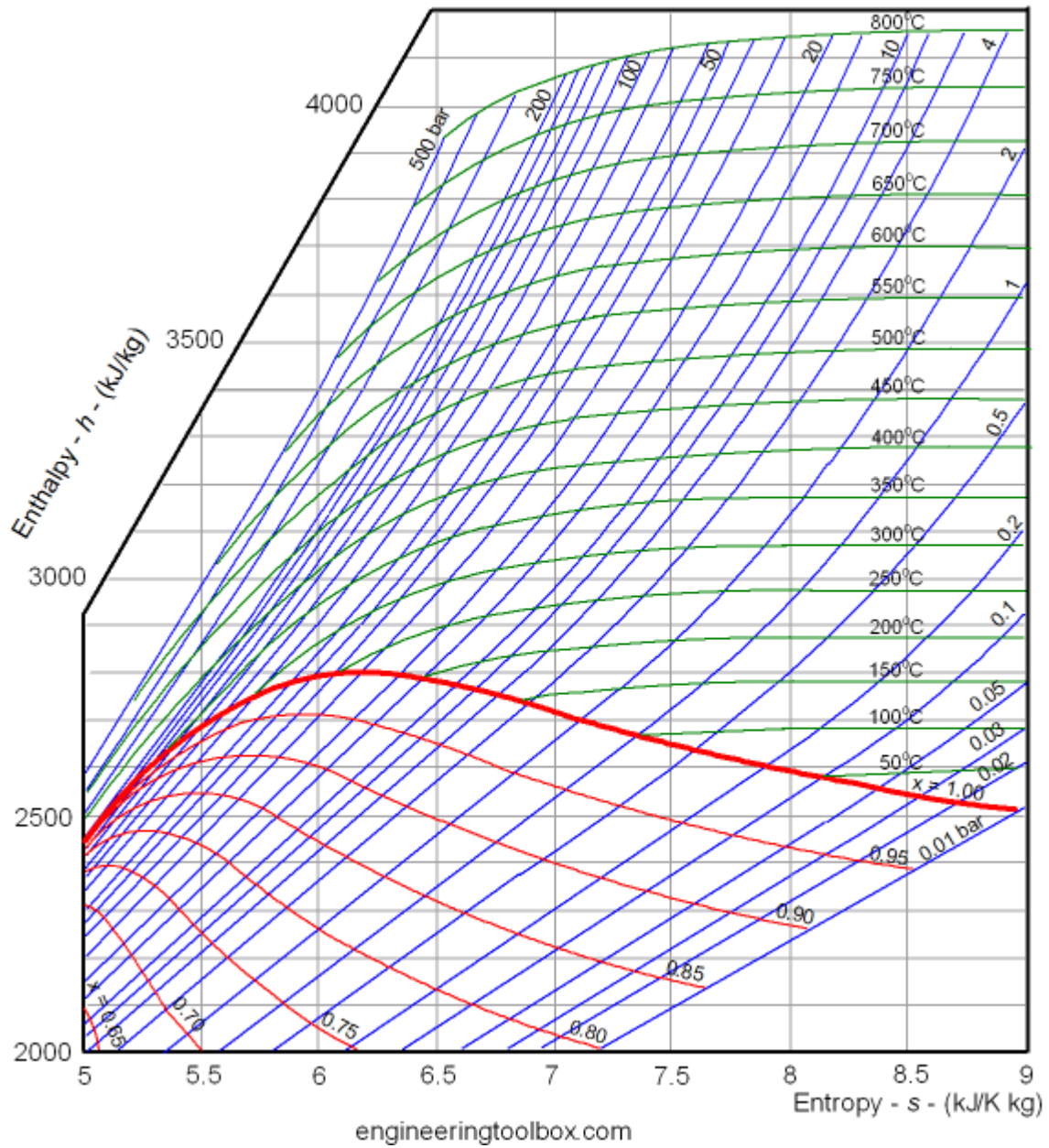
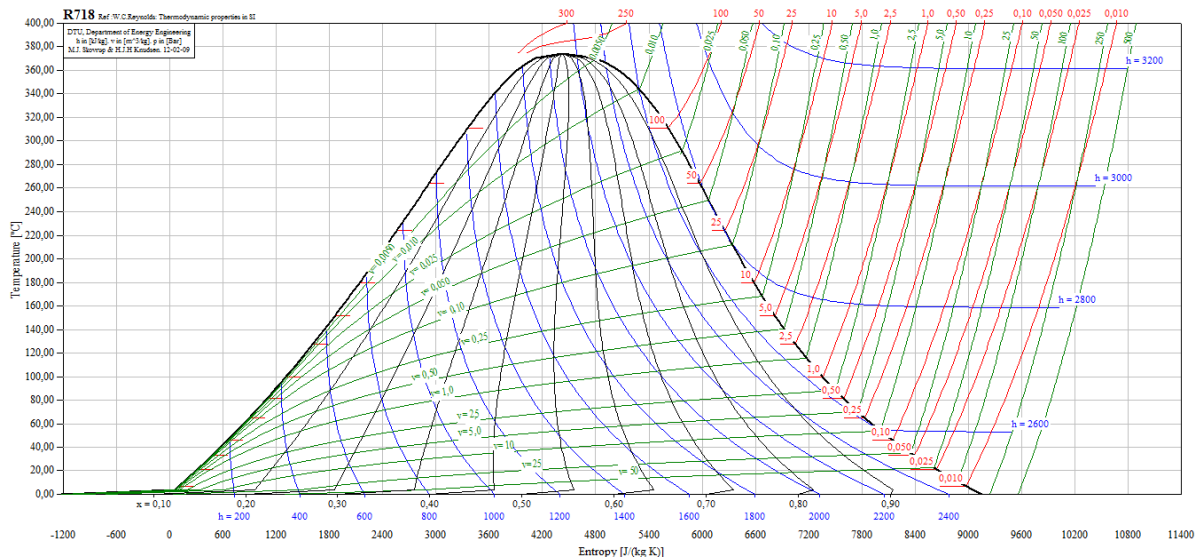


BRODSKI GENERATORI PARE

1. Termodinamičke osnove G.P. i stupanj iskoristivosti (5.3)





Proizvodnja vodene pare u GP

Teoretski po izobari; $p = const.$;

$Q = m(h_p - h_v)$; Sva toplina se troši na prirast entalpije pare

m – masa proizvedene pare [kg]

h_p - entalpija proizvedene pare; $h_p = h_4$ ili h_6 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

h_v - entalpija ulazne vode; $h_v = h_1$ $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Entalpija – zbroj unutarnje energije (zbog topline) i potencijalne energije (ovisi o tlaku i volumenu); $h = u + pv$ $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$, p – tlak, v – specifični volumen

Stanja pare

Napojna voda – voda ugrijana na temperaturu isparavanja (stanje T_1 do T_2)

T_2 – temp. isparavanja

Mokra para – mješavina vrele vode i pare ($x = 0$, T_2)

Suhozasićena para – para stanja kad ispari zadnja kap vode ($x = 1$, $T_2 = T_3$) – stanje T_3

Pregrijana para – para temperature veće od temperature isparavanja pri konstantnom tlaku – stanje T_4

Temperatura isparavanja – temperatura na kojoj voda isparava – proporcionalna s tlakom (> tlak > temperatura isparavanja)

Proizvodnja pare u GP ide u 3 faze (slika 1):

1. Grijanje vode u zagrijaču N.V. (ekonomajzeru: 1 - 2) - od T_1 do T_2 , $p = const$

$$q_f = h_2 - h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right];$$

Toplina potrebna za zagrijavanje 1 kg vode od početne temperature T_1 do temperature isparavanja T_2 :

h_1 - entalpija vode koja ulazi u zagrijač (za 0°C ---- $h_0 = 0$)

h_2 - entalpija vrele vode koja izlazi iz zagrijača (početak isparavanja)

2. Isparavanje u isparivaču (2 - 3)

Toplina isparavanja r – toplina koju treba dovesti 1 kg vrele vode da potpuno ispari;

$$r = h_3 - h_2 \left[\frac{kJ}{kg} \right];$$

Obrnuto proporcionalna s tlakom, tj. što je veći tlak potrebna je manja količina topline za isparavanje, ali veća količina topline za grijanje vode

h_3 - entalpija s.z.p. na izlazu iz isparivača ($x = 1$)

h_2 - entalpija vrele vode na ulazu u isparivač ($x = 0$)

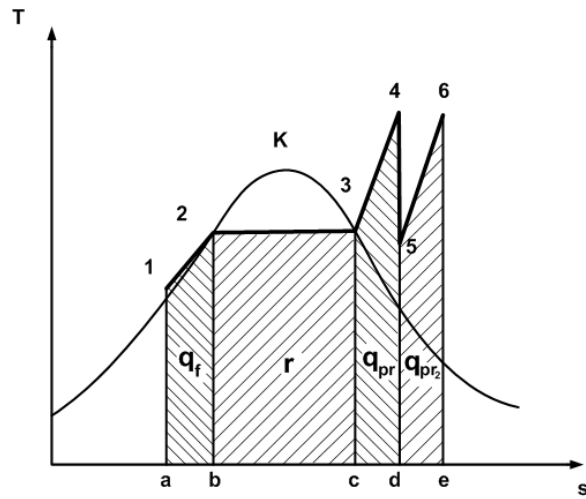
3. Pregrijavanje u pregrijaču (3 - 4)

Toplina pregrijavanja q_p - potrebna za pregrijavanje 1 kg s.z.p. na određenu temperaturu pregrijanja

$$q_{pr} = h_4 - h_3 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

h_{pr} - entalpija pregrijane pare

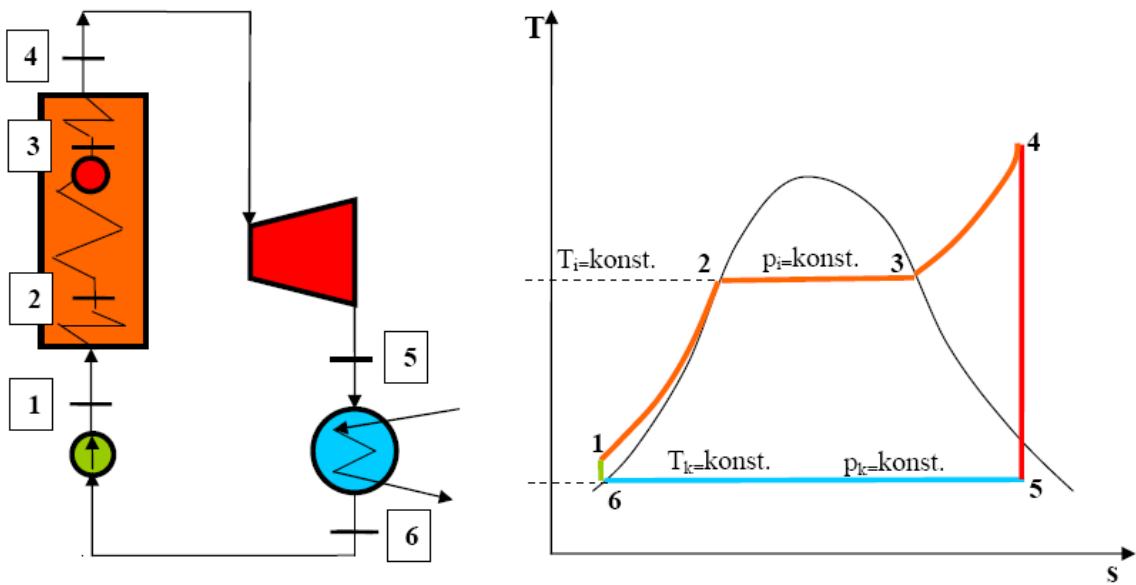
$$\text{Ukupno dovedena toplina: } q = q_f + r + q_{pr} = h_{pr} - h_1 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$



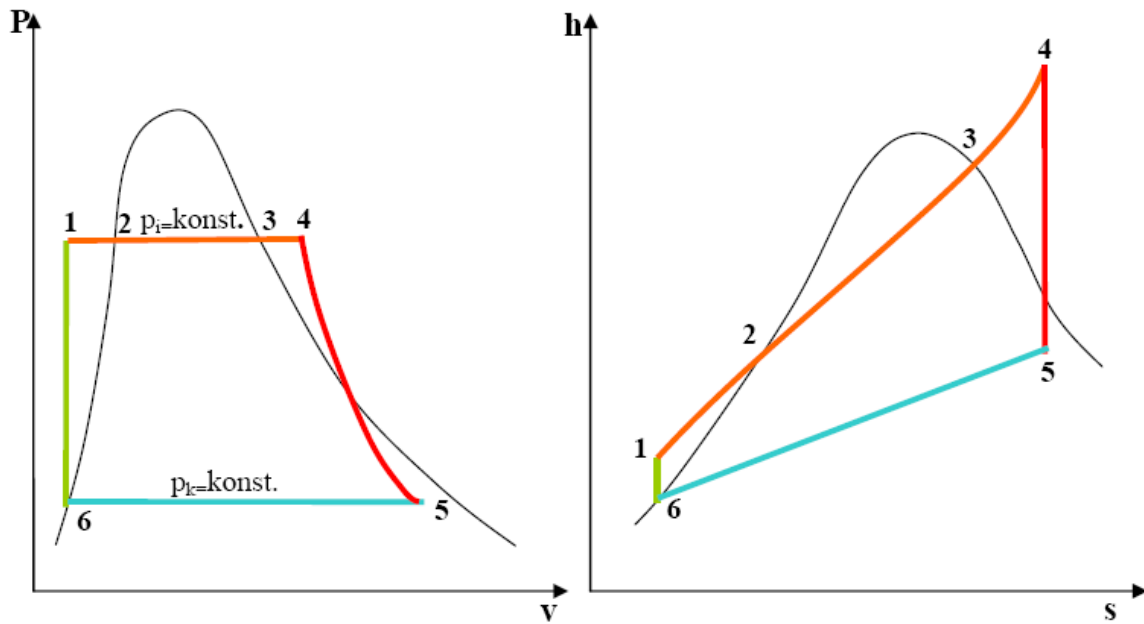
Slika 1

4. Međupregrijanje u međupregrijaču (5 - 6)

$$q_{pr_2} = h_6 - h_5 \left[\frac{kJ}{kg} \right].$$



Slika 2



Slika 3

Toplina zagrijavanja vode:

$$- q_{zv} = c_{pw} \cdot (t_2 - t_1) = h_2 - h_1 = h' - h_{nv} \quad [\text{kJ/kg}] \quad h = c_p \cdot t$$

Toplina isparavanja

$$- q_{isp} = \rho + \psi$$

$$- \rho = u_3 - u_2 = u'' - u' \quad - \text{unutarnja energija}$$

$$- \psi = p \cdot (v_3 - v_2) = p \cdot (v'' - v') \quad - \text{vanjska energija}$$

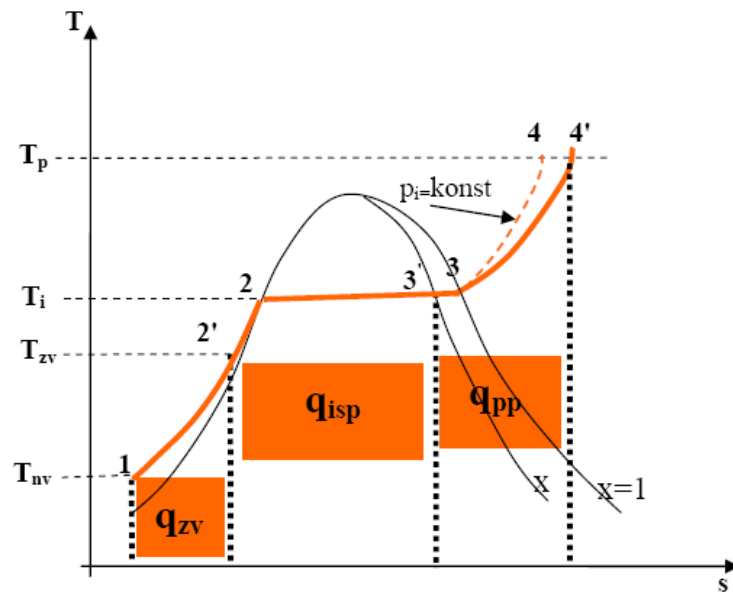
$$- q_{isp} = u'' - u' + p \cdot (v'' - v')$$

$$- h = u + p \cdot v$$

$$- q_{isp} = h'' - h' = r \quad [\text{kJ/kg}]$$

Toplina pregrijavanja

$$q_{pp} = c_{pp} \cdot (t_4 - t_3) = h_4 - h_3 = h_{pp} - h'' \quad [\text{kJ/kg}]$$



$t_i - t_{zv} = 20 \text{ do } 60 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $x = 0,94 \text{ do } 0,98$
 $p_4 - p_{4'}$, pad tlaka kroz pregrijač pare (5 do 10 %)

Slika 4

Toplina preuzeta u zagrijaču vode

$$q_{zv} = h_2' - h_1 = h_2' - h_{nv} \text{ [kJ/kg]}$$

Toplina predana u isparivaču

$$q_{isp} = h_3' - h_2' \text{ [kJ/kg]}$$

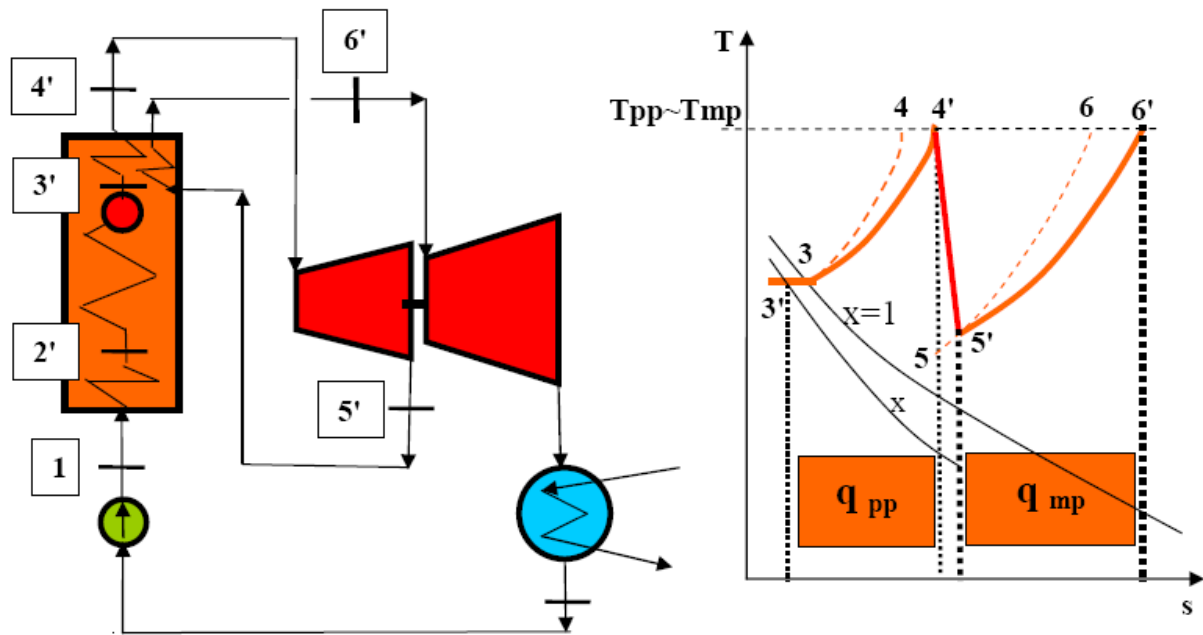
$$h_3' = h' + x \cdot (h'' - h') = h' + x \cdot r$$

Toplina preuzeta u pregrijaču pare

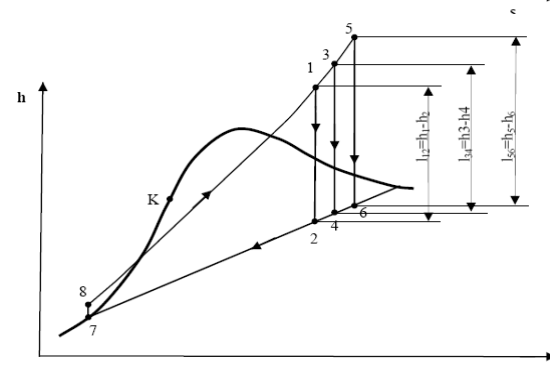
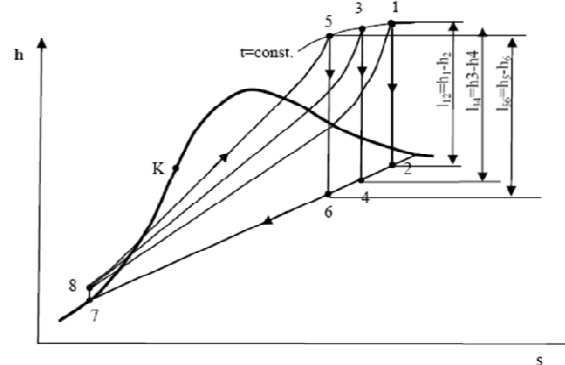
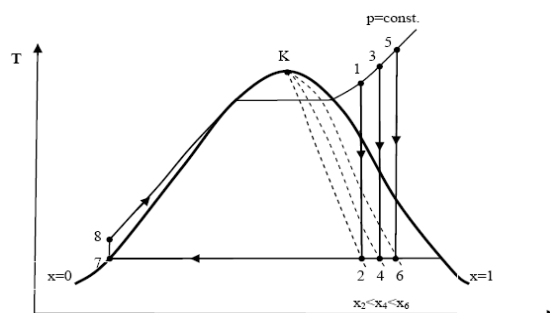
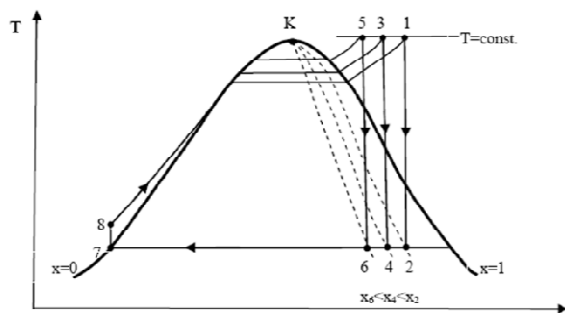
$$q_{pp} = h_4' - h_3' = h_{pp} - h_3' \text{ [kJ/kg]}$$

Međupregrijavanje

$$Q_{mp} = h_6' - h_5' \text{ [kJ/kg]}$$

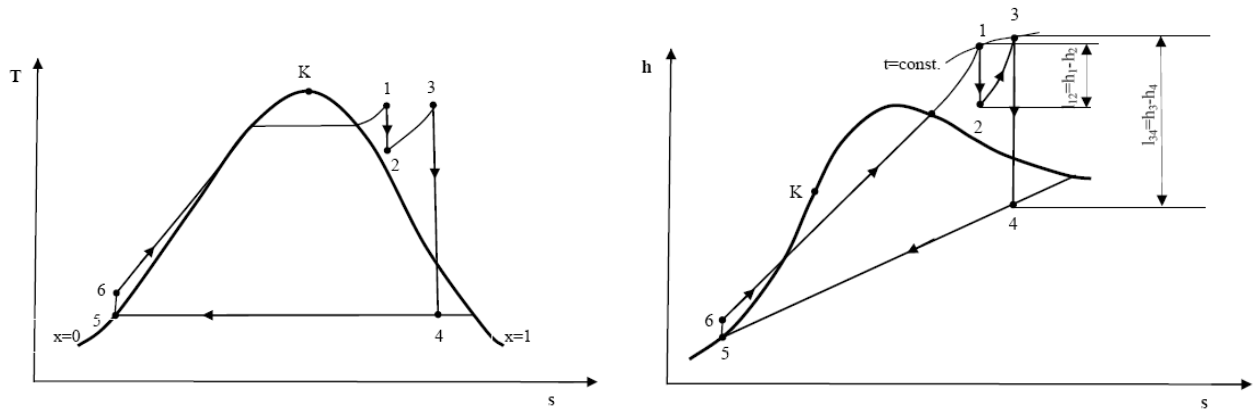


Slika 5

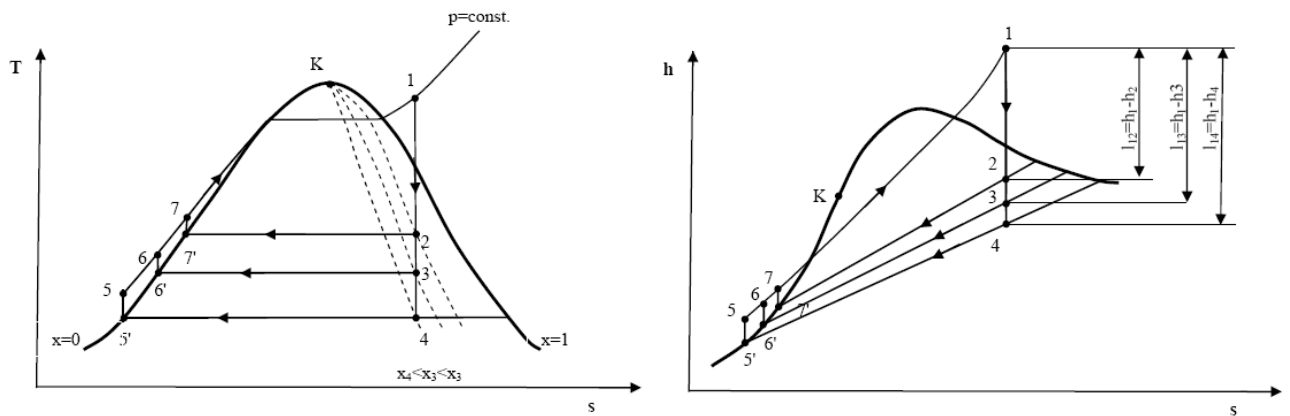


Slika 6

Slika 7

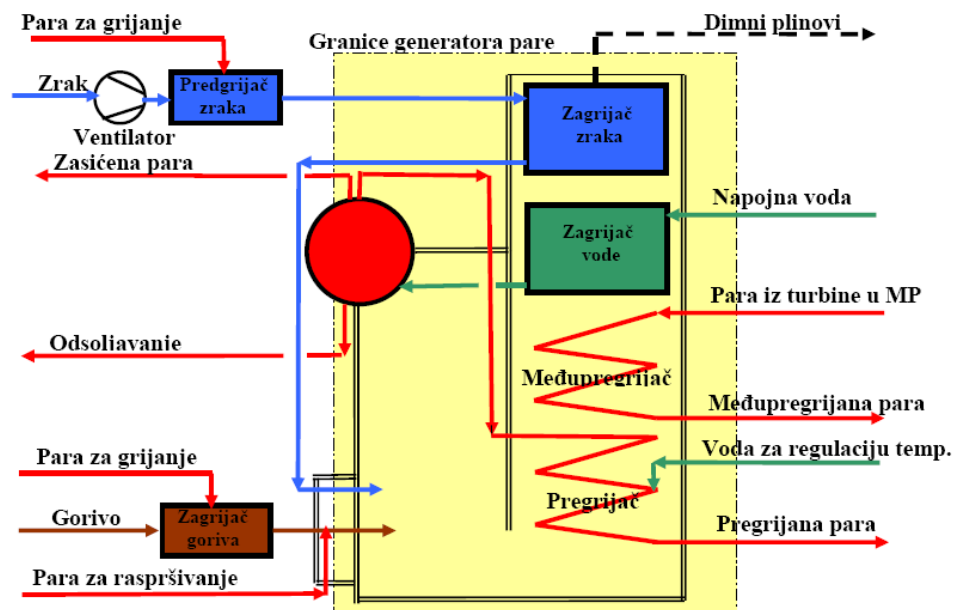


Slika 8



Slika 9

Toplinski gubici i stupanj djelovanja G.P. (5.3)



Slika 10: Toplinska shema G.P.

Iskoristivost G.P.

Iskoristivost je povezana s gubicima – što su veći iskoristivost je manja.

$$\eta_{GP} = \frac{Q_1}{Q_d} = \frac{m \cdot (h_p - h_v)}{B \cdot H_d}$$

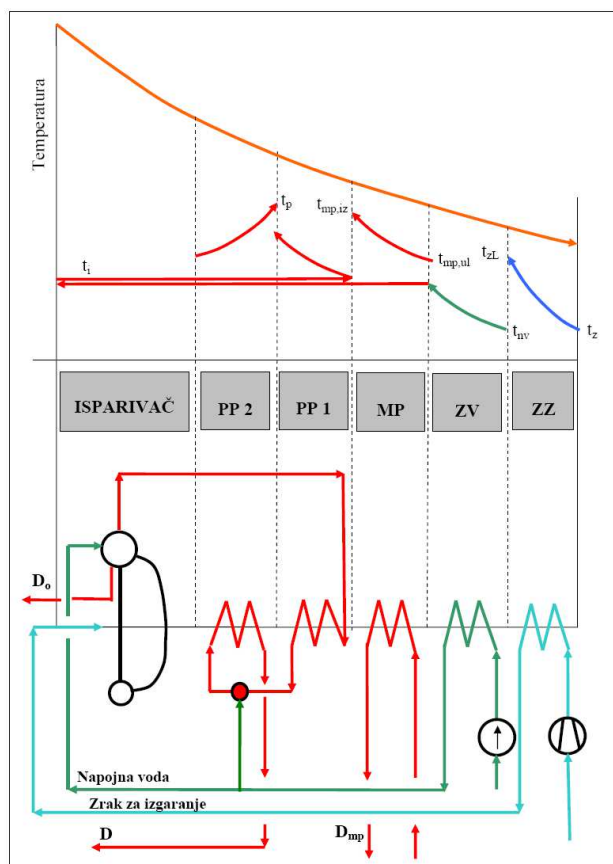
Q_1 – iskorištena toplina za proizvodnju pare

Q_d – dovedena toplina s gorivom u ložište G.P.

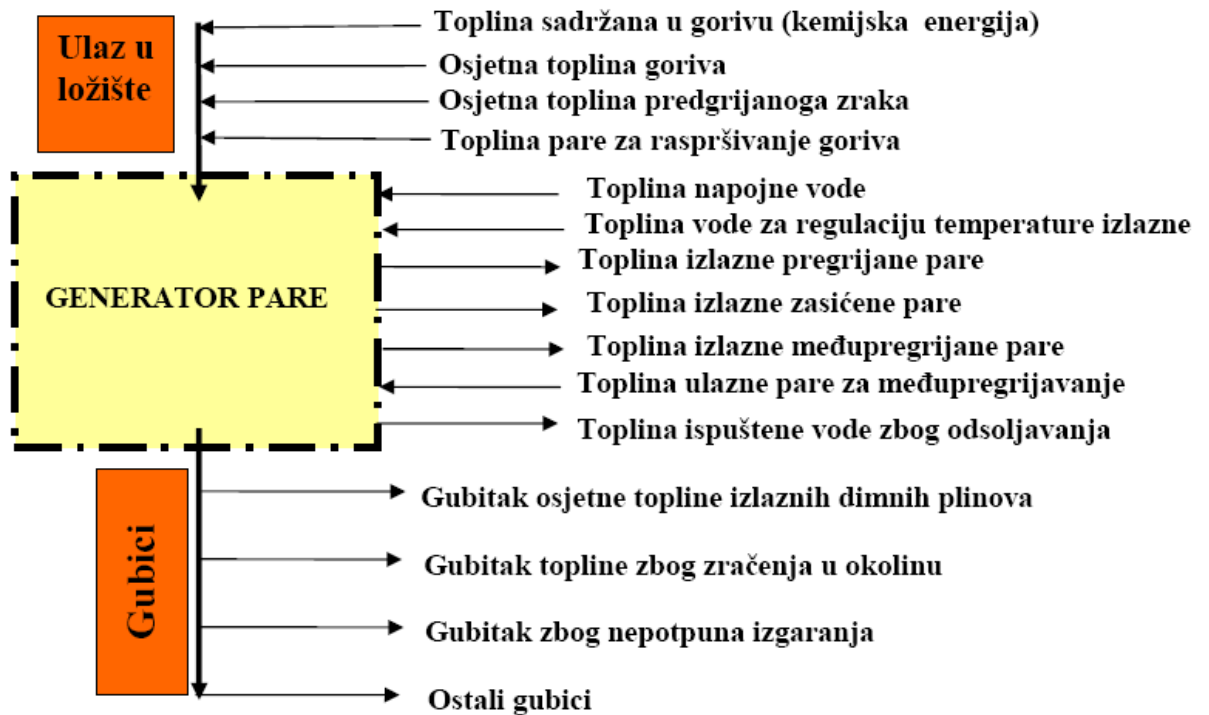
m – masa proizvedene pare [kg],

B – količina dovedenog goriva [kg].

RAZVIJENA TOPLINSKA SHEMA GENERATORA PARE



Slika 11



Slika 12

Toplinski gubici

G1. Gubitak osjetne topline izlaznih dimnih plinova

G2. Gubitak zračenja topline na okolinu

G3. Gubitak zbog nepotpunog izgaranja

G4. Gubitak zbog pojave čađe

G5. Gubitak zbog letećeg koksa (G.P. na ugljen)

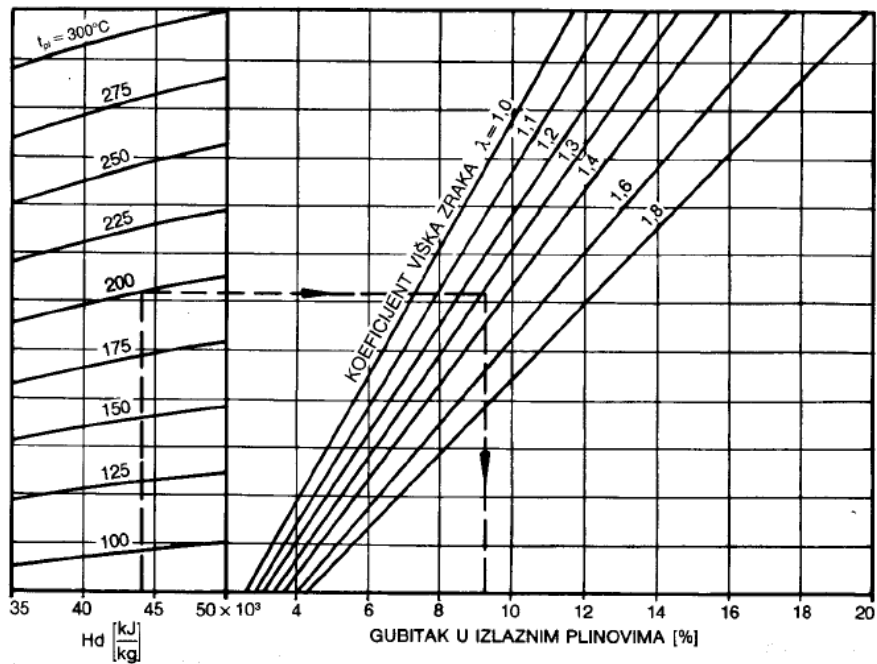
G6. Gubitak zbog propadanja goriva kroz rešetku (G.P. na ugljen)

G7. Gubitak zbog sadržaja izgorivih dijelova u troski (G.P. na ugljen)

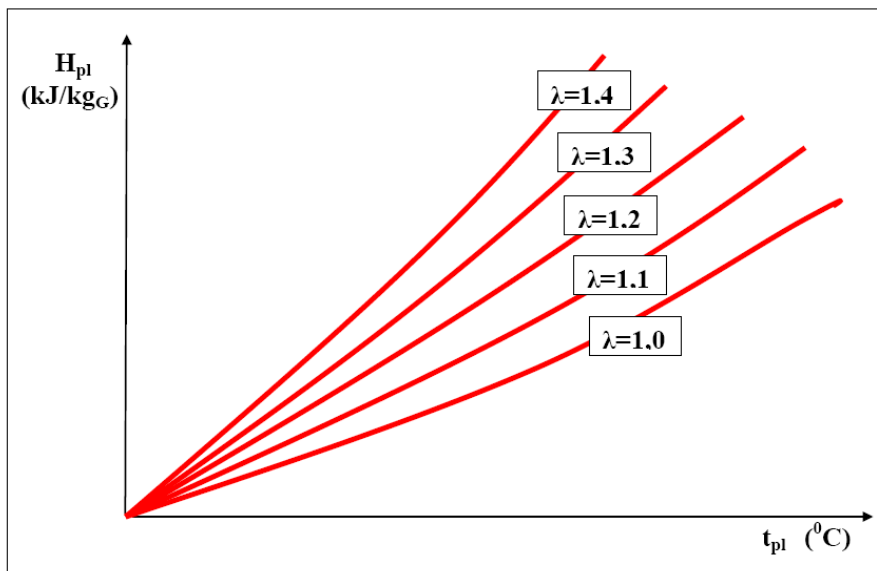
G8. Gubitak zbog osjetne topline ostataka iz ložišta

G9. Ostali toplinski gubici (kod potpaljivanja – propuhivanja, otpjeivanje i odmuljivanje, čišćenje propuhivačima, itd.)

G 1: Dimni plinovi nose sa sobom toplinu ($Q = m \cdot c_p \cdot t$) koja nije prešla s goriva na vodu, paru ili zrak. Ta toplina je veća što je veća masa i temperatura tih dimnih plinova. Zato na izlazu dimnih plinova temperatura mora biti što manja – dodavanje dodatnih ogrjevnih površina (zagrijači vode i zraka, pregrijači, međupregrijači, itd.). Najniža temperatura dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka iznosi 120°C (u praksi oko 160°C zbog N.T. korozije). Osim o temperaturi, ovise i o pretičku (faktor viška) zraka (λ) -slika 13, 14 te čistoći ogrjevnih površina.



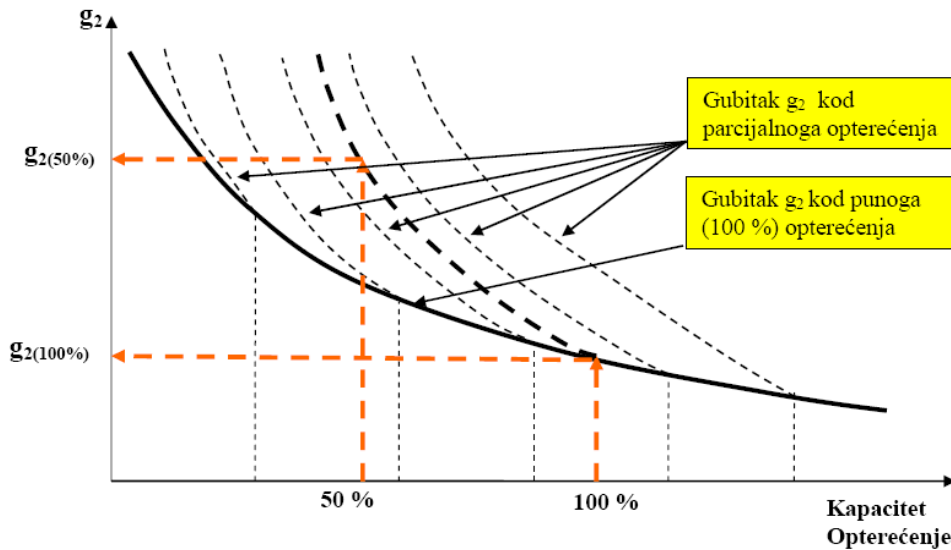
Slika 13



Slika 14 – Entalpija plinova je veća (veći gubici) što je pretičak zraka veći (za istu temperature dimnih plinova)

G 2: Drugi gubitak po veličini. Što bolja izolacija G.P. i ozid. Ovisi i o kapacitetu i opterećenju G.P. (smanjuje se porastom kapaciteta i opterećenja). Kreće se od 0,5 – 3%. (slika 15)

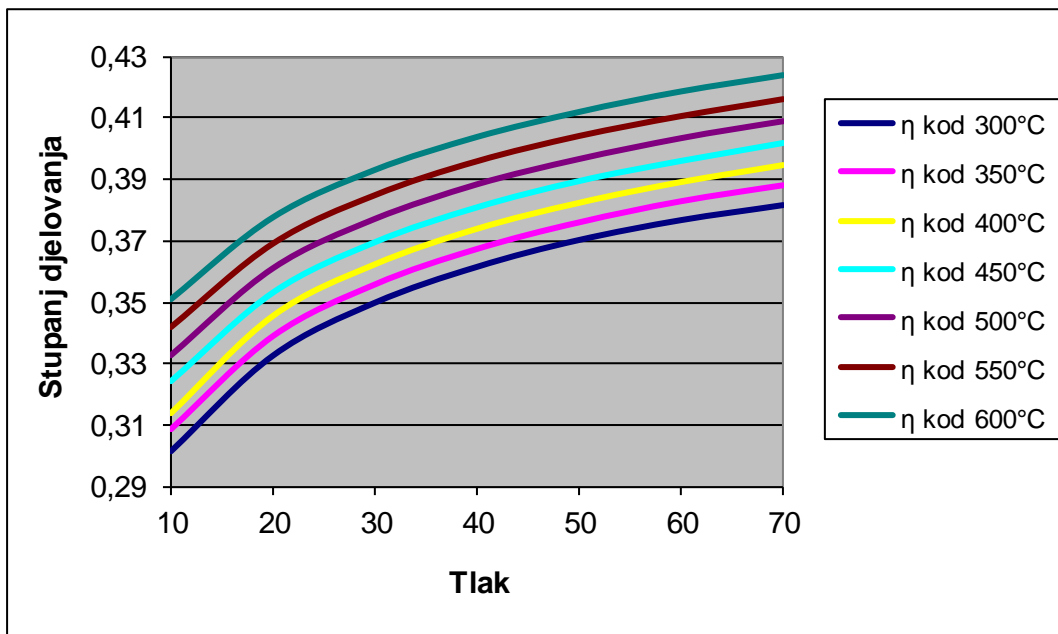
Utjecaj kapaciteta i opterećenja na gubitak zračenja u okolinu



Slika 15: Veće opterećenje – manji gubitak

G 3: Danas sveden na minimum. Ovisi o vrsti (kvaliteti) goriva i načinu izgaranja. Dio ugljika ne izgori kompletno u CO₂. Kod tekućih i plinovitih goriva zanemariv.

Ukupni toplinski gubici G.P. iznose 7 – 25%, pa je $\eta_{GP} = 1 - \sum_{gub} = 0,75 - 0,93$.



Slika 16: Kod G.P. s većim radnim tlakovima gubici su manji – st. iskoristivosti veći

Načini povećanja toplinskog stupnja iskoristivosti parnog procesa (10.1)

Smanjenjem gubitaka.

Povećanjem tlaka (slika 6), povećanjem temperature pregrijanja (slika 7), međupregrijanjem (slika 8) i ekspanzijom na manji tlak (veći podtlak) (slika 9), povećava se entalpijski pad – veća iskoristivost

Stupanj djelovanja kompletnog P.T. postrojenja ovisi o tlakovima i temperaturama pregrijane pare te raznim rekuperatorima topline, ali na brodu u pravilu ne prelaze 40% ($\eta_{GP} = 0,4$) – slika 16.

2. Gorivo za brodske GP

- **kruta** (> 17 atoma C) – ugljen

- **tekuća** (5 – 17 atoma C) – veća ogrjevna vrijednost, manje nesagorivih sastojaka, lakši transport, smještaj i automatizacija.

Sastav goriva: Gorivi sastojci; C (85%), H (12%), S (3%)

Negorivi sastojci; O₂, N, vlaga(H₂O) i pepeo

Kvalitetnije gorivo ima više C i H, a manje S i vode

Karakteristike goriva

a) **Toplinska vrijednost** – ovisi o (c,h,o,s,w u % u gorivu)

Donja (*H_d*) – količina topline koja se oslobodi kad izgori 1 kg goriva [kJ/kg, MJ/kg]. Za tekuća goriva lošije kvalitete $H_d \approx 40000$ [kJ/kg]

$$H_d = 340 \cdot c + 1200 \cdot (h - o/8) + 105 \cdot s - 25 \cdot w \quad \text{kJ/kg}$$

$$H_g = H_d + 25 \cdot (9 \cdot h + w) \quad \text{kJ/kg}$$

b) **Viskozitet** – otpor protjecanju goriva. Jedinice: °E (stupanj Engler-a), cSt (centistokes).

Npr. 10 cSt = 1,83 °E = 51,3 secR (Redwood)

°E usporedba s vodom, npr. 2 °E – ulje će 2 puta sporije isteći nego voda. Važna i temperatura na kojoj se mjeri; 5 °E / 50 °C – 5x sporije istječe na 50 °C nego voda na 20 °C.

Prije raspršivanja viskozitet mora biti 3 – 5 °E ($\approx 20 - 40$ cSt) – mora se grijati (90 – 120 °C)

c) **Gustoća** - $\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ - kreće se od 0,95 do 1 $\left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]$

d) **Sadržaj štetnih sastojaka (S, V, Na)** – štetni jer stvaraju koroziju (v.t. i n.t.) i naslage

- e) **Plamište** – temperatura na kojoj počinje izgaranje u dodiru s otvorenim plamenom (za mazut – 350 – 400 °C)
- f) **Vrelište**
- g) **Ishlapljivanje**
- h) **Temperatura stinjavanja ili zamućivanja**
- i) **Temperatura gorenja**
- j) **Temperatura samozapaljenja**

Sustavi za loženje generatora pare – priprema goriva za kvalitetno izgaranje

Raspršivanje goriva u G.P.;

- pomoću tlaka goriva (7 – 30 bar),
- pomoćnim medijem; **Zrak** (tlak zraka 1 – 10 bar ovisno o tlaku goriva),
Para (unutarnje i vanjsko mješanje – tlak pare 6 – 12 bar)
- centrifugalnom silom (tlak goriva 4 – 6 bar, n = 5000 do 10000 rpm)

3. Izgaranje goriva i zrak za izgaranje (8.2)

Izgaranje – spajanje gorivih sastojaka iz goriva s kisikom iz zraka uz oslobađanje topline

Potpuno: $C + O_2 \rightarrow CO_2$, uz oslobađanje 34000 kJ/kg

$S + O_2 \rightarrow SO_2$, uz oslobađanje 10500 kJ/kg

$H + O_2 \rightarrow H_2O$, uz oslobađanje 120000 kJ/kg

Nepotpuno: $C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$, uz oslobađanje 10200 kJ/kg (fali zraka - kisika)

Teoretska minimalna količina kisika za potpuno izgaranje:

$$O_{\min} = 1,867 \left[c + 3 \left(h - \frac{o-s}{8} \right) \right] \left[\frac{m_N^3}{kg} \right],$$

c, h, o i s – maseni udjeli u gorivu

m_N^3 - volumen plina pri atm. Tlaku i temperaturi od 0°C

Kisik se dobiva iz zraka (21% volumski), pa je minimalna količina zraka za potpuno izgaranje:

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 8,89 \left[c + 3 \left(h - \frac{o-s}{8} \right) \right] \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Npr. Za lož ulje; $L_{\min} = 10,2 - 10,6 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \approx 14 \left[\frac{kg_{zraka}}{kg_{goriva}} \right]$.

Zbog lošeg miješanja goriva i zraka u plameniku L_{\min} nije dovoljan pa stvarno treba dovesti više zraka;

$$L = \lambda \cdot L_{\min},$$

λ - **pretičak zraka (koeficijent viška zraka) zavisi od:** vrste goriva (udjelu isparivih sastojaka, temperaturi zapaljenja goriva), načina pripreme goriva, veličine i obliku gorive čestice, brzini izgaranja, temperaturi zraka za izgaranje, tlaka u ložištu (> tlak - > temp. Isparavanja – sastojci teže hlape), opterećenju G.P., vrsti plamenika.

Za lož ulje $\lambda = 1,05 - 1,3$ ----- 5 do 30 % viška (Ako je $L_{\min} = 10 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$, ventilator treba dovesti cca.

$12 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$ za potpuno izgaranje 1 kg goriva)

1,5% više O₂ od idealne znači 1% veće troškove goriva.

Iskoristivost:

motori – 0,55 (izgaraju teška goriva)

G.P. + parna turbina + kondenzator – oko 0,3 – 0,4 (mogu izgarati najlošija, pa i kruta goriva)

Plinska turbina – oko 0,4 (ne može izgarati teško gorivo)

3.1 Produkti i kontrola izgaranja

Produkti izgaranja su dimni plinovi (CO₂, SO₂, H₂O te N₂ i O₂)

O₂ u produktima izgaranja je višak (neizgoreni) kisik – **nepoželjan** – veći gubici (smanjuje iskoristivost)

N₂ – dovodimo ga sa zrakom (ne sudjeluje u izgaranju)

Kod nepotpunog izgaranja (CO, SO, H₂ – neizgoreni vodik)

Razni neizgoreni spojevi S, vlage, pepela i ostalih primjesa u gorivu i zraku stvaraju nepoželjne i štetne naslage – ovise o kvaliteti goriva, zraka i kvaliteti izgaranja.

Ukupni volumen suhih dimnih plinova (bez vodne pare) koliki volumen plina izađe u atmosferu pri izgaranju 1 kg goriva:

$$V_{pl} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} \left[\frac{m^3}{kg} \right], \text{ tj. } V_{pl} = 1,86 \cdot c + 0,7 \cdot s + 0,79 \cdot L_{\min} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Kontrola izgaranja

a) Neposrednim promatranjem plamena u ložištu i dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka

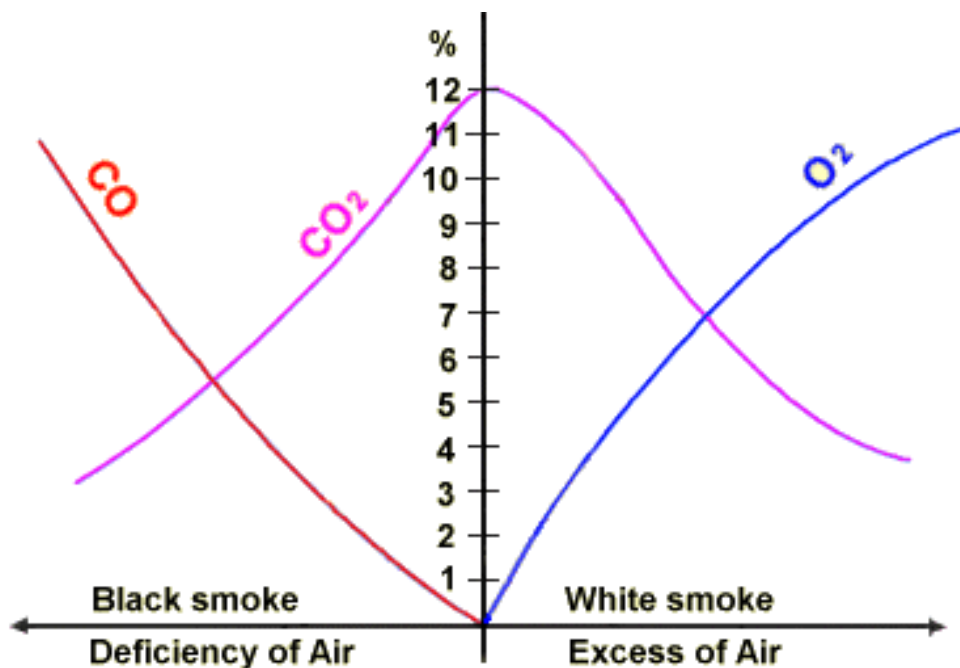
- *Plamen u ložištu* - Izgaranje je potpuno ako je plamen svjetlo narančaste boje. Tamno crvena (manjak O₂). Previše žuta (višak O₂).
- *Boja dimnih plinova* – svjetlo siva (potpuno izgaranje), tamna (manjak O₂), nevidljiv dim (višak zraka) – slika 10,11,12.

b) Kemijskom analizom dimnih plinova – Orsatov uređaj (sadrži supstance koje upijaju određene spojeve u dimnim plinovima) – određuje se volumni udio CO₂, CO, i O₂ u dimnim plinovima (u postocima).

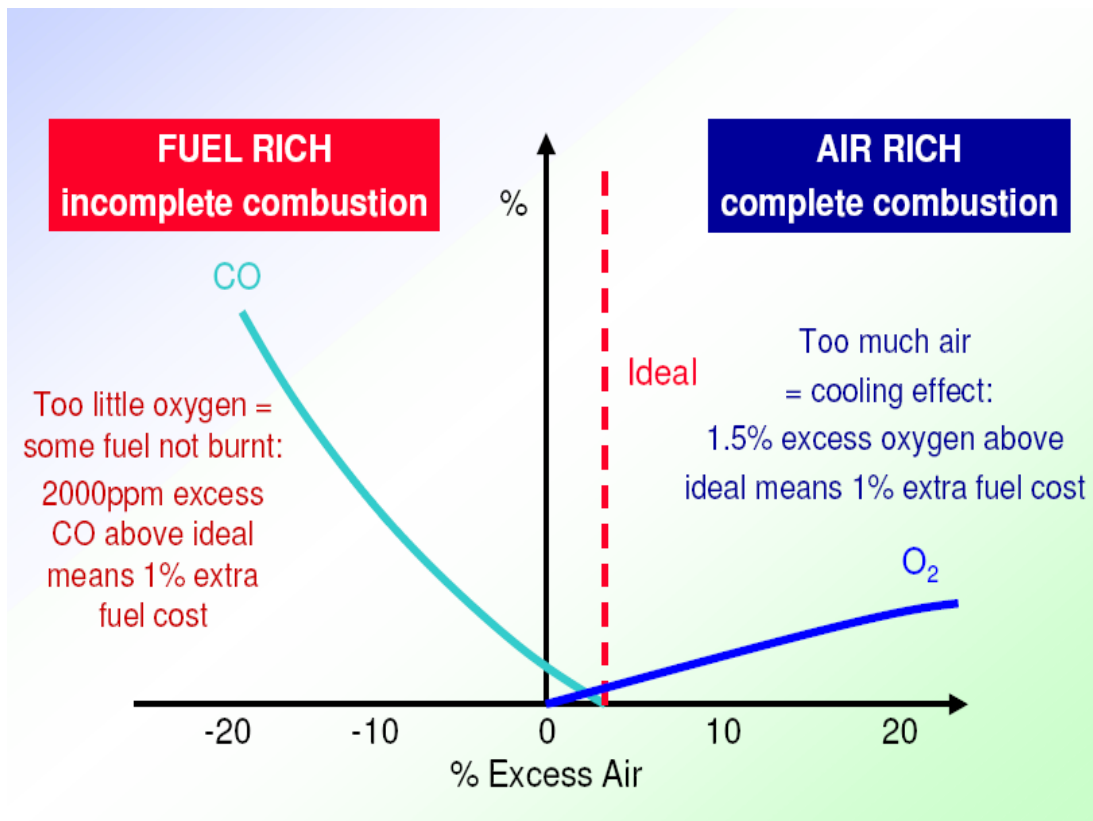
Kod potpunog izgaranja maksimalna količina CO₂ iznosi 15,5 do 17,5 %. Kod normalnog (uz λ) oko 12 %. Sadržaj CO kod dobrih plamenika ne bi trebao preći 0,05% (za gradske uređaje).

c) Mjerenjem temperature izgaranja u ložištu (1100 do 1600 °C)

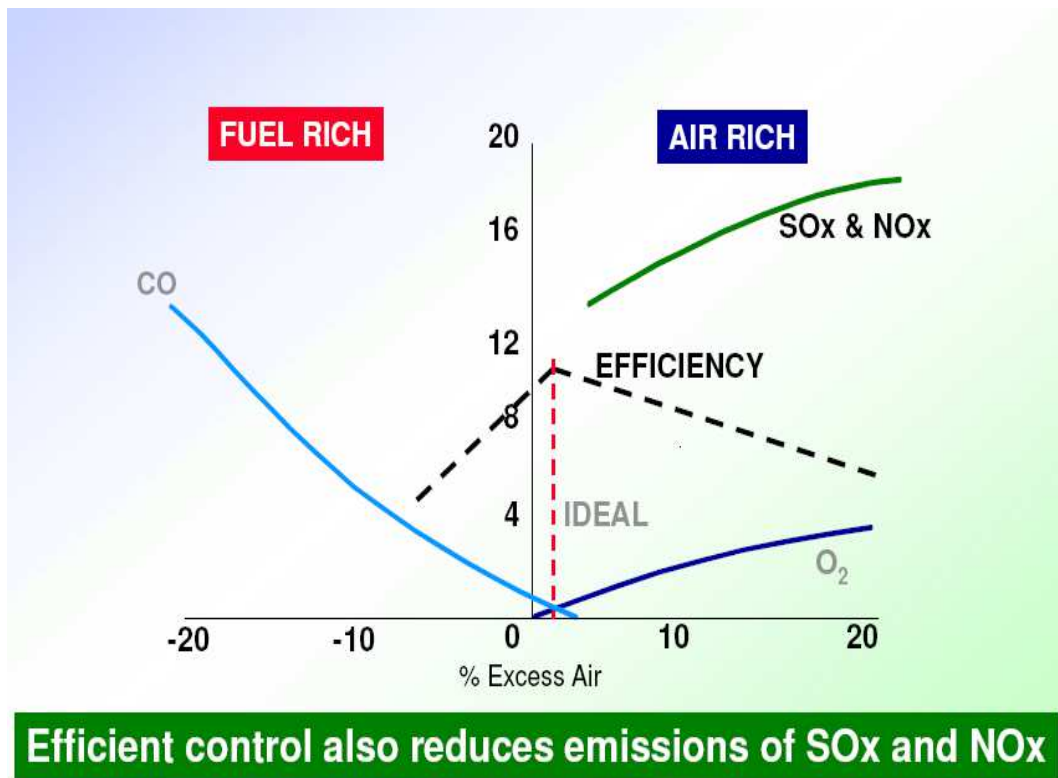
d) Analizom čađavosti dimnih plinova (Backaratov aparat) – uspoređivanje čađavosti dima s određenim tablicama



Slika 17



Slika 18



Slika 19

5. Osnovne karakteristike G.P (4.3)

Tlak pare (na brodu do 60 bar):

- pogonski (p_{nom}) – radni - normalni
- dopušteni (p_{max}) – koncesijski – dozvoljeni - (maksimalni tlak na kojem kotao smije raditi – 5% veći od p_{nom})

Kapacitet generatora pare (učin) – količina pare koju G.P. proizvede u jedinici vremena [t/h]

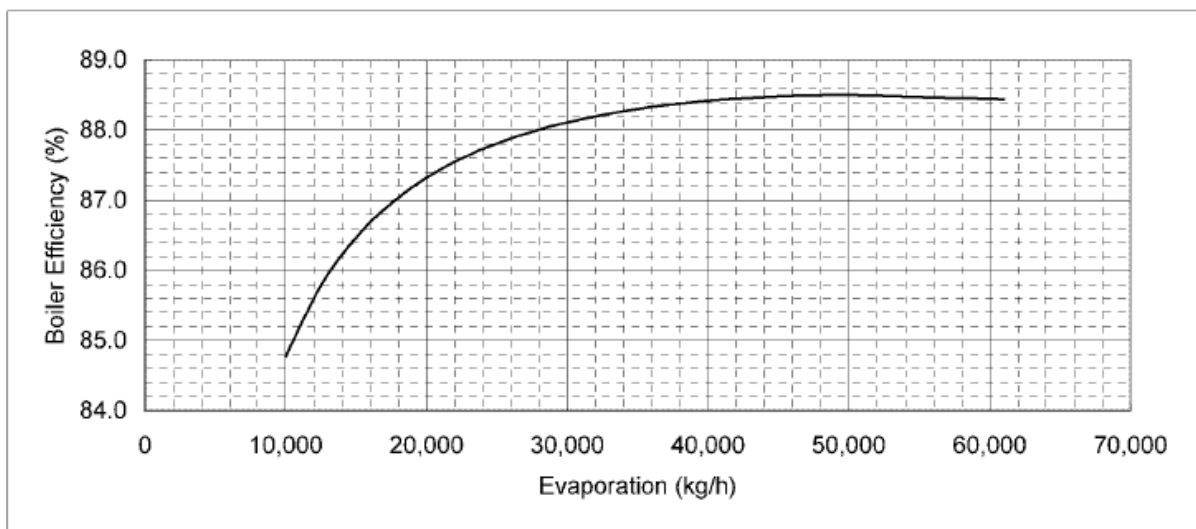
- Maksimalni (trajni, kratkotrajni) – 100%
- Normalni kapacitet – 80 %
- Minimalni kapacitet – 20 do 25 %

Temperatura pregrijane pare (do 560°C)

Temperatura napojne vode (20 do 60 °C niža od temp. isparavanja)

Temperatura izlaznih dimnih plinova (140 – 200 °C)

Stupanj iskoristivosti



Slika 20: Iskoristivost G.P. veća što su G.P. većih kapaciteta

Zahtjevi za B.G.P.

Sigurni, pouzdani, jednostavne konstrukcije, fleksibilni u pogonu, mogućnost brzog stavljanja u pogon, što lakši, mogućnost rada u nagnutom položaju (bočno: $\pm 30^{\circ}$, poniranje broda: $\pm 12^{\circ}$), visoki stupanj iskoristivosti, rad s raznim kvalitetama goriva, jednostavno posluživanje i rukovanje

6. Sastavni dijelovi vodocjvnog GP (4.3)

Ložište - Prostor u kojemu se zbiva izgaranje (1100 – 1600 °C) – pretvorba kemijske energije goriva u toplinsku energiju dimnih plinova.

Veličina i oblik ložišta ovise o kapacitetu generatora pare, vrsti goriva te načinu izgaranja. Ložište je obloženo ekranskim (isparivačkim) cijevima – *ekranizirano ložište*, na koje se prijelaz topline vrši uglavnom zračenjem – nepropusno za plinove – membranska stjenka.

Ložišta s ravnom ili valovitom cilindričnom plamenicom – stari škotski kotao.

Dno ložišta je od vatrostalne opeke ili također ekranizirano.

Ogrjevne površine – površine gdje se izmjenjuju topline

Isparivači - ogrjevne površine u kojima se zbiva isparivanje. Prijelaz topline je zračenjem i konvekcijom. To su vodeni i parni bubanj, isparivačke (uzlazne) cijevi. Nešto hladnija voda spušta se silaznim (vanjskim cijevima) – prirodna cirkulacija.

Pregrijači i međupregrijači - ogrjevne površine u kojima se vrši pregrijavanje pare na potrebnu radnu temperaturu (250 do 560 °C). Toplinski najopterećeniji dijelovi generatora pare – na početku dimnovodnog kanala gdje su najviše temperature. Napravljene od legiranog čelika. Prijelaz topline konvekcijom i zračenjem dimnih plinova.

Zagrijači vode (ekonomajzeri) - ogrjevne površine u kojima su vrši zagrijavanje vode prije ulaza u parni bubanj odnosno u isparivački dio generatora pare. Izlazna temperatura vode iz zagrijača je najčešće 20 do 60°C ispod temperature isparivanja. Prijelaz topline uglavnom konvekcijom, a malim dijelom zračenjem dimnih plinova.

Zagrijači zraka - ogrjevne površine (cijevne ili pločaste) u kojima se vrši zagrijavanje zraka, putem dimnih plinova, prije ulaska u ložište. Najčešće su to zadnje ogrjevne površine na putu dimnih plinova, odnosno na izlaznome dijelu dimnih plinova iz generatora pare. Mogu biti: *rekuperativni (pločasti, glatkocijevni, rebrasti) ili regenerativni (rotacijski)*.

Tlačni dijelovi generatora pare - parni i vodeni bubnjevi, komore, dijelovi isparivača, pregrijača, međupregrijača, zagrijača vode, sabirnici i sl.

Gorionici – dio gdje se miješa gorivo i zrak i vrši raspršivanje

Armatura – *zaporna* (parni ventili, napojni ventili – glave, v. za otpjenjivanje i istiskivanje, v. za drenažu, odzračivanje i uzimanje uzoraka), *sigurnosna* (nepovratni i sigurnosni ventili), *mjerna* (pokazivači razine, tlaka i temperature), *regulacijska*.

Sigurnosna armatura B.G.P. (7.3)

Nepovratni ventili - na napojnom vodu, tlačna strana napojnih pumpi (sprečavaju povratni tok u slučaju prestanka rada pumpe ili puknuća cjevovoda)

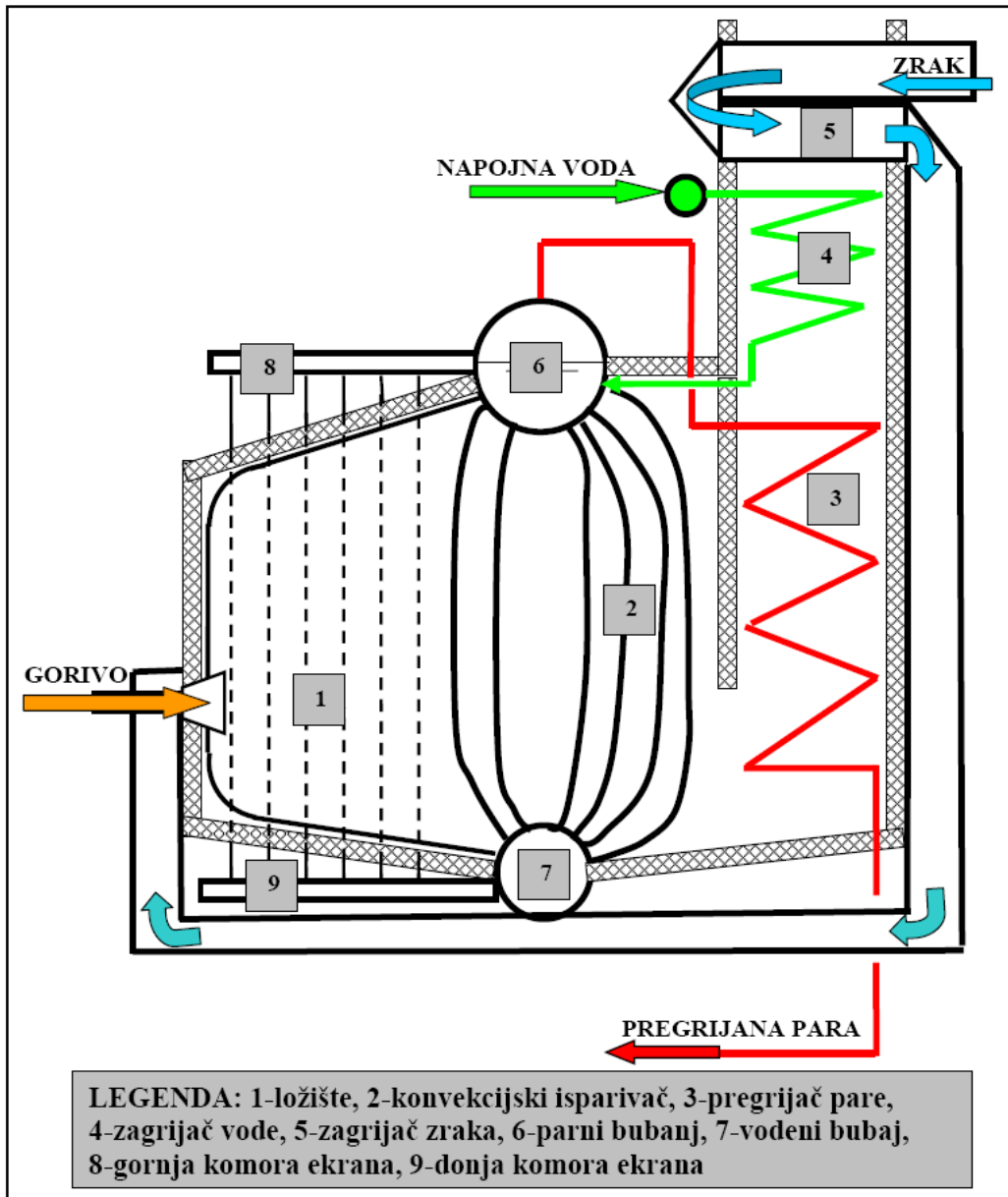
Sigurnosni ventili – zaštita od prevelikog tlaka. Smješteni na parnom bubnju te izlazu iz pregrijača pare (**podešeni tako da najprije otvara onaj na pregrijaču pare – osiguravanje protoka kroz pregrijač – zaštita od toplinskog preopterećenja p.p.**). Sig. ventili s direktnim (za manje tlakove, opasnost od propuštanja i zapečenja) i indirektnim djelovanjem (za veće tlakove).

Sustav za kontrolu i automatsku regulaciju – kontrola i a.r. **opterećenja** GP, kontrola i a.r. **napajanja** GP, kontrola i a.r. **temperature** goriva.

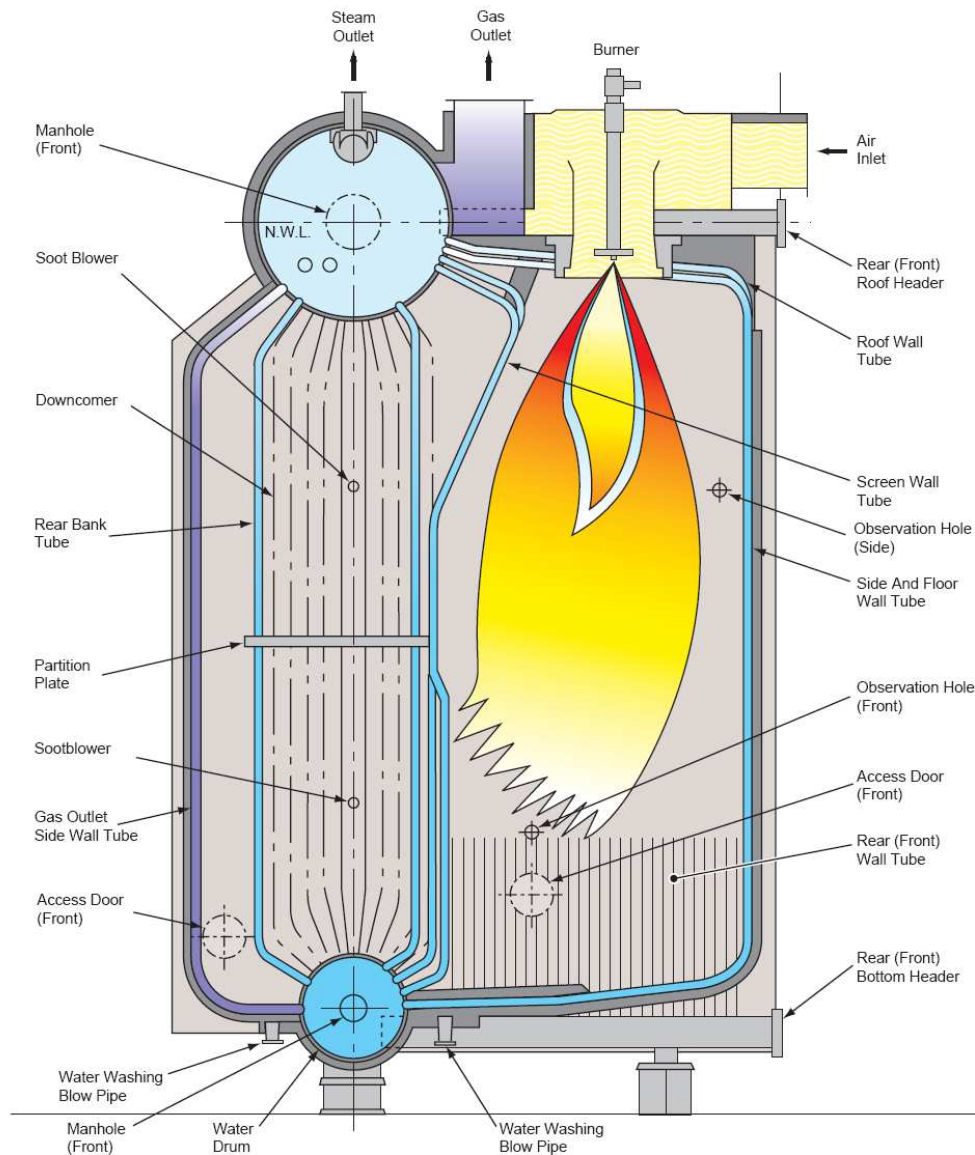
Nosiva čelična konstrukcija – preuzima naprezanja uslijed težine i raznih vanjskih utjecaja (poniranje, valjanje)

Ozid i izolacija – toplinska zaštita samog GP, i zaštita od zračenja prema okolini (strojarnici)

Pomoćni uređaji - **Sustav za dovod i pripremu napojne vode** (kondenzator, mlaki zdenac, napojne pumpe, napojne glave, degazatori – deaeratori – za odzračivanje napojne vode), **sustav za dovod i pripremu goriva** (tankovi, zagrijači goriva, filtri goriva, pumpe goriva), **sustav za dovod zraka i odvod dimnih plinova, sustav za čišćenje - propuhivanje čađe** – pomoću pare (**čist G.P. – veći η**)



Slika 21: Glavni dijelovi generator pare



Slika 22: Glavni djelovi generatora pare

Prednosti vodocjevnih generatora pare

- manja težina u odnosu na grijanu površinu,
- mogućnost upotrebe većih tlakova i temperatura (Carnot, čvrstoća materijala),
- veća mehanička fleksibilnost,
- brže uspostavljanje spremnosti pogona,
- ušteda u prostoru,
- veća sigurnost u slučaju eksplozije,
- veći kapacitet.

7. Cirkulacija vode i zraka u G.P. (11.1, 15.1)

Cirkulacija vode - neprekidan proces dovođenja hladnije vode i odvođenja smjese vode i pare iz isparivača. Osigurava bolji prijelaz topline i hlađenje cijevi.

Cirkulacijski krug – put vode i pare kroz isparivač

Cirkulacijski broj

$CB = \text{količina vode u cirkulaciji } (D_c) / \text{količina isparene vode } (D)$ – koliko puta voda učini cirkulacijskih krugova dok ne ispari (od 1 - 15), npr. Kod „Benson“-a je $CB = 1$ – ispari već u 1. cirkulacijskom krugu.

Tip generatora pare	Tlak (bar)	Kapacitet (kg/s)	Cirkulacijski broj
Vrlo visoki tlak	145 - 165	55 - 180	8 - 5
Visoki tlak	80 - 140	20 - 70	14 - 6
Srednji tlak	15 - 40	8 - 60	60 - 30
Niski tlak	10 - 20	do 5	200 - 50

Vrsta cirkulacije:

- **prirodna** – nastaje zbog razlika u gustoći smjese vode i pare koja se diže u isparivačkim cijevima (bliže ložištu – voda isparava i ima manju gustoću) i hladnije vode koja se spušta silaznim cijevima (voda niže temperature i veće gustoće). Moguća do 160 bar zbog dovoljne razlike u gustoći.
- **prisilna** – iznad 160 bar – premala razlika u gustoći (**porastom tlaka razlika u gustoći se sve više smanjuje**). Obavlja se pomoću cirkulacijskih pumpi. Može biti **optočna** (C.B. od 6 – 12; „La Mont“) ili **protočna** (C.B. = 1, u jednom optoku sva voda ispari; „Benson“).

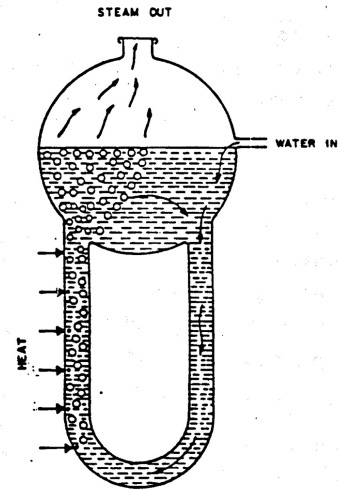
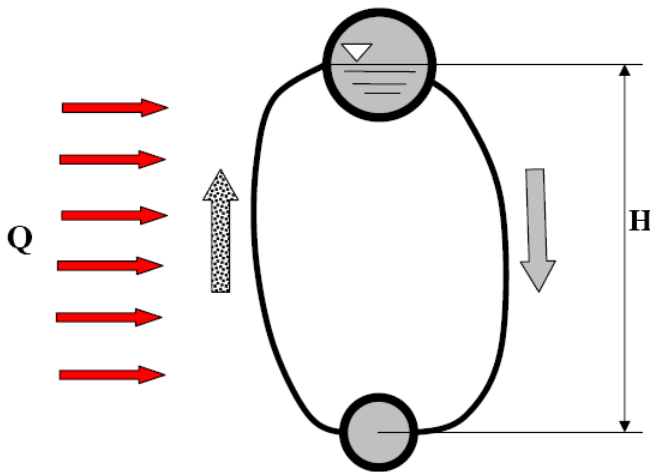
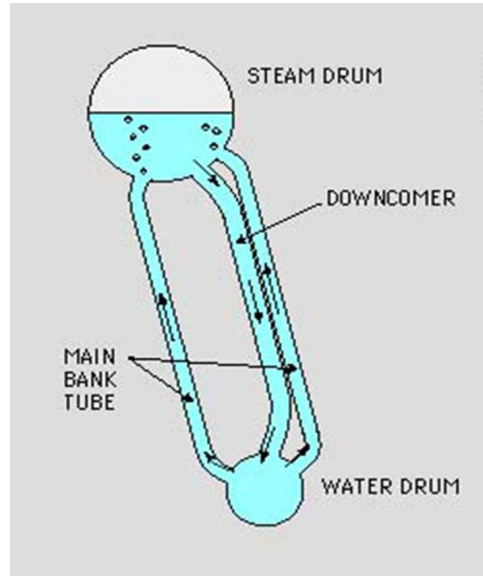
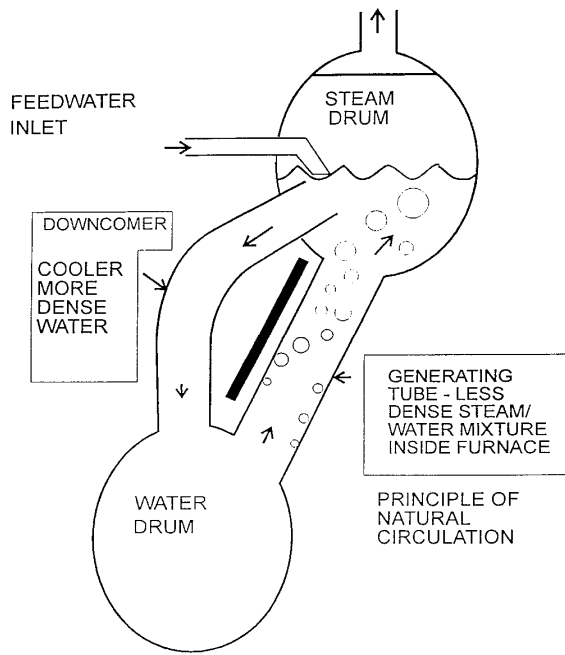
Cirkulacijska sila ili uzgon – uzrokuje cirkulaciju vode – služi za savladavanje hidrauličkih otpora cjevovoda.

$$U = g \cdot H (\rho_{sil} - \rho_{uzl}),$$

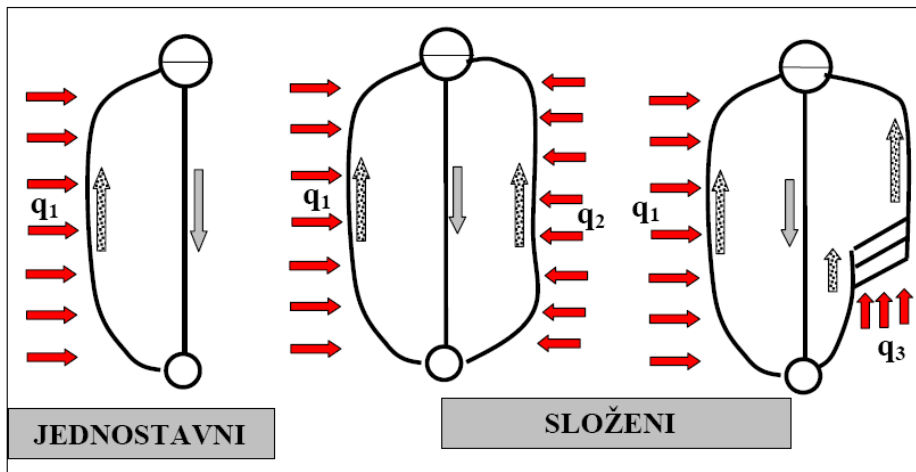
H – visina isparivačkih cijevi (> H bolja cirkulacija – danas uglavnom strmocjevni G.P.)

g – gravitacija [m/s^2]

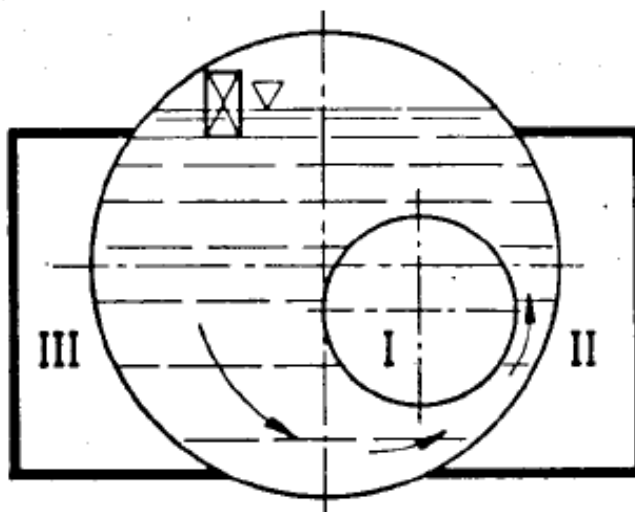
$(\rho_{sil} - \rho_{uzl})$ razlika u gustoći. Povećava se postavljanjem silaznih cijevi u što hladnije područje – izvan ložišta.



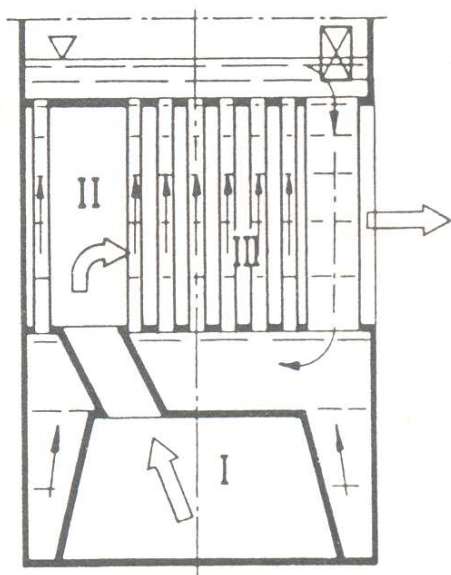
Slika 23: princip prirodne cirkulacije



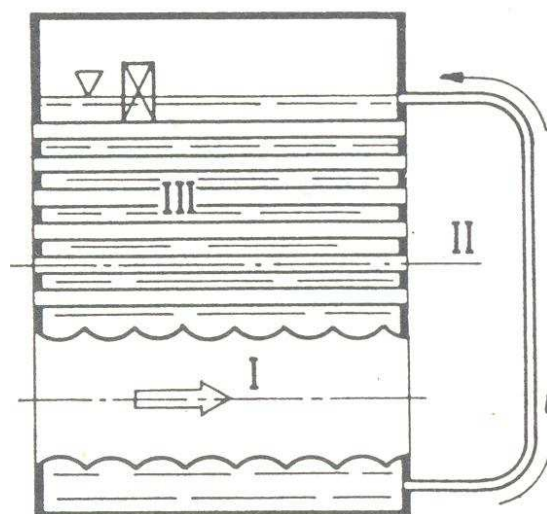
Slika 24



Cirkulacija vode - Cilindrični generator pare s jednom plamenicom

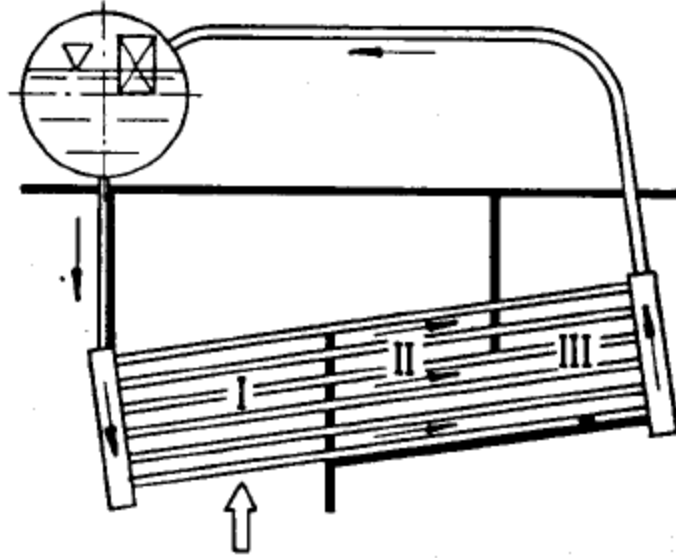


Cilindrični G.P. s vertikalnim cijevima

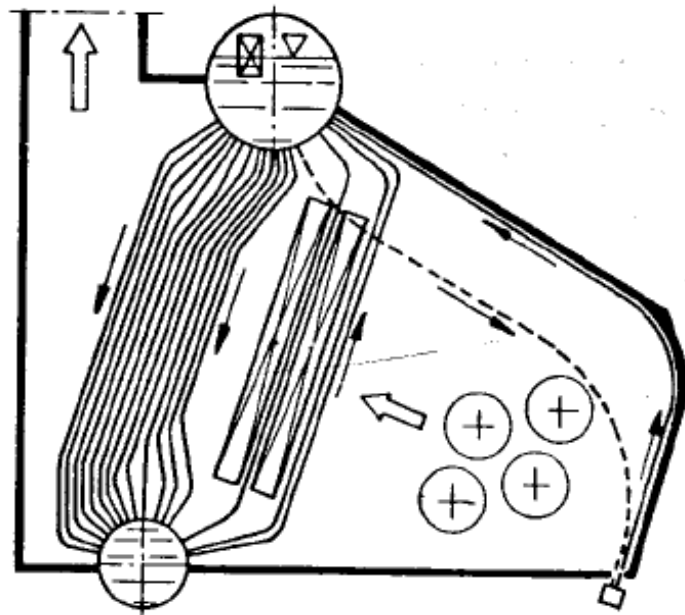


Cilindrični G.P. tipa "Howden - Johnson"

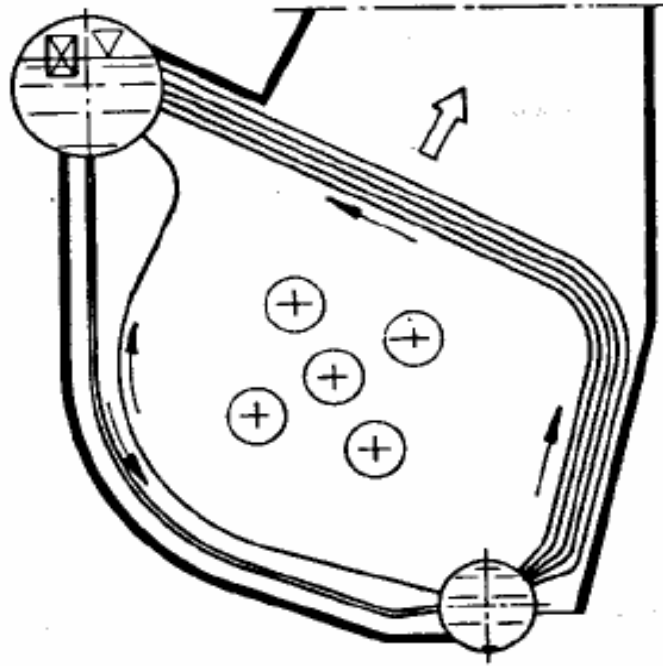
Cirkulacija vode



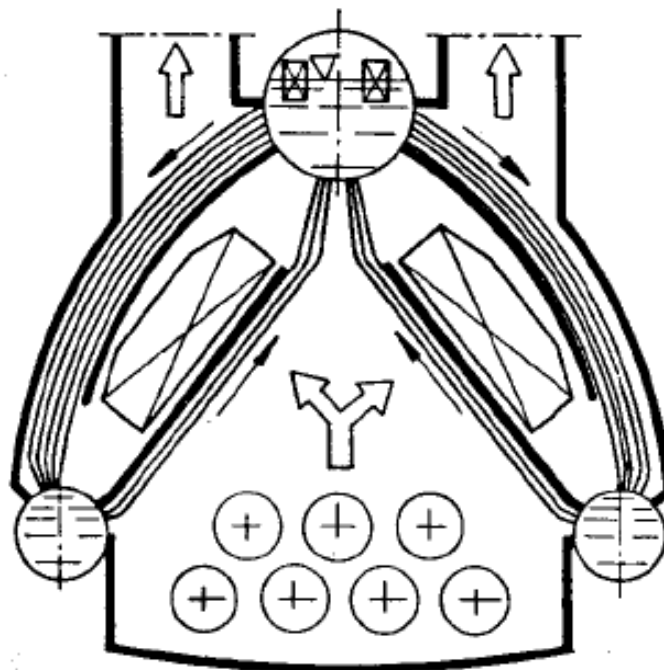
Cirkulacija vode - Sekcijski generator pare s jednim bubnjem



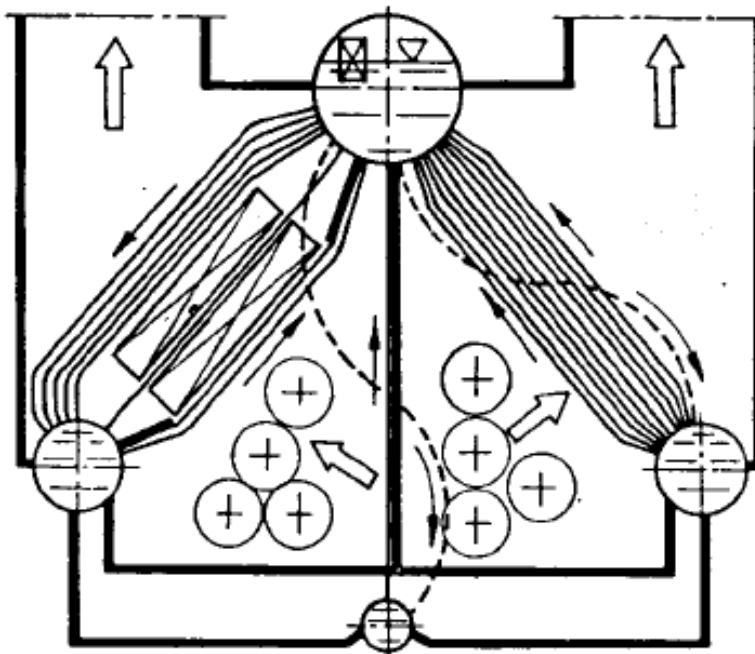
Cirkulacija vode - G.P. tipa "Integral"



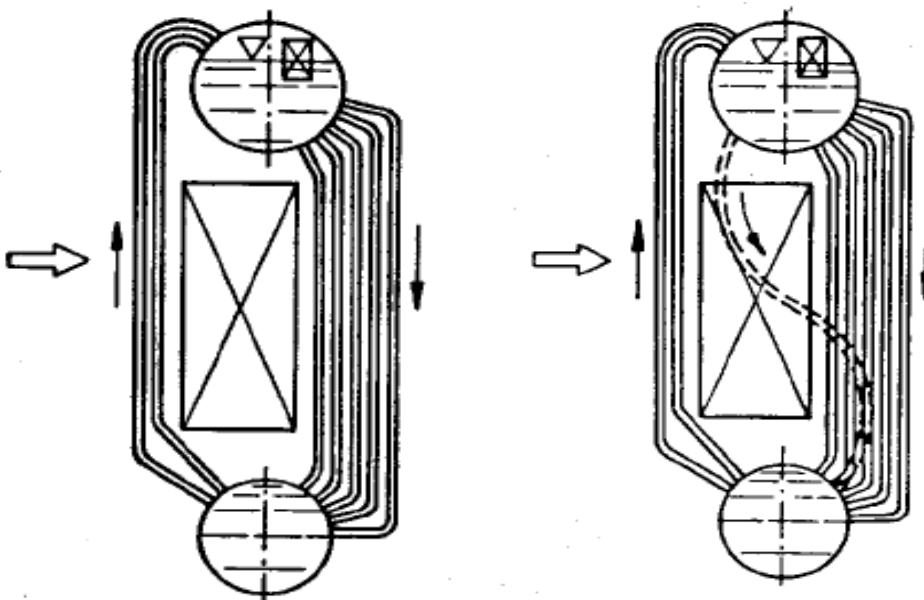
Cirkulacija vode - G.P. tipa "Bauer - Wagner"



Cirkulacija vode - "Yarrow" G.P. bez hladnih silaznih cijevi



Cirkulacija vode -"Yarrow" G.P. s hladnim silaznim cijevima

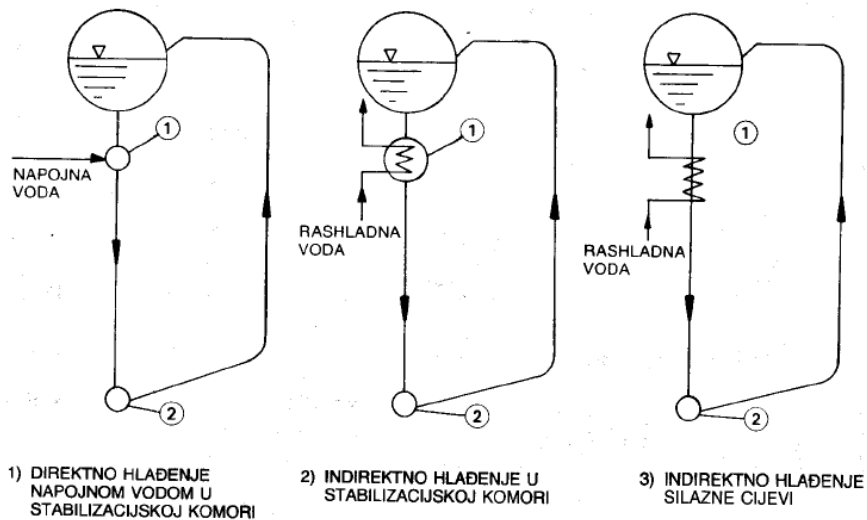
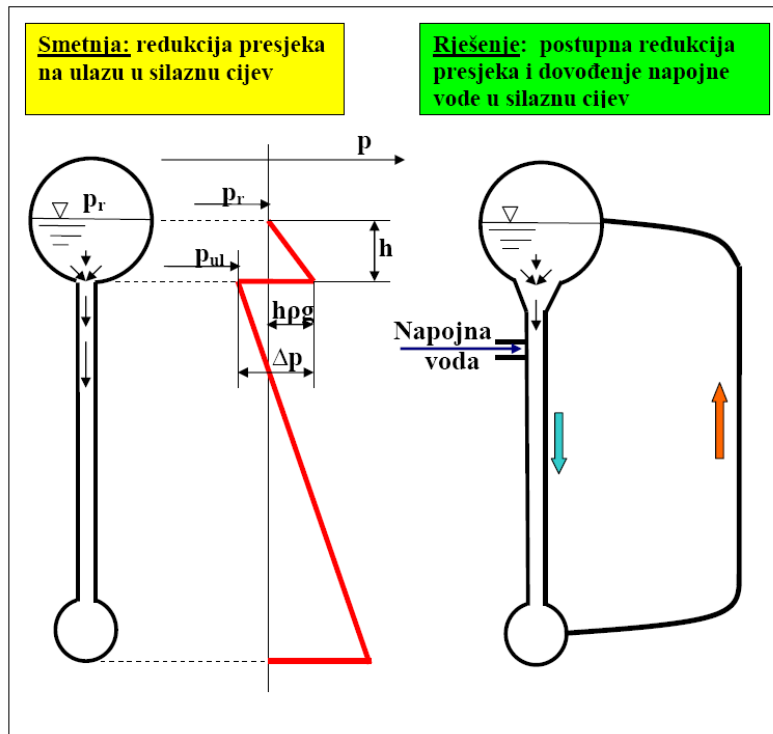


Strmocijevni G.P. bez hladnih silaznih cijev

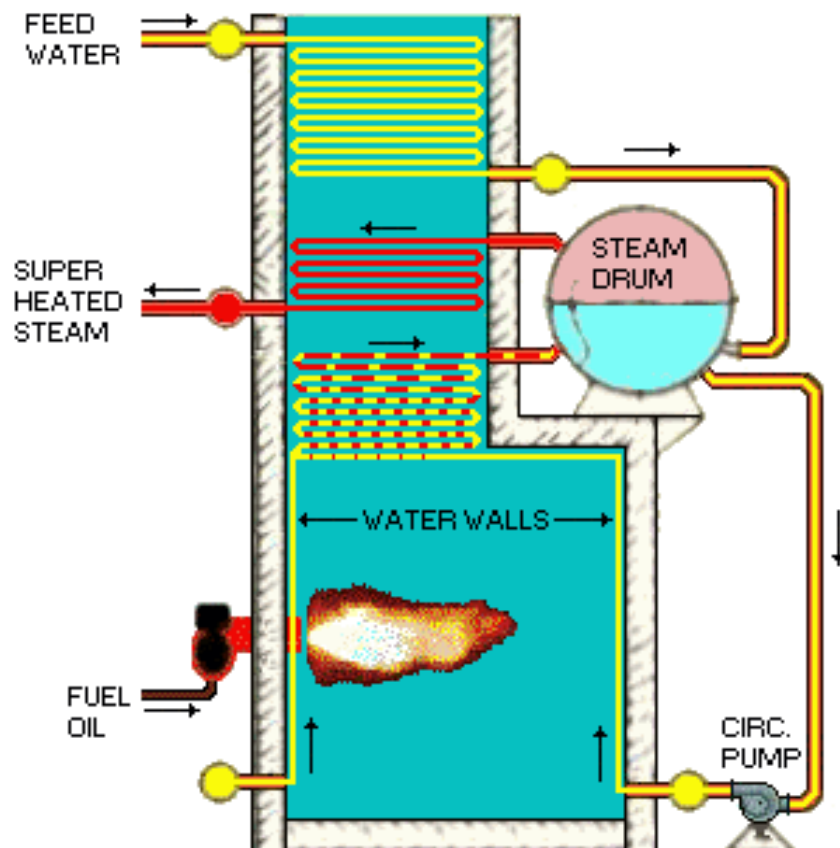
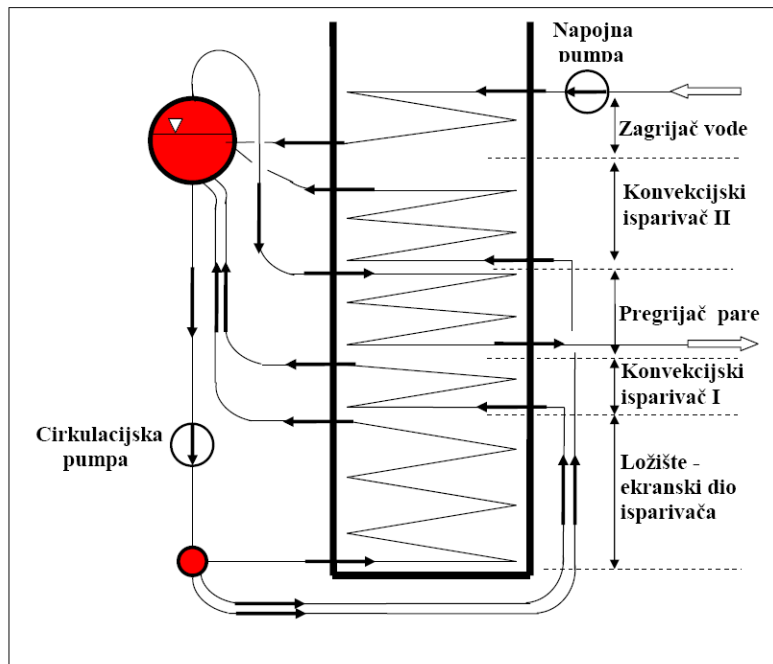
Strmocijevni G.P. s hladnim cijevima

Poremećaj cirkulacije nastaje uslijed:

- Položaja cijevi – hidrostatska visina cirkulacijskog kruga,
- Razlike gustoće u silaznim i uzlaznim cijevima,
- Visokog radnog tlaka u G.P.,
- Otpora strujanja fluida u cijevima (mehanička nečistoća, prljavština, kamenac),
- Naglog porasta opterećenja – pad tlaka u silaznim cijevima – stvaranje parnih mjehurića – zastoј cirkulacije.

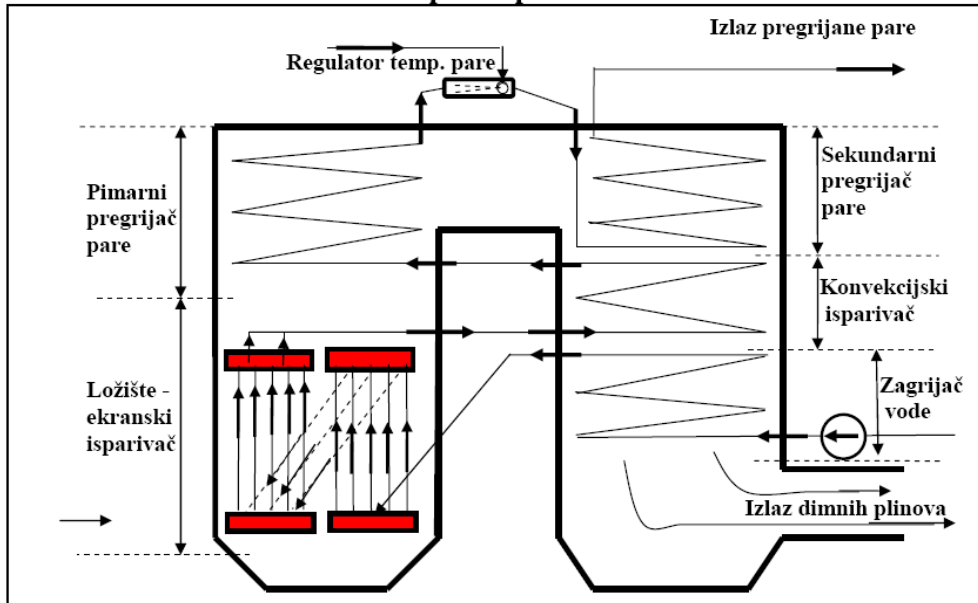


❖ Generator pare tipa "La Mont"

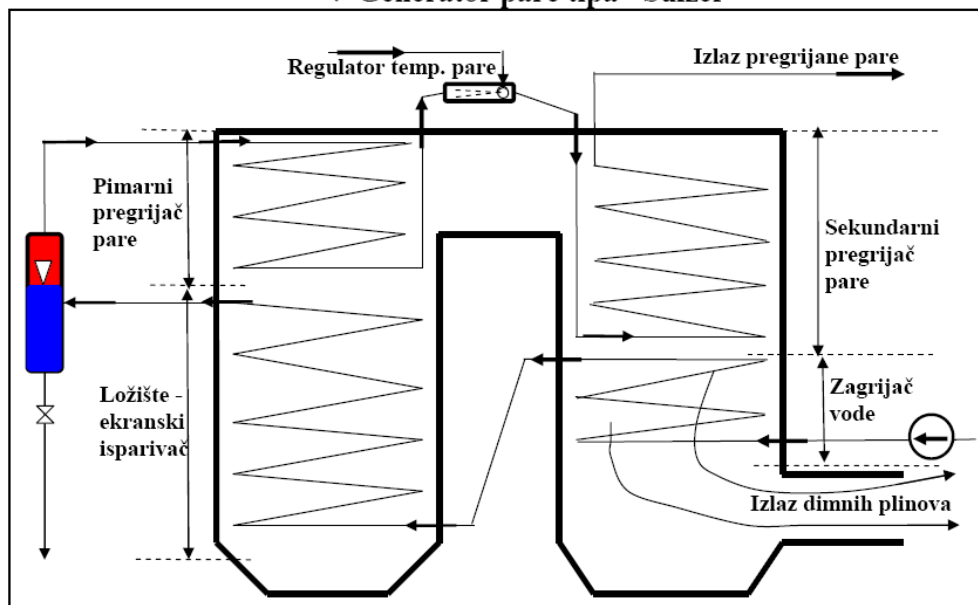


CB = 6 - 12

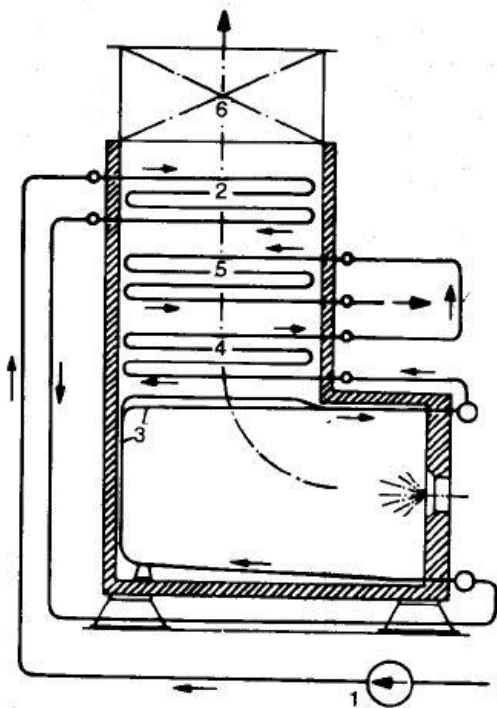
❖ Generator pare tipa "Benson"



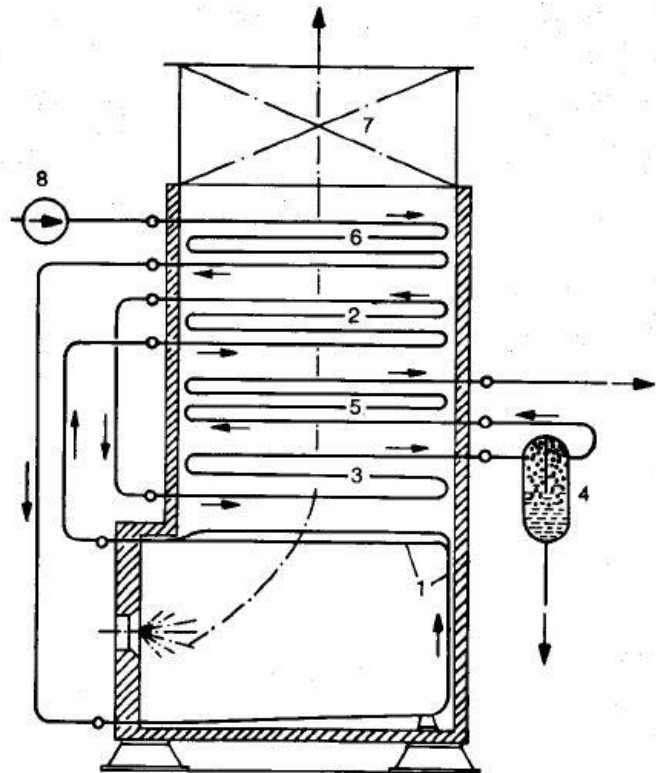
❖ Generator pare tipa "Sulzer"



CB = 1



Shema generatora pare tipa »Benson«
 Legenda: 1-napojna pumpa, 2-zagrijač vode, 3-ekranski dio isparivača, 4-konvekcijski isparivač, 5-pregrijač pare, 6-zagrijač zraka



Shema generatora pare tipa »Sulzer«
 Legenda: 1-ekranski isparivač, 2-prvi konvekcijski isparivač, 3-drugi konvekcijski isparivač, 4-komora, 5-pregrijač pare, 6-zagrijač vode, 7-zagrijač zraka, 8-napojna pumpa

Cirkulacija zraka i ispušnih plinova u brodskom G.P. (11.1) - provjetranje (propuh) – cirkulacija (strujanje) zraka u ložište i dimnih plinova iz ložišta. Također **prirodna i umjetna (prisilna)**.

Umjetna (prisilna) – pomoću ventilatora, a može biti **tlačna** (ložište pod tlakom), **isisna** (kad se dimni plinovi isisavaju iz dimovodnog kanala – podtlak u ložištu) i **kombinirana**. Njome se postižu veću kapaciteti G.P., efikasnija regulacija procesa izgaranja, bolji uvjeti izgaranja i veći stupanj iskoristivosti (mogućnost ugradnje većih naknadnih površina).

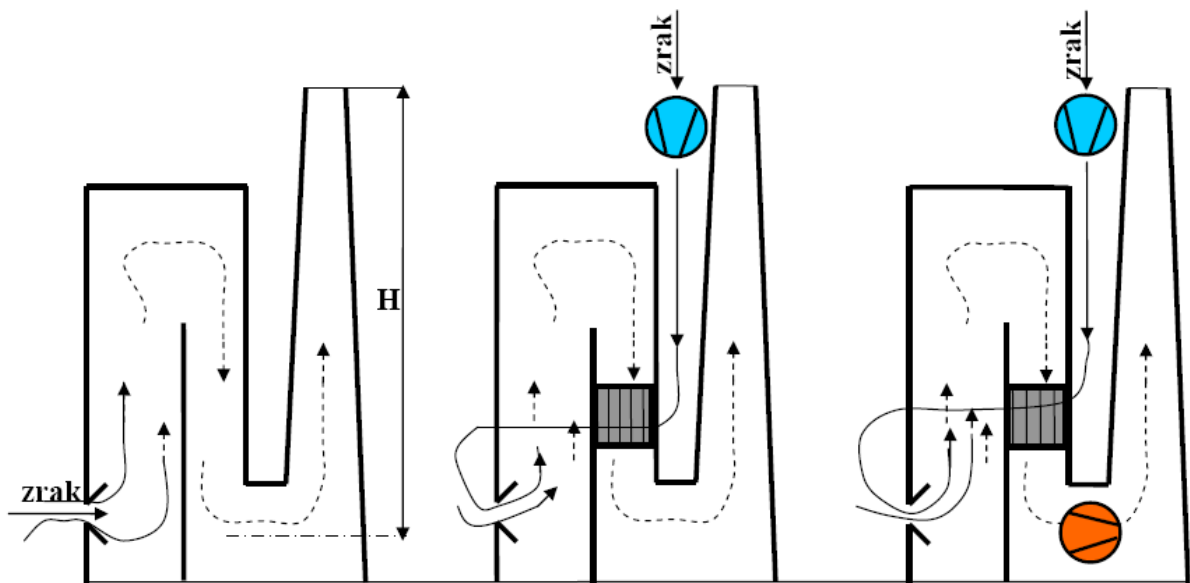
S tlačnim ventilatorom – za velike kapacitete, dimni plinovi pod tlakom i postoji mogućnost probijanja u strojarnicu.

S isisnim ventilatorom – visoka radna temperatura ventilatora.

Kombinirano – ograničeni učinak isisnog ventilatora.

S predtlakom u strojarnici – ugradnja dvostrukih vrata, kod brodova s više generatora pare

Prirodna – zbog razlike temperatura (gustoća) dimnih plinova u ložištu i na izlazu iz dimnjaka (razlika tlakova). Ovisi o visini dimnjaka i temperaturi plinova.



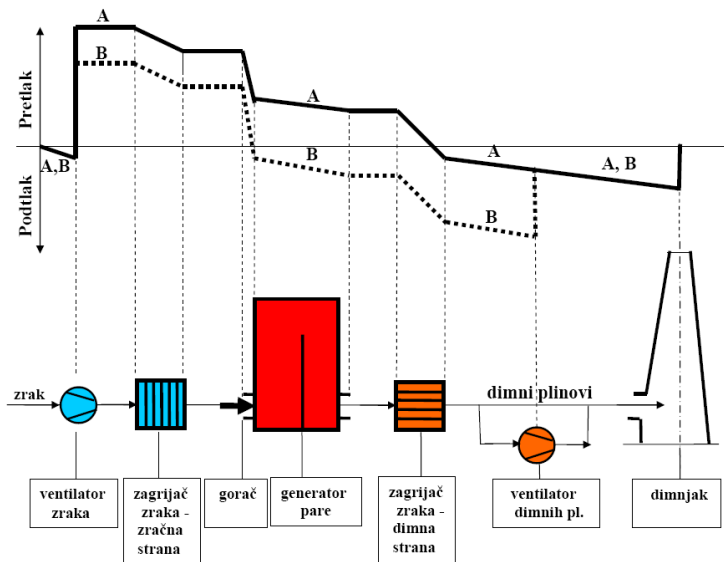
PRIRODNA

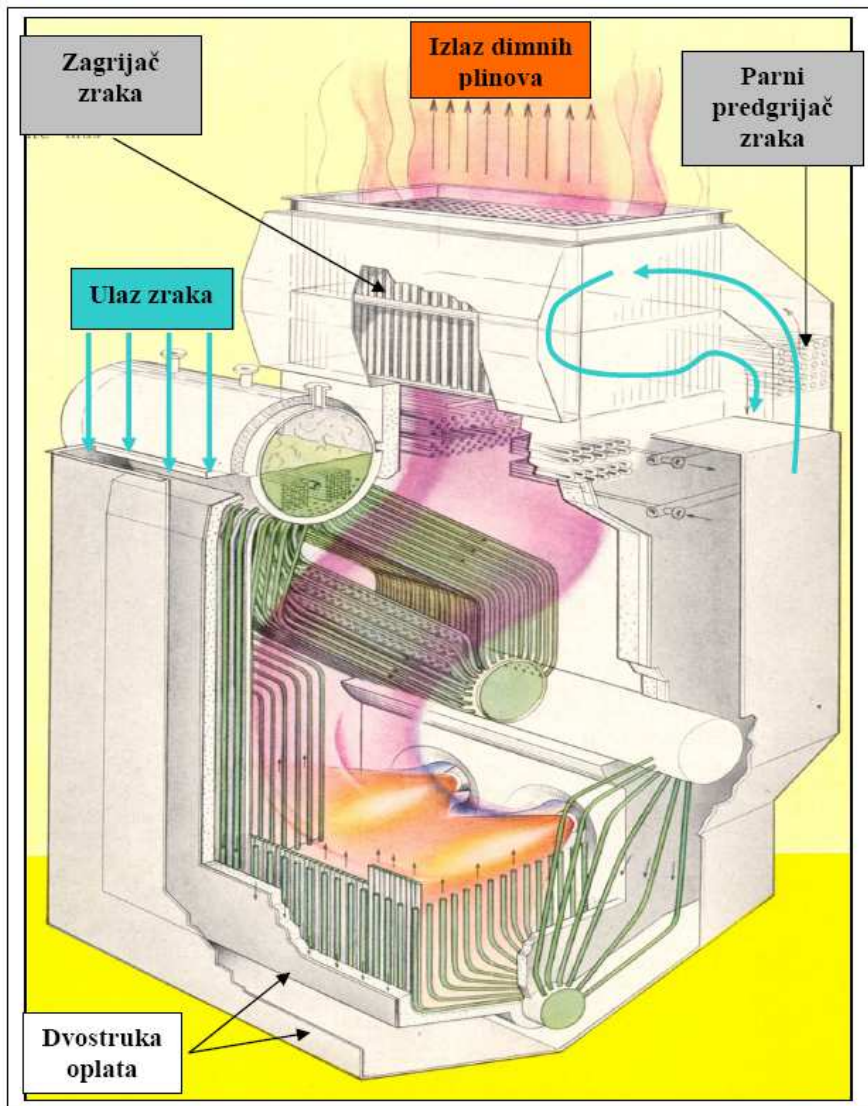
PRISILNA
(TLAČANA)

PRISILNA
(KOMBINIRANA)

Osnovne vrste provjetravanja

PROMJENA TLAKA U ZRAČNOJ I DIMNOJ
STRANI GENERATORA PARE
A - tlačna ventilacija
B - kombinirana ventilacija





Analiza i obrada napojne vode (16.1)

Vrste vode:

sirova voda – prirodna (kišnica). Sadrži kalcij-karbonat (CaCO_3), magnezij-hidrogenkarbonat ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), kalcij-sulfat (CaSO_4), kalcij-klorid (CaCl_2), kalcij-nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), magnezij-sulfat (MgSO_4), magnezij-klorid (MgCl_2), magnezij-nitrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), natrij-sulfat (NaSO_4), natrij-klorid (NaCl), natrij-nitrat (NaNO_3), silicij-dioksid (SiO_2), ugljik-dioksid (CO_2) i kisik (O_2). CO_2 čini vodu kiselom. Voda je alkalna ako sadrži hidrogenkarbonate kalcija, magnezija ili natrija. Najnepoželjnije su kalcijeve i magnezijeve soli – stvaraju **kamenac**. CO_2 , kisik i kloridi su uzročnici **korozije**.

morska voda – sadrži velike količine mineralnih sastojaka – nepoželjna za G.P.

destilirana voda – vrlo malo otopljenih tvari (minerala) – manje od 4 ppm-a, ali sadrži CO_2 (voda kisela - korozivna), pa je nužna kemijska obrada. Ionski izmjenjivači – smanjuju otopljene soli ispod 1 ppm (mg/l) te nema CO_2 .

Priprema i obrada napojne vode – sprečava nepoželjne pojave, oštećenja i zastoje u radu (štiti G.P. od prerane **korozije**, deformacije i pregaranje cijevi zbog naslaga **kamenca**, stvaranje pjene i sl.)

Kamenac – smanjuje prijelaz topline –povećava osjetnu toplinu dimnih plinova - manja iskoristivost - veće toplinsko opterećenje na tom dijelu G.P. (pregrijavanje materijala, promjena strukture i puknuće cijevi). Može smanjiti ili prekinuti cirkulaciju – vrlo brzo pucanje cijevi.

- **Alkalna** (privremena, karbonatna) tvrdoća (Hidrogenkarbonati kalcija i magnezija) - odsoljavanje
- **Nealkalna** (stalna, ostatna, permanentna) tvrdoća (kloridi, sulfati i nitrati).

G.P. do 15 bar – unutarnja obrada n.v. natrij-fosfatom ili natrij-hidroksidom – kemikalije koje sprečavaju taloženje – odsoljavanje vode.

Korozija – pitting (rupičasta ili kisikova) korozija nastaje zbog djelovanja slobodnog kisika. Stanjuje materijal lokalno (najčešće na varovima koji nisu odžareni) – propuštanje, a produkti korozije se odnose i talože stvarajući tvrde oksidne naslage – opet manji prijelaz topline (lokalno pregrijavanje).

Otklanja se **termičkim otplinjavanjem**; (deaerator - zagrijavanje na 100 – 130°C, gdje voda ima najmanju sposobnost sadržavanja slobodnog kisika i raspršuje se s parom – odvođenje kroz odušnik – odstranjivanje 90 – 95% slobodnog kisika), ili

kemijskim odvajanjem slobodnog kisika;

- hidrazin – za tlakove 40 – 80 bar – udio slobodnog kisika do max. 0,01 mg/l, ili
- natrij sulfitom – do 40 bar – udio slobodnog kisika do max. 0,02 mg/l).

Odošenje (carry over) – zaprljanje izlazne pare kapljicama vode odnošenim iz bubnja. Zbog isparavanja vode, nečistoće (otopljene soli) se ugušćuju unutar isparivačkog dijela G.P., pa odnošenje kapljica vode s parom iz parnog bubnja (ako separacija nije dobra) može prouzročiti taloženje soli na cijevima pregrijača i lopaticama turbine.

Odošenje uvijek postoji u radu G.P., ali preveliko odnošenje uzrokuje variranje temperature pregrijanja, šteti lopaticama turbine i stvara taloge na pregrijaču.

Mehanička konstrukcija G.P. utječe na odnošenje kao i razina vode u bubnju te pogonski uvjeti rada (radni tlak, kapacitet, dimenzije, cirkulacijski broj, izvedba spojeva silaznih i uzlaznih cijevi te efikasnost uređaja za separaciju pare).

Razina vode u bubnju ima posebno veliki utjecaj na opasnost od odnošenja. Ovisi o položaju vode u bubnju, o kvaliteti regulacije razine te promjeni opterećenja. Veća razina – veća opasnost od zasoljavanja pregrijača i turbine.

Pri radu s višim opterećenjima opasnost je veća.

Pri naglim promjenama opterećenja opasnost je veća (naglo povećanje potrošnje pare – pad tlaka u bubnju – ekspanzija vode – veća razina vode).

Kemijski faktori su koncentracija soli, alkalnost i kemijska obrada vode. Uzročnik su penjenja (zbog ulja, morske vode ili drugih organskih materija) i selektivnog odnošenja soli s parom (samo kod tlakova >100 bar). Postoje kemikalije koje umanjuju pojavu penjenja.

Analiza (kontrola) vode

Najmanje jednom dnevno.

Ako se primijeti onečišćenje potrebno pronaći izvor i vršiti češću kontrolu (do 2 puta na sat). Uzorak vode se uzima najčešće na izlazu iz kondenzatora (najveća mogućnost zagađenja morem) i na drugim mjestima predviđenim za uzimanje uzoraka (nakon napojne pumpe, iz vodenog ili parnog bubnja, i sl.).

Izvršiti potrebne akcije ovisno o vrsti onečišćenja (morska voda, previše kemikalija, itd.) Izvršiti odmuljivanje, otpjenjivanje ili dodati kemikalije.

Tablica 14.1. Preporučene karakteristike napojne vode za vodocijevne generatore pare

Radni tlak/bar	Kloridi (max.) mg/l kao CaCO ₃	pH	Otopljeni kisik (max.) mg/l	Bakar (max.) mg/l Cu	Željezo (max.) mg/l Fe
0 do 15	5				
15 do 30	5	8,5 do 9,5	0,04		
30 do 40	1,0	8,5 do 9,5	0,02		
40 do 60	1,0	8,5 do 9,5	0,01	0,01	0,01
60 do 80	1,0	8,5 do 9,5	0,007	0,005	0,01

Izvor: 15,24

Tablica 14.2. Preporučene karakteristike vode u vodocijevnim generatorima pare

Radni tlak bar	Tvrdoća (maks.) mg/l CaCO ₃	Alkalitet mg/l kao CaCO ₃	Kloridi (maks.) mg/l kao CaCO ₃	Fosfati mg/l PO ₄ ³⁻	Otopljene soli mg/l	Višak sulfita ili hidrazina		Silicij (maks.) mg/l SiO ₂
						mg/l Na ₂ SO ₃	mg/l N ₂ H ₄	
0 do 15	0	50 do 300	300	30 do 70	1 500	50 – 100	0,1 – 0,3	
15 do 30	0	150 do 300	150	30 do 70	1 000	50 – 100	0,1 – 0,3	
30 do 40	0	100 do 150	100	20 do 50	500	30 – 50	0,1 – 0,3	
40 do 60	0	50 do 100	50	20 do 50	500		0,1 – 0,3	5
60 do 80	0	50 do 80	30	15 do 30	300		0,1 – 0,3	3

Izvor: 15,23

Čistoća (kvaliteta) napojne vode se održava:

- koristiti kvalitetnu destiliranu vodu (iz desalinizatora ili demineralizatora),
- sprečavati pojavu odnošenja „carry over“ iz isparivača (sprečavati pjenjenje),
- smanjiti gubitke kondenzata na minimum (propuštanja),
- spriječiti moguće zagađenje morskom vodom (preko kondenzatora).

Kemijska obrada (natrijeva lužina, natrij-fosfati – vezuju nepoželjne kalcijeve i magnezijeve soli, a novonastali spojevi se odstranjuju odsoljavanjem) - sprečava stvaranje kamenca, sprečava stvaranje muljevutih taloga na metalnim površinama, sprečava pjenjenje u parnom bubnju (mogućnost pojave „carry over-a“), sprečava unutarnju koroziju zbog otopljenih plinova u vodi.

Kad se koristi voda loše kvalitete – bolja obrada bez fosfata (bolja alkalna obrada s poliakrilatima).

8. Podjela G.P. – tipovi (19.1)

Prema namijeni:

- **glavni** (proizvode paru potrebnu za PT propulziju broda) – main boiler,
- **pomoćni** (za pomoćne potrebe) – auxiliary boiler.

Prema mediju u cijevima:

- **vatrocjevni** (d.pl. prolaze kroz cijevi),
- **vodocjevni** (voda u cijevi).

Prema položaju cijevi:

- kosocijevni,
- strmocijevni,
- kutnocijevni.

Prema tlaku:

- **niskotlačni**,
- **srednjetlačni**
- **visokotlačni**.

Prema načinu oslobađanja toplinske energije:

- generatori pare s ložištem (**loženi**),
- generatori pare na ispušne plinove iz motora (**utilizatori**),
- **kombinirani**,
- nuklearni generatori pare.

Prema vrsti cirkulacije:

- generatori pare s **prirodnom cirkulacijom**,
- generatori pare s **prisilnom cirkulacijom** koja može biti optočna ili protočna.

Prema vrsti provjetravanja (ventilacije):

- generatori pare s prirodnom ventilacijom,
- generatori pare s prisilnom (tlačnom ili usisnom) ventilacijom,
- generatori pare s induciranom ventilacijom.

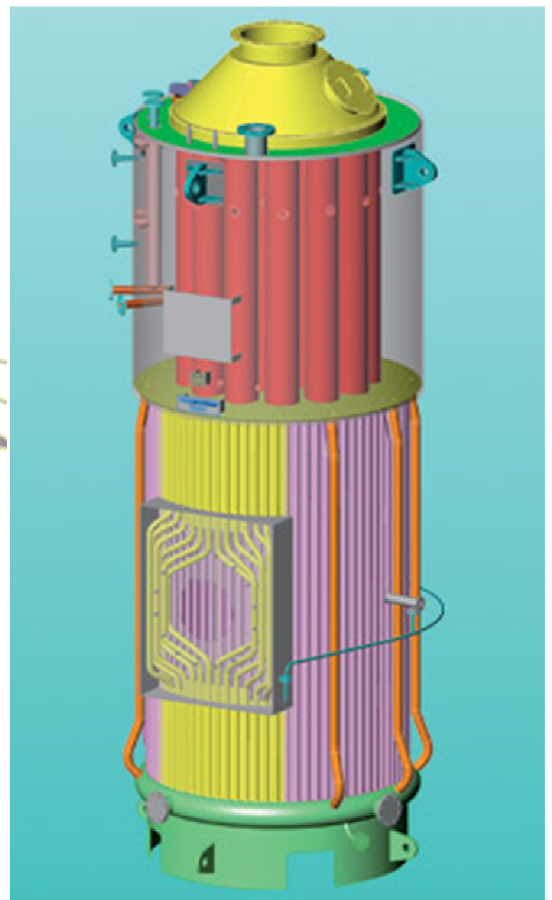
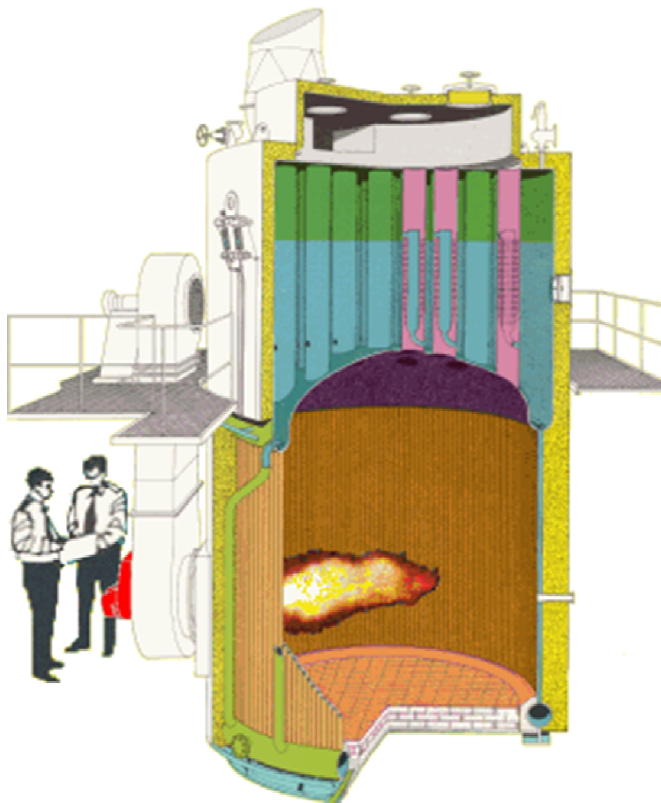
Prema konstrukcijskom obliku tlačnih dijelova:

- cilindrični, sekcijski, vodocijevni, dimocijevni, kosocijevni, strmocijevni, kutnocijevni, s jednim bubnjem, s više bubnjeva, itd.

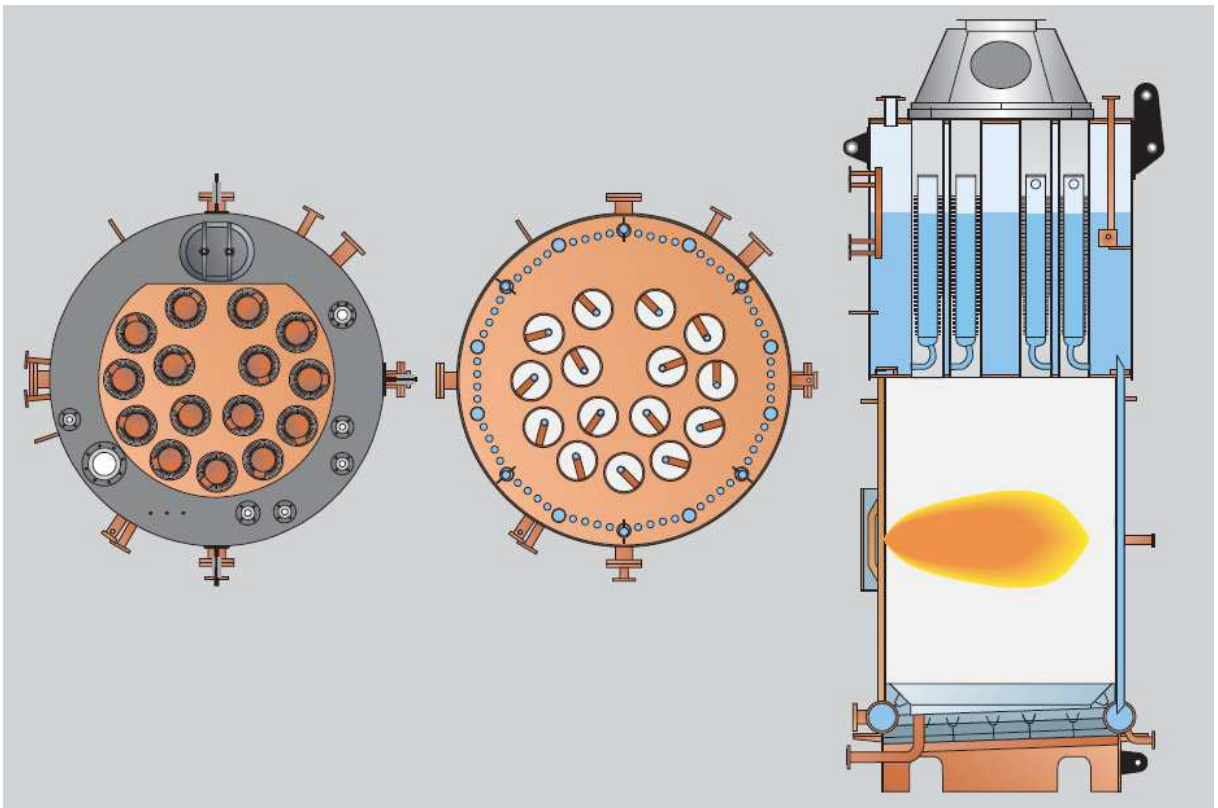
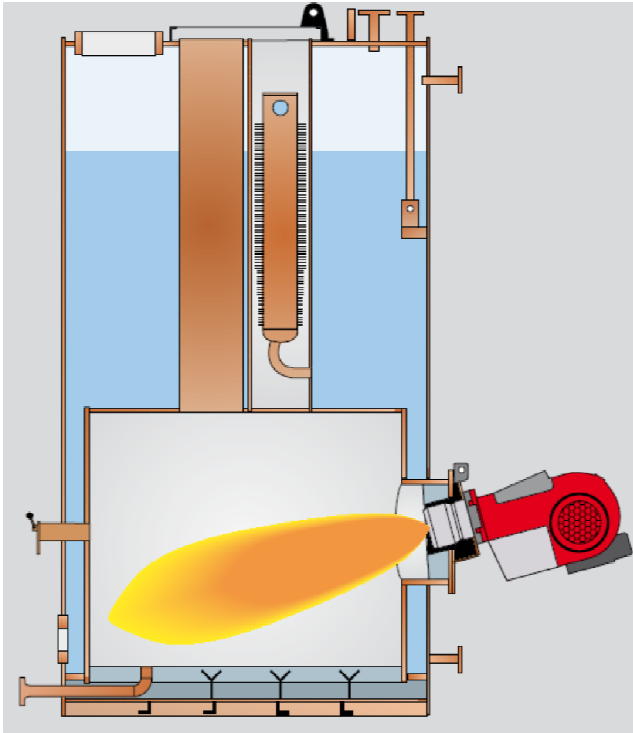
Konstruktivne izvedbe generatora pare

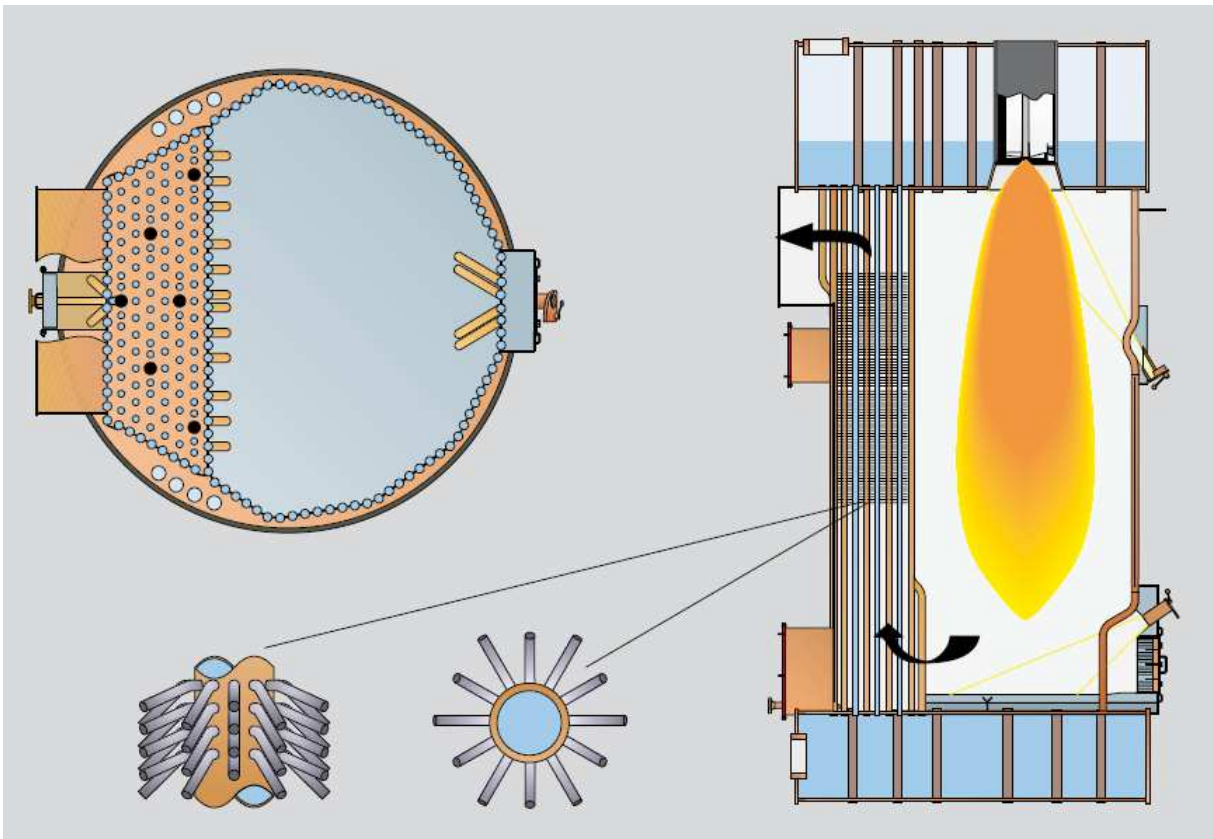
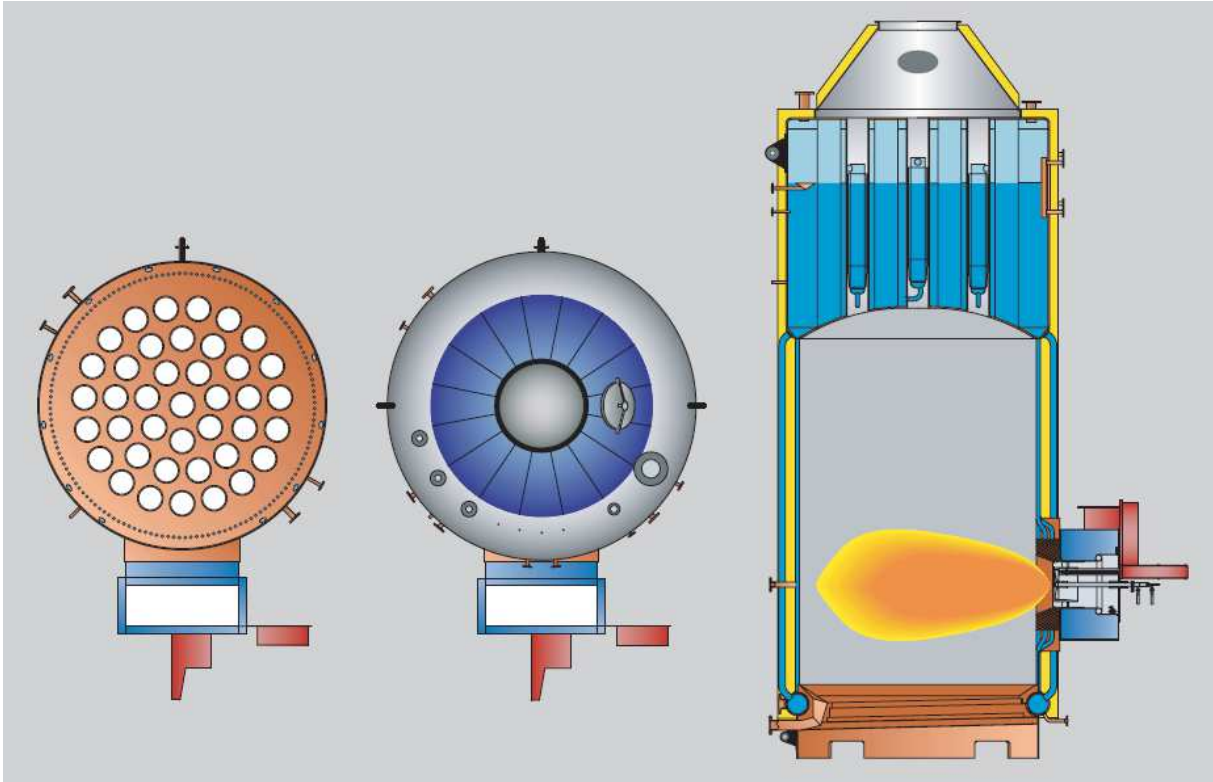
Pomoćni generatori pare

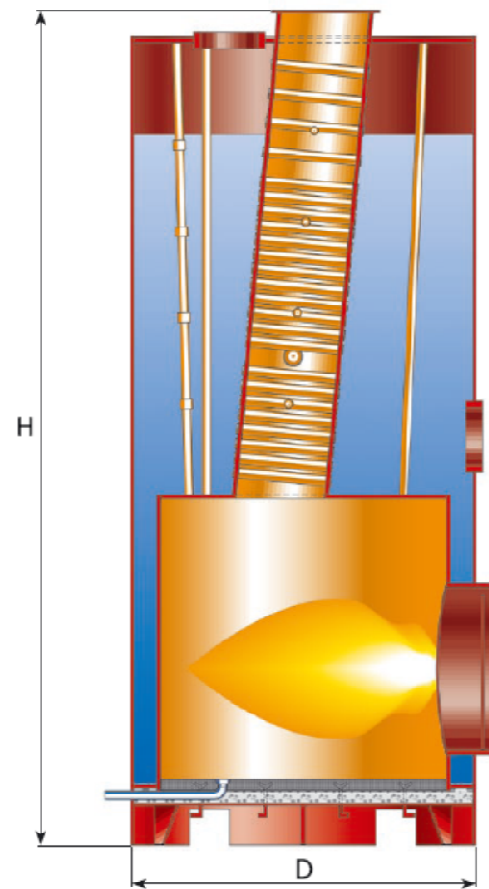
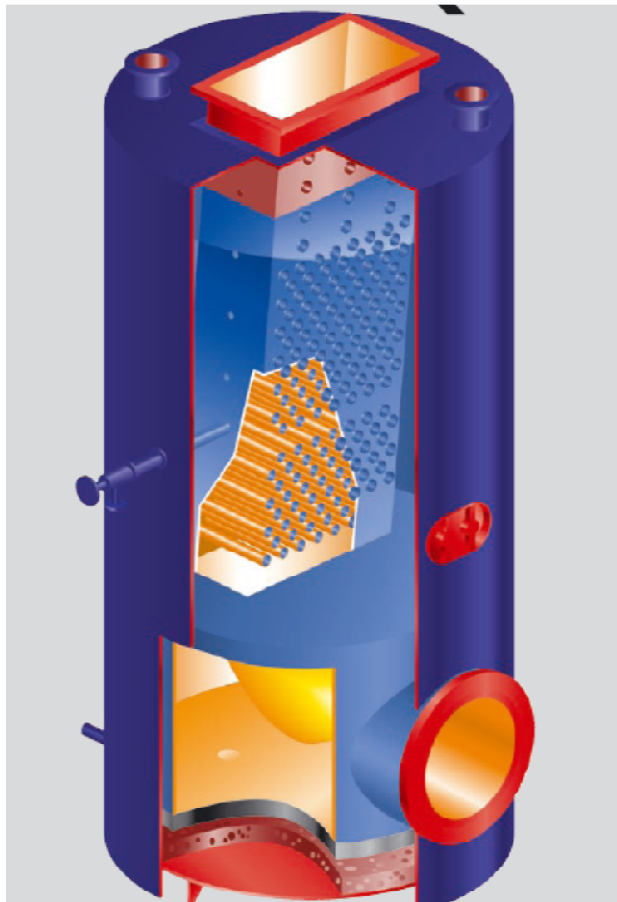
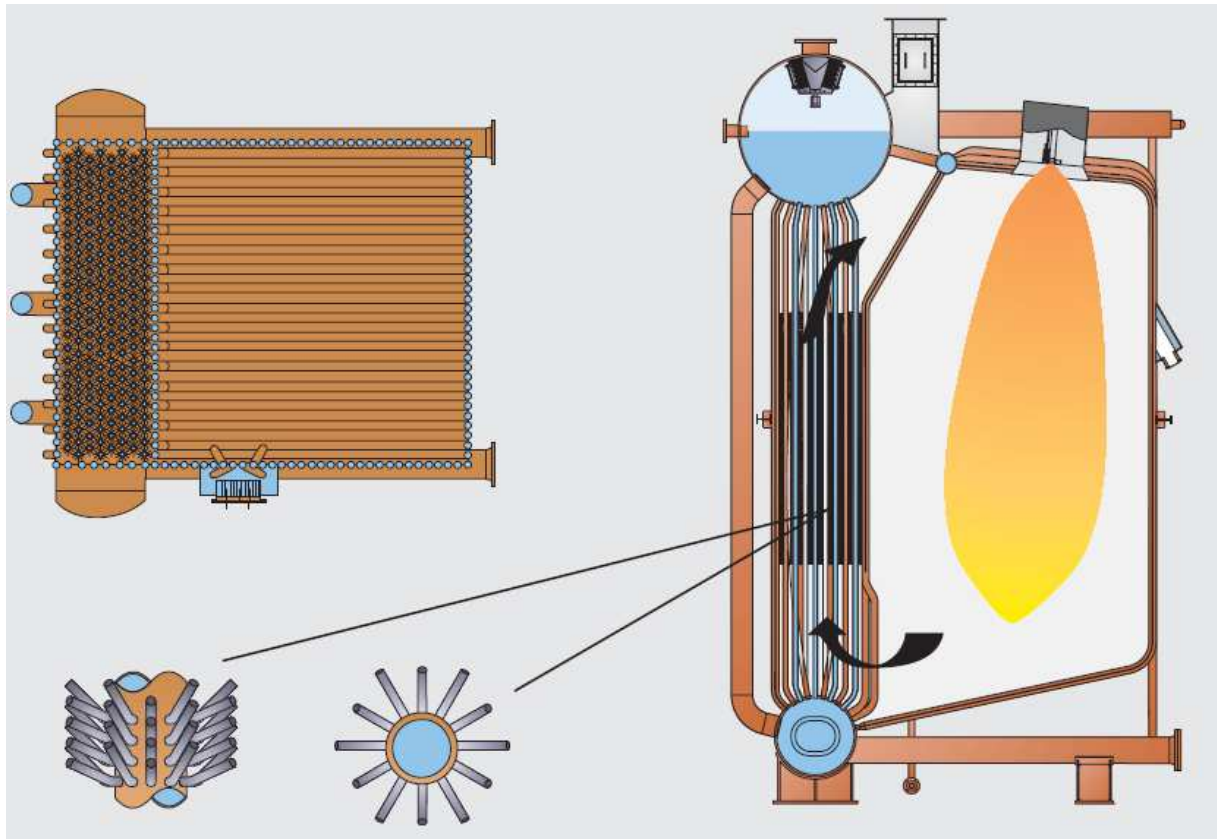
- **Sunrod (Spanner);**
 - vertikalni kombinirani vodocijevni i vatrocijevni generator pare
 - ložište ima suho dno ili je kompletno hlađeno vodom
 - vertikalne dimne cijevi većeg su promjera i posebne su izvedbe s izdancima koji omogućuju vrtloženje i bolji prijelaz topline
 - samo donji dio nema izdanke radi toplinskog širenja
 - silazne cijevi nalaze se s vanjske strane ložišta



- **Aalborg**



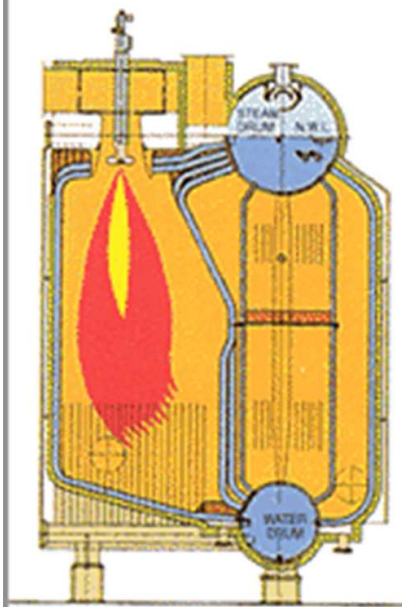




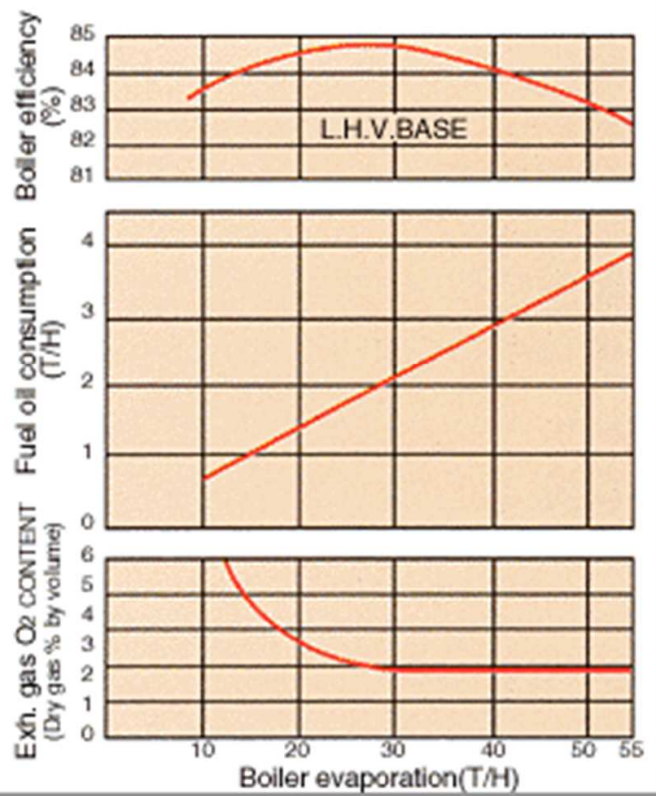
- *Mitsubishi*



MAC-B



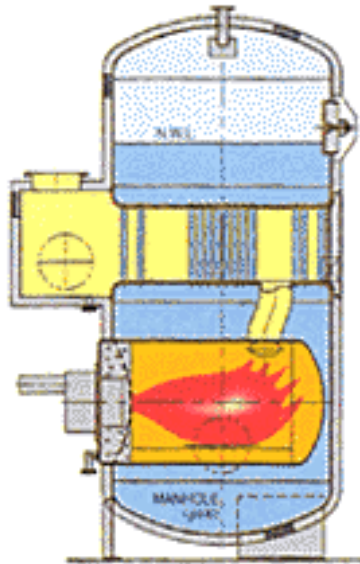
Boiler Expected Performance Curve (MAC-55B)



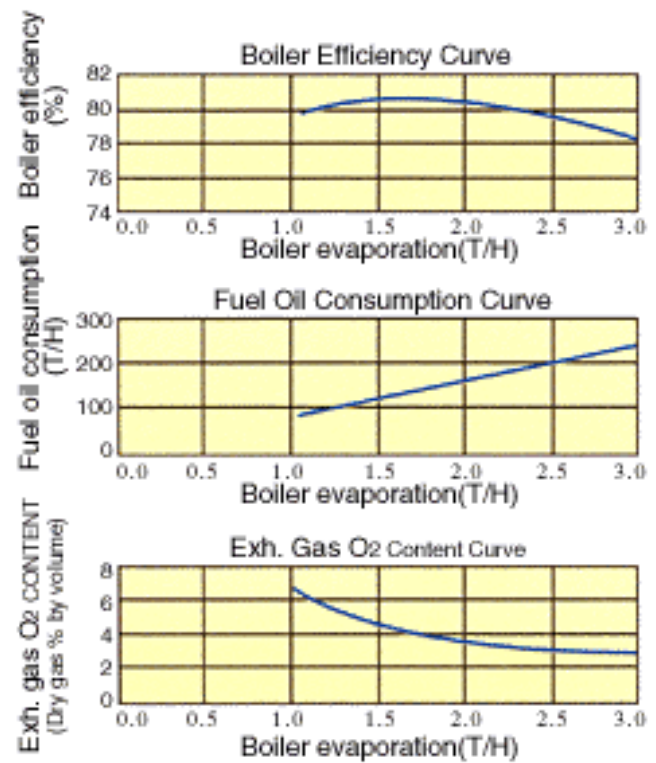
Boiler type notation		MAC-20B	MAC-25B	MAC-30B	MAC-35B	MAC-40B	MAC-45B	MAC-50B	
Evaporation	kg/h	~20,000	~25,000	~30,000	~35,000	~40,000	~45,000	~50,000	
Boiler design pressure/ Working steam pressure	kg/cm ² g	18*16*							
Steam temperature	°C	Saturated							
Boiler efficiency(LHV base)	%	80.5				82.5			
Feed water temperature/ Air temperature	°C	60/38							
Number of burners/ Number of sootblowers		1/1							
Automatic combustion controls		Electronic type							
Fuel oil consumption	kg/h	1,552	1,940	2,328	2,716	3,029	3,407	3,787	
Weight of boiler (Spare parts not included)	ton	26.1	28.1	31.4	34.6	44.3	46.6	48.9	
Water content of boiler (filled up state)	ton	10.0	10.4	11.4	12.6	19.0	19.6	20.1	

Boiler type notation		MAC-55B	MAC-60B	MAC-70B	MAC-80B	MAC-90B	MAC-100B	MAC-110B
Evaporation	kg/h	~55,000	~60,000	~70,000	~80,000	~90,000	~100,000	~110,000
Boiler design pressure/ Working steam pressure	kg/cm ² g	18*16*						
Steam temperature	°C	Saturated						
Boiler efficiency(LHV base)	%	82.5						
Feed water temperature/ Air temperature	°C	60/38						
Number of burners/ Number of sootblowers		1/1	2/1					
Automatic combustion controls		Electronic type						
Fuel oil consumption	kg/h	4,165	4,543	5,300	6,058	6,815	7,572	8,329
Weight of boiler (Spare parts not included)	ton	53.6	66.8	71.6	73.1	75.4	98.0	114
Water content of boiler (filled up state)	ton	21.7	29.0	30.2	33.5	34.1	37.0	43.2

MC-D

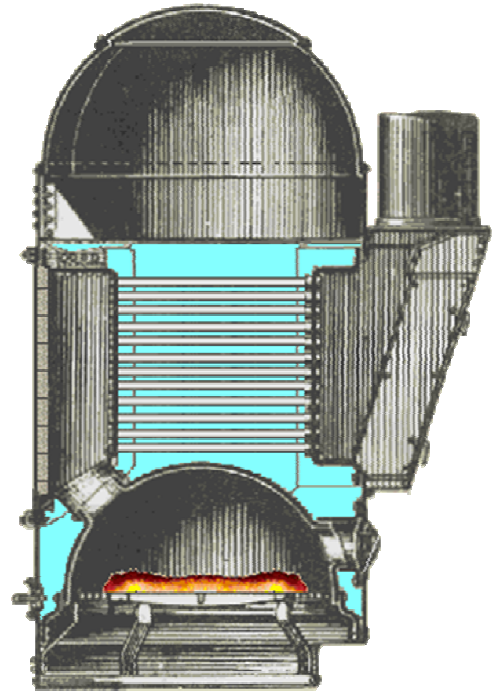
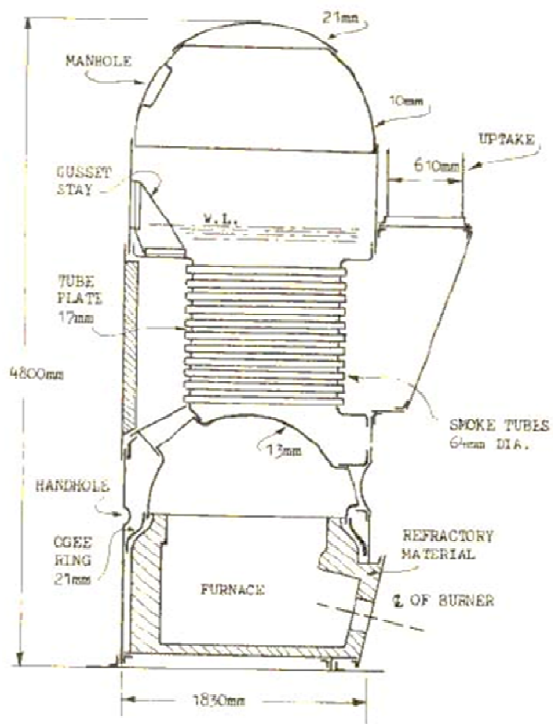


Boiler Expected Performance Curve (MC-30D)



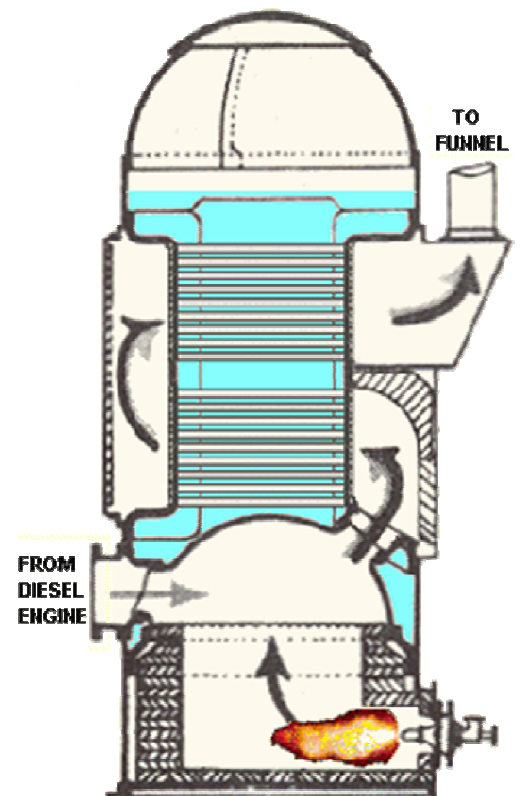
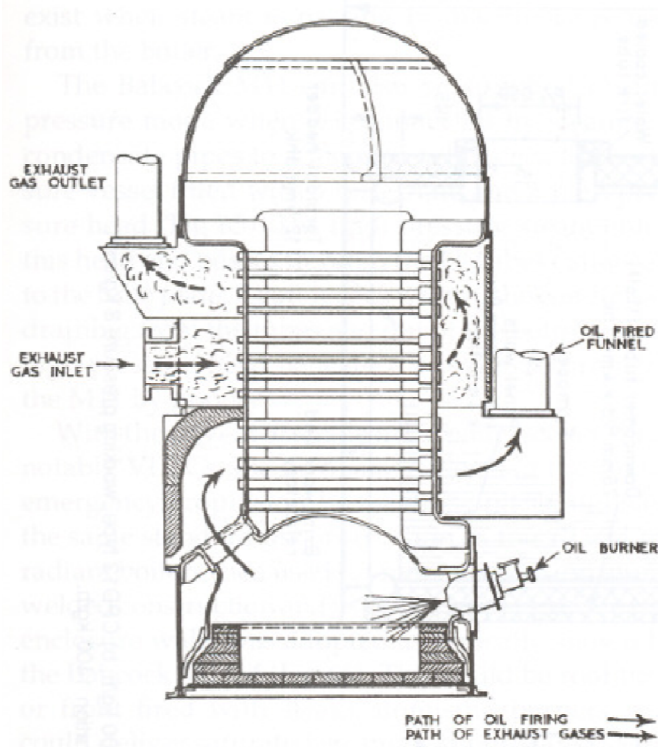
Boiler type notation		MC-20D	MC-30D	MC-45D
Evaporation	kg/h	~2,000	~3,000	~4,500
Boiler design pressure	kg/cm ² g	7~10		
Working steam pressure	kg/cm ² g	6~9		
Steam temperature	°C	Saturated(164~179)		
Feed water temperature	°C	60		
Air temperature	°C	38		
Boiler efficiency(LHV base)	%	78		
Fuel oil consumption	kg/h	159	238	357
Heating surface	m ²	33.9	39.2	54.3
Weight of boiler	kg	6,740	8,070	11,070
Water content of boiler(Full)	kg	5,330	7,280	11,670

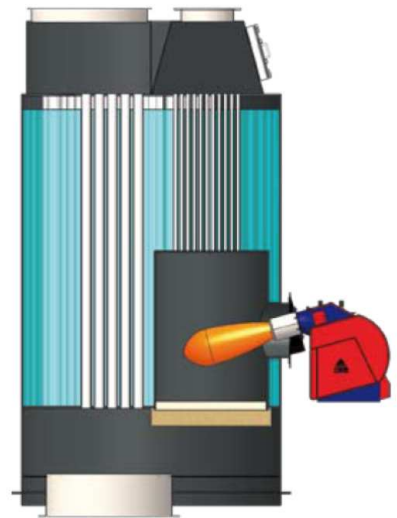
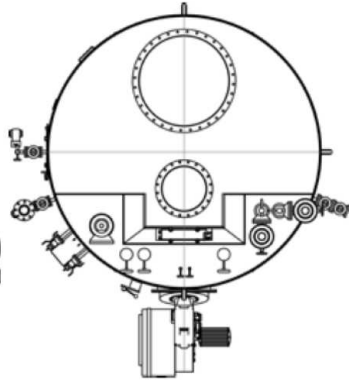
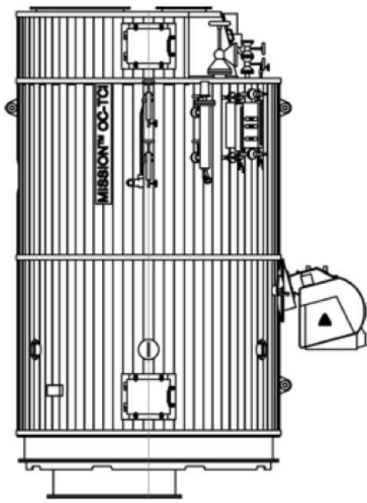
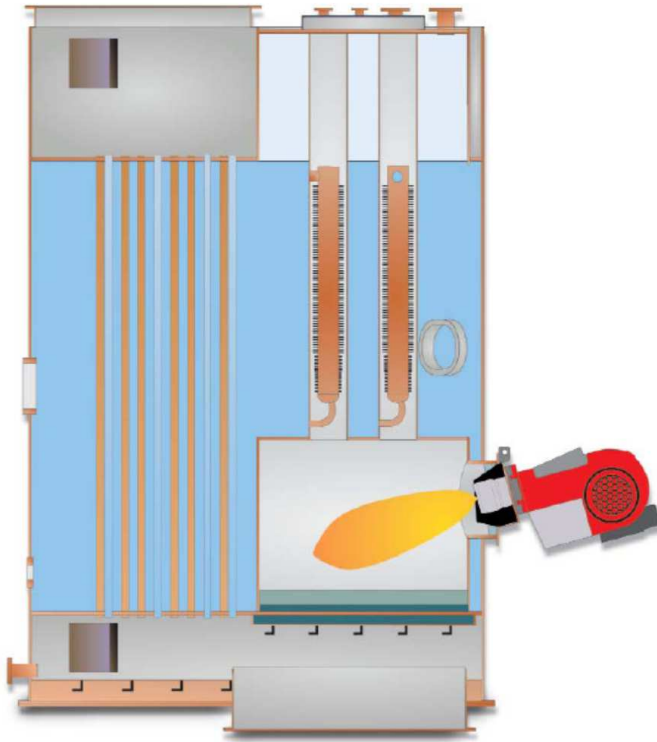
- **Cohran**

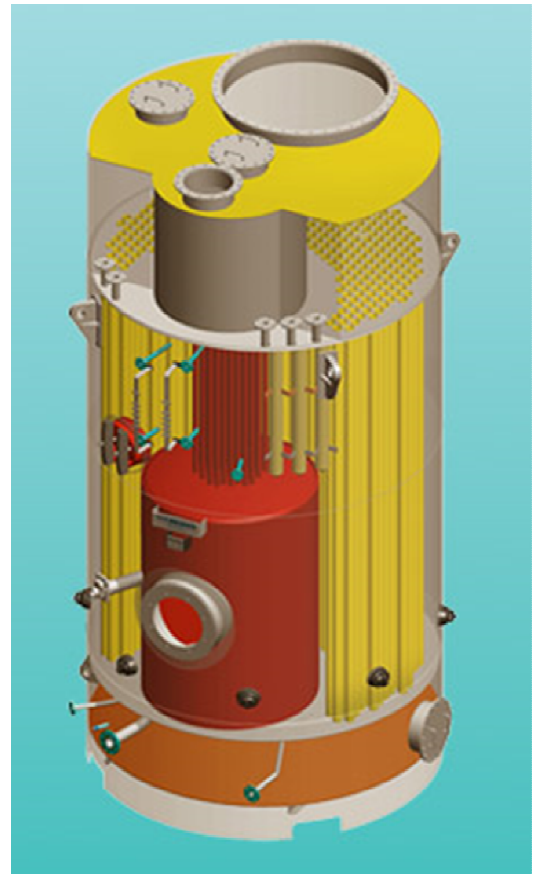
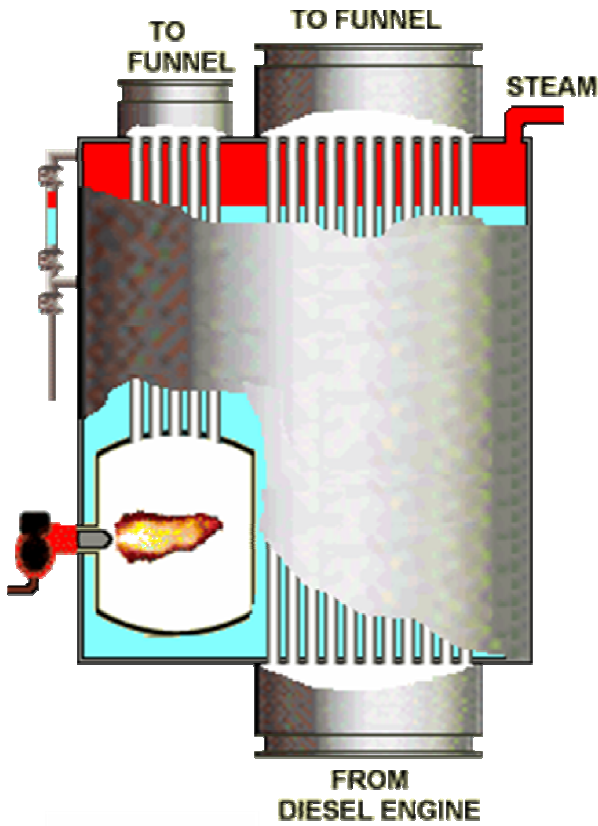
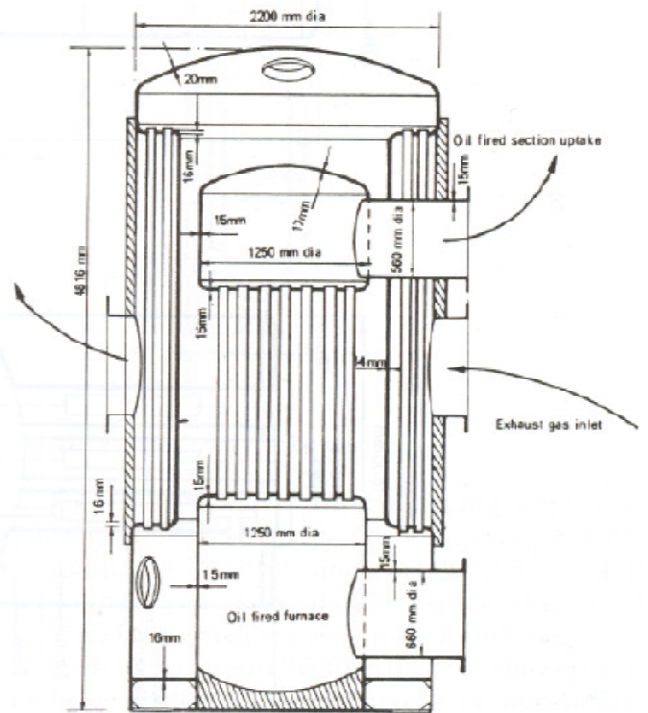
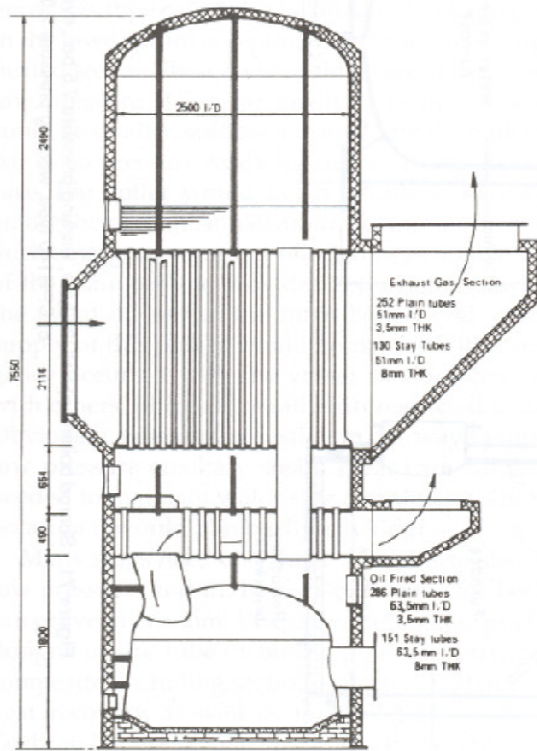


- **Kompozitni generatori pare**

- **Sve u jednom (loženi + utilizator)**





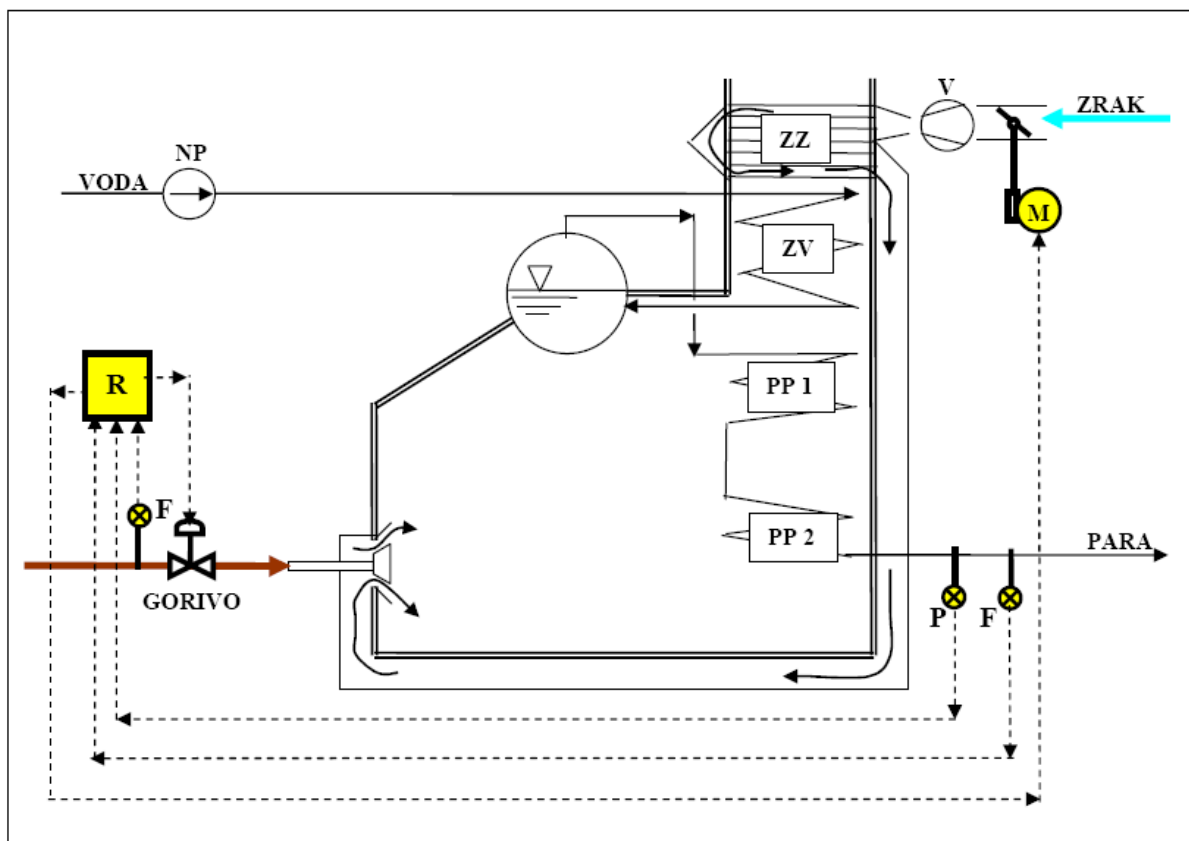


Regulacija parametara pare i napajanje broskog G.P.(1.3.)

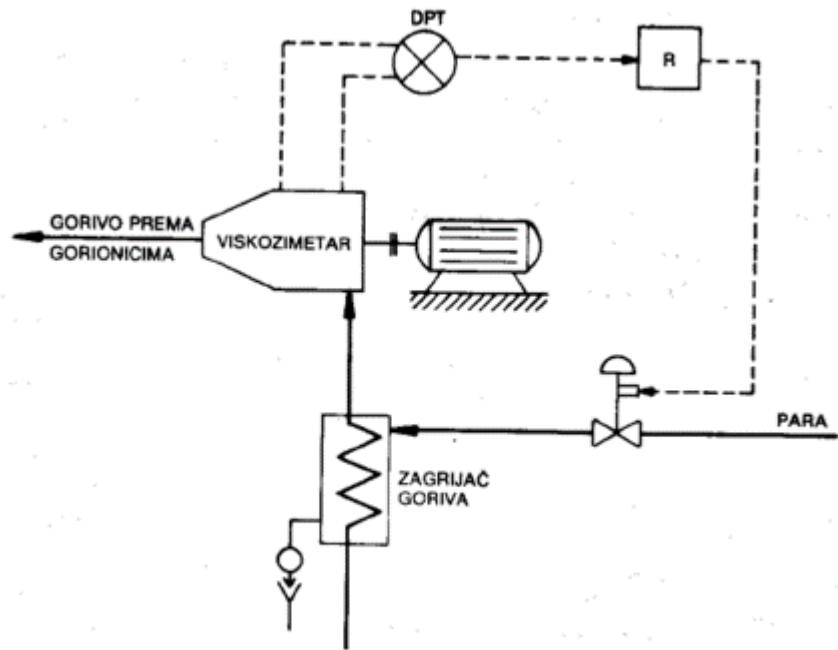
Automatska regulacija ima zadatak osigurati kontinuiran, funkcionalan, ekonomičan i siguran pogon. Parametri pare (tlak, temperatura i kapacitet) ovise o potrošačima.

Regulacija parametara vrši se automatski (pneumatski, električni ili kombinirano), a potrebno je vršiti:

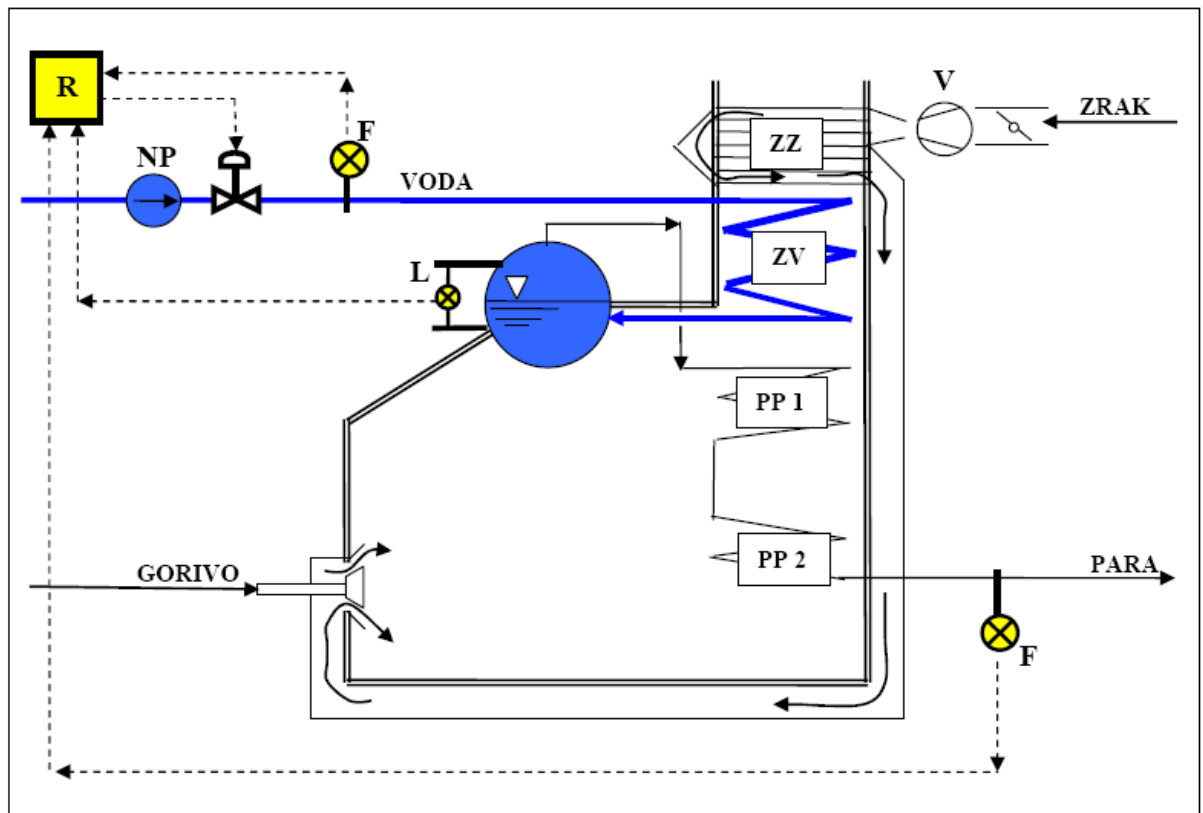
- ✱ **regulacija opterećenja**
- ✱ **regulacija viskoznosti goriva**
- ✱ **regulacija napajanja**
- ✱ **regulacija temperature pregrijavanja**
- **s dimne strane**
- **s parne strane**



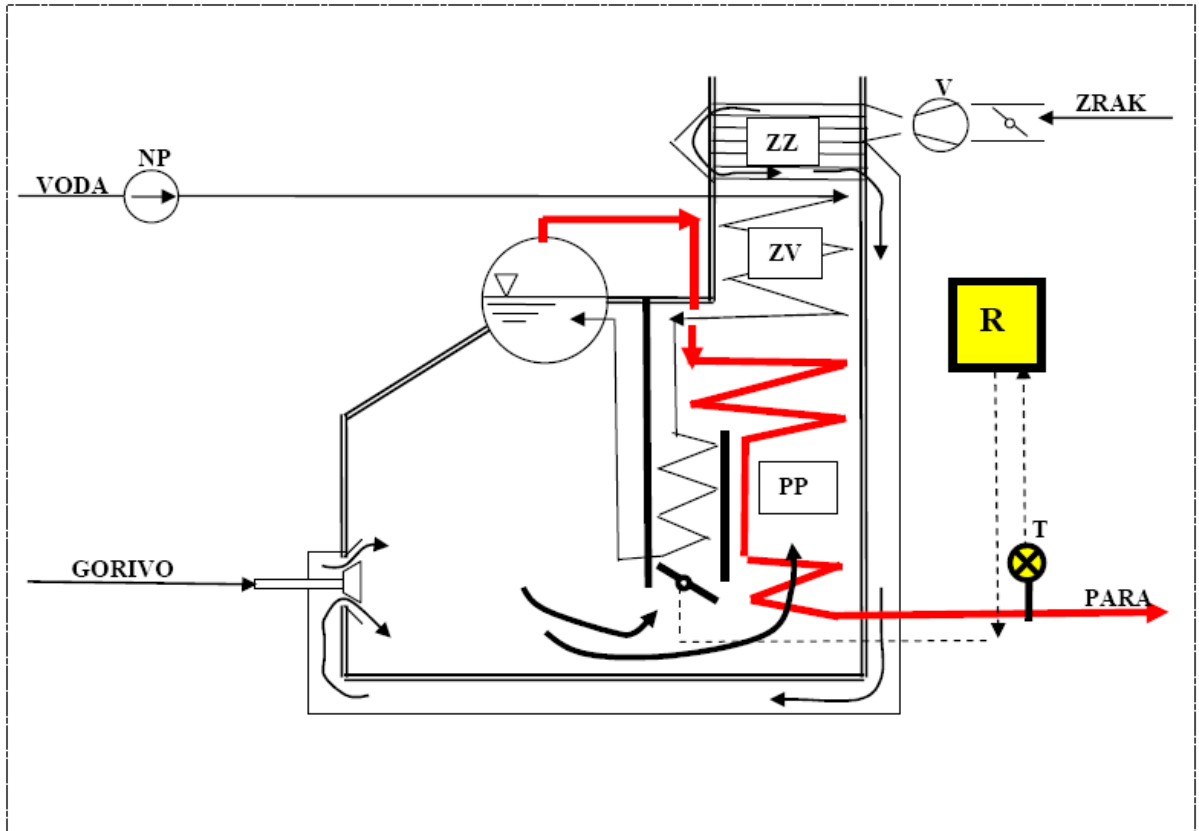
Regulacija opterećenja



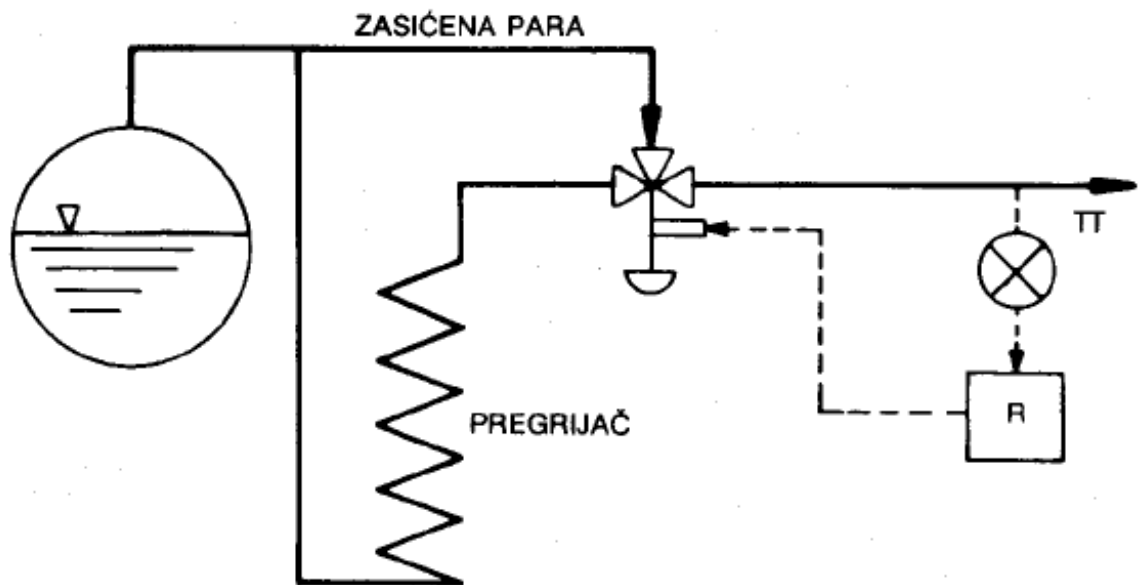
Regulacija viskoznosti goriva



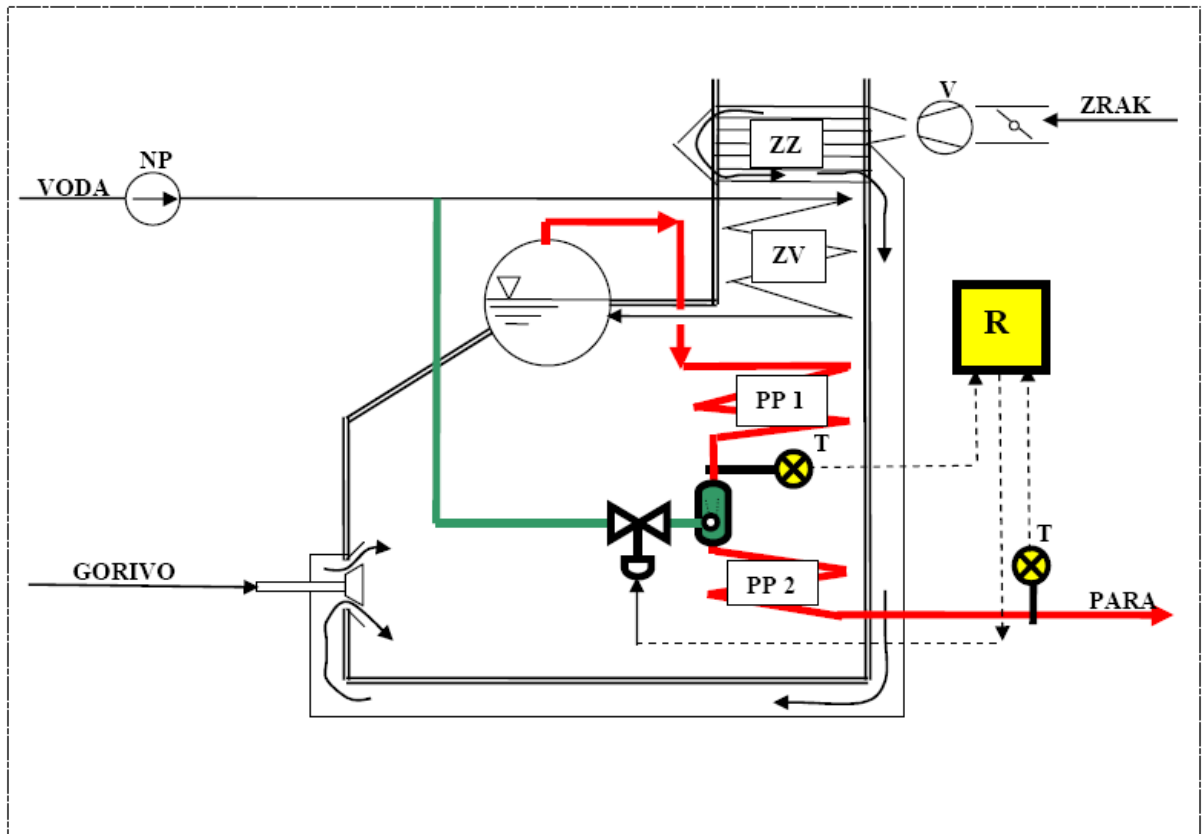
Regulacija napajanja



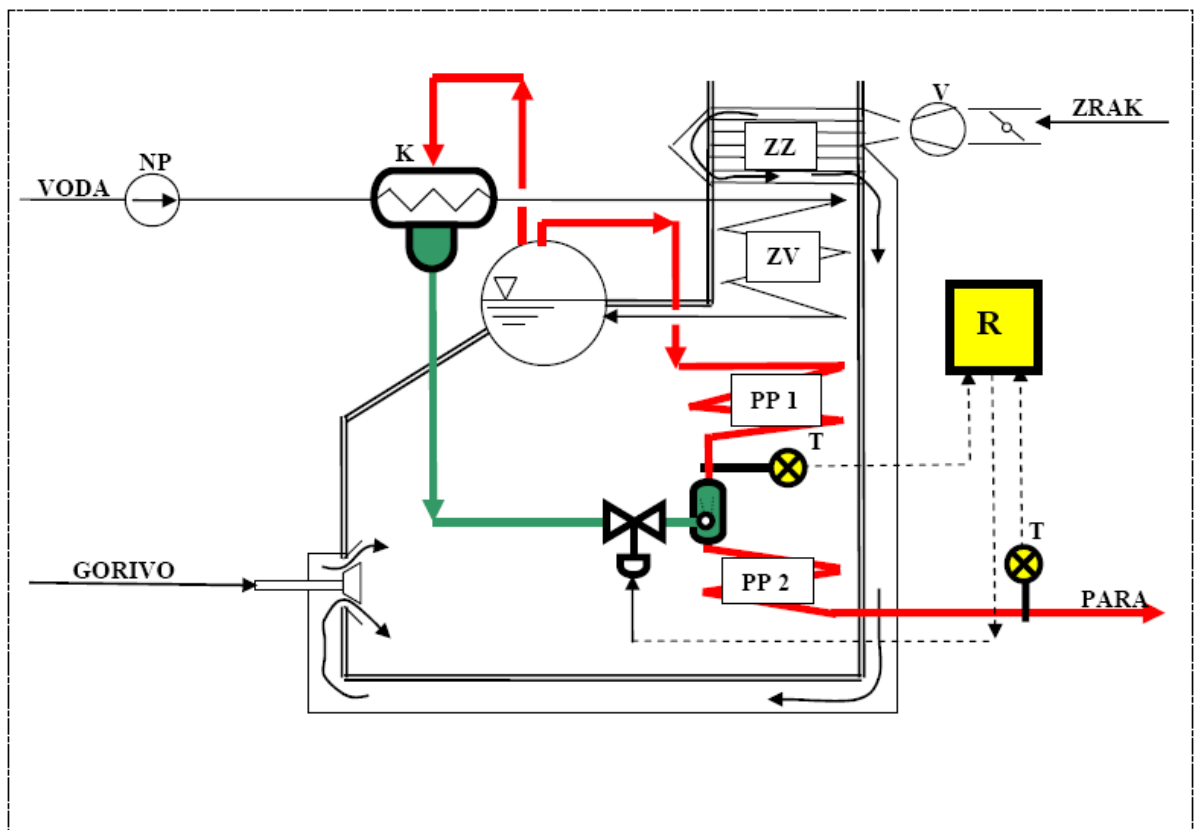
Regulacija temperature pregrijane pare skretanjem strujanja dimnih plinova



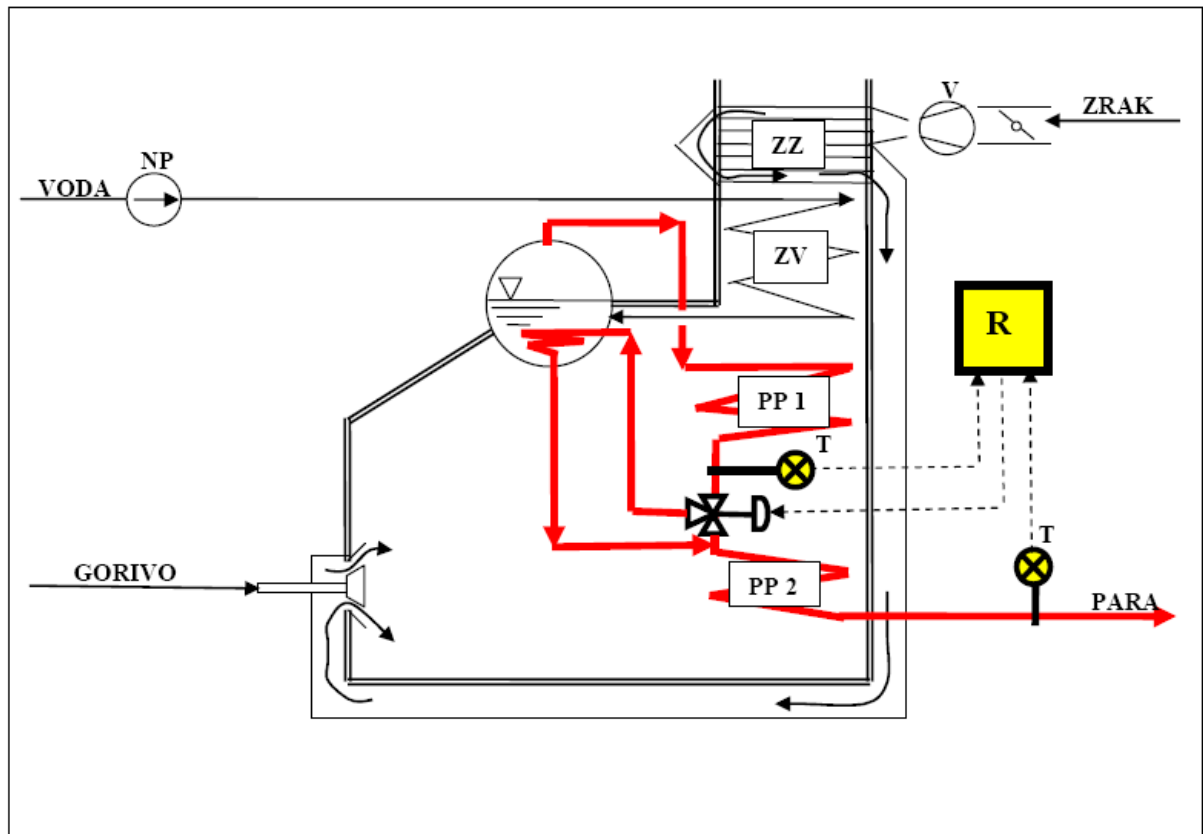
Regulacija temperature pregrijane pare miješanjem sa zasićenom parom



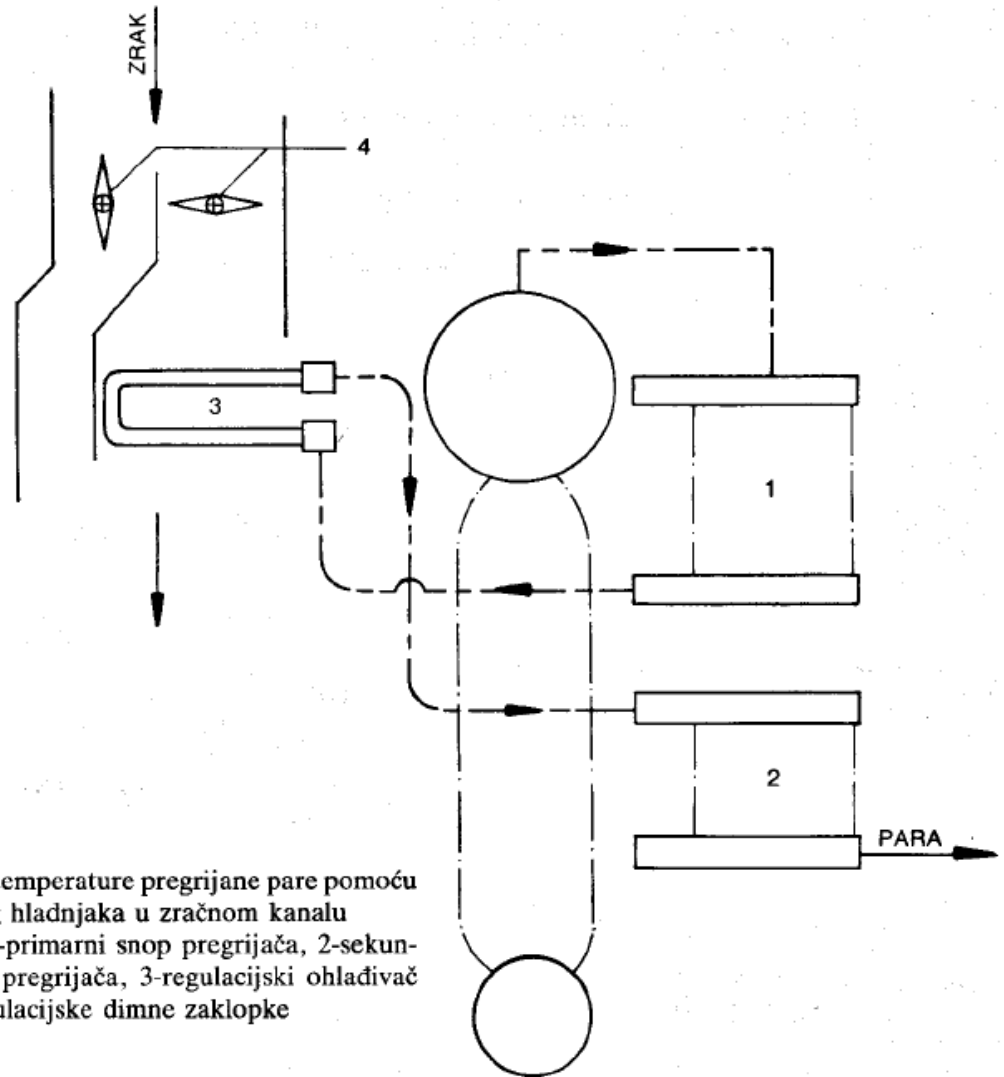
Regulacija temperature pregrijane pare uštrcavanjem napojne vode



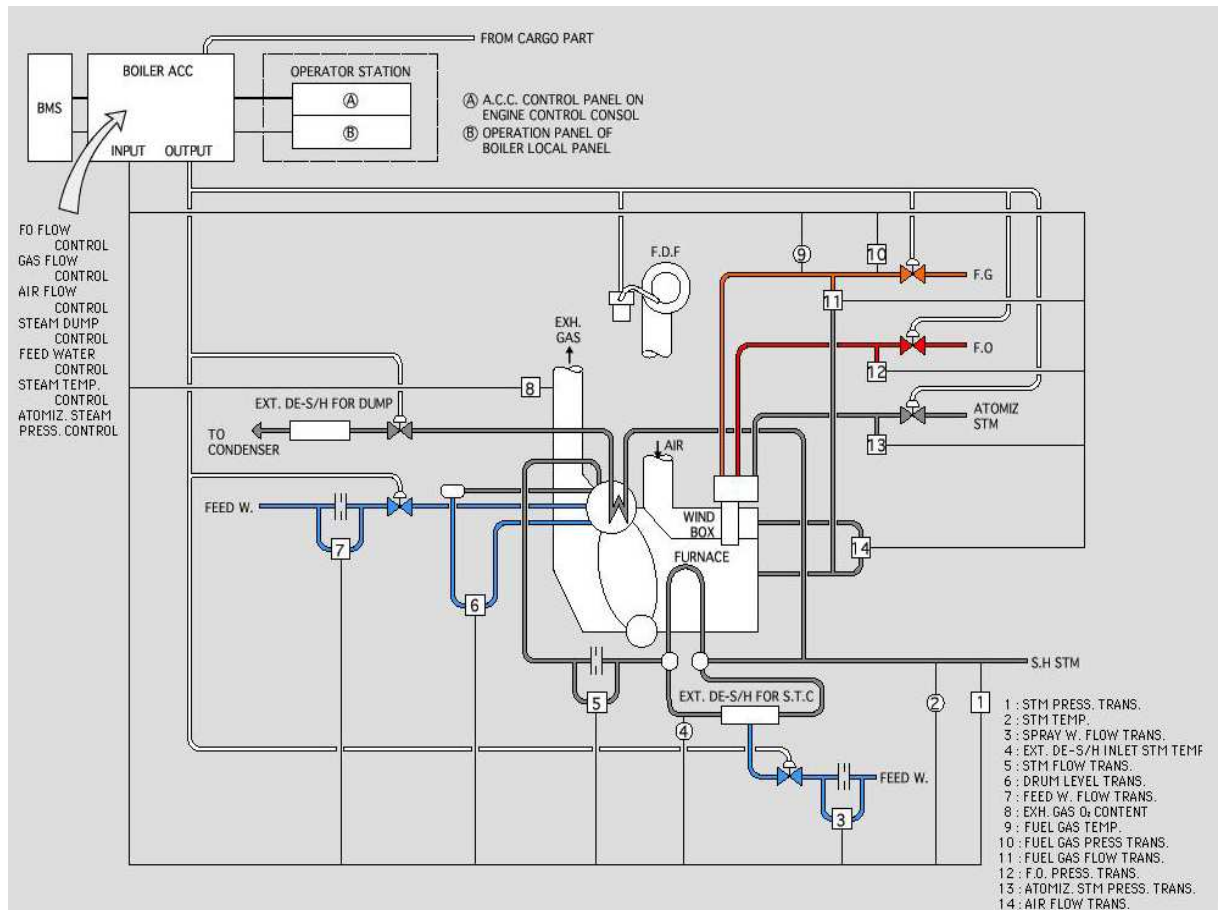
Regulacija temperature pregrijane pare uštrcavanjem kondenzata



Regulacija temperature pregrijane pare pomoću površinskog hladnjaka u bubnju



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



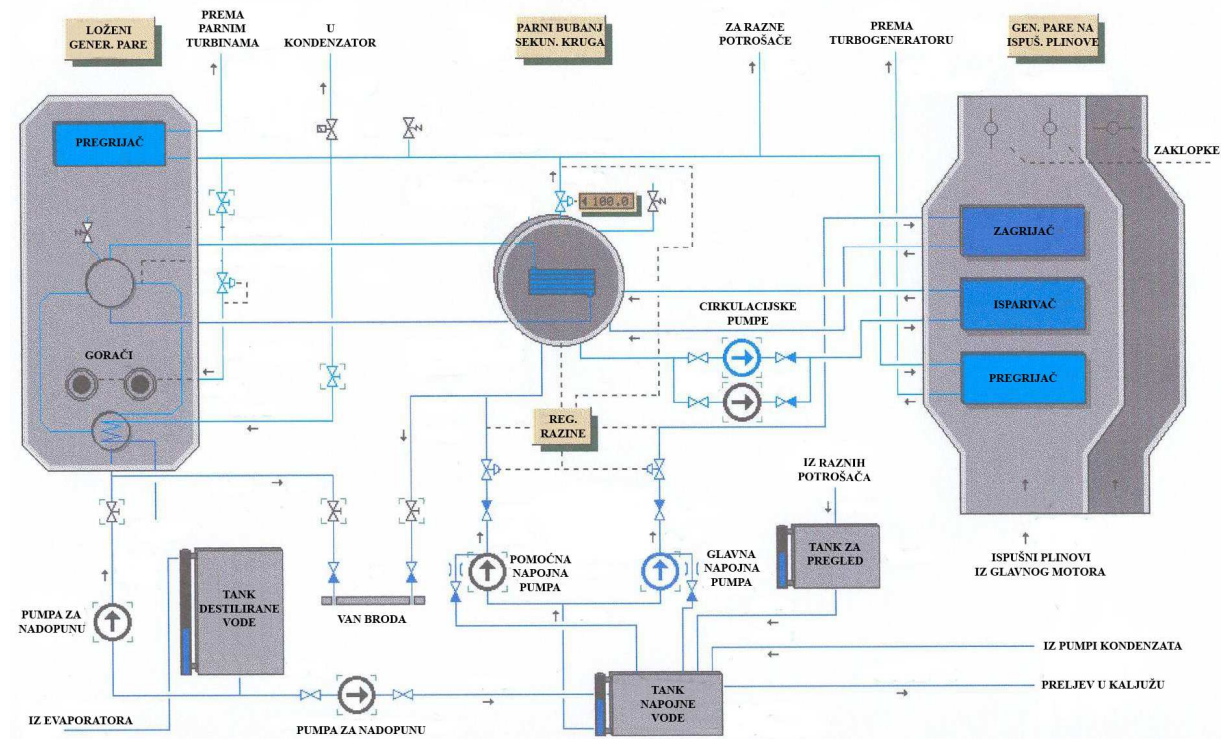
SET POINT OF ALARM AND TRIP

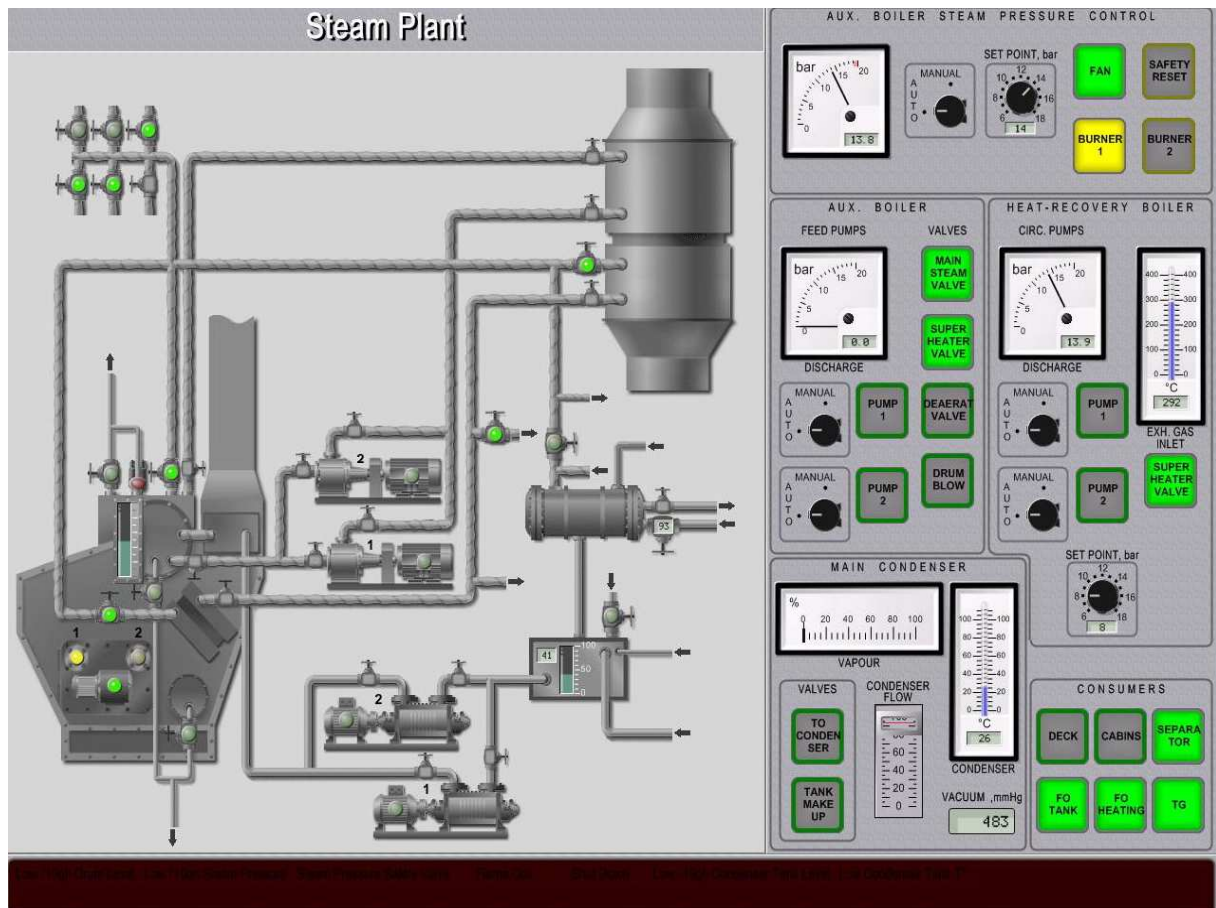
CAUSE OF OPERATION	SET POINT	FUNCTION
F.O. press.	Low	0.15 MPa Alarm
		0.12 MPa F.O. Trip
F.O. temp.	High	150°C Alarm
	Low	110°C Alarm
		100°C F.O. Trip
Atomiz. steam press.	Low	0.2 MPa Alarm
		0.15 MPa F.O. Trip
Drum level	High	NOR+230mm Man BJR feed W. inlet motor V. automatic close
		NOR+150mm Alarm
	Low	NOR-150mm Alarm
		NOR-230mm Boiler Trip
S/H steam out temp.	Low	500°C Alarm
	High	535°C Alarm
S/H steam out press.	Low	5.2 MPa Alarm
	High	6.06 MPa Alarm
Control air press.	Low	0.55 MPa Alarm
		0.4 MPa Boiler Trip
Int. DE-S/H STM out temp.	High	320°C Alarm
Man. feed W. line press.	Low	7.2 MPa Alarm
Electric source fail		Boiler Trip
All burner fail		Boiler Trip
BMS Both CPU fail		Boiler Trip
FDF Trip		Boiler Trip
Manual Trip		Boiler Trip
BMS controller abnormal		Boiler Trip

CAUSE OF OPERATION	SET POINT	FUNCTION
F.G. press.	High	43 kPa Alarm
		49 kPa Boiler gas V. Trip
	Low	0.9 kPa Alarm
F.G. temp.	Low	0.55 kPa Boiler gas V. Trip
		0°C Master gas V. Trip
ESDS Activated		Master gas V. Trip
Both boiler trip		Master gas V. Trip
Master gas valve manual trip		Master gas V. Trip
NO.1 & 2 Boiler gas valve trip		Master gas V. Trip
BMS controller abnormal		Master gas V. Trip
Piping duct exhaust fan both stop		Master gas V. Trip
Gas leak detect		Master gas V. Trip
Cargo tank press. low		Master gas V. Trip
Master gas valve close		Boiler gas V. Trip

Utilizacijski generatori pare I njihova automatizacija (9.3)

- iskorištavanje topline ispušnih plinova glavnog dizel motora
- temperature od 280-340°C kod 2^T
- temperature od 370-420°C kod 4^T
- Prema konstrukciji:
 - *dimnocijevni*
 - *vodocijevni*
- Prema načinu cirkulacije:
 - *s prirodnom cirkulacijom*
 - *s prisilnom cirkulacijom*
- Prema načinu predaje topline:
 - bez loženja
 - s dodatnim loženjem
- Prema načinu povezivanja u pogonu
 - *utilizatori za samostalan rad*
 - *utilizatori u spoju s loženim generatorom pare*





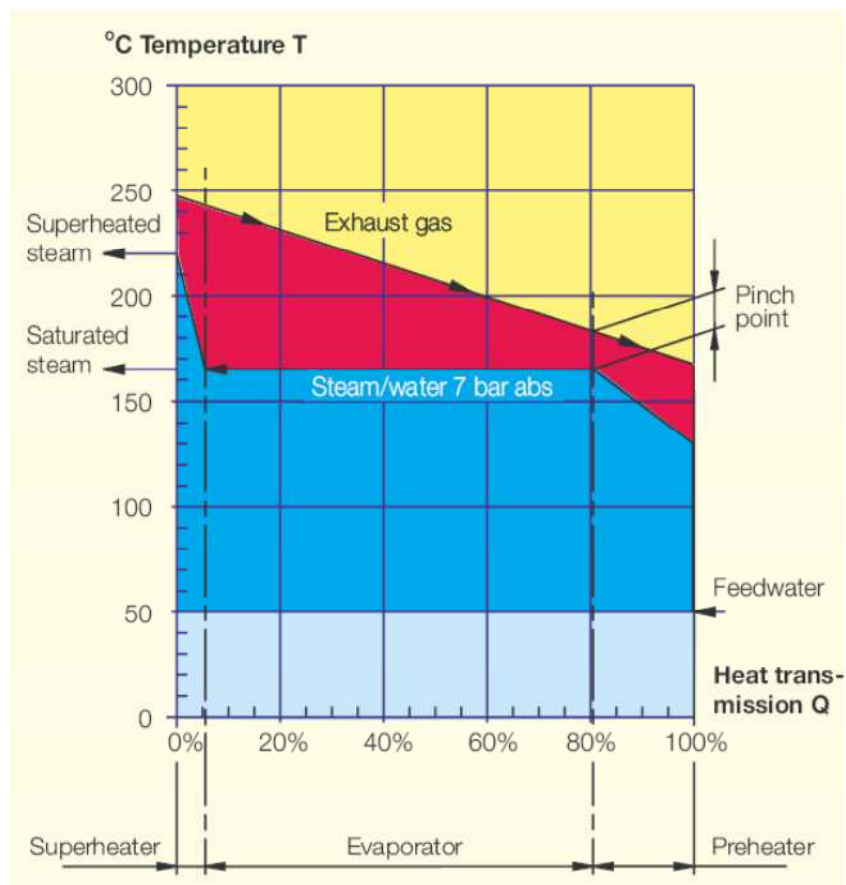
Požari u utilizatorima

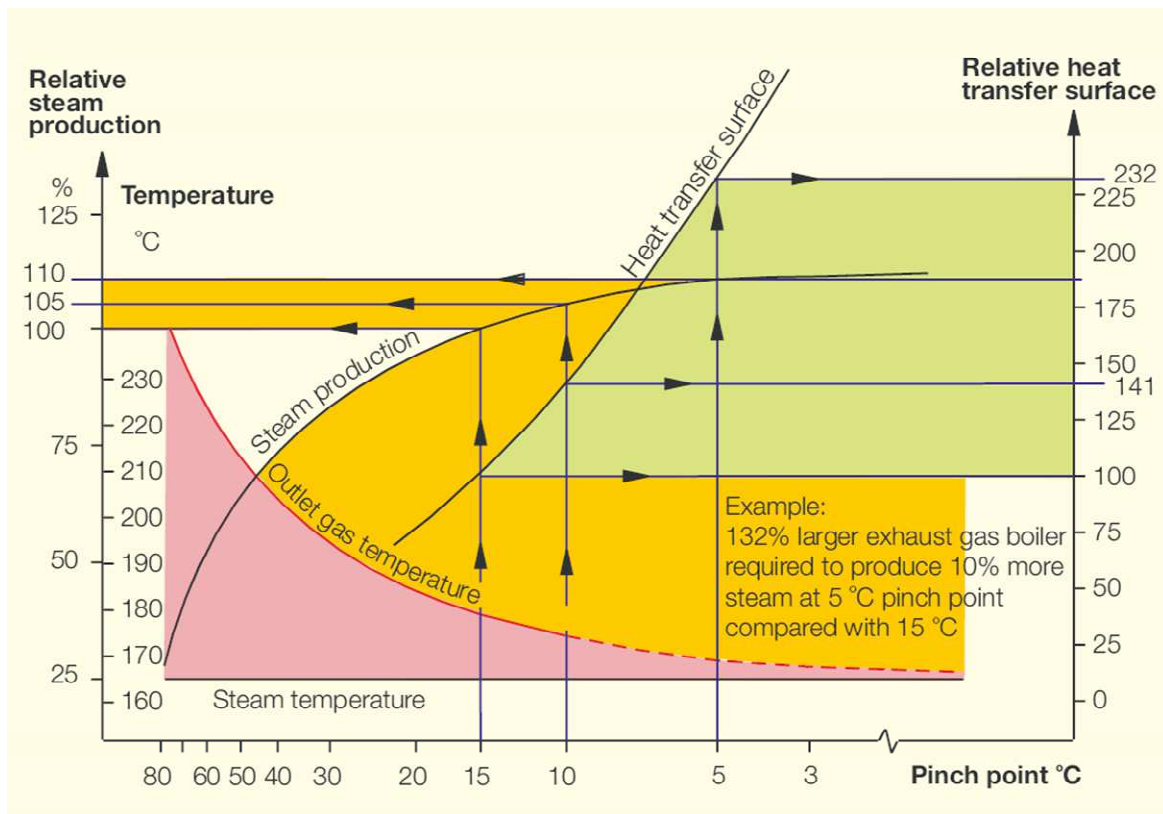
- Većina požara nastalo je na novim brodovima (od nekoliko mjeseci do 2 god.)
- Većina je imala motore velikih promjera s dugačkim stapajem
- Požari najčešće nastaju za vrijeme ili nakon smanjene vožnje - u manvri dolaska ili odlaska, ili odmah po zaustavljanju GM
- Svi motori su koristili teško gorivo ukrcano po cijelom svijetu
- Generatori pare na kojima je došlo do požara bili su raznih izvedbi s različitim sustavima pranja te različitim sustavima za propuhivanje čađe

Preventiva

Konstruktivske preporuke (vodocjevni i vatrocjevni):

- Srednja brzina plinova veća od 20 m/s (ovisno o suhoći čađe – min. 12-15 m/s) (25 – 30 m/s – taloženje čađe minimalno – ne trebaju propuhivači)
- PP (Pinch Point) > 15°C (bolje 20 °C),
- Izl. temp. isp. plinova iz EGB: oko 165 °C (kondenzacija H₂SO₄ stvara ljepljivi talog),
- Što ravniji ulaz ispušnih plinova (manje vrtloženje – veća brzina plinova – manje taloženje čađe),
- Pad tlaka kroz EGB što veći – veća brzina plinova (ostali dijelovi ispušnog cjevovoda takvi da je pad tlaka što manji – veći promjeri),
- Izbjegavati klapne za regulaciju tlaka pare (ako se ugrađuju klapne - bolje na ulazu u EGB) – bolje koristiti kondenzatore za višak pare (nekad se koristila regulacija smanjenjem protoka vode – vrlo loše)





Dodatne preporuke za vodocjevne GP

- Ugradnja mimovoda ("open – close by-pass") na 50 % MCR - za brodove koji često voze smanjenom brzinom,
- Ugraditi automatske propuhivače čađe (zrak, ultrazvuk, kombinacija, para),
- Ugraditi fiksne mlaznice za pranje te otvore za ručno pranje (dok je toplo – pucanje čađe) s odgovarajućom drenažom (paziti na "mokru" čađu),
- Temperatura cirkulacijske vode na EBG s zagrijačem napojne vode mora biti veća od 140 OC – kondenzacija nekih CH iz ulja i goriva, te H2SO4 – povećano taloženje čađe,
- Cirkulacija vode što veća te omjer masenog protoka cirk. vode i protoka pare što veći (≥ 6),
- Ugraditi uređaje za nadzor temperature, razlike tlaka, protoka cirkulacijske vode i sl.

Parametri za smanjenje mogućnosti nastanka požara

- Stvaranje taloga**
- Brzina ispušnih plinova kroz EGB što veća (ne manja od 12 m/s – preporuka je oko 20 m/s) – što veći pad tlaka kroz EGB,
 - Temperatura stijenki cijevi ne smije biti preniska – grijanje napojne vode prije startanja GM i tijekom manovre (100 do 120 °C) - manja mogućnost stvaranja “mokrog” taloga - ljepljivost,
 - Održavanje maksimalno mogućeg protoka ispušnih plinova (što manji otpori ispušnog cjevovoda) te što bolje izgaranje (gorivo i sustav ubrizgavanja),
 - Dovoljna cirkulacija vode te omjer masenog protoka cirkulacijske vode i pare što veći (izvor paljenja naslaga čađe).

Dužnosti posade

- Redovito čišćenje po uputama i prema stanju,
- Redovito pranje vodom preko ugrađenih sustava i kroz inspekcijske otvore s PP opremom (dok su cijevi još tople),
- Održavanje drenažnog cjevovoda,
- Održavanje cirkulacije vode,
- Zagrijavanje napojne vode prije prvog starta GM (hladne cijevi EGB),
- Održavanje i testiranje sustava za nadzor,
- Pravilno doziranje cilindarskog ulja,
- Paziti na ulaz kišnice u dimnjak.

Gašenje požara

- *Gušenjem* – spriječiti dovod kisika
 - Gašenje GM
 - Zatvaranje klapni ili prirubnica (ako postoje)
 - Pokrivanje filtra TP i po potrebi puštanje CO₂
- *Hlađenjem* – velika količina vode
 - Mala količina vode ili pare iz propuhivača može pogoršati stvar (požar vodika – iznad 800°C)
 - Nikako ne gasiti ili smanjivati protok cirkulacijske vode (startati sve cirkulacijske pumpe)
 - Paziti na drenažu

Priprema i pogon B.G.P. (12.1)

Priprema

Detaljan vanjski, a ako je moguće (otvoren kotao) i unutarnji pregled (kvaliteta izvedenih radova, svi skinuti djelovi na mjestu i pravilno učvršćeni, zaostali alat, krpe, prljavština i sl.).

Otvori za ulazak se zatvaraju – vanjska oplata se ne stavlja – radi kontrole propuštanja.

Odračni ventil (vent) na isparivaču (bubnju) otvoren – zrak izlazi kod punjenja bubnja ili ulazi kod ispuštanja bubnja (mokro konzerviran).

Otvoriti napijne glave (glavni i pomoćni napojni ventili).

Zatvoriti ventile za ispijivanje i odmuljivanje (istjerivanje).

Pomoćnom napojnom pumpom se puni kotao najprije kroz jednu pa kroz drugu napojnu glavu (provjera ventila i pomoćne napojne pumpe).

Voda se ne puni na normalnu razinu (sredina vodokaznog stakla), već do cca. $\frac{1}{4}$ - kod grijanja voda se širi i razina se diže. Ako je bubanj bio pun, dio se vode ispusti kroz v. za odmuljivanje, a dio kroz v. za otpijivanje do minimalne razine (provjera ventila), te se nadopuni do $\frac{1}{4}$ dio kroz pomoćni, a dio kroz glavni napojni ventil.

Otvoriti odračne i drenažne ventile na pregrijaču (voda i zrak mora izaći te se cijevi pregrijača jednolično zagrijavaju).

Svi ventili moraju biti lagano otpušteni – kad se zagriju mogli bi blokirati.

Ispitati ispravnost vodokaza i ručno otvaranje sigurnosnih ventila.

Otvoriti i ispitati sve ventile za manometre i presostate.

Skinuti poklopac s dimnjaka (ako postoji).

Kontrola sustava goriva (filtri, zagrijači, pumpe, cjevovod, gorač).

Dovođenje G.P. pod tlak

Najvažnije propuhivanje – traje od 30-tak sekundi do nekoliko minuta (ovisno o tipu G.P.) – štiti ložište od eksplozije (nakupljeni CH od neizgorenog goriva).

Kod propuhivanja registri zraka (Air Flow Ctr.) mora biti na 100 % (maksimalno otvoren zrak) – **obično ako je ispod 50 % propuhivanje neće završiti i blokiran je daljnji start.**

Kad propuhivanje završi podešava se omjer goriva i zraka na minimum, pumpa goriva u radu, starta se gorač. Iskra za paljenje se stvara preko visokonaponskog transformatora (>10000 V), a **počne u istom trenutku kada i ubrizgavanje goriva** u ložište (gorivo se propusti s elektromagnetskim ventilima). Kada fotoćelija registrira plamen iskra se prekida. **Ako nema plamena (cca. 5 – 7 sec.) također se prekida iskra i gorivo i javlja se alarm greške starta – kreće se u ponovno propuhivanje.**

Prvo paljenje traje nekoliko sekundi, a nakon toga je pauza od nekoliko minuta (ovisno o tipu G.P.). Svako slijedeće paljenje je nešto duže, a pauze su još duže (npr. gorač radi na minimumu 1 min. - pauza 10 min.). Takav postupak traje sve do postizanja 1 bar tlaka – temp. vode cca. 120°C (na nekim kotlovima i duže: 4 – 10 bar). Tada se gorač prebacuje

na automatski rad te se vrlo brzo postigne radni tlak. Na tim tlakovima se zatvara odzračni ventili na bubnju. Postupak traje cijeli dan (12 i više sati) – razlog je spriječiti nagla temperaturna naprezanja – pucanje cijevi. Ako je novi šamotni zid onda je postupak još sporiji.

Odzračni ventil na pregrijaču je stalno otvoren dok se drenažni svako toliko otvori da se ispusti eventualni kondenzat. **Pravilo je da se kroz pregrijač pare uspostavi protok pare kako se cijevi pregrijača ne bi deformirale.** Što je tlak pare veći odzračni ventil ili ventil u kondenzator se prigušuje kako ne bi gubili previše pare.

Tijekom cijelog postupka podizanja tlaka pregledavaju se spojevi od propuštanja.

Kontrola kvalitete izgaranja vrši se kontrolom boje plamena i kontrolom dima. Kontrola izgaranja prilikom promjena opterećenja.

Kontrolirati manometre.

Kontrolirati vodokazna stakla i daljinske pokazivače razine i tlaka.

Na glavnom cjevovodu pare otvori se drenaža te se postepeno zagrijava malim dovodom pare kroz glavni ventil ili kroz by-pass-ni cjevovod (ako postoji). Time se izbjegava toplinsko naprezanje i vodeni udar.

Kad se tlakovi u cjevovodu i kotlu izjednače, otvara se postepeno glavni parni ventil, a zatvara zračni i ostali v. pregrijača.

Održavanje u pogonu

Kontrola i održavanje razine vode (povremena kontrola razine vodokaza).

Kontrola izgaranja (prije objašnjeno).

Kontrola tlaka i temperature pregrijane pare (u dozvoljenim granicama).

Temperature p.p. se povećava: povećanom proizvodnjom pare, većim viškom zraka, višom temperaturom napojne vode, povećano prljanje isparivača.

Temperature p.p. se snižava obrnuto te ako je: zaprljan pregrijač i veća vlaga zasićene pare.

Temperatura pregrijane pare naglo pada i ponovno se diže kod prekipljenja kotla (ako je velika koncentracija soli ili preveliki alkalitet) – temperature pregrijane pare oscilira.

Redovita analiza vode (2 puta dnevno) i adekvatno tretiranje. Uzima se uzorak **napojne vode, uzorak iza kondenzatora** i uzorak iz **isparivača** (parnog bubnja). Redovito otpjenjivanje i odmuljivanje (održavanje koncentracije soli, alkaličnost i kisik u dozvoljenim granicama).

Odmuljivanje (istjerivanje) – paziti da kotao ne ostane bez vode.

Redovito propuhivanje čađe. (dva puta dnevno) – od gore prema ložištu.

Pregled i održavanje B.G.P. (13.1)

Kvarovi i oštećenja B.G.P. (18.1)