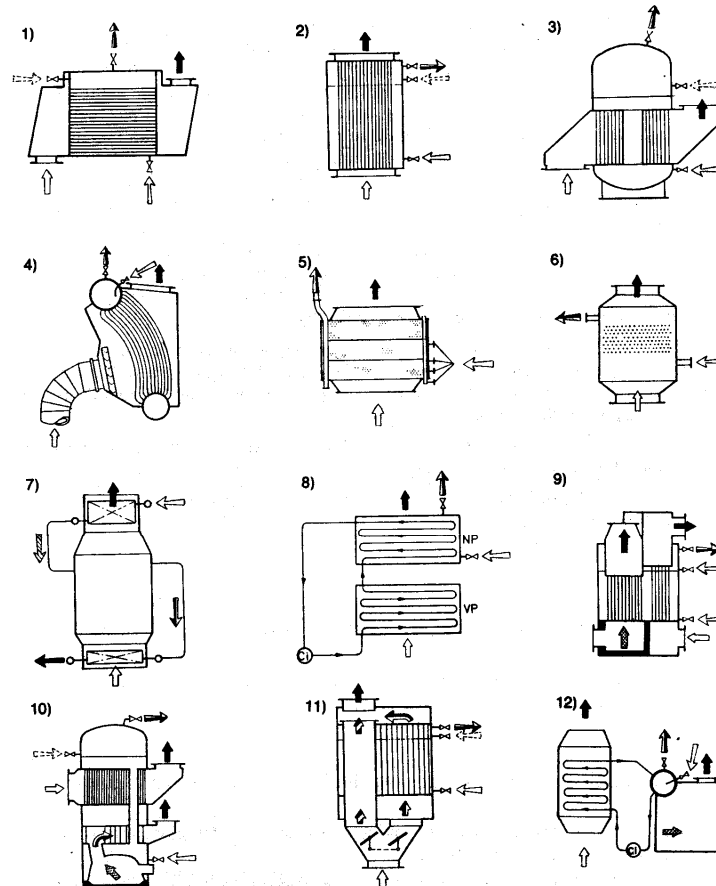


KOTLOVI NA ISPUŠNE PLINOVE

TLAKOVI DO 20 bar

PLINOVI 30-35 m/s

PRISILNO STRUJANJE – MALE
DIMENZIJE

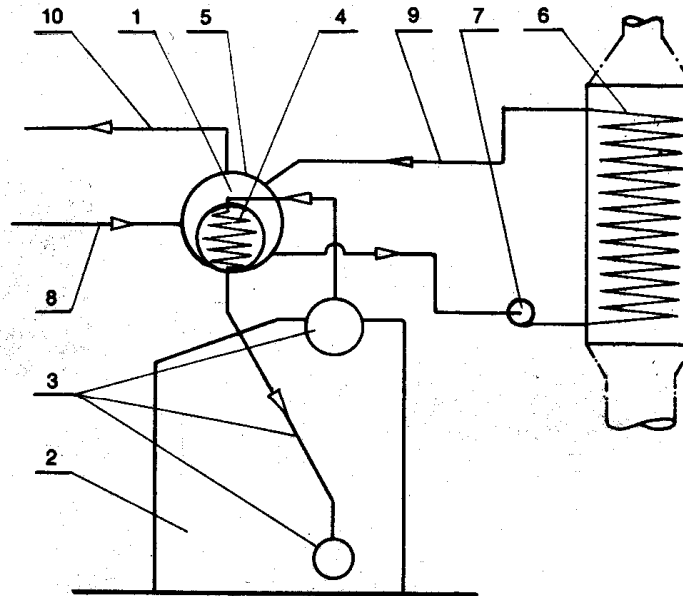


Sl. 11.22. Glavni tipovi brodskih utilizatora

1. cilindrični utilizator s horizontalnim dimnim cijevima, 2. cilindrični utilizator s vertikalnim dimnim cijevima, 3. utilizator s vertikalnim vodnim cijevima i prirodnom cirkulacijom, 4. utilizator sa strmim vodnim cijevima i prirodnom cirkulacijom, 5. utilizator sa prisilnom optočno cirkulacijom, 6. utilizator sa prisilnom protočnom cirkulacijom, 7. utilizator s pregijačem i zagrijačem vode, 8. utilizator sa dva tlaka, 9. kombinirani utilizator s dimnim cijevima, 10. kombinirani utilizator sa vodnim cijevima, 11. utilizator s obilaznim vodom, 12. utilizator u spoju s loženim generatorom pare

Izvor: 3, 22

POVEZIVANJE



Sl. 11.23. Spoj utilizatora sa sekundarnim sistemom dvotlačnog generatora pare

Legenda: 1-zasićena para, 2-loženi binarni generator pare, 3-primarni sistem, 4-cijevni isparivač u sekundarnom sistemu, 5-bubanj sekundarnog sistema, 6-cijevni snop utilizatora, 7-cirkulacijska pumpa, 8-napojni vod sekundarnog sistema, 9-izlaz iz utilizatora, 10-izlaz zasićene pare iz sekundarnog sistema

- Cijevni snop s prisilnim strujanjem
- SEKUNDARNI BUBANJ: POSUDA ZA SEPARACIJU I IZMJENJIVAČ TOPLINE
- Zagrijač vode, pregrijač

Toplinski stupanj iskoristivosti

Dovedena : $Q_{dov} = B \cdot H_d$

Odvedena : $Q_{odv} = D \cdot (h_{p,izl} - h_{v,ul})$

$$\eta_t = \frac{Q_{odv}}{Q_{dov}} = \frac{D \cdot (h_{p,izl} - h_{v,ul})}{B \cdot H_d}$$

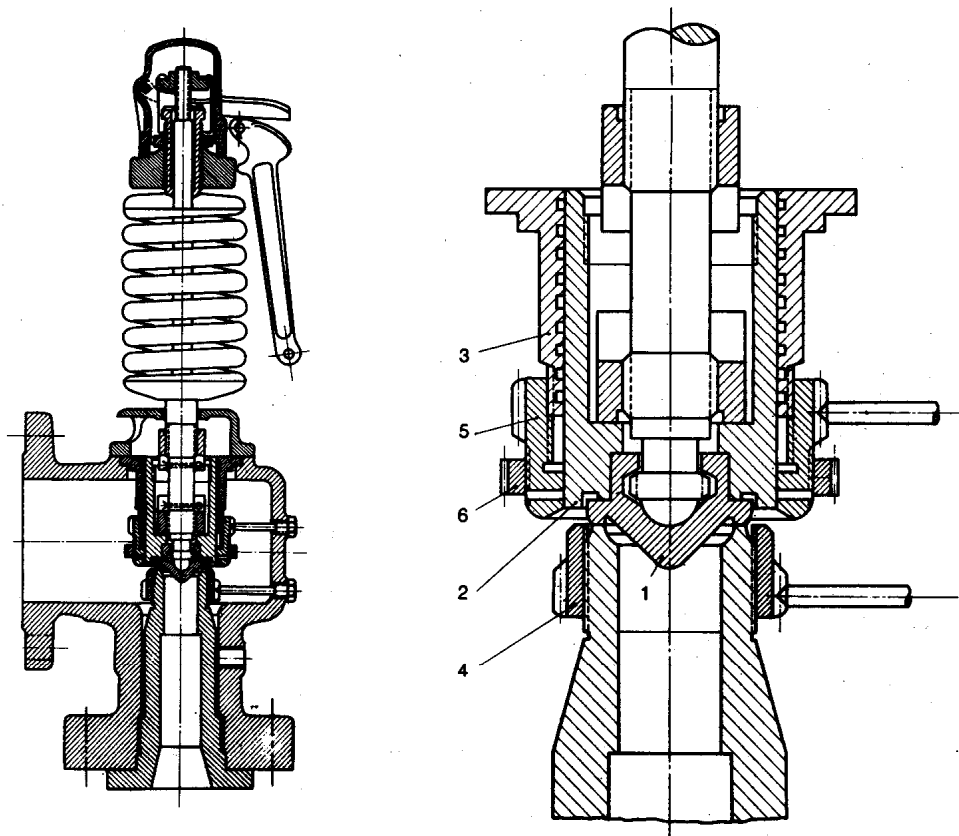
$$\eta_t = \frac{L}{Q_{dov}} = \frac{Q_{dov} - Q_{odv}}{Q_{dov}} = 1 - \frac{Q_{odv}}{Q_{dov}}$$



Opasnosti

- visoki tlakovi – eksplozija bubnja
- eksplozija ložišta

ZAŠTITNA ARMATURA

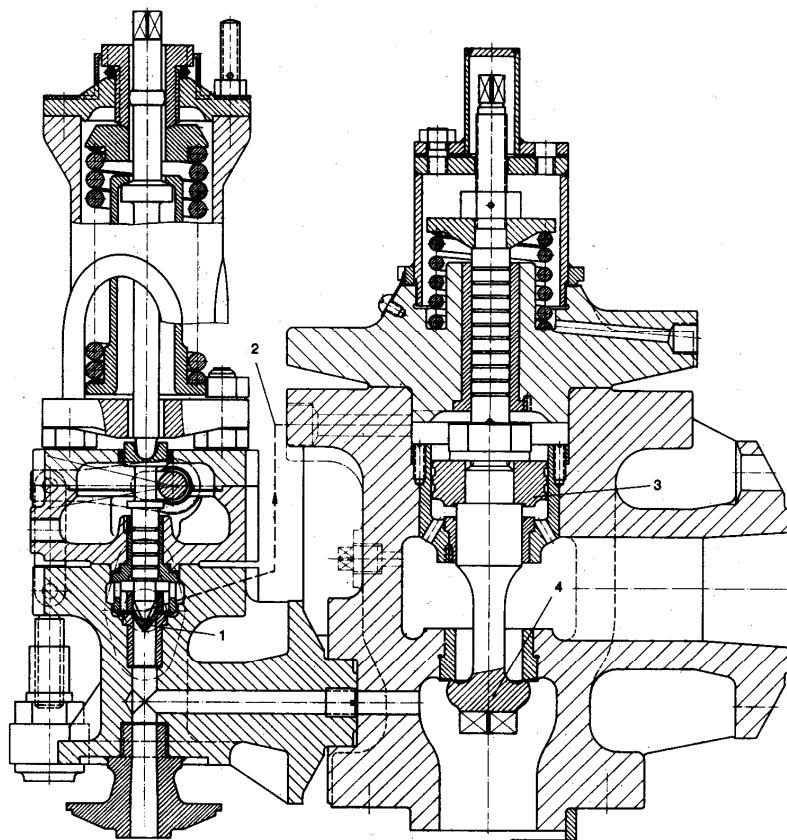


Sl. 9.11. Sigurnosni ventil s direktnim djelovanjem

Legenda: 1-pladanj, 2-klip, 3-cilindar za vođenje, 4-regulacijski prsten za prigušivanje zatvaranja, 5-regulacijski prsten, 6-regulacijski prsten

Izvor: 6, I/156

ZAŠTITNA ARMATURA



Sl. 9.12. Sigurnosni ventil s indirektnim djelovanjem
Legenda: 1-pladanj pilot ventila, 2-spojni vod pilot ventila i glavnog ventila, 3-klip glavnog ventila, 4-pladanj glavnog ventila
Izvor: 6, I/157



AUTOMATSKA REGULACIJA

- REGULACIJA OPTEREĆENJA
- SUSTAV UPRAVLJANJA GORIONICIMA
- REGULACIJA VISKOZNOSTI GORIVA
- REGULACIJA NAPAJANJA
- REGULACIJA TEMPERATURE PREGRIJANJA
- AUTOMATSKI RAD GENERATORA



AUTOMATSKA REGULACIJA

- Današnja postrojenja – veliki kapaciteti, nagle promjene pogonskih uvjeta
- Regulacija: pneumatska, električna
- Pneumatska: elastičnost u pogonu, nema opasnosti od požara, akumuliranje pogonskog medija, čistoća medija – filtri-sušioči



AUTOMATSKA REGULACIJA

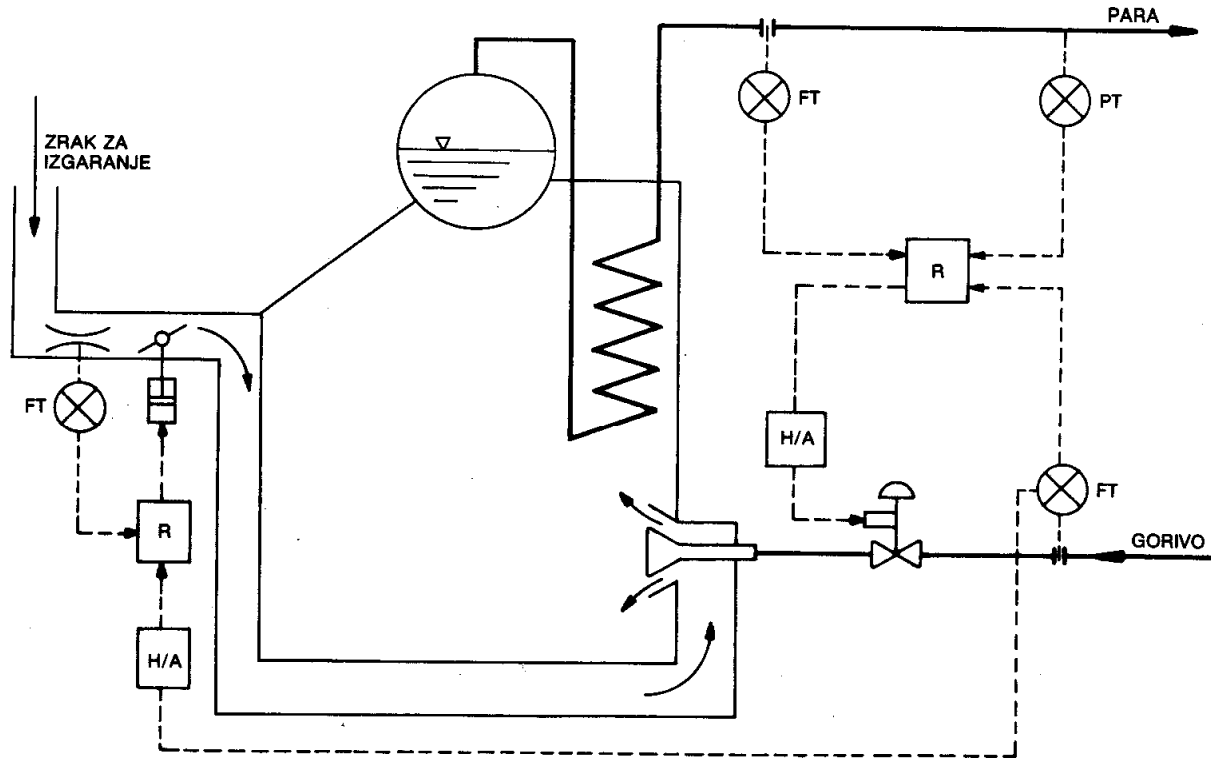
- Električna: preciznost, brzi odziv, manje ugradbene dimenzije
- Elektropneumatska



REGULACIJA OPTEREĆENJA

- Regulira se količina goriva (gašenjem i paljenjem gorača, tlakom i protokom goriva)
- Ovisi o tlaku pare (može i protok)
- Signal protoka pare ubrzava rad regulatora – brži odziv
- Prema protoku goriva regulira se količina zraka

REGULACIJA OPTEREĆENJA



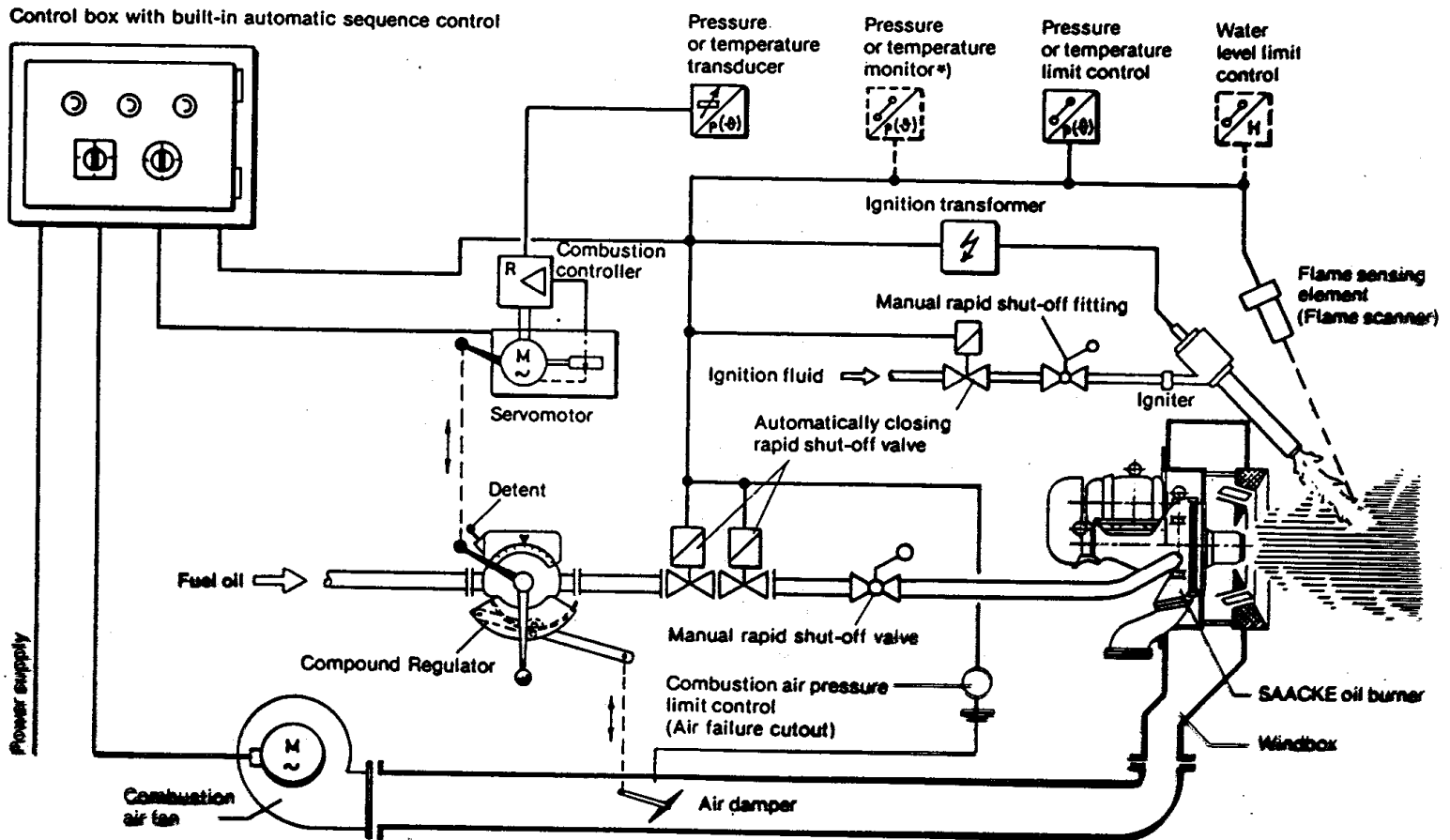
Sl. 13.1. Shema regulacije opterećenja



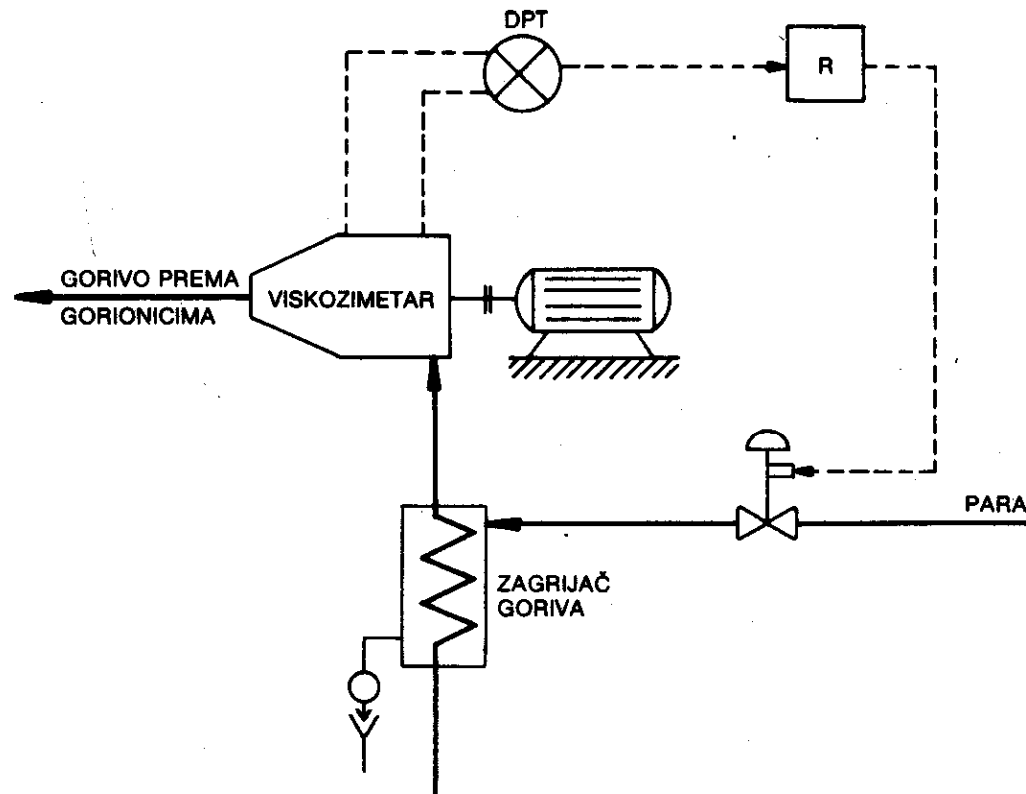
Upravljanje gorionicima

- Sustav upravlja v. goriva, klapnama za zrak, uređajima paljenja, sustavom provjetravanja
- Upravlja većim brojem gorionika
- Vrijeme trajanja operacija određeno programom
- Tlak goriva \Rightarrow duljina plamena

Upravljanje gorionicima



REGULACIJA VISKOZNOSTI



Sl. 13.3. Regulacija viskoznosti goriva



REGULACIJA NAPAJANJA

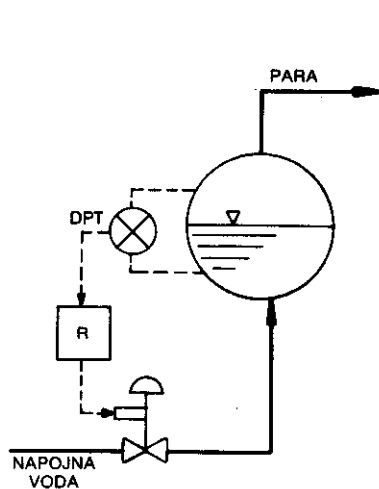
- Održava se razina u parnom bubnju
- Jedno-, dvo- i trokomponentna
- Jednocomponentna: jednostavna, ali spora i neprecizna
- Mjeri razinu u bubnju: plovak ili DP
- Male jedinice
- Početni signal suprotan – njihanje



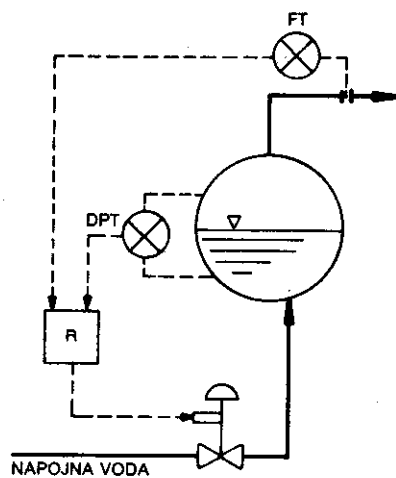
REGULACIJA NAPAJANJA

- Dvokomponentna: osim razine, ulazni signal je protok pare
- Trokomp.: brzi odziv i kratka stabilizacija; uspoređuje se izlaz pare s ulazom vode, razina za korekciju
- Visoka razina: voda u pregrijaču, hidr. udar u turbini
- Niska razina: pregaranje cijevi isparivača

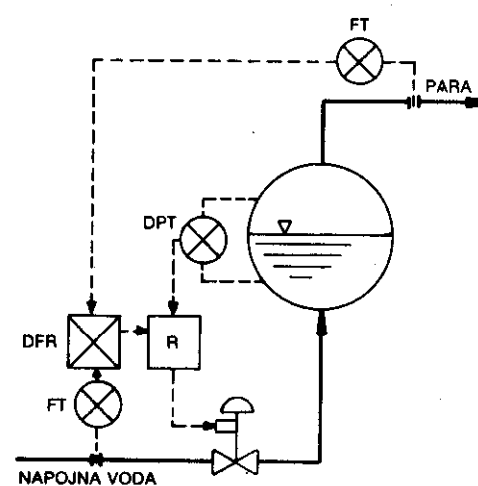
REGULACIJA NAPAJANJA



Sl. 13.4. Jednokomponentna regulacija napajanja



Sl. 13.5. Dvokomponentna regulacija napajanja



Sl. 13.6. Trokomponentna regulacija napajanja

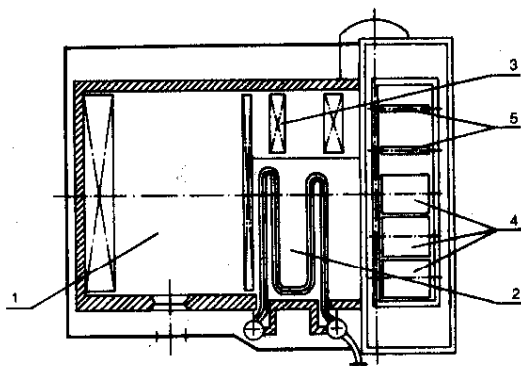


REGULACIJA TEMP. PREGRIJANJA

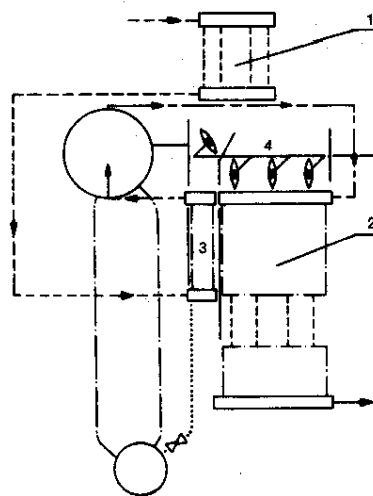
- Previsoka temperatura pregrijanja – pregrijavanje materijala pregrijača i turbine
- Dopušteno odstupanje: $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Promjena opterećenja: mijenja se strujanje s dimne i parne strane
- Regulacija: 1) s dimne, 2) s parne str.

Regulacija s dimne strane

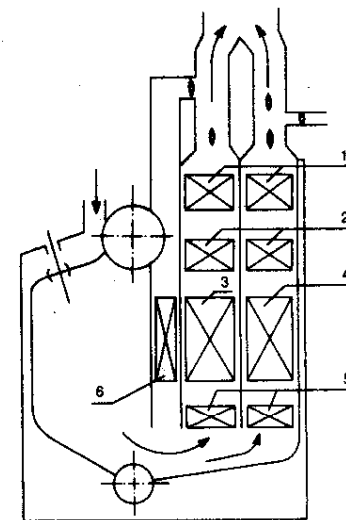
Usmjeravaju se plinovi!



- 1) Legenda:
 1-ložište, 2-pregrijač, 3-konvektivni snop isparivača, 4-regulacijske dimne zaklopke iza pregrijača, 5-regulacijske dimne zaklopke iza konvektivnog snopa isparivača



- 2) Legenda:
 1-zagrijač vode, 2-pregrijač pare, 3-regulacijski zagrijač vode, 4-regulacijske dimne zaklopke



- 3) Legenda:
 1-zagrijač vode, 2-pregrijač pare, 3-pregrijač pare, 4-međupregrijač, 5-pregrijač pare, 6-regulacijski zagrijač vode

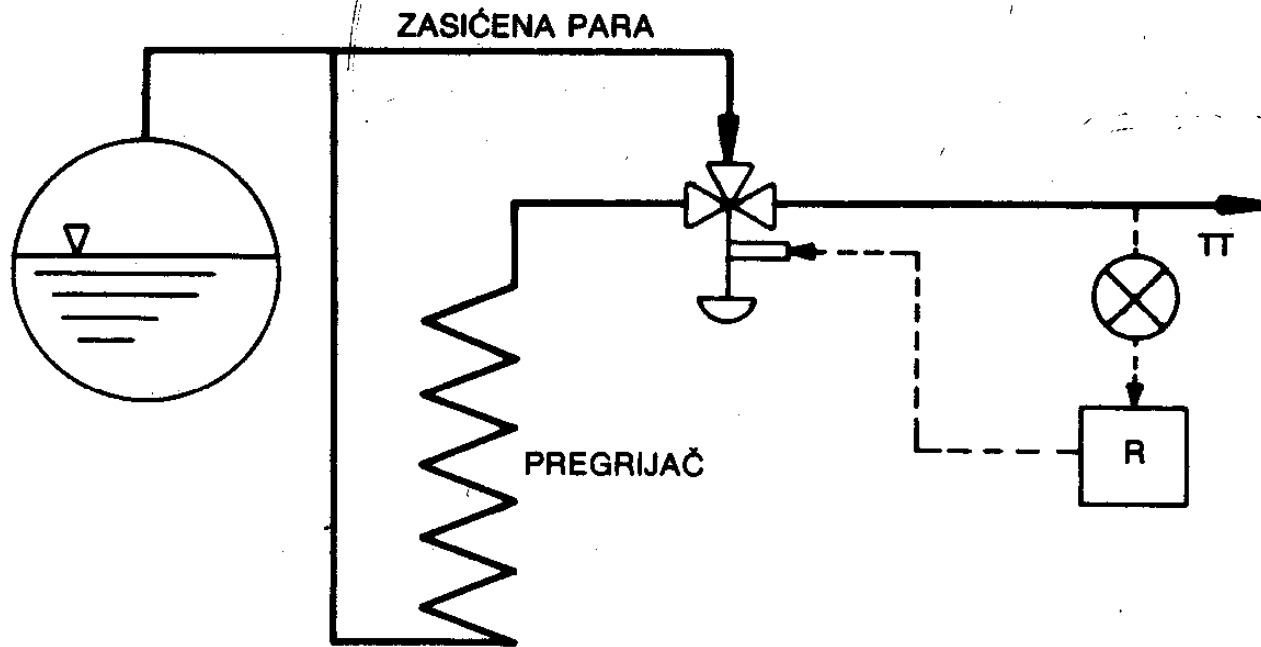
Sl. 13.7. Regulacija temperature pregrijane pare s dimne strane



Regulacija s parne strane

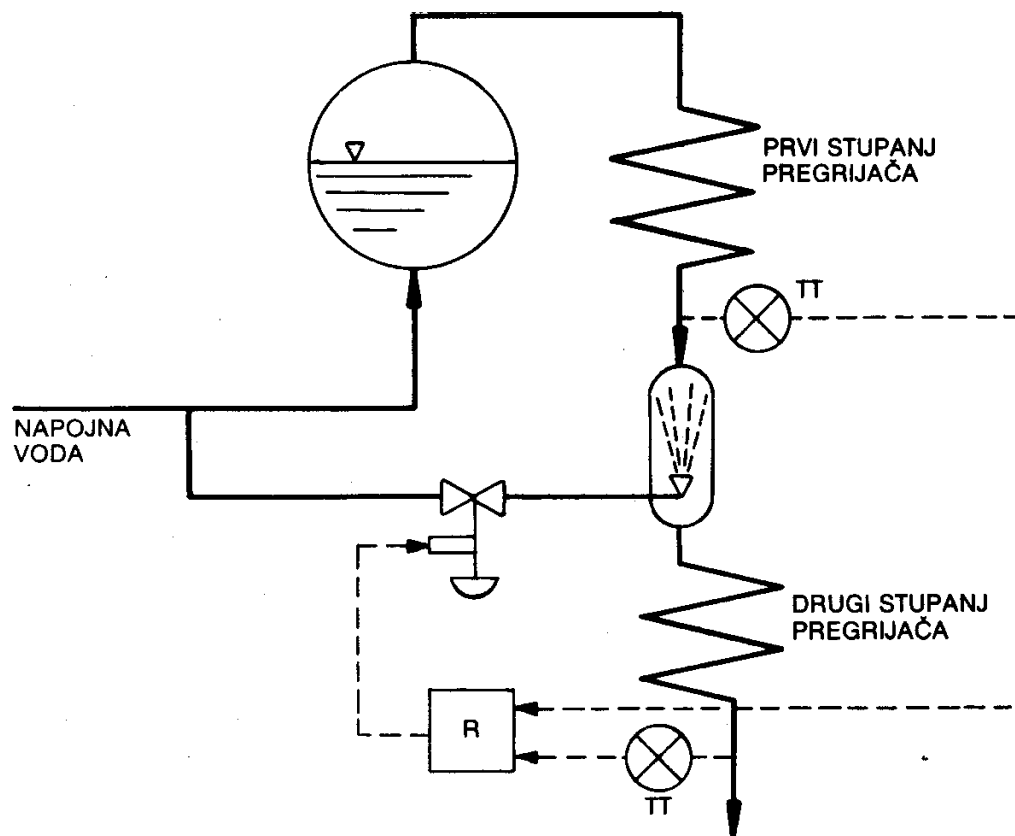
- Hlađenje pare
- Manje jedinice - $T_{pp} < 673 \text{ K}$
- Hlađenje u međustupnju
- Hlađenje: 1) direktno (rashladnik) ili 2) indirektno (uštrcavanje napojne vode, kondenzata, mokre pare)

Regulacija s parne strane



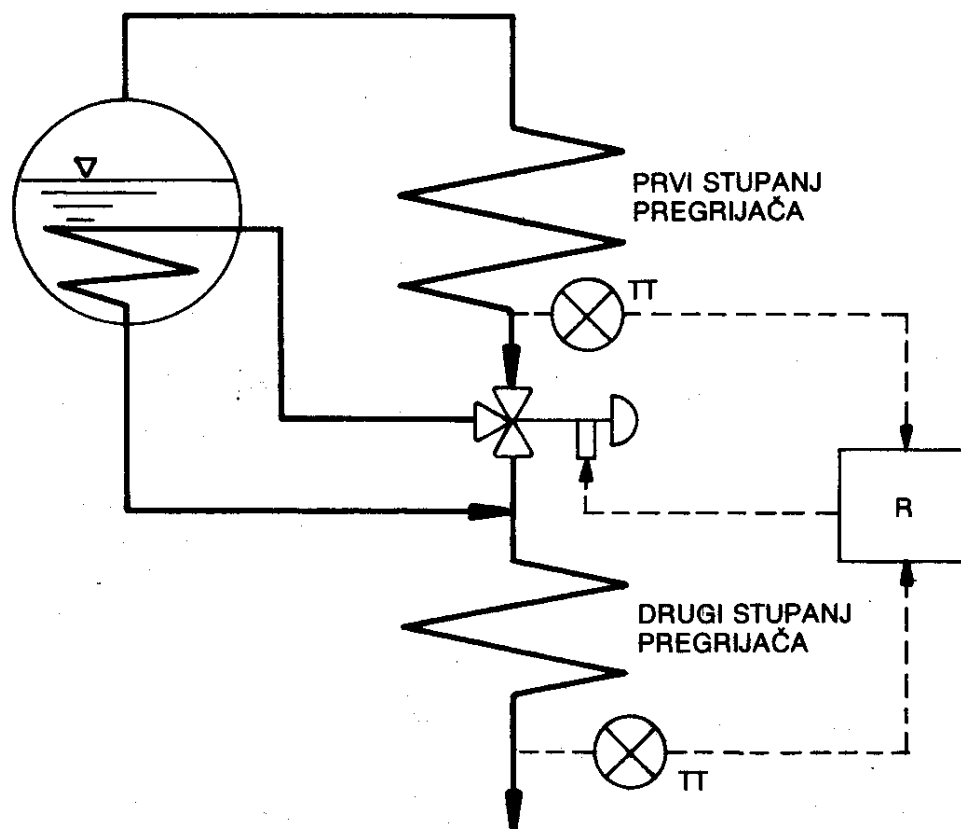
Sl. 13.8. Regulacija temperature pregrijane pare miješanjem sa zasićenom parom

Regulacija s parne strane



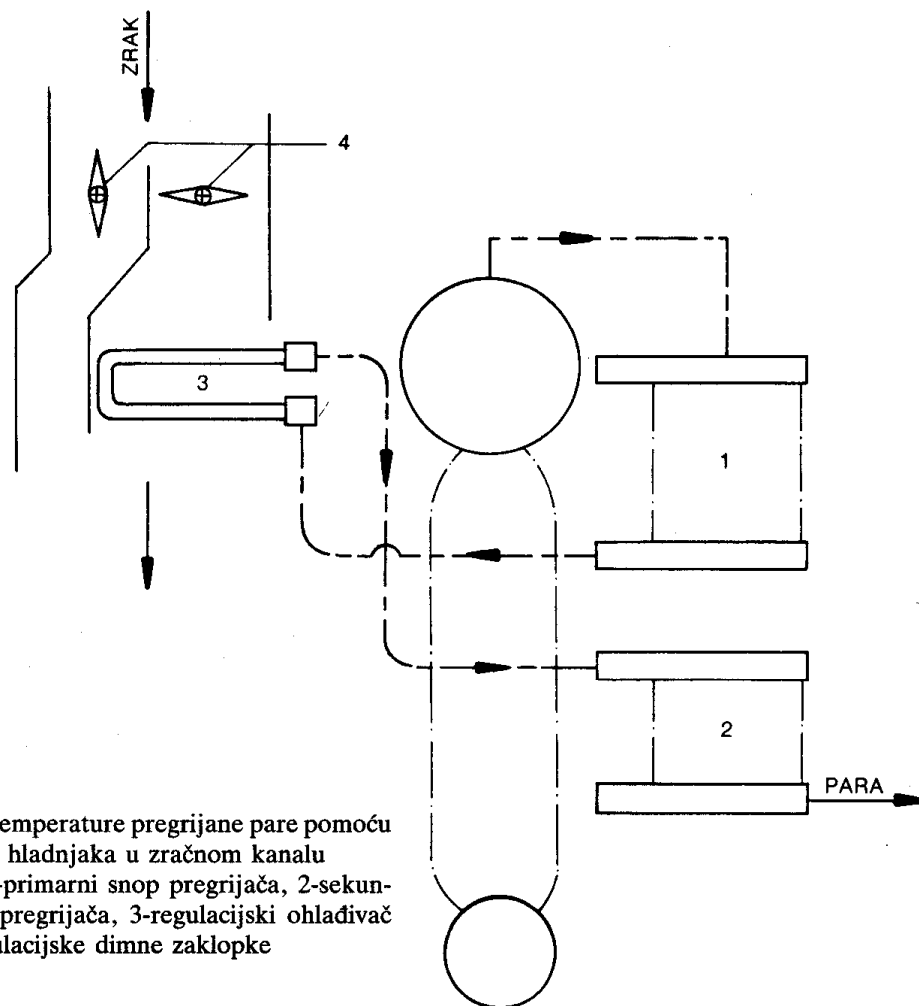
Sl. 13.9. Regulacija temperature pregrijane para ubrizgavanjem napojne vode

Regulacija s parne strane



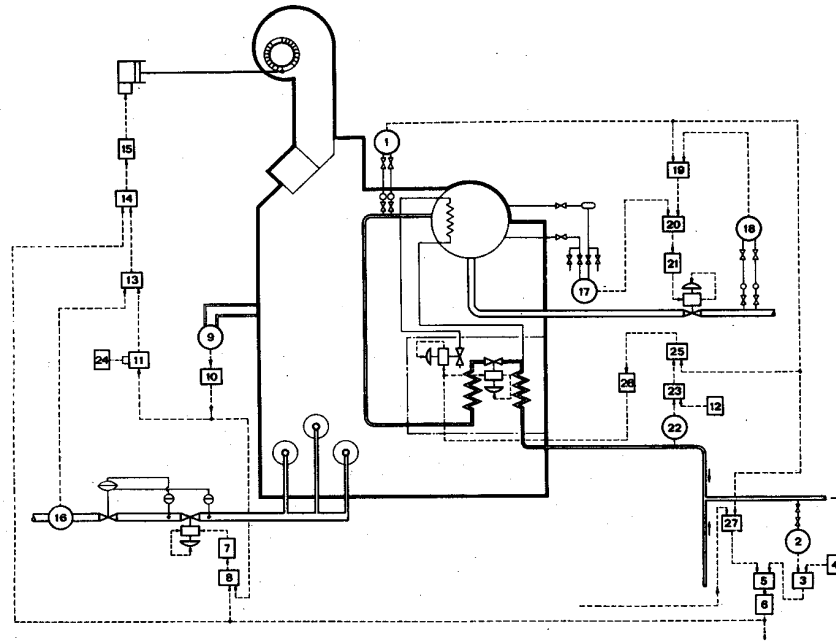
Sl. 13.10. Regulacija temperature pregrijane pare pomoću površinskog hladnjaka

Regulacija s parne strane



Sl. 13.11. Regulacija temperature pregrijane pare pomoću površinskog hladnjaka u zračnom kanalu
Legenda: 1-primarni snop pregrijača, 2-sekundarni snop pregrijača, 3-regulacijski ohlađivač pare, 4-regulacijske dimne zaklopke

AUTOMATSKI RAD



. 13.12. Shema kompletne automatske regulacije brodskog generatora pare

Legenda: 1-prijenosnik signala protoka, 2-prijenosnik signala tlaka pare, 3-regulator tlaka pare, 4-daljinsko podešavanje opterećenja, 5-sumarni relej, 6-glavna servostanica, 7-servostanica za gorivo, 8-birač signala, 9-prijenosnik signala razlike pritiska, 10-računska jedinica, 11-releji odnosa gorivo/zrak, 12-daljinsko podešavanje odnosa gorivo/zrak, 13-regulator odnosa gorivo/zrak, 14-regulator ventilatora, 15-servouredaj ventilatora, 16-prijenosnik signala odnosa gorivo/zrak, 17-prijenosnik signala razine vode, 18-prijenosnik signala protoka napojne vode, 19-sumarni relej, 20-regulator napajanja, 21-servostanica napojne vode, 22-prijenosnik signala temperature, 23-temperaturni relej, 24-podešavanje ventilatora, 25-regulator temperature, 26-ručna servostanica temperature, 27-birač signala

Izvor: 22, 23