

# Dinamika regulacije tlaka i temperature pregrijane pare

---

Išek, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:062081>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Marko Išek**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dražen Lončar

Student:

Marko Išek

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Draženu Lončaru na ukazanim savjetima i pomoći pri izradi ovog rada.

Marko Išek



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur. broj:  |        |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko IŠEK**

Mat. br.: 0035189738

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Dinamika regulacije tlaka i temperature pregrijane pare**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Superheated Steam Pressure and Temperature Control Dynamics**

Opis zadatka:

Projektom modernizacije postrojenja koje toplinsku energiju isporučuje u centralizirani toplinski sustav predviđena je instalacija i parnog kotla koji bi uz postojeće kogeneracijske izvore omogućio pokrivanje vršnih opterećenja sustava u ekstremnim zimskim uvjetima kao i autonomno pokrivanje ljetnog opterećenja. Plinom loženi kotao nazivne snage 11 MW predviđen je za isporuku 12 t/h pregrijane vodene pare tlaka 15 bar i temperature 300 °C. Značajan utjecaj na raspoloživost, ekonomičnost i fleksibilnost pogona ima i kvaliteta regulacije kotla a naročito regulacija temperature i tlaka pregrijane pare u uvjetima naglih promjena opterećenja.

U okviru rada potrebno je:

1. Definirati glavne komponente postrojenja s parnim kotlom zadanih parametara;
2. Nacrtati shemu spajanja komponenti sa cjevovodima i pripadajućom mjernom i regulacijskom opremom;
3. Definirati i opisati strukturu sustava vođenja i regulacije postrojenja s parnim kotlom;
4. Izvesti pojednostavljeni matematički model dinamike termohidrauličkih procesa u komponentama postrojenja;
5. Simulirati odziv matematičkog modela spregnutog s modelom regulacijskog sustava u karakterističnim pogonskim stanjima (upuštanju, obustavi pogona, pogonu pri promjenjivom opterećenju) analizirati utjecaj strukture i parametara regulatora na kvalitetu odziva temperature i tlaka pregrijane pare.

U tekstu diplomskog rada potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć pri izradi.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Dražen Lončar

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## Sadržaj

|   |      |
|---|------|
| Sadržaj.....  | I    |
| Popis slika .....   | III  |
| Popis tehničke dokumentacije.....   | V    |
| Popis oznaka.....   | VI   |
| Sažetak .....   | VIII |
| Summary .....   | IX   |
| 1. Uvod .....   | 1    |
| 2. Regulacija procesa.....  | 3    |
| 2.1. Regulatori parne kotlovnice .....  | 4    |
| 3. Upuštanje parnog kotla u pogon.....  | 6    |
| 4. Parna kotlovnica .....   | 9    |
| 4.1. Parni kotao.....   | 9    |
| 4.2. Plinsko redukcijaska stanica .....   | 12   |
| 4.3. Modul za regulaciju plina.....   | 13   |
| 4.4. Spremnik ELLU .....  | 13   |
| 4.5. Modul opskrbe uljem OSM.....   | 14   |
| 4.6. Modul optoka ulja OCM .....  | 15   |
| 4.7. Napojni spremnik i pumpe .....   | 15   |
| 4.8. Ekspanzijski modul s obradom ispusne vode i regeneracije topline EHB ..... | 16   |
| 4.9. Razdjelnik pare.....   | 17   |
| 4.10. Zagrijač napojne vode (ekonomajzer).....                                  | 18   |
| 4.11. Uređaj za analizu vode .....  | 18   |
| 4.12. Preduvjeti za upuštanje u pogon.....                                      | 20   |
| 5. Matematički model.....   | 21   |
| 5.1. Isparivački dio .....  | 22   |
| 5.2. Pregrijač .....  | 26   |
| 5.3. Matlab/Simulink.....   | 27   |
| 6. Simulacija .....   | 31   |
| 6.1. Hladni start .....   | 31   |
| 6.2. Topli start .....  | 33   |

---

|   |    |
|---|----|
| 6.3. Rad pri promjenjivom opterećenju ..... | 35 |
| 7. Zaključak .....                          | 42 |
| Literatura .....                            | 43 |
| Prilozi .....                               | 44 |
| Tehnički podaci .....                       | 45 |

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Vodocijevni kotao [1] .....  | 1  |
| Slika 2. Vatrocijevni kotao [2] .....   | 2  |
| Slika 3. Regulacijski krug [3].....   | 3  |
| Slika 4. Poprečni presjek kotla.....  | 10 |
| Slika 5. Presjek prvog prolaza kotla.....   | 11 |
| Slika 6. Uzdužni presjek kotla.....   | 11 |
| Slika 7. Plinsko redukcijaska stanica kotlovnice .....                              | 12 |
| Slika 8. Modul za regulaciju plina .....  | 13 |
| Slika 9. Modul opskrbe uljem OSM.....   | 14 |
| Slika 10. Modul optoka ulja OCM.....  | 15 |
| Slika 11. Napojni spremnik.....   | 16 |
| Slika 12. Ekspanzijski modul s obradom ispusne vode i regeneracije topline EHB..... | 17 |
| Slika 13. Razdjelnik pare .....   | 18 |
| Slika 14. Zagrijač napojne vode ECO.....  | 18 |
| Slika 15. Uređaj za analizu vode.....   | 19 |
| Slika 16. Segmentiranje cijevi.....   | 22 |
| Slika 17. Prvi segment dimnih plinova .....   | 22 |
| Slika 18. Prvi segment stijenke .....   | 24 |
| Slika 19. Simulink shema prvog segmenta dimnih plinova prvi prolaz.....             | 28 |
| Slika 20. Simulink shema promjena gustoće pare u kotlu .....                        | 28 |
| Slika 21. Simulink shema promjene entalpije vode .....                              | 29 |
| Slika 22. Simulink shema prvog segmenta stijenke prvi prolaz .....                  | 29 |



---

|   |    |
|---|----|
| Slika 23. Simulink shema prvog segment pregrijača .....                             | 30 |
| Slika 24. Promjena tlaka kod hladnog starta .....                                   | 32 |
| Slika 25. Promjena temperature vode kod hladnog starta .....                        | 33 |
| Slika 26. Promjena tlaka kod toplog starta.....                                     | 34 |
| Slika 27. Promjena temperature vode kod toplog starta.....                          | 35 |
| Slika 28. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem bez regulacije .....          | 36 |
| Slika 29. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem s regulacijom.....            | 37 |
| Slika 30. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem s regulacijom (zaklopka)..... | 38 |
| Slika 31. Promjena temperature dimnih plinova.....                                  | 39 |
| Slika 32. Promjena temperature stijenke.....  | 40 |
| Slika 33. Promjena temperature vode sa tlakom .....                                 | 41 |

## **Popis tehničke dokumentacije**

- 001 Shema cjevovoda (voda, para, dimni plinovi)
- 002 Shema cjevovoda (prirodni plin, ELLU, zrak)

## Popis oznaka

| Oznaka        | Jedinica    | Opis  |
|---------------|-------------|---|
| $A_{dp}$      | $m^2$       | površina izmjene topline na strani dimnih plinova       |
| $A_w$         | $m^2$       | površina izmjene topline na strani vode                 |
| $A_{up}$      | $m^2$       | površina izmjene topline s unutarnje strane pregrijača  |
| $A_{vp}$      | $m^2$       | površina izmjene topline s vanjske strane pregrijača    |
| $\alpha_{dp}$ | $W/m^2K$    | koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova  |
| $\alpha_w$    | $W/m^2K$    | koeficijent prijelaza topline na strani vode            |
| $\alpha_{pp}$ | $W/m^2K$    | koeficijent prijelaza topline na strani pregrijane pare |
| $c_{dp}$      | $J/kgK$     | specifični toplinski kapacitet dimnih plinova           |
| $c_s$         | $J/kgK$     | specifični toplinski kapacitet stijenske                |
| $c_w$         | $J/kgK$     | specifični toplinski kapacitet vode                     |
| $h_{pp}$      | $J/kg$      | entalpija pregrijane pare                               |
| $h_{szp}$     | $J/kg$      | entalpija suhozasićene pare                             |
| $M_{dp}$      | kg          | masa segmenta dimnih plinova                            |
| $m_{dp}$      | $kg/s$      | maseni protok dimnih plinova                            |
| $M_s$         | kg          | masa segmenta stijenske                                 |
| $M_w$         | kg          | masa segmenta vode                                      |
| $m_w$         | $kg/s$      | maseni protok vode                                      |
| $p$           | bar         | tlak u kotlu  |
| $q_{dp}$      | W           | toplinski tok dimnih plinova                            |
| $q_{pp}$      | W           | toplinski tok pregrijane pare                           |
| $q_w$         | W           | toplinski tok vode                                      |
| $\rho_{dp}$   | $kg/m^3$    | gustoća dimnih plinova                                  |
| $\rho_p$      | $kg/m^3$    | gustoća pare  |
| $\rho_w$      | $kg/m^3$    | gustoća vode  |
| $T_{dp}$      | $^{\circ}C$ | temperatura dimnih plinova                              |
| $T_s$         | $^{\circ}C$ | temperatura stijenske                                   |
| $T_w$         | $^{\circ}C$ | temperatura vode  |

|          |       |                             |
|----------|-------|-----------------------------|
| $V_{dp}$ | $m^3$ | volumen dimnih plinova      |
| $V_s$    | $m^3$ | volumen stijenke            |
| $V_w$    | $m^3$ | volumen vode u kotlu        |
| $V_p$    | $m^3$ | volumen parnog dijela kotla |

## Sažetak

U radu je izveden matematički model dinamike termohidrauličkih procesa, prikazani su rezultati simulacije rada parnog kotla, vatrocijevnog (dimocijevnog) tipa, koji se montira projektom modernizacije postrojenja koje isporučuje toplinsku energiju u centralizirani toplinski sustav. Parni kotao se koristi za pokrivanje vršnih opterećenja. Za potrebe rada razrađen je pojednostavljeni matematički model preko kojeg su izražene promjene temperature dimnih plinova, vode, stijenke cijevi i pare. Rezultatima simulacije prikazuje se promjena tlaka i temperature u kotlu u upuštanju kotla u pogon (hladni i topli start) i kod rada pri promjenjivom opterećenju. Pri nazivnom opterećenju može se proizvoditi 12,5 t/h pregrijane pare. Pregrijana para ima parametre tlaka i temperature od 15 bara pretlaka i 300°C.

Ključne riječi: parni kotao, simulacija, centralizirani toplinski sustav, vršna opterećenja, pregrijana para

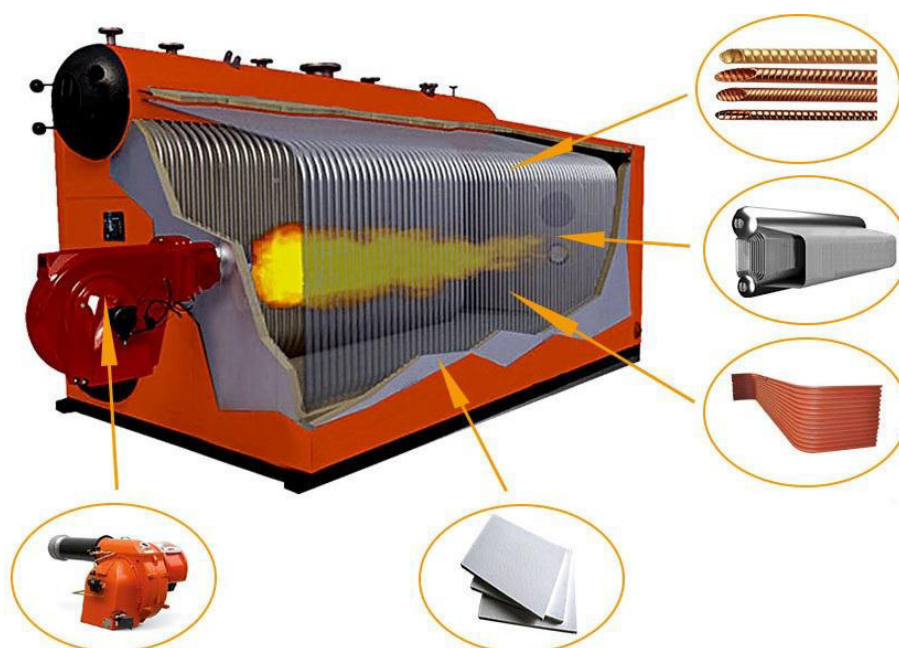
## **Summary**

The paper presents a mathematical model of the dynamics of thermohydraulic processes, the simulation results of steam boiler in operation, which is installed for a project of modernization of the heat supply system to the district heating system. The steam boiler is used to cover peak loads. For the purposes of the work, a simplified mathematical model has been developed, through which the changes in flue gas, water, pipe and vapor wall temperature are expressed. The simulation results show the change of pressure and temperature in the boiler in the boiler mode (cold and warm start) and at operation at variable loads. At nominal load, 12,5 t/h of superheated steam can be produced. The superheated steam has pressure and temperature settings of 15 bar and 300 ° C.

Key words: steam boiler, simulation, district heating, peak loads, superheated steam

## 1. Uvod

Kotlovi ili generatori pare su velike posude koje služe za transformaciju kemijske energije goriva u toplinsku energiju za zagrijavanje vode i proizvodnju vodene pare. Često se nazivaju generatori pare. Dobivena para određenih parametara koristi se za pogon parne turbine u termoenergetskim postrojenjima, za centralno grijanje, za tehnološke procese u industriji itd. Klasifikacija parnih kotlova može se izvesti po različitim kriterijima poput položaja cijevi u kotlu (vertikalni ili horizontalni), vrste strujanja (prirodnom ili prisilnom cirkulacijom), prema radnom tlaku (niskotlačni, srednje tlačni i visokotlačni), po količini proizvedene pare (mali, srednji i veliki kapacitet), po vrsti vodene pare koju proizvode (suhozasićena, pregrijana), vrsti goriva koje se koristi za izgaranje (prirodni plin, biomasa itd.), no u osnovi se dijele prema mediju koji prolazi njihovim cijevima na vatrocijevne i na vodocijevne.



Slika 1. Vodocijevni kotao [1]

Kod vodocijevnih kotlova se izgaranje odvija u ložištu koje je obloženo cijevima kroz koje prolazi voda i vodena para. U cijevima ovakvih kotlova se ostvaruju znatno veći tlakovi nego što to mogu izdržati bubnjevi velikih promjera kod vatrocijevnih kotlova.

Vatrocijevni kotlovi se u pravilu koriste za manja postrojenja. Kod njih se plamen stvara u prvom prolazu koji je oblika jedne cijevi, često orebrene radi povećanja površine prijelaza topline. Dimni plinovi iz prvog prolaza dalje struje u snopove cijevi koje predstavljaju ostale prolaze. Ovisno o konstrukciji i snazi vatrocijevni kotlovi se grade sa različitim brojem prolaza. Sve cijevi kroz koje prolaze dimni plinovi su najčešće potopljene u vodi. Ako se proizvodi pregrijana para onda dio cijevi može biti iznad razine vode ili se koristi pregrijač pare koji predstavlja izmjenjivač topline u koji kroz cijevi struji na ulazu suhozasićena para, a na cijevi nastrujavaju dimni plinovi nakon izlaska iz kotla ili između prolaza.



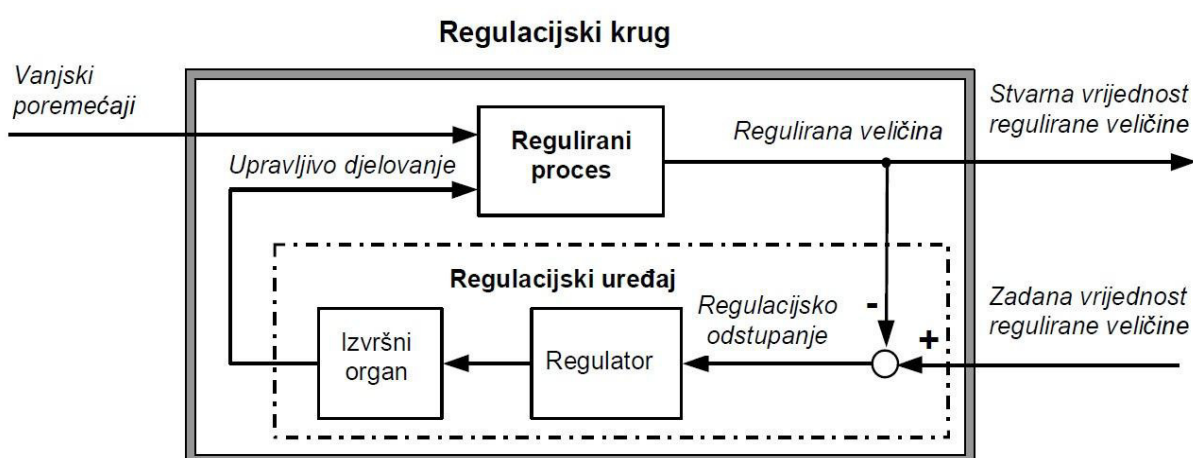
**Slika 2. Vatrocijevni kotao [2]**

Kako bi se postigla što bolja pretvorba energije tj. povećala iskoristivost, uz kotlove većih učinaka priključuju se dodatni dijelovi, kao što su pregrijač pare, zagrijač napojne vode, zagrijač zraka koji također koriste toplinsku energiju dimnih plinova dobivenu izgaranjem goriva.



## 2. Regulacija procesa

Procesna regulacija je djelovanje na neki tehnološki proces kako bi se jedna ili više procesnih veličina održavala na željenoj razini unatoč utjecajima okoline; također reguliranje. Razlika između zadane i stvarne vrijednosti regulirane veličine jest regulacijsko odstupanje (otklon). Regulacijski sustav s regulacijom jedne procesne veličine naziva se regulacijskim krugom. [3]



Slika 3. Regulacijski krug [3]

U slučaju kotla, svrha regulacije je postizanje željenih parametara pare (tlaka i temperature) i masenog protoka pare reguliranjem protoka zraka za izgaranje, goriva, napojne vode, reguliranjem otvorenosti ventila pregrijača kojim se para propušta prema mreži centralnog toplinskog sustava. Reguliranjem protoka zraka želi se postići optimalni odnos zraka i goriva radi što efikasnijeg procesa izgaranja sa minimalnim emisijama NO<sub>x</sub>. Protokom goriva se regulira količina dimnih plinova koji prenose toplinsku energiju na vodu i paru. Ta toplinska energija mora biti dovoljna da se postigne određena temperatura vode i pare u kotlu. Reguliranjem napojne vode nadomješta se isparena voda. Ova regulacija je jako bitna radi održavanja razine vode iznad cijevi kroz koje struje dimni plinovi. Regulacija otvorenosti ventila pregrijača ovisi o potražnji toplinske energije centraliziranog toplinskog sustava.

## 2.1. Regulatori parne kotlovnice

Regulator je uređaj kojim se informacija o regulacijskom odstupanju pretvara u informaciju o potrebnom intenzitetu upravljivoga djelovanja. Informacija o stvarnoj vrijednosti regulirane veličine dobiva se mjerenjem s pomoću mjernoga pretvarača, a prenosi se signalom mjerene vrijednosti. Informacija o zadanoj vrijednosti dovodi se istoimenim signalom ili je u nekom obliku pohranjena u regulatoru. [3]

Regulatori su ključne komponente u sustavu čiji je zadatak održati procesne varijable i cjelokupni proces na željenim, odnosno optimalnim vrijednostima. O djelovanju regulatora ovisi kvaliteta proizvoda, stabilnost postrojenja te utrošak energije i ostalih pomoćnih medija. [4]

Djelovanje regulatora na upravljivo djelovanje može biti diskontinuirano ili kontinuirano. Primjer diskontinuirane regulacije je dvopoložajna regulacija. Ostvaruje se uključivanjem, odnosno isključivanjem upravljivoga djelovanja kada vrijednost regulirane veličine prekorači donju, odnosno gornju granicu područja neosjetljivosti regulatora. Kod zahtjevnijih procesa, primjerice u energetske i procesnim postrojenjima, pretežito se primjenjuje kontinuirana regulacija, u kojoj upravljački signal može poprimiti bilo koju vrijednost unutar radnoga područja. [3]

Neki uobičajeni regulatori koji se mogu upotrijebiti kod kontinuirane regulacije su: P, PI, PD i PID. Temelje se na tri vrste osnovnih ponašanja:

- proporcionalnom (P) koje koristi sadašnju regulacijsku pogrešku,
- integracijskom (I) koji koristi prošlu regulacijsku pogrešku,
- derivacijskom (D) koji koristi buduću regulacijsku pogrešku. [4]

Najjednostavniji kontinuirani regulator je onaj sa samo proporcionalnim djelovanjem kod kojeg je izlazna veličina regulatora proporcionalna signalu pogreške. Nedostatak proporcionalnog regulatora je preostalo regulacijsko odstupanje (engl. *offset*), što znači da nakon djelovanja regulatora uvijek postoji razlika između željene vrijednosti i stvarne vrijednosti vođene veličine. [5] Izlaz iz regulatora (P) računa se kao:

$$P = K_c \cdot e$$

$K_c$  – pojačanje regulatora

$e$  – signal pogreške (odsupanje)

Integracijsko djelovanje (engl. *integral action, reset*) predstavlja integraciju signala pogreške. To znači da se integracijskim djelovanjem vrijednost upravljačke veličine mijenja brzinom koja je proporcionalna pogrešci. U praksi se povezuje proporcionalnim (PI-regulacija). Takav regulator ima prednosti oba djelovanja i najčešće se primjenjuje u praksi. Prednost PI-regulacije je ta što integracijsko djelovanje uklanja preostalo regulacijsko odstupanje (engl. *offset*). [5] Osnovni algoritam vođenja PI-regulacije je sljedeći:

$$P = K_c \left( e + \frac{1}{\tau_i} \int e dt \right)$$

$K_c$  – pojačanje regulatora

$\tau_i$  – integracijska konstanta (vrijeme integracije)

Derivacijsko djelovanje temelji se na brzini promjene signala pogreške ( $e$ ) i nikad ne dolazi samostalno. Prema tome, derivacijsko djelovanje (engl. *derivative action, rate*) uvijek se javlja zajedno s proporcionalnim. [5] Algoritam proporcionalno-derivacijskog (PD) regulatora je:

$$P = K_c \left( e + \tau_d \frac{de}{dt} \right)$$

$\tau_d$  – derivacijska konstanta

Dodavanjem derivacijskog djelovanja u regulator dodaje se prethođenje (engl. *lead*) da bi se kompenzirala zadržka (engl. *lag*) u krugu. Gotovo svaki proces ima manju ili veću zadržku i zato je prethođenje u regulatoru teorijski poželjno. [5]

Proporcionalno-integracijsko-derivacijski regulator ili regulator s tri djelovanja (engl. *three-mode*) standardni je kontinuirani regulator za vođenje povratnom vezom:

$$P = K_c \left( e + \frac{1}{\tau_i} \int e dt + \tau_d \frac{de}{dt} \right)$$

Taj regulator ima brzi odziv, nema preostalog regulacijskog odstupanja. [5]

### 3. Upuštanje parnog kotla u pogon

Zbog vršnih opterećenja u centralnom toplinskom sustavu (CTS-u) kotao mora biti fleksibilan po pitanju promjene snage i brzine upuštanja u pogon. Vrijeme koje je potrebno da radni parametri kotla poprime traženu vrijednost ovisi o veličini kotla i vremenu u kojem je kotao bio izvan pogona. Brzina upuštanja u pogon je prvenstveno ograničena zbog toplinskih naprezanja koja nastaju porastom temperature. Što je kotao veći i hladniji to je dulje vrijeme upuštanja u pogon. Zbog toga kotlovi za pokrivanje vršnih opterećenja imaju manju snagu od onih toplinskih izvora koji pokrivaju bazna toplinska opterećenja.

Kod hladnog starta vatrocijevni kotao je podvrgnut velikim toplinskim naprezanjima. S unutarnje strane cijevi struje dimni plinovi na temperaturi do 2000 °C (temperatura izgaranja), a s vanjske strane cijevi u početku se nalazi voda najčešće temperature od 20°C. Uzrok velikih naprezanja je razlika temperature između cijevi, kroz koje struje dimni plinovi visoke temperature, i ostalih krutih dijelova kotla koji su u kontaktu sa cijevima. Ta razlika temperature je puno veća kod hladnog starta nego pri nominalnom režimu rada kotla. Cijevima raste temperature te im se povećava volumen. To izaziva toplinska naprezanja koja se prenose na ostale dijelove kotla. Hladni start je neizbježan kod prvog upuštanja u pogon, ali također do njega dolazi kada kotao ne radi kontinuirano već se uključuje npr. nakon vikenda ili ako se uključuje u jutarnjim satima.

Topli start kotla je puno brži pošto je početna temperatura kotla blizu radne temperature i dijelovi kotla koji su pod utjecajem visoke temperature dimnih plinova su već zagrijani. Toplinska energija za topli start se dobiva iz nekog drugog izvora pare. To može biti iz druge kotlovnice, iz kogeneracijske termoelektrane ili iz mreže centraliziranog toplinskog sustava. Para koja se dovodi prolazi kroz izmjenjivač topline na kotlu i zagrijava ga. Priprema kotla za topli start je stoga moguć ako kotao radi kao pomoćni izvor toplinske energije.

Da bi se omogućilo upuštanje kotla u pogon potrebni su određeni pregledi kotla i sigurnosne mjere. Neispravnim rukovođenjem kotla pri uključivanju može doći do potencijalnog oštećenja kotla i do ugrožavanja radnika i drugih ljudi u blizini prostora parne kotlovnice.

Prije bilo kakvih pregleda ili odvajanja cijevi za dovod goriva:

- svi glavni ventili za dovod plina moraju biti zatvoreni,
- dovod plina za pomoćni plamenik je također potrebno prekinuti,
- svi djelovi kotla moraju u svakom trenutku biti priključeni na predviđenom mjestu osim tokom servisiranja. [6]

Prije upuštanja parnog kotla u pogon potrebno je napraviti određene preglede kotla, sustava za opskrbu vodom, dovoda goriva i zraka. Prije nego što se kotao napuni s vodom potrebno ga je pregledati iznutra i izvana. Unutarnjim pregledom se utvrđuje ima li krhotina, ulja, kamenca ili drugih stranih materijala. Ako je napravljen remont kotla potrebno je očistiti sve krhotine i nečistoće koje su mogle nastati mogućim popravcima i ukloniti sav alat koji je mogao ostati u kotlu. Svi otvori za zrak, dimne plinove i paru se moraju pregledati kako u njima ne bi bilo krhotina ili nečistoća koje bi otežavale strujanje. Prvi prolaz parnog kotla u kojemu se odvija izgaranje treba pregledati radi nečistoća i drugih nepoželjnih materijala. Plamenik treba pregledati radi mogućih nečistoća. Razina vode u kotlu mora biti dovoljna da sve cijevi kroz koje struje dimni plinovi budu potopljene. Prije punjenja kotla s vodom treba provjeriti otvore kroz koje struji zrak koji izlazi iz kotla dok se kotao puni.

Funkcionalnost sustava za opskrbu vodom se mora pregledati ako nije bio u funkciji kao i kotao. Svi ventili moraju biti otvoreni od primarnog izvora vode sve do kotla. Razina vode u napojnom spremniku i u spremniku kemijski neobrađene vode moraju biti na propisanim razinama. Otplinjač mora biti funkcionalan i napunjen. Oprema za kemijsku obradu vode mora biti funkcionalna.

Svi potrebni ventili za dovod goriva glavnom i pomoćnom plameniku moraju biti otvoreni. Ulje mora biti na propisanoj temperaturi i tlaku, a plin također mora biti na propisanom tlaku. Glavni ventili za dovod goriva moraju biti u propisanoj poziciji za upuštanje u pogon. Ventilator se mora uključiti i provjeriti rad pri nominalnoj snazi. Pošto ventilator koristi zrak iz kotlovnice treba provjeriti otvorenost žaluzija u parnoj kotlovnici radi sigurne opskrbe zraka ventilatorom (jako bitno u zimskim danima kada ih led može zatvoriti ili spriječiti protok zraka). [7]

Nakon svih potrebnih kontrola, pregleda i punjenja kotla s vodom slijedi postupak izgaranja. Iako većina kotlova ima različite sustave izgaranja, većina ih slijedi iste korake. To su:

1. propuhivanje sa ventilatorom
2. smanjivanje snage ventilatora radi stabilnog izgaranja
3. paljenje pomoćnog plamenika
4. paljenje glavnog plamenika [7]

Mali kotlovi često imaju potpuno automatiziran sustav izgaranja. Stariji ili neki posebni kotlovi imaju potpuno ručni sustav. Većina kotlova ima kombinirani sustav izgaranja tako da su prva dva koraka automatizirana, a zadnja dva zahtjevaju operatera koji će u određeno vrijeme uključiti plamenik.[7]

Snaga plamenika se određuje preko protoka plina. Da bi se dobili točni podaci protoka, plin se na mjestu montiranog protokomjera ne smije koristiti za druge uređaje ili strojeve, već samo za kotao. Ako protokomjer nije kalibriran za tlak i temperaturu plina potrebno je koristiti korekcijske faktore da bi se dobila što točnija vrijednost. [6]

Kotao mora biti opremljen mjernom opremom za nadziranje plamena. Najčešće se mjerenje vrši termoparom. Svrha termopara je slanje signala u slučaju da se plamen ugasi. Kad bi došlo do gašenja plamena automatski se zatvara glavni ventil za dovod plina. [6]

## 4. Parna kotlovnica

Shema parne kotlovnice nalazi se u prilogu.

Parna kotlovnica za vršna opterećenja spaja se na:

- postojeći parovod tehnološke pare
- postojeći sustav za dobavu demineralizirane vode
- postojeći niskotlačni plinovod

Parna kotlovnica sastoji se od:

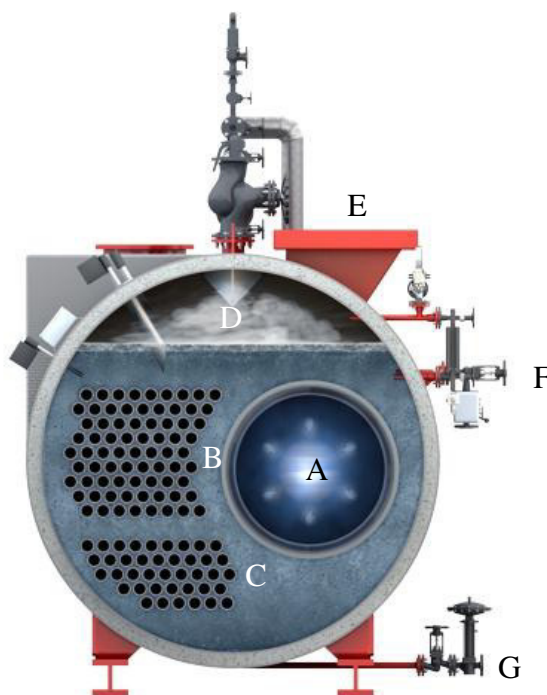
- plinske redukcijske stanice kotlovnice
- spremnika rezervnog tekućeg goriva ekstra lakog loživog ulja (ELLU) s istakalištem
- napojnog spremnika
- ekspanzijskog modula s obradom ispusne vode i regeneracijom topline
- razdjelnika pare sa spojem na postojeći parovod pare za potrošače
- parnog kotla s dimnjakom

Primarno pogonsko gorivo je prirodni plin, a za slučaj prekida dobave prirodnog plina predviđeno je rezervno tekuće gorivo ekstra lako loživo ulje (ELLU). U kotlovnici se nalazi kotao sa svojim pomoćnim postrojenjima te dio zajedničkih postrojenja kao što je zatvoreni prostor komande i elektropostrojenja. U produžetku osi dimovodnog kanala nalazi se dimnjak kojim se ispušni plinovi vode u atmosferu.

### 4.1. Parni kotao

Parni kotao korišten u kotlovnici vatrocijevnog je tipa. Zrak se dobavlja ventilatorom koji je montiran na kotao. Kotao sadrži tri prolaza. Prvi prolaz se sastoji od jedne cijevi u kojoj se odvija izgaranje. Nakon prvog prolaza dimni plinovi ulaze u drugi prolaz koji se sastoji od snopa cijevi. Nakon drugog prolaza dimni plinovi, u slučaju upuštanja u pogon, ulaze u treći prolaz koji se također sastoji od snopa cijevi. Kotao je projektiran tako da treći prolaz ima manji poprečni presjek strujanja dimnih plinova od drugog prolaza. Razlog tome je

taj što se hlađenjem dimnih plinova smanjuje njihov volumen, te se tako osigurava potrebna brzina strujanja dimnih plinova u trećem prolazu. Na slici 4 vidi se da treći prolaz kotla ima manji broj cijevi koje su istog promjera kao i cijevi drugog prolaza.



**Slika 4. Poprečni presjek kotla**

A – prvi prolaz u kojem se odvija izgaranje (plamenica)

B – drugi prolaz (snop cijevi)

C – treći prolaz (snop cijevi)

D– suhozasićena para

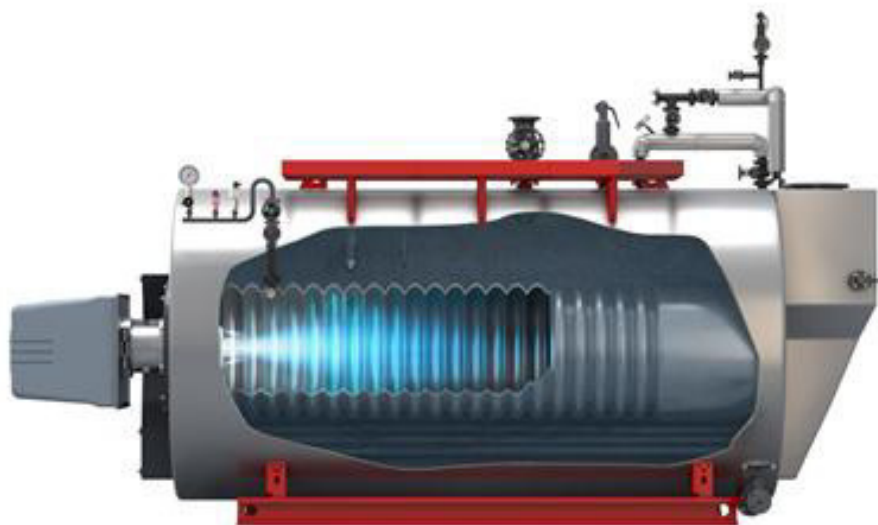
E – platforma za servisiranje

F - vodokaz

G – ispust vode

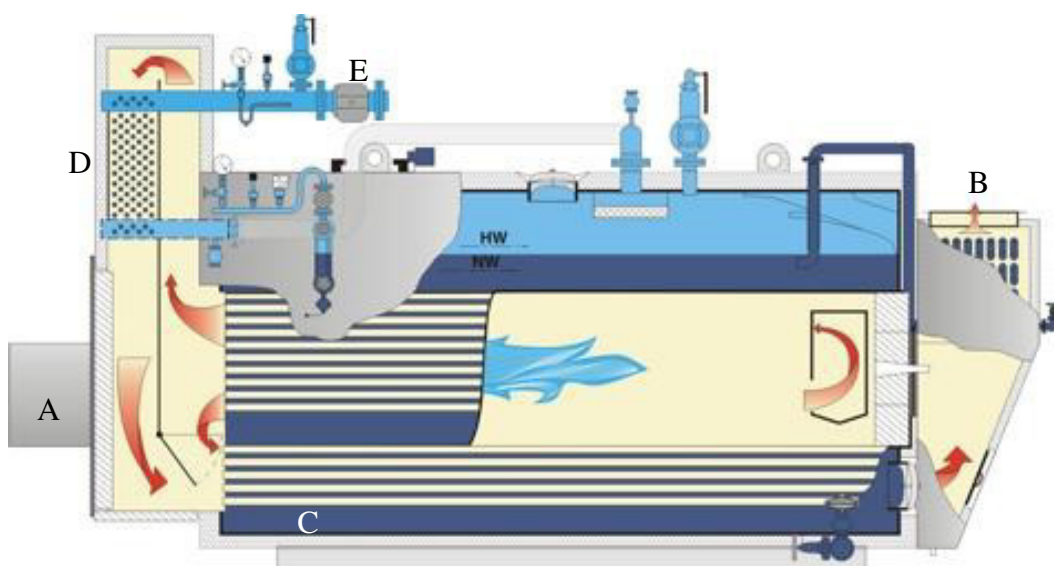
Pošto se prvi prolaz sastoji od samo jedne cijevi velikog promjera, u odnosu na druga dva prolaza, ta cijev je otebrena zato da se dobije veća površina izmjene topline dimnih plinova sa vodom kao što se vidi na slici 5.





**Slika 5. Presjek prvog prolaza kotla**

Kada kotao dosegne radne parametre (tlak od 15 bara, temperaturu vode i suhozasićene pare od 200 °C), otvara se zaklopka te se dimni plinovi nakon izlaza iz drugog prolaza usmjeravaju na pregrijač (slika 6.). Nakon pregrijača dimni plinovi ulaze u treći prolaz i izlaze iz kotla. Regulacija temperature pregrijane pare ostvaruje se putem zaklopke za strujanje dimnih plinova. Zaklopka se aktivira u ovisnosti od odstupanja temperature pregrijane vodene pare od prethodno namještene zadane vrijednosti. Ovisno od položaja zaklopke, dio dimnih plinova obilazi pregrijač i odlazi izravno u dimnovodni kanal.



**Slika 6. Uzdužni presjek kotla**

A – plamenik

B – izlaz dimnog plina

C – treći prolaz dimnih plinova (snop cijevi)

D - pregrijač

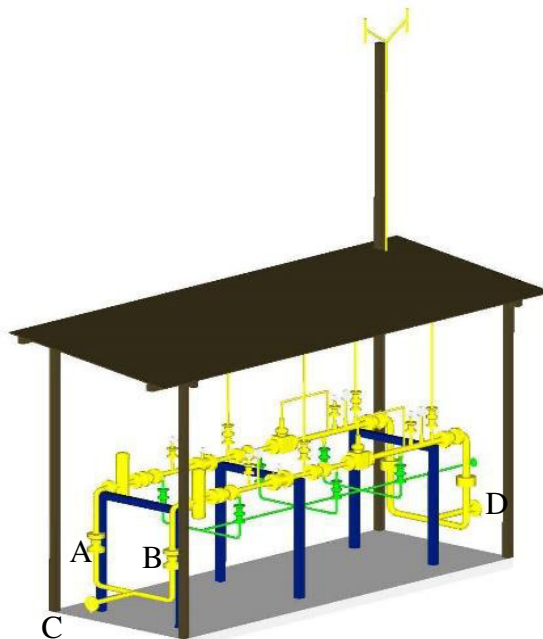
E – izlazni vod pregrijane pare

Kotao je opremljen toplinskom i zvučnom izolacijom koja osigurava da temperatura na njenoj površine ne bude previsoka i da se udovolji zahtjevima praktičnosti kod servisiranja elemenata kotla i njegovog popravka.

Uređaj za održavanje kotla u toplinskom režimu pomoću spiralnog parnog grijača nalazi se u podnici. Služi za brže upuštanje u pogon

#### 4.2. Plinsko redukcijaska stanica

Plinska redukcijaska stanica kotlovnice (2x100 %) nalazi se uz postojeću plinsku rampu te se snabdijeva iz priključka na postojeći cjevovod prirodnog plina tlaka 6 bar(p).



Slika 7. Plinsko redukcijaska stanica kotlovnice

A – glavna linija

B – rezervna linija

C – priključak na postojeći plinovod

D – izlaz prema kotlovnici

Postrojenje reducira tlak plina na 2 bar(p) te se plin vodi cjevovodom do mjerno-regulacijskog modula kotla koji se nalazi u kotlovnici. Plin se dalje vodi cjevovodom do plamenika kotla. Stanica se sastoji od dvije identične linije od kojih je jedna pogonska, a druga rezervna. Svaka grana sadrži filter za pročišćavanje plina i integrirani regulacijsko-blokadni ventil, sigurnosni ventil i svu potrebnu armaturu za izolaciju i odzračivanje pojedinih elemenata. Blokadni ventil je sigurnosni uređaj koji u slučaju povećanja izlaznog tlaka iznad podešene vrijednosti prekida protok plina.

U slučaju potrebe za zamjenom filtarskih uložaka radi onečišćenja, u pogon se stavlja druga linija. Linija na kojoj se mijenja uložak se izolira iz pogona, prazni preko odzrake i puni dušikom iz boce. Tlak i temperatura plina registriraju se pomoću zasebnih senzora u plinskoj cijevi.

#### 4.3. Modul za regulaciju plina

Modul regulira konstantni tlak plina od 2 bar(p) ispred plamenika, neovisno o visini ulaznog tlaka i protočne količine plina. Korištenjem ovog modula povećava se radna sigurnost tako što se osiguravaju potrebni tlak i protok plina.



Slika 8. Modul za regulaciju plina

#### 4.4. Spremnik ELLU

Spremnik je smješten uz kotlovnicu. Volumen mu iznosi 50 m<sup>3</sup>. Ukopan je u zemlju i prekriven slojem debljine 1 m. Sedlima je oslonjen na betonsko postolje i osiguran čeličnim obujmicama od isplivanja kod pojave podzemnih voda. Spremnik je dvoplašni radi

sprečavanja zagađenja tla uslijed eventualnog propuštanja unutarnjeg plašta. U produžetku spremnika goriva nalazi se istakalište iz kojeg se spremnik tekućeg goriva puni iz autocisterne. Sustav za dobavu tekućeg goriva, namijenjen napajanju plamenika kotla rezervnim gorivom, nalazi se u prostoru kotlovnice.

Dimenzije:

Promjer:  $\varnothing$  2538mm – vanjska dužina: 10838 mm

Materijal izrade: čelična crna pločevina Č.0362 HRN C.BO.500

Debljina stjenke plašta; unutarnja 7 mm i vanjska 5 mm

Metalno okno: 1200 x 1200 x 1000-1500 mm ( ŠxDxV ), čel. lim. debljine 10 mm, pocinčani poklopac.

#### 4.5. Modul opskrbe uljem OSM

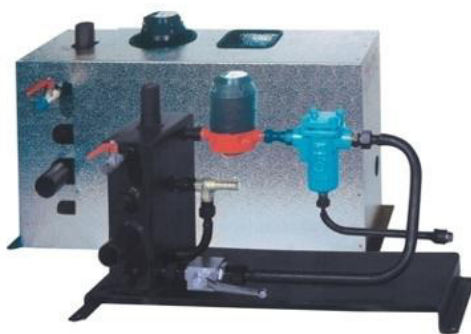
Modul za opskrbu loživim uljem OSM koristi se za transport i filtriranje fosilnih goriva u prstenastim vodovima za opskrbu jednog ili više plamenika. Predmontiran je kao pojedinačna ili dvostruka stanica, sa svim armaturama, u koritu za hvatanje ulja, za jednostavnu ugradnju u prstenasti vod. Dvostruka stanica omogućava čišćenje filtra bez potrebe za prekidom pogona kotla i pruža 100%-tnu rezervu. Modul za transport teškog loživog ulja opremljen je električnim i kombiniranim grijanjem vodenom parom ili toplom vodom. [8]



Slika 9. Modul opskrbe uljem OSM

#### 4.6. Modul optoka ulja OCM

Modul za cirkulaciju loživog ulja priprema tekuće gorivo i registrira količinski protok. To je modul spreman za priključak, za svaki plamenik, za jednostavnu ugradnju u prstenaste vodove, s predtlakom od min. 1,5 bar. Prijemna posuda za ulje s dvije komore izvedena je za plamenik sa sustavom povratne sapnice, koji pod tlakom raspršuje lako i teško loživo ulje. Modul cirkulacije ulja sažet je već montiran u kompaktnoj jedinici na ploči nosača i isporučuje se sa zaštitnom haubom.



Slika 10. Modul optoka ulja OCM

Modul sadrži prijemnu posudu za ulje s dvije komore, armaturu filtra, pokazivač količine loživog ulja, zaporni organ, armaturu za osiguranje od pretlaka, odzračni zaporni organ, kao i dva čepa za odzračivanje. Pogon na teško loživo ulje, dodatno sadrži grijanje za filter i spremnik. [8]

#### 4.7. Napojni spremnik i pumpe

Napojne pumpe dovode vodu u napojni spremnik. Regulacija protoka, demineralizirane vode u napojni spremnik, ostvaruje se pomoću frekvencijskog pretvarača kojim se regulira brzina vrtnje pumpe. Za postizanje visoke kvalitete vodene pare pri intenzivnim promjenama opterećenja i brzim vršnim opterećenjima potrebno je održavati konstantnu razinu vode u kotlu.



Slika 11. Napojni spremnik

#### 4.8. Ekspanzijski modul s obradom ispusne vode i regeneracije topline EHB

Sastoji se od kombinacije dva modula:

- modul ispusne vode, ekspanzije i hlađenja BEM
- modul ekspanzije i regeneracije topline EHM

##### BEM

Služi za prihvatanje svih odvodnji postrojenja parnog kotla. Te odvodnje su uglavnom povišene temperature. Prikupljaju se u modulu, ekspandiraju i hlade se na dopuštenu temperaturu radi ispusta.[8]

##### EHM

Dobiva natrag veliki dio sadržane količine topline iz odvodnji/kondenzata kotlovskog postrojenja. U ekspanzijskom spremniku ekspandira voda. Pri tome nastaje para koja se koristi za grijanje spremnika napojne vode. U sekundarnom izmjenjivaču topline predgrijava se napojna voda kotlovskog postrojenja. Time se odvodnje/kondenzati hlade dovoljno za ispust.[8]

## EHB

Ekspanzijski modul s obradom ispusne vode i regeneracije topline (EHB) namijenjen je za ekspanziju i hlađenje vode za odsoljavanje i odmuljivanje i drugih odvodnji kotlovskeg postrojenja.



**Slika 12. Ekspanzijski modul s obradom ispusne vode i regeneracije topline EHB**

Modul regenerira znatan dio toplinske energije sadržane u otpadnim vodama kotlovskeg postrojenja i pridonosi otplinjavanju u napojnom spremniku i zagrijava dio demineralizirane vode za napajanje kotla. U spremniku za hlađenje prikuplja se otpadna voda i po potrebi dodatno ohlađuje.[8]

### **4.9. Razdjelnik pare**

Para se iz pregrijača parovodom dovodi u razdjelnik pregrijane pare . Iz razdjelnika pregrijana para cjevovodom spojenim na glavni (postojeći) cjevovod za isporuku topline odlazi potrošačima. Istim cjevovodom para iz glavnog (postojećeg) cjevovoda dolazi u kotlovnici kada je ona izvan pogona a priprema se za start ili se održava u pripravnosti za start. Jedan od priključaka na kolektoru služi za dovod pare s kojom se kotao održava u toplom stanju radi pogonske spremnosti.

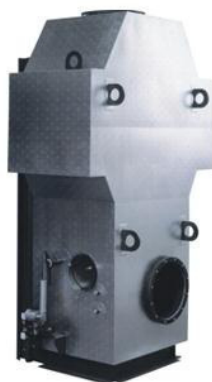


**Slika 13. Razdjelnik pare**

Zadnji priključak služi za napajanje deaeratora i napojnog spremnika za vrijeme pogonske spremnosti i kada je kotlovnica u pogonu.

#### **4.10. Zagrijač napojne vode (ekonomajzer)**

Zagrijač napojne vode ECO je izmjenjivač topline zavarene izvedbe integriran na kotao montiranjem na stražnju dimovodnu komoru, nakon 3. prolaza kotla.



**Slika 14. Zagrijač napojne vode ECO**

Zagrijač je izveden s priključnim nastavcima za ulaz vode, izlaz vode i odvodnju, uključujući i revizioni otvor na strani dimnih plinova.

#### **4.11. Uređaj za analizu vode**

Trošenje kotla pri uporabi ovisno je o kvaliteti vode. Uređaj za analizu vode koristi se za analiziranje:



- napojne vode prije ulaska u napojni spremnik i EHB,
- kotlovske vode.

Obavlja kontinuirano mjerenje i nadzor:

- pH vrijednost u napojnoj vodi,
- O<sub>2</sub> sadržaj u napojnoj vodi,
- Tvrdoća vode,
- pH-vrijednost u kotlovskoj vodi.



**Slika 15. Uređaj za analizu vode**

Svi podaci prenose se u sustav upravljanja postrojenjem. Time se svi relevantni parametri vode, zajedno s provodljivošću kotlovske vode i provodljivošću kondenzata, nalaze u sustavu.

**Prednosti:**

- Smanjena količina doziranog sredstva zbog kontinuiranog mjerenja i regulacije,
- Povećanje radne sigurnosti zbog analitički točnih mjerenih podataka,
- Ušteda vremena zbog automatiziranog mjerenja,
- Mogućnost brze reakcije u slučaju odstupanja zbog trenutne signalizacije,
- Smanjenje štete uslijed neodgovarajućih parametara vode,
- Smanjenje gubitaka odsoljavanja i odstranjivanja mulja zbog doziranja u skladu s potrebama,

- Smanjenje količine vode za nadopunu, doziranog sredstva i pregrijane pare zbog malih gubitaka odsoljavanja i odstranjivanja mulja.[8]

#### **4.12. Preduvjeti za upuštanje u pogon**

Preduvjeti za upuštanje:

- a) Kotao ne može raditi ako napojna pumpa pogonjena elektromotorom nije u pogonu.
- b) Kotao se ne može upustiti u pogon ako je razina vode u isparivaču nedovoljna.
- c) Kotao se ne može upustiti u pogon ako je razina vode u napojnom spremniku nedovoljna.
- d) Kotao se ne može upustiti u pogon ako tlak goriva prirodnog plina nije unutar propisanih granica.

## 5. Matematički model

Matematički model je:

- skup matematičkih izraza koji opisuju uzročne veze između stanja sustava, njegove strukture i utjecaja koji su to stanje izazvali,
- točna definicija ponašanja nekog idealiziranog sustava, koji je više ili manje sličan modeliranom realnom sustavu.

Uzročne veze je moguće matematički formulirati tek uz uvođenje određenih pretpostavki tj. aproksimacija. Što je opis potpuniji i točniji, to je složeniji i manje prikladan za primjenu. Teži se kompromisu između točnosti matematičkog modela i prikladnosti za korištenje. [3]

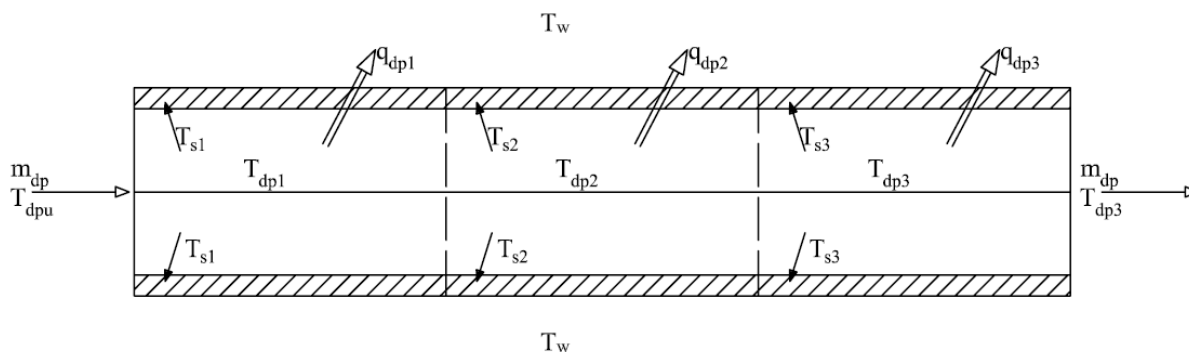
Za postavljanje matematičkog modela koriste se diferencijalne jednadžbe očuvanja energije s kojima se opisuje promjena temperature dimnih plinova, stijenke, vode i pregrijane pare. Energiju za zagrijavanje vode i pregrijanje pare dobiva se izgaranjem goriva. Medij koji prenosi energiju su dimni plinovi koji nastaju kao produkt izgaranja. Radi pojednostavljenja matematičkog modela definirane su određene pretpostavke koje vrijede za model upuštanja u pogon, ali i za rad pri promjenjivom opterećenju. Te pretpostavke su:

- izmjena topline kotla s okolinom se ne uzima se u obzir,
- temperatura plina za izgaranje je konstantna,
- temperatura zraka za izgaranje je konstantna,
- omjer zraka i goriva za izgaranje je konstantan,
- dimni plinovi stoga imaju konstantnu temperaturu na ulazu u kotao, ta temperatura iznosi 2000 °C,
- regulacija snage plamenika definira se masenim protokom dimnih plinova.

Parni kotao se promatra kao skup izmjenjivača topline. Svaki od tri prolaza i pregrijač predstavljaju izmjenjivače topline. Matematički model za izmjenjivač topline postavlja se diskretizacijom. To znači da se svaki prolaz podijeli na segmente. Uobičajena podjela je na tri segmenta.

## 5.1. Isparivački dio

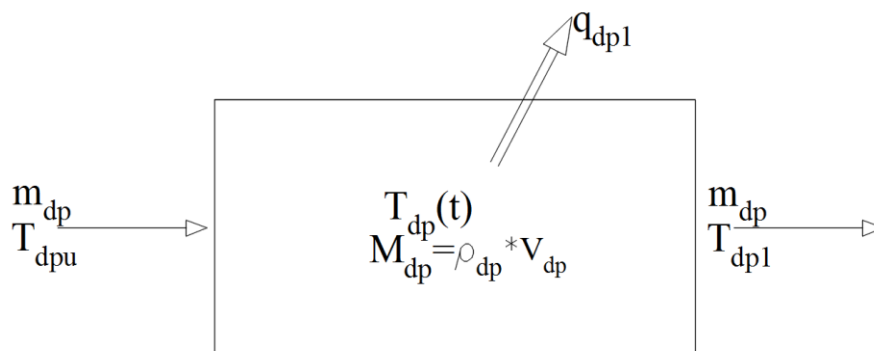
Isparivački dio se sastoji od tri prolaza koji su potopljeni u vodi. Kroz cijevi prolaze dimni plinovi. Segmentiranje prolaza prikazano je na slici



Slika 16. Segmentiranje cijevi

Sada je potrebno analizirati svaki segment pojedinačno tako da se podijeli na dimne plinove i stijenku.

### Dimni plinovi



Slika 17. Prvi segment dimnih plinova

Jednadžba očuvanja energije:

$$M_{dpi} \cdot c_{dpi} \cdot \frac{dT_{dpi}}{dt} = m_{dp} \cdot c_{dpi} \cdot (T_{dpu} - T_{dpi}) - q_{dpi}$$

$M_{dpi}$  – masa dimnih plinova u segmentu

$c_{dpi}$  – specifični toplinski kapacitet dimnih plinova jednog prolaza

$m_{dp}$  – maseni protok dimnih plinova

$T_{dpu}$  – temperatura dimnih plinova na ulazu u prolaz

$T_{dp1}$  – temperatura dimnih plinova na izlazu iz prvog segmenta

$i=1, 2, 3, p$  – brojke označavaju broj prolaza, a  $p$  označava pregrijač

Toplinski tok koji se izmjenjuje sa stijenkom:

$$q_{dp1} = \alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{s1})$$

$\alpha_{dp}$  – koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova

$A_{dpi}$  – površina izmjene topline jednog segmenta na strani dimnih plinova

$T_{s1}$  – temperatura stijenke prvog segmenta

Promjena temperature dimnih plinova prvog segmenta:

$$\frac{dT_{dp1}}{dt} = \frac{m_{dp} \cdot c_{dpi} \cdot (T_{dpu} - T_{dp1}) - \alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{s1})}{M_{dpi} \cdot c_{dpi}}$$

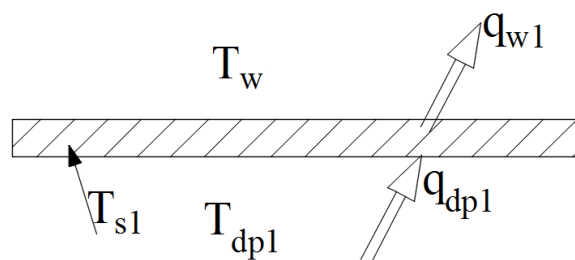
Na isti način se dobije jednačba promjene temperature dimnih plinova drugog i trećeg segmenta.

Promjena temperature dimnih plinova drugog segmenta:

$$\frac{dT_{dp2}}{dt} = \frac{m_{dp} \cdot c_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{dp2}) - \alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{s2})}{M_{dpi} \cdot c_{dp}}$$

Promjena temperature dimnih plinova trećeg segmenta:

$$\frac{dT_{dp3}}{dt} = \frac{m_{dp} \cdot c_{dpi} \cdot (T_{dp2} - T_{dp3}) - \alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp2} - T_{s3})}{M_{dpi} \cdot c_{dpi}}$$

Stijenka

Slika 18. Prvi segment stijenke

Jednadžba očuvanja energije:

$$M_{si} \cdot c_{si} \cdot \frac{dT_{s1}}{dt} = q_{dp1} - q_{w1}$$

$M_{si}$  – masa stijenke u segmentu

$c_{si}$  – specifični toplinski kapacitet stijenke jednog prolaza

$T_{s1}$  – temperatura stijenke prvog segmenta

Dobiveni toplinski tok od dimnih plinova:

$$q_{dp1} = \alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{s1})$$

Toplinski tok predan vodi:

$$q_{w1} = \alpha_w \cdot A_{wi} \cdot (T_{s1} - T_w)$$

$\alpha_w$  – koeficijent prijelaza topline na strani vode

$A_{wi}$  – površina izmjene topline jednog segmenta na strani vode

$T_w$  – temperatura vode u kotlu

Promjena temperature stijenke prvog segmenta:

$$\frac{dT_{s1}}{dt} = \frac{\alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp1} - T_{s1}) - \alpha_w \cdot A_{wi} \cdot (T_{s1} - T_{w1})}{M_{si} \cdot c_s}$$

Na isti način se dobije jednačba promjene temperature stijenke drugog i trećeg segmenta.

Promjena temperature stijenke drugog segmenta:

$$\frac{dT_{s2}}{dt} = \frac{\alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp2} - T_{s2}) - \alpha_w \cdot A_{wi} \cdot (T_{s2} - T_{w2})}{M_{si} \cdot c_s}$$

Promjena temperature stijenke trećeg segmenta:

$$\frac{dT_{s3}}{dt} = \frac{\alpha_{dp} \cdot A_{dpi} \cdot (T_{dp3} - T_{s3}) - \alpha_w \cdot A_{wi} \cdot (T_{s3} - T_{w3})}{M_{si} \cdot c_s}$$

### Voda i suhozasićena para

Unutarnji volumen kotla može se podijeliti na volumen vode i volumen pare. Voda koja ispari se nadomješta sa napojnom vodom tj. razina vode u kotlu se održava konstantnom. Promjena gustoće suhozasićene pare zato ovisi samo o masenom protoku pare koja odlazi u pregrijač i masenom protoku isparene vode.

Jednačba očuvanja energije:

$$\frac{d\rho_p}{dt} = \frac{m_{szp} - m_{pp}}{V_p}$$

$\rho_p$  – gustoća pare

$m_{szp}$  – maseni protok suhozasićene pare

$m_{pp}$  – maseni protok pregrijane pare

Maseni protok suhozasićene pare ovisi o toplinskom toku dobivenom od strane stijenke:

$$m_{szp} = \frac{\sum_{j=1}^9 q_{wi}}{h'' - h'}$$

$q_{wi}$  – toplinski tok predan vodi sa segmenta cijevi

$h''$ - entalpija suhozasićene pare

$h'$ - entalpija vrele vode

Tlak u kotla ovisi o gustoći pare:

$$p = 2 \cdot \rho_p - 0,32$$

$p$  – tlak u kotlu

Promjena entalpije vode računa se kao:

$$\frac{dh_i}{dt} = \frac{1}{M_w} \left[ (h_u - h_i) \cdot m_w + \sum_{j=1}^9 q_{wi} \right]$$

$h_i$  - entalpija vode u kotlu

$h_u$  - entalpija napojne vode

$m_w$  - maseni protok napojne vode

## 5.2. Pregrijač

Pregrijač je drugačiji izmjenjivač topline od tri prolaza koji su u kotlu. Kroz cijevi pregrijača struji pregrijana para koja na ulazu ima temperaturu zasićenja za tlak u kotlu. Nazivni tlak iznosi 15 bara. Toplinski tok potreban za zagrijavanje pregrijane pare na 300 °C daju dimni plinovi koji nastupaju na cijevi pregrijača. Promjena temperature dimnih plinova i stijenke je ista kao kod isparivačkog dijela. Promjena entalpije pare slijedi:

$$M_{pp} \cdot \frac{dh_{pp1}}{dt} = m_{szp} \cdot (h_{szp} - h_{pp1}) + q_{pp1}$$

$M_{pp}$  – masa pregrijane pare u segmentu

$m_{szp}$  – maseni protok suhozasićene pare iz kotla prema pregrijaču

$h_{szp}$  – entalpija suhozasićene pare (u funkciji tlaka)

$h_{pp1}$  – entalpija pregrijane pare na izlazu iz prvog segmenta

Toplinski tok koji se izmjenjuje sa stijenkom:

$$q_{pp1} = \alpha_{pp} \cdot A_{up} \cdot (T_{sp1} - T_{pp1})$$



$\alpha_{pp}$  – koeficijent prijelaza topline na strani pregrijane pare

$A_{up}$  – površina izmjene topline jednog segmenta na strani pregrijane oare

$T_{sp1}$  – temperatura stijenke pregrijača na strani pregrijane pare

$T_{pp1}$  – temperatura pregrijane pare

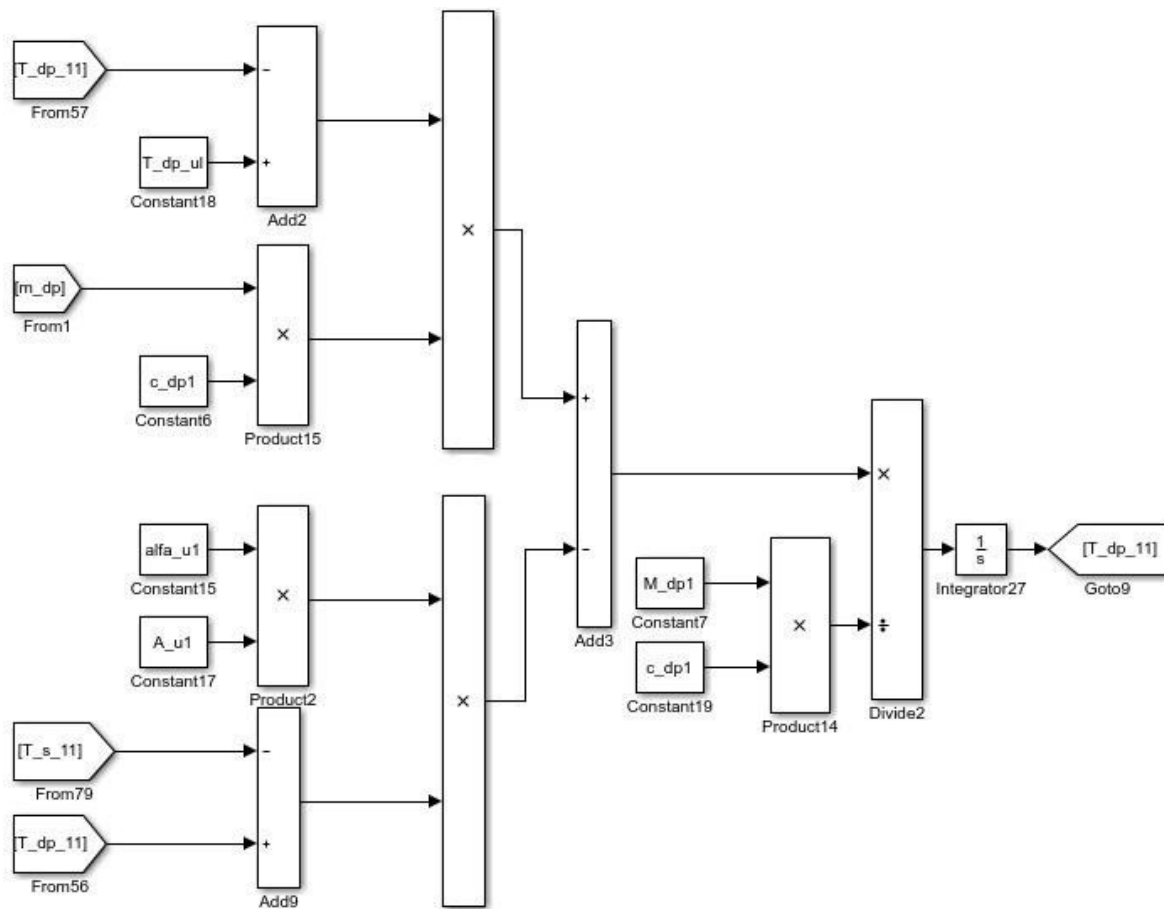
Temperatura pregrijane pare dobije se iz tlaka i entalpije pregrijane pare preko funkcije Xsteam što će biti objašnjeno u idućem poglavlju.

### 5.3. Matlab/Simulink

Matematički model se ubacuje u Simulink, a konstante poput koeficijenata prijelaza topline, površina, masa u segmentu itd. upisuju se matlab. Kod pregrijane pare, vode i suhozasićene pare potrebno je koristiti funkciju XSteam. Da bi se dobila temperatura vode u kotlu, ulazi u funkciju su tlak i entalpija vode. Iz tlaka i entalpije pregrijane pare također se dobije temperatura pare. Ulazna entalpija pare u pregrijač dobije se iz tlaka pare isto preko funkcije.

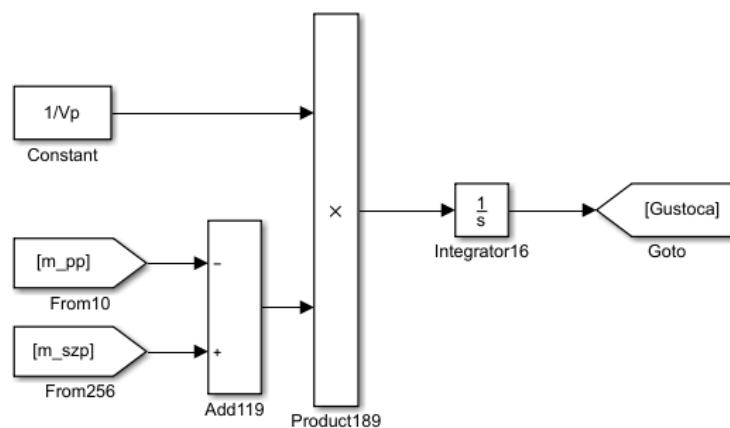
#### Dimni plinovi

Početni uvijet prvog segmenta prvog prolaza je temperatura dimnih plinova od 2000°C. Svaki idući segment za uvjet početne temperature ima izlaznu temperaturu prethodnog segmenta. Specifični toplinski kapacitet je različite vrijednosti za svaki prolaz i pregrijač. Najveći je za prvi prolaz zbog najveće temperature dimnih plinova.



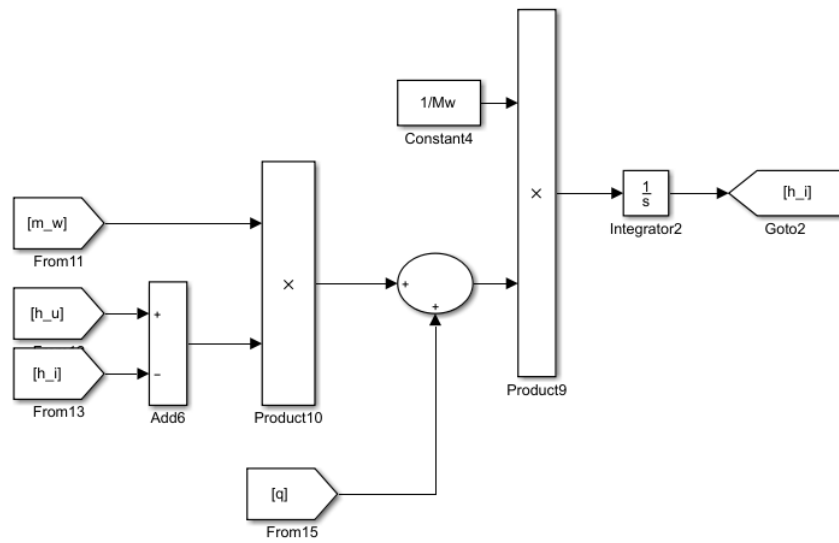
Slika 19. Simulink shema prvog segmenta dimnih plinova prvi prolaz

Voda



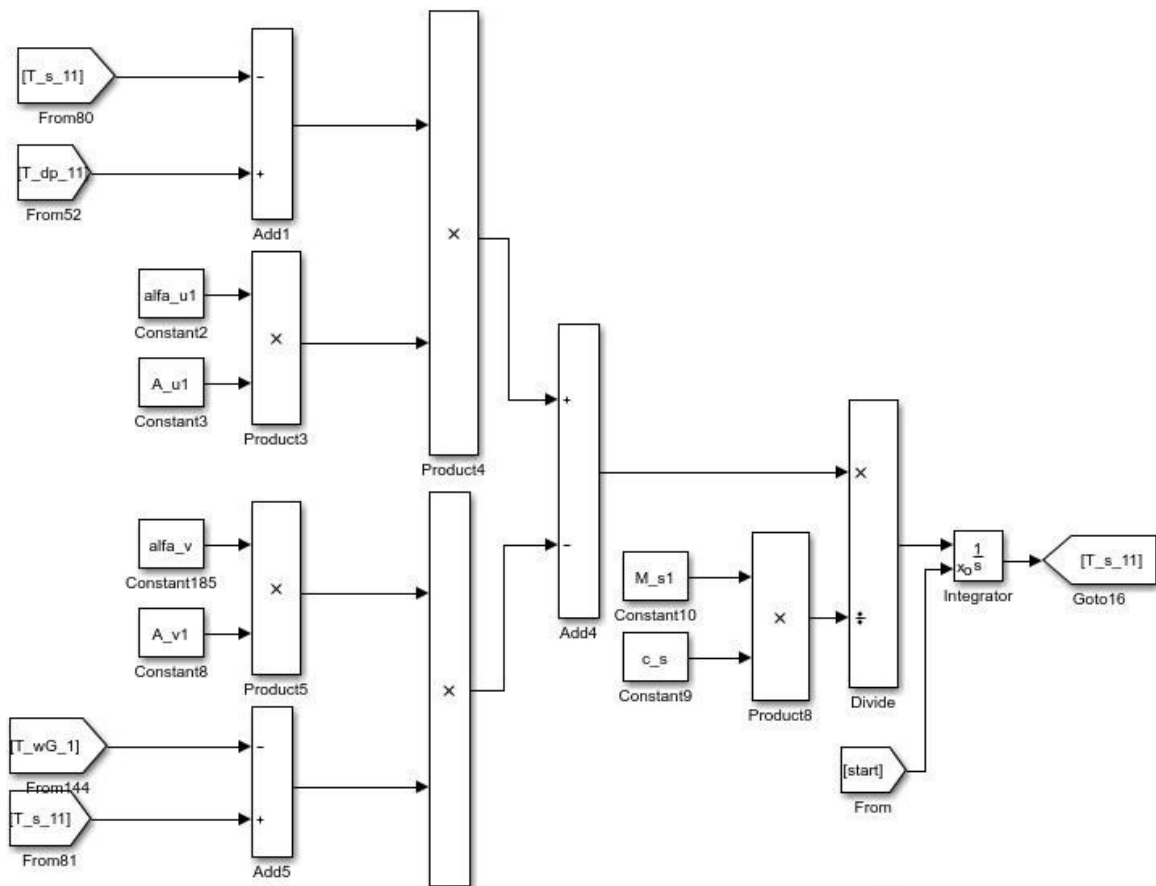
Slika 20. Simulink shema promjena gustoće pare u kotlu

Ulazna temperatura napojne vode iznosi 20°C. Koficijent prijelaza topline na strani vode je konstantan za sve prolaze.



Slika 21. Simulink shema promjene entalpije vode

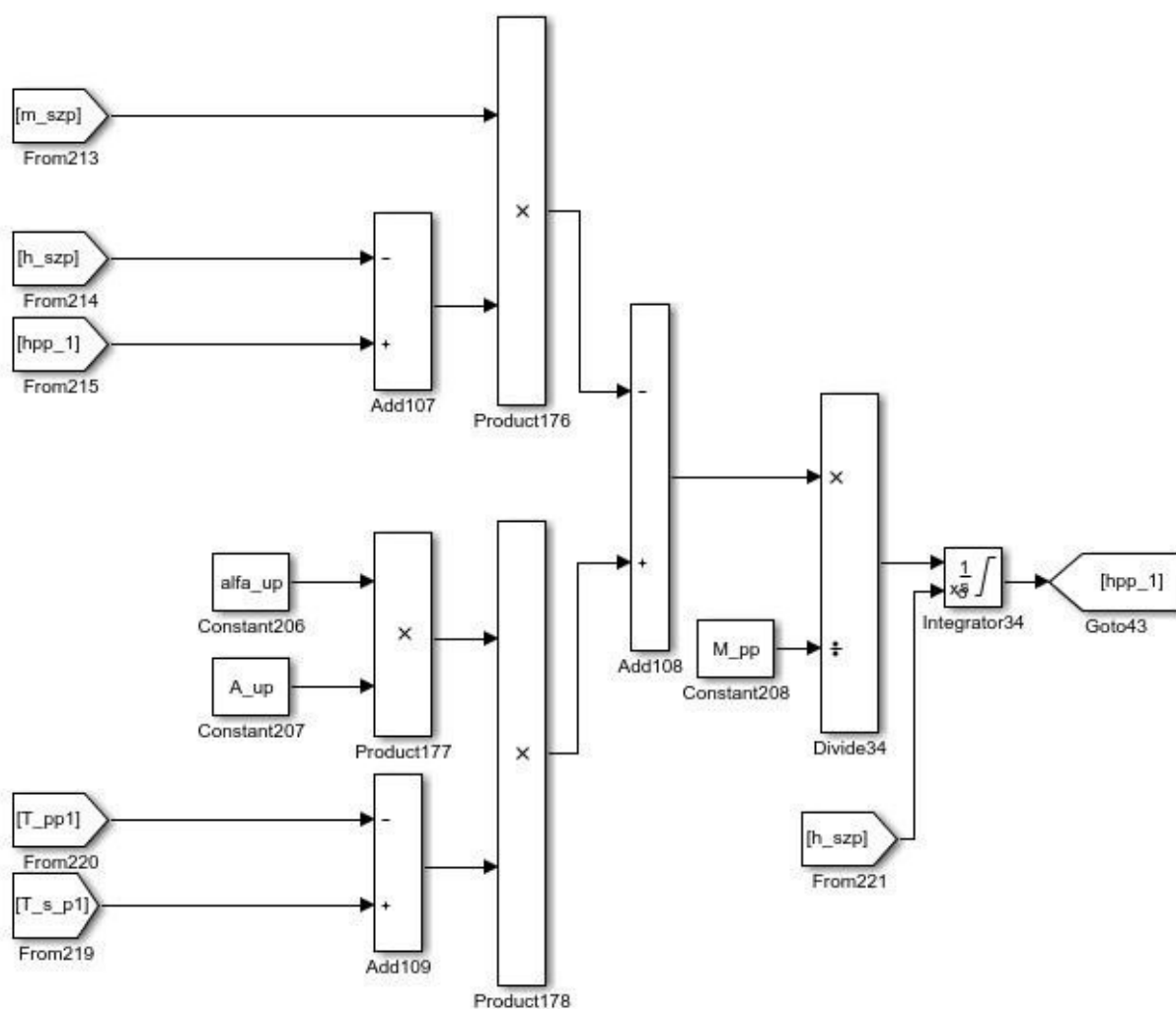
Stijenka



Slika 22. Simulink shema prvog segmenta stijenke prvi prolaz

Stijenka predstavlja posrednika u prijenosu topline između dimnih plinova i vode. Cijevi su čelične. Drugi prolaz se sastoji od manjeg broja cijevi od trećeg prolaza, ali su cijevi većeg promjera. Drugi prolaz ima veću ukupnu površinu izmjene topline od trećeg prolaza, a treći veću površinu izmjene topline od prvog. Kao početni uvjet svaki segment stijenke ima istu početnu temperaturu i promjena temperature mu ne ovisi o prethodnom ili sljedećem segmentu.

### Pregrijač



Slika 23. Simulink shema prvog segment pregrijača

## 6. Simulacija

U ovom poglavlju prikazat će se rad parnog kotla u tri različite varijante. To su:

- hladni start
- topli start
- rad pri promjenjivom opterećenju

Upuštanje u pogon traje sve dok se u kotlu ne postigne tlak od 15 bara. Tada je temperatura vode približno 200 °C.

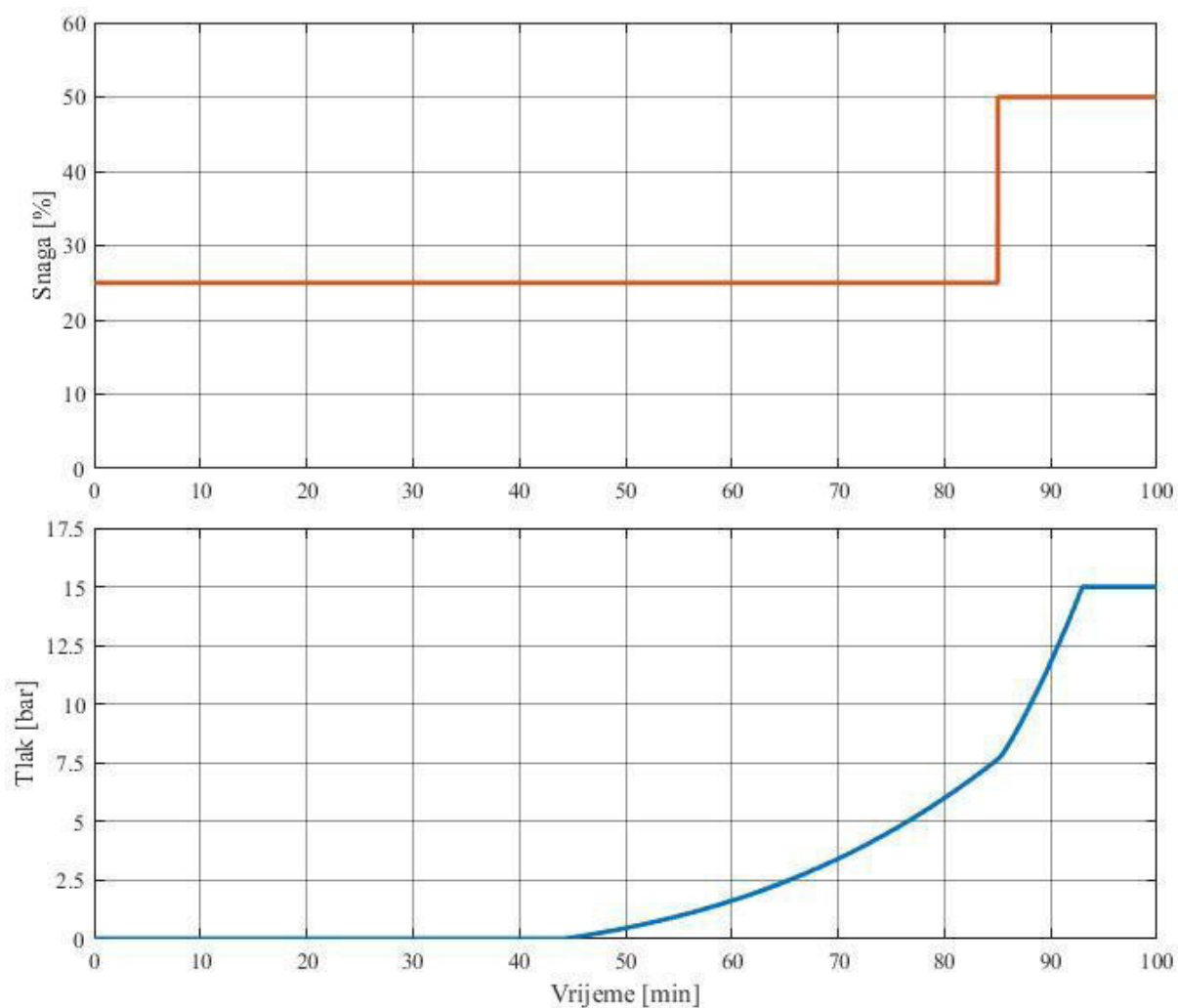
### 6.1. Hladni start

Kotao se upušta u pogon iz hladnog stanja kada se ne može zagrijati iz nekog drugog izvora.

Početne pretpostavke hladnog starta su:

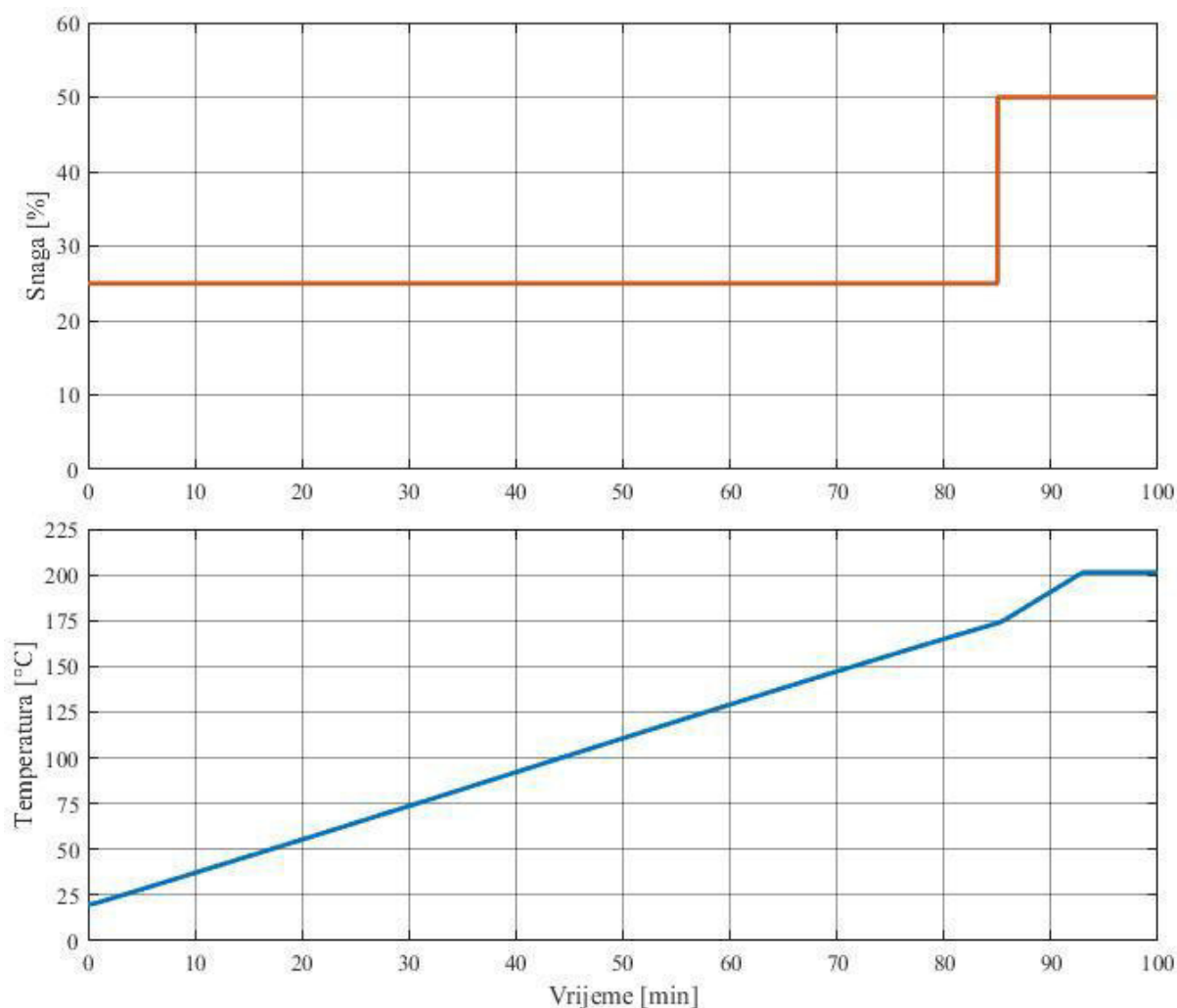
- temperatura vode u kotlu iznosi 20°C
- temperatura stijenke cijevi svih prolaza iznosi 20°C
- sve cijevi su potopljene u vodi
- količina vode u kotlu je konstantna
- nema masenog protoka vode u kotao
- početni tlak u kotlu od 1 bar

Upuštanje u pogon kod hladnog starta traje 90 minuta. Na slici 24. prikazani su dijagrami promjene snage plamenika i promjene tlaka u kotlu. Kotao počinje raditi na minimalnoj snazi od 25%. Temperatura vode raste od 20 °C do 100 °C sa konstantnim tlakom od 1 bar. Zatim tlak počne rasti zajedno sa temperaturom. Kada tlak dosegne vrijednost od 7,5 bara pretlaka, snaga se poveća sa 25% na 50%. Tlak nastavi rast sve do nazivnog koji iznosi 15 bara pretlaka. Nakon što se postigne nazivni tlak, otvara se zaklopka koja omogućava prolaz dimnih plinova na pregrijač pare. Suhozasićena para se također vodi u pregrijač. Te je pretpostavljeno da je ostvareno stacionarno stanje gdje se tlak kotla održava na 15 bara pretlaka.



**Slika 24. Promjena tlaka kod hladnog starta**

Temperature vode u kotlu proporcionalna je promjeni tlaka nakon što tlak naraste na 1 bar pretlaka. Promjena temperature vode u kotlu u ovisnosti snage plamenika prikazana je na sljedećim dijagramima.



Slika 25. Promjena temperature vode kod hladnog starta

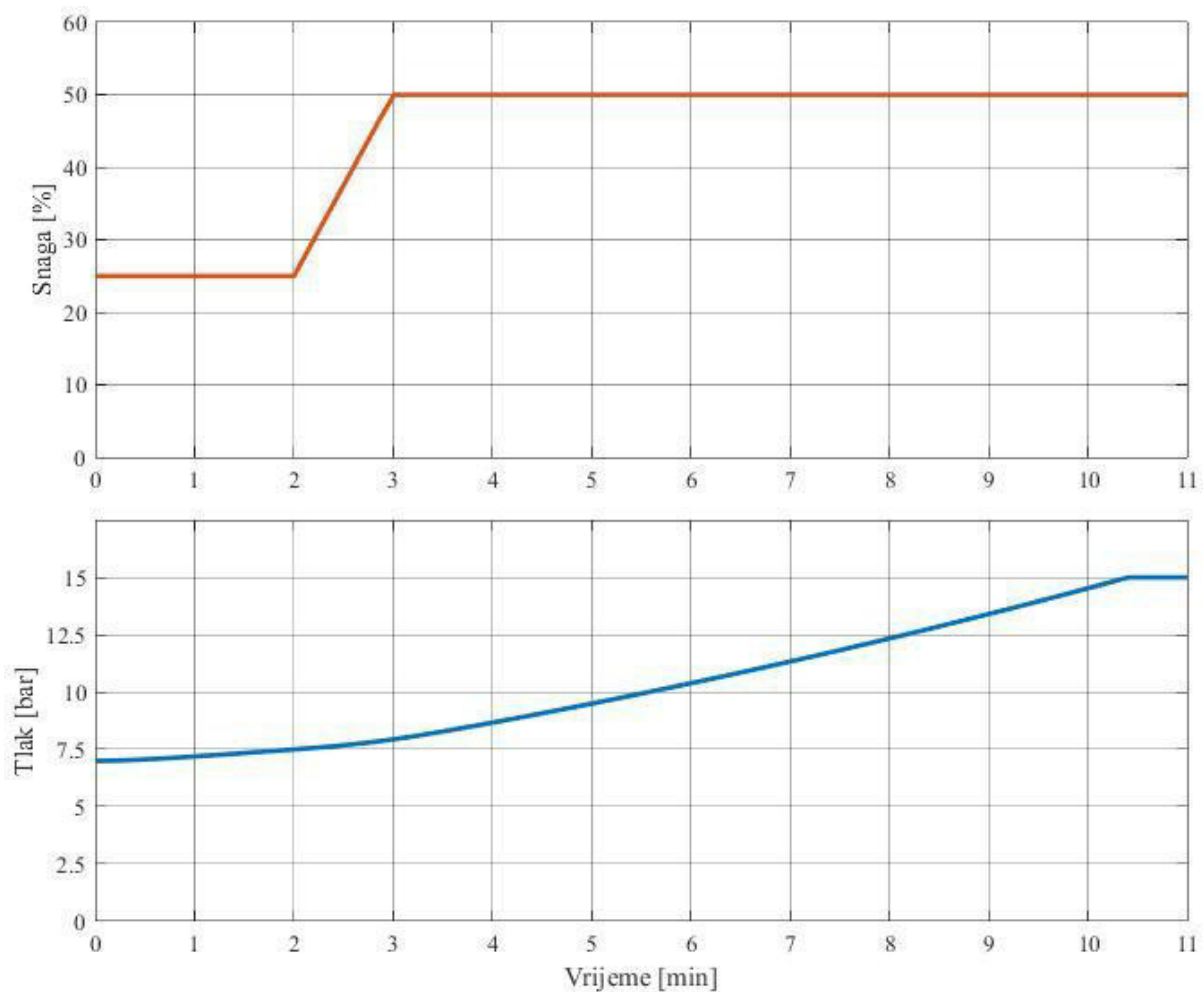
## 6.2. Topli start

Da bi se omogućio topli start dovodi se pregrijana para iz drugog izvora koji može biti drugi kotao ili odvajanje iz kogeneracijskog postrojenja. Topli start je puno brži od hladnog starta i primjenjuje se uvijek kada je moguće dobiti paru iz drugih vanjskih izvora.

Početne pretpostavke toplog starta su:

- temperatura vode u kotlu iznosi 170°C
- temperatura stijenke cijevi svih prolaza iznosi 170°C
- sve cijevi su potopljene u vodi
- količina vode u kotlu je konstantna
- nema masenog protoka vode u kotao
- početni pretlak u kotlu iznosi 7 bar

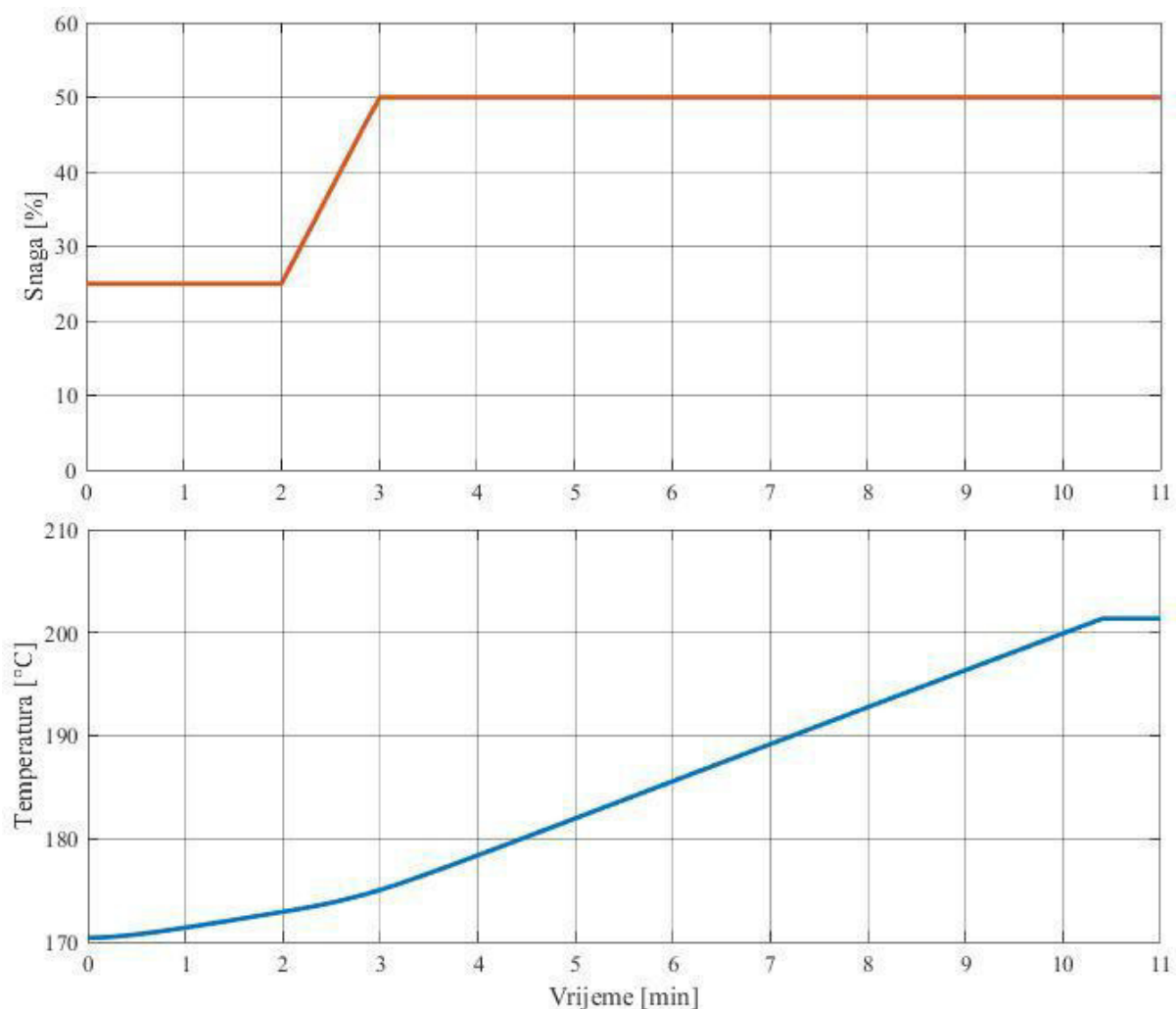
Upuštanje u pogon kod toplog starta traje nešto više od 10 minuta. Na slici 26. prikazani su dijagrami promjene snage plamenika i promjene tlaka u kotlu. Kotao počinje raditi na minimalnoj snazi od 25%. Kada tlak dosegne vrijednost od 7,5 bara pretlaka, snaga se poveća sa 25% na 50%. Tlak nastavi rast sve do nazivnog koji iznosi 15 bara pretlaka. Nakon što se postigne nazivni tlak, otvara se zaklopka koja omogućava prolaz dimnih plinova na pregrijač pare. Suhozasićena para se također vodi u pregrijač.



**Slika 26. Promjena tlaka kod toplog starta**

Temperatura se mijenja proporcionalno sa tlakom kao što je prikazano na sljedećim dijagramu.





Slika 27. Promjena temperature vode kod toplog starta

### 6.3. Rad pri promjenjivom opterećenju

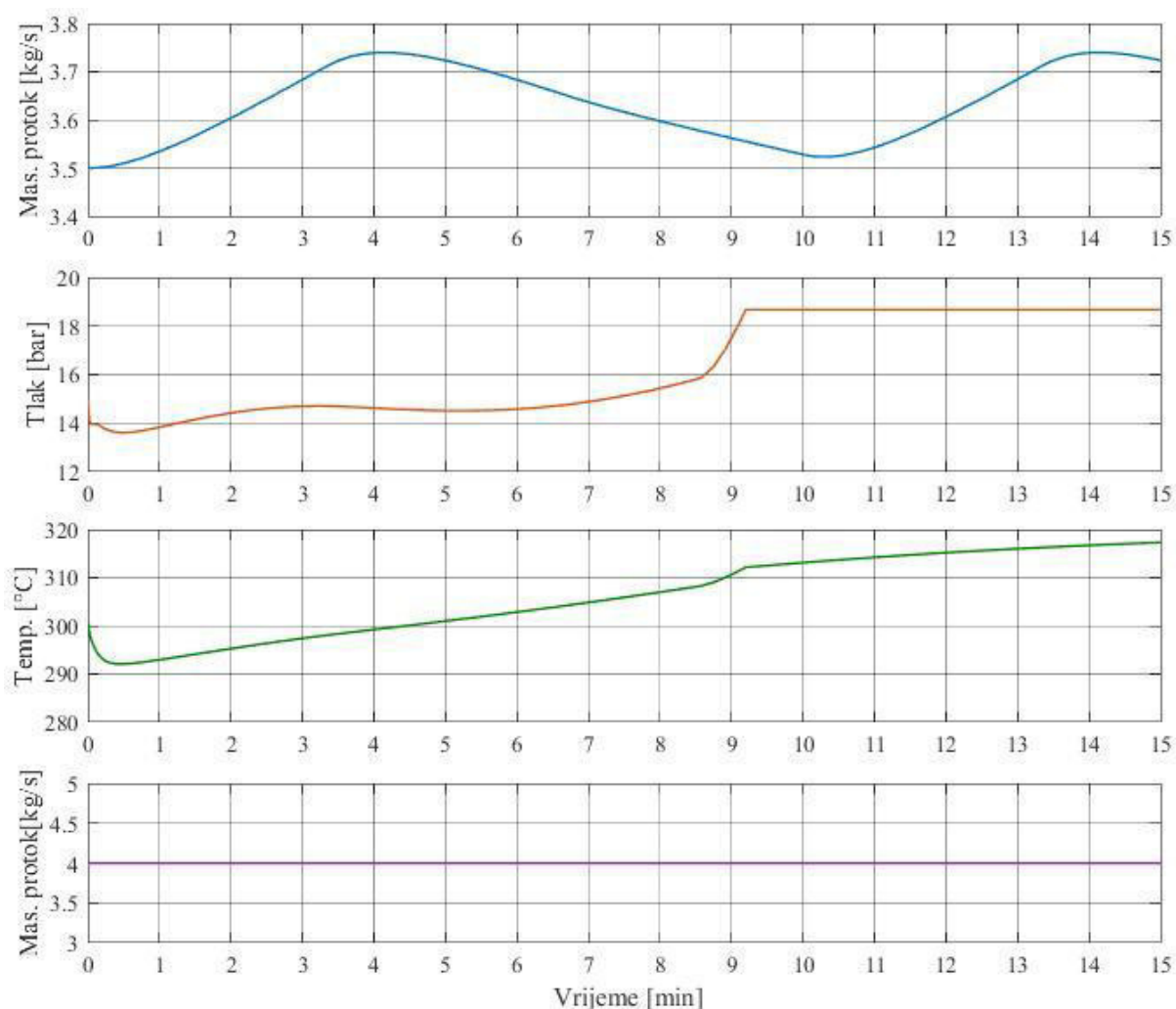
Nakon što se kotao upusti u pogon otvara se zaklopka koja omogućava dimnim plinovima da struje kroz pregrijač. Simulacija rada pri promjenjivom opterećenju počinje pred kraj upuštanja u pogon, što znači da pretlak u kotlu još nije dosegnuo vrijednost od 15 bara.

Početne pretpostavke rada pri promjenjivom opterećenju su:

- pretlak u kotlu iznosi 14 bara
- temperatura stijenke cijevi svih prolaza iznosi 200°C
- sve cijevi su potopljene u vodi
- količina vode u kotlu je konstantna
- maseni protok vode jednak je masenom protoku isparene vode

Prvo će se prikazati simulacija bez regulacije. Prvi dijagram predstavlja maseni protok pregrijane pare koji se mijenja ovisno o potražnji toplinske energije.

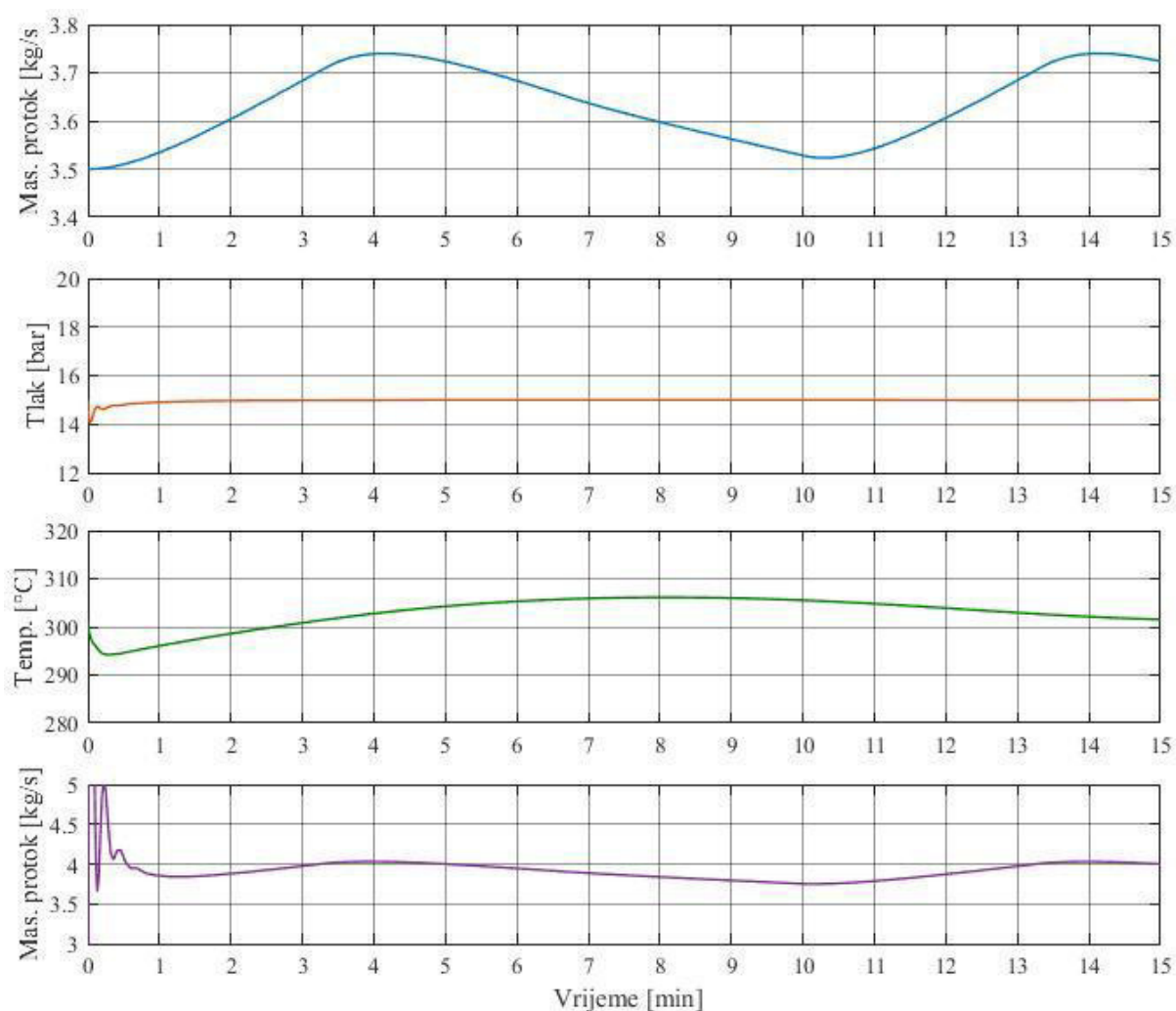
Drugi dijagram prikazuje promjenu tlaka. Tlak naglo počne rasti nakon devete minute zato što su se voda i para u kotlu počele više zagrijavati a i protok pregrijane pare je pao što znači da suhozasiceana para nije mogla izaći iz kotla. Konstantna vrijednost tlaka predstavlja sigurnosnu regulaciju. Gornja granica iznosi 18,6 bara pretlaka. Kada tlak postigne maksimalnu vrijednost, para se ispušta iz kotla.



**Slika 28. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem bez regulacije**

Treći dijagram prikazuje promjenu temperature pregrijane pare na izlazu iz pregrijača. Temperatura pregrijane pare raste jer je zaklopka koja regulira protok dimnih plinova prema pregrijaču potpuno otvorena te cijeli maseni protok dimnih plinova iz drugog prolaza struji prema pregrijaču, a iz pregrijača u treći prolaz.

Zadnji dijagram prikazuje maseni protok dimnih plinova koji je konstantan. Da bi se pretlak u kotlu regulirao na 15 bara potrebno je promijeniti maseni protok dimnih plinova. Do promjene tlaka bi se također moglo doći ako bi maseni protok vode u kotao bio različit od masenog protoka suhozasićene pare. Regulacijska oprema održava razinu vode kotla na konstantnoj razini. Regulacija rada pri promjenjivom opterećenju ostvaruje se pomoću simulink bloka PID kontroler. Kao i kod rada bez regulacije, dijagrami predstavljaju iste veličine.

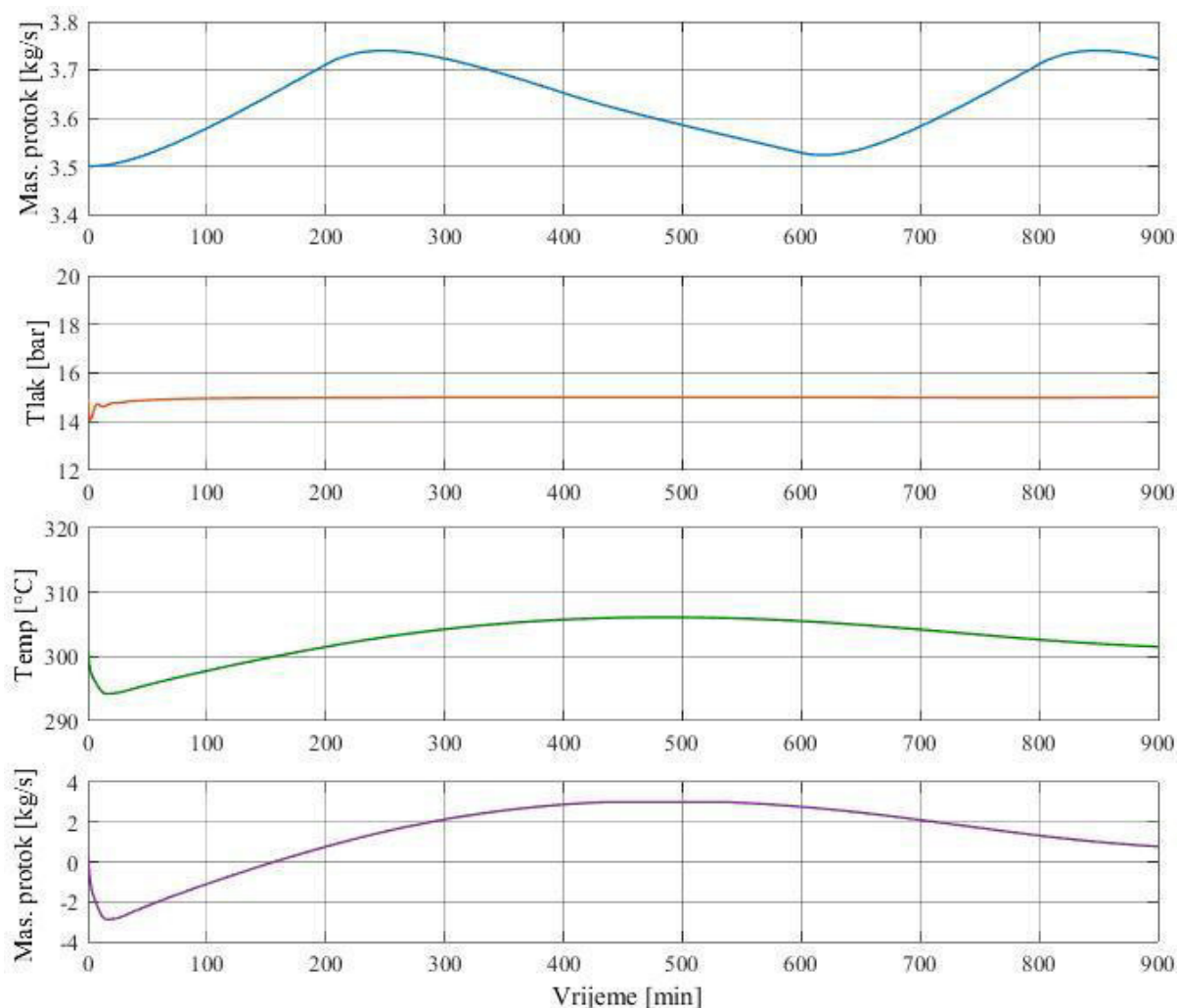


**Slika 29. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem s regulacijom**

Potrebno je napomenuti da je maseni protok do prvih pola minute neobičnog odziva zato što simulacija za početni uvjet temperature stijenke ima temperaturu od 200 °C. Svaki segment prolaza tokom rada ima različitu temperaturu stijenke te se zato uzela jedna kao početna za sve temperature stijenki. Pošto je početna temperatura stijenke puno niža od

temperature nakon pola minute rada, temperatura vode i pare u kotlu sporije raste te je samim time i tlak u početku manji kao što se vidi na dijagramu tlaka.

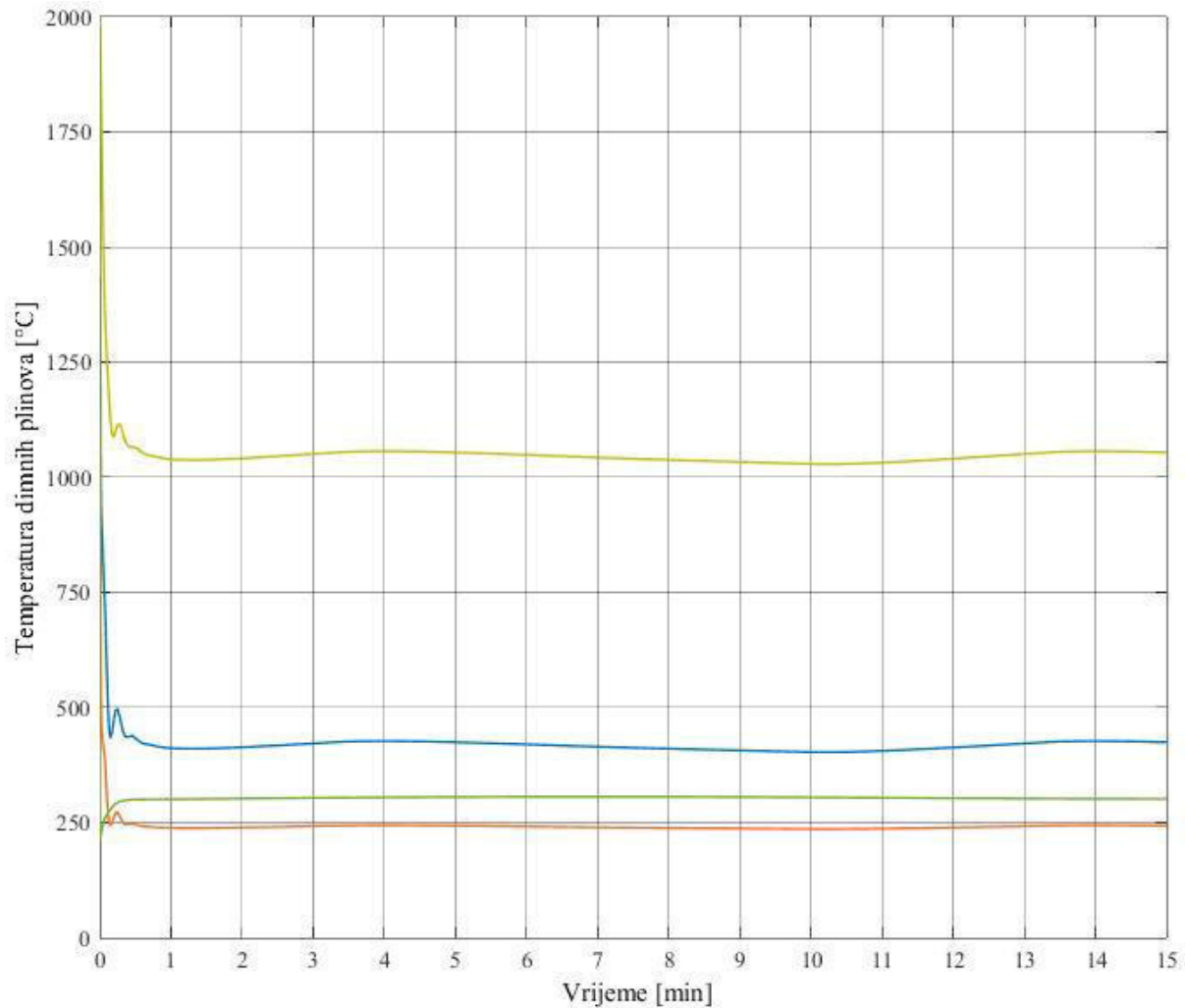
Sljedeća slika prikazuje dijagrame ali sa otvorenosti zaklopke. Prva tri dijagrama prikazuju odzive kao i na prethodnoj slici. Zadnji dijagram predstavlja otvorenost zaklopke tj. promjenu masenog protoka dimnih plinova kroz zaklopku. Kada je zaklopka na vrijednosti nule onda znači da preusmjerava 50% masenog protoka dimnih plinova prema pregrijaču.



**Slika 30. Odzivi pri radu s promjenjivim opterećenjem s regulacijom (zaklopka)**

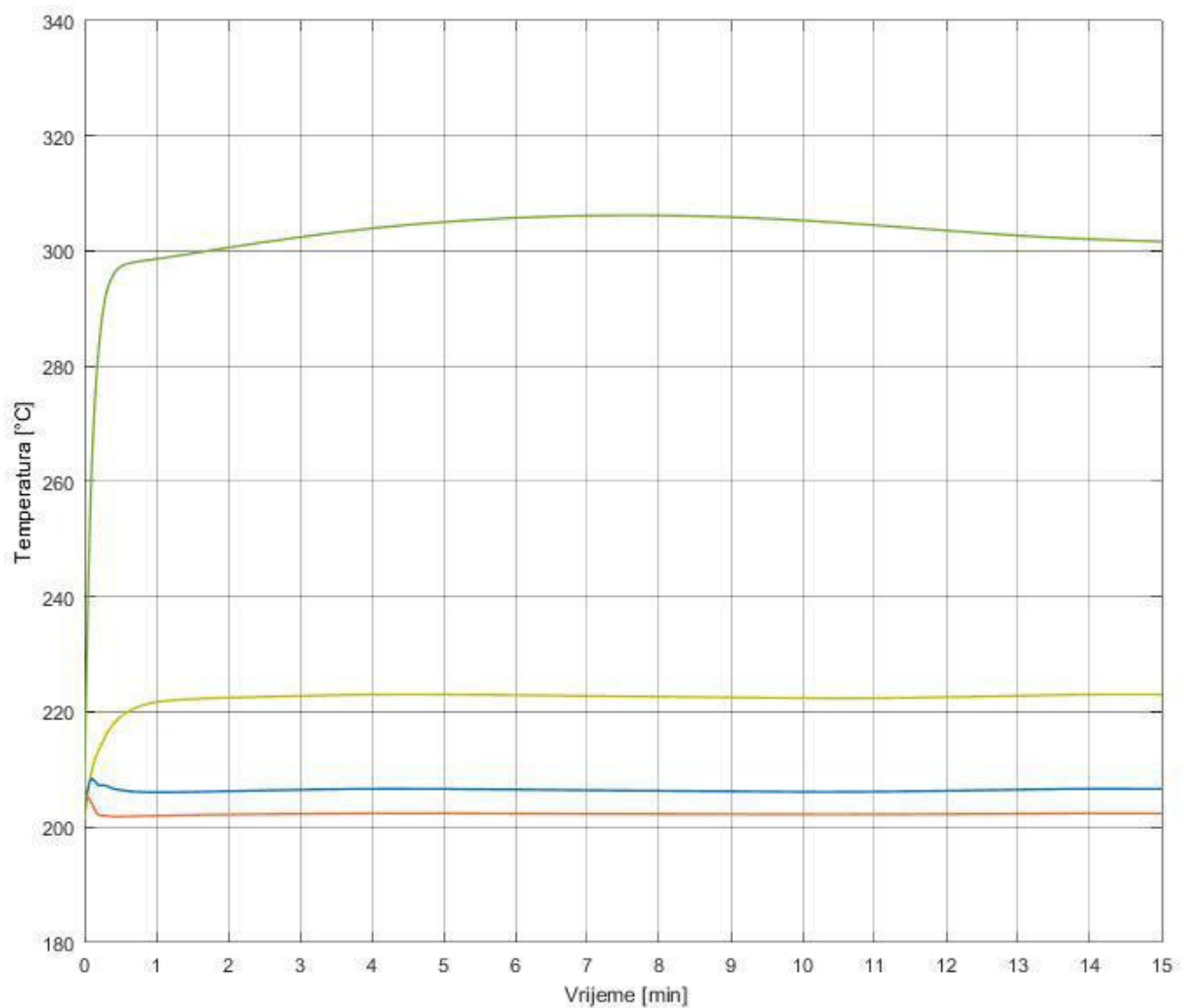
Promjena temperature dimnih plinova prikazana je na sljedećem dijagramu. Poredak temperatura od najviše prema najnižoj idu prema poretku strujanja dimnih plinova tj. najviša u prvom prolazu, a najniža u trećem prolazu. Početni uvjet temperature dimnih plinova iznosi  $2000^{\circ}\text{C}$  i pošto svaki segment prolaza cijev za početni uvjet ima temperaturu prethodnog segmenta, svima u nula minuta temperatura iznosi  $2000^{\circ}\text{C}$ . Temperatura dimnih plinova kroz

pregrijač ima drugačiji profil u početku simulacije jer je taj izmjenjivač topline drugačije konstrukcije a i drugačiji mediji struje u odnosu na kotao.



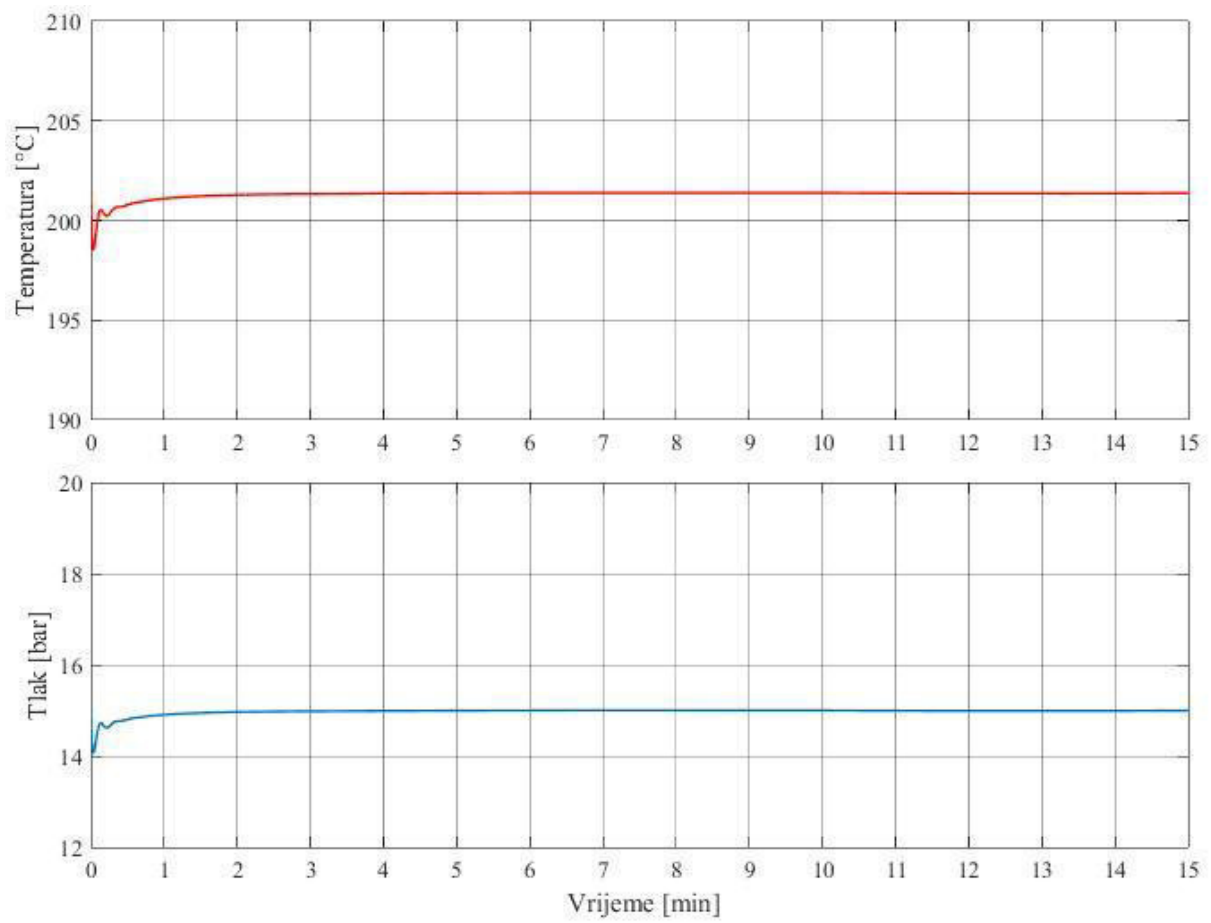
**Slika 31. Promjena temperature dimnih plinova**

Na idućem dijagramu su prikazne temperature stijenki svih prolaza ali i pregrijača. Iz dijagram se vidi da je temperatura stijenke pregrijača najveća pošto se sa pregrijačem treba održavati temperatura pregrijane pare od 300 °C.



**Slika 32. Promjena temperature stijenske**

Promjena temperature vode prikazana je na sljedećem dijagramu. Iznos temperature vode proizlazi iz vrijednosti tlaka u kotlu i iz vrijednosti entalpije vode. Na dijagramu se vidi da je temperatura vode proporcionalna tlaku u kotlu.



Slika 33. Promjena temperature vode sa tlakom

## 7. Zaključak

Toplinsko opterećenje centraliziranog toplinskog sustava varira kroz dan i ovisi o vremenskim uvjetima područja koje opskrbljuje sa toplinskom energijom. U ekstremnim zimskim uvjetima dolazi do vršnih toplinskih opterećenja CTS-a koje pokriva parni kotao. Regulacijom snage kotla omogućuje se proizvodnja pregrijane pare definiranih parametara. Osim kvalitete isporuke pare regulacijom se također ostvaruje ušteda energije kada je opterećenje CTS-a jako promjenjivo. Postojeći izvori toplinske energije su zastarjeli, nisu fleksibilni i imaju manju iskoristivost. Instaliranjem novog parnog kotla se omogućuje ekonomičnija proizvodnja toplinske energije i smanjenje emisija dimnih plinova u odnosu na postojeće postrojenje.

Regulacijskom opremom se uz povećanje iskoristivosti, omogućuje i siguran rad. Mjernim instrumentima se dobiva informacija o nivou vode u kotlu koja mora biti na definiranoj razini. U slučaju prekoračenja granica visine vode, rad kotla se obustavlja. U slučaju prekoračenja tlaka kotla koristi se sigurnosni ventil kalibriran tako da pri definiranom maksimalnom tlaku u kotlu ispušta vodenu paru u atmosferu. U slučaju gašenja plamena tj. velikog pada temperature u prvom prolazu gdje se odvija izgaranje, dobava goriva se obustavlja.

Pomoćnim komponentama postrojenja se povećava iskoristivost cijelog procesa. Ekspanzijskim modulom s obradom ispusne vode i regeneracijom topline (EHB) iskorištava se toplinska energija svih odvodnji iz kotla i kondenzata dimnih plinova koji mogu nastati u ekonomajzerima ili u dimnjaku. Dio pare kotla koristi se za otplinjač koji se nalazi na napojnom spremniku. Velika prednost modernizacije postrojenja je postojeća infrastruktura poput plinovoda, postrojenja za kemijsku pripremu vode, spoja na mrežu CTS-a.



## Literatura

- [1] <http://www.sitoilboilers.com>
- [2] <https://www.hurstboiler.com>
- [3] Lončar D., N. Šerman: Nastavni materijali iz kolegija „Regulacija procesa“
- [4] Z. Vukić, Lj. Kuljača: Automatsko upravljanje
- [5] Bolf N.: Automatsko vođenje procesa
- [6] [http://www.bryanboilers.com/pdfs/EI-1/Steam/Form\\_2019.pdf](http://www.bryanboilers.com/pdfs/EI-1/Steam/Form_2019.pdf)
- [7] <https://rananaseemshahid.files.wordpress.com/2015/09/chapter-651.pdf>
- [8] <https://www.bosch-industrial.com/hr/product-page>

## **Prilozi**

- I. CD-R disc
- II. Tehnički podaci
- III. Detaljni opis komponenti parne kotlovnice
- IV. Tehnička dokumentacija

## Tehnički podaci

| Predmet  | Jedinica            | Vrijednost ili opis     |
|--|---------------------|-------------------------|
| <b>Parno kotlovsko postrojenje</b>   |                     |                         |
| Granica sustava za predaju učinka  | kg/h                | 12500                   |
| Medij  | -                   | Pregrijana vodena para  |
| Gorivo   | -                   | Prirodni plin           |
| Norma za gorivo  | -                   | DVGW G260               |
| Donja ogrjevna vrijednost $H_u$ (svedena na $0^\circ\text{C}$ / 1013 mbar) | kWh/Nm <sup>3</sup> | 9,44                    |
| Priključni tlak plina na ulazu u plinski regulacijski modul                | mbar                | 1000                    |
| Svi podaci su bazirani na sadržaju O <sub>2</sub> u suhom dimnom plinu od  | %                   | 2,10                    |
| Gorivo   | -                   | Ekstra lako loživo ulje |
| Norma za gorivo  | -                   | (DIN 51603 T1)          |
| Donja ogrjevna vrijednost $H_u$ (svedena na $0^\circ\text{C}$ )            | kWh/kg              | 11,25                   |
| Maksimalni viskozitet  | mm <sup>2</sup> /s  | 6                       |
| Referentna temperatura za viskozitet (loživo ulje)                         | $^\circ\text{C}$    | 20                      |
| Svi podaci su bazirani na sadržaju O <sub>2</sub> u suhom dimnom plinu od  | %                   | 2,70                    |
| <b>Parni kotao</b>   |                     |                         |
| Učink proizvodnje vodene pare (nazivno opterećenje)                        | kg/h                | 14292                   |
| Maksimalno dopušteni radni pretlak   | bar                 | 18,0                    |
| Tlak reagiranja sigurnosnog ventila  | bar                 | 18,0                    |
| Srednji pogonski pretlak   | bar                 | 15,4                    |
| Tlak aktiviranja sigurnosnog graničnika tlaka max.                         | bar                 | 17,1                    |
| Pretlak za tlačno ispitivanje hladnom vodom                                | bar                 | 34,20                   |
| Temperatura napojne vode   | $^\circ\text{C}$    | 103                     |
| Temperatura reagiranja sigurnosnog graničnika temperature                  | $^\circ\text{C}$    | 349                     |
| Kategorija (prema pravilniku o tlačnoj opremi)                             | -                   | IV                      |
| Sadržaj vode do NW   | l                   | 17300                   |
| Bruto toplinski učinak (nazivno opterećenje)                               | kW                  | 10330                   |
| Stupanj djelovanja za loženje plinom                                       | %                   | 95,1                    |

| Predmet  | Jedinica          | Vrijednost ili opis                          |
|--|-------------------|--|
| Izračun stupnja djelovanja (plin)  | -                 | prema EN 12953 dio 11 -<br>indirektna metoda |
| Stupanj djelovanja za loženje uljem  | %                 | 95,3   |
| Izračun stupnja djelovanja (loživo ulje)   | -                 | prema EN 12953 dio 11 -<br>indirektna metoda |
| Ukupni toplinski učinak ložišta (plin)   | kW                | 10861  |
| Ukupni toplinski učinak ložišta (loživo ulje)  | kW                | 10844  |
| Standardni volumni protok goriva (plin)  | m <sup>3</sup> /h | 1151   |
| Maseni protok goriva (loživo ulje)   | kg/h              | 964  |
| Gubici zbog zračenja, plin, cca.: (prema TI 005/01)  | %                 | 0,42   |
| Gubici zbog zračenja, loživo ulje, cca.: (prema TI 005)  | %                 | 0,42   |
| Standardni volumni protok vlažnih produkata izgaranja (plin)   | m <sup>3</sup> /h | 12659  |
| Standardni volumni protok vlažnih produkata izgaranja (loživo ulje)                                    | m <sup>3</sup> /h | 12333  |
| Maseni protok vlažnih produkata izgaranja (plin)   | kg/h              | 15707  |
| Maseni protok vlažnih produkata izgaranja (loživo ulje)  | kg/h              | 15932  |
| Gubitak u dimnim plinovima cca. (prema prEN 12953 dio 11) (plin)                                       | %                 | 4,5  |
| Gubitak u dimnim plinovima cca. (prema prEN 12953 dio 11) (loživo ulje)                                | %                 | 4,3  |
| Temperatura dimnih plinova cca. (plin)   | °C                | 126  |
| Temperatura dimnih plinova cca. (loživo ulje)  | °C                | 125  |
| Ukupni otpor kotla na strani produkata izgaranja, pri plinskom pogonu (svedeno na visinu postavljanja) | mbar              | 24,60  |
| Ukupni otpor kotla na strani produkata izgaranja, pri uljnom pogonu (svedeno na visinu postavljanja)   | mbar              | 25,80  |
| Maksimalno dopušten tlak dimnih plinova na mjestu instaliranja, na granicama isporuke                  | mbar              | 0,00   |
| Minimalno dopušten tlak dimnih plinova na mjestu instaliranja, na granicama isporuke                   | mbar              | - 1,00                                       |
| Otpremna masa tijela kotla cca.  | kg                | 39136  |
| Ukupna masa tijela kotla (punog) +/- 2%  | kg                | 65799  |
| Materijal izolacijskog plašta  | -                 | ALU Stucco                                   |
| Debljina izolacije, najmanje   | mm                | 100  |

| Predmet  | Jedinica           | Vrijednost ili opis |
|--|--------------------|---------------------|
| <b>Pregrijač SHM</b>   |                    |                     |
| Min. toplinski učinak pregrijača                                   | %                  | 50,00               |
| Srednji tlak pregrijane vodene pare (pri punom opterećenju)        | bar                | 14,3                |
| Srednja temperatura pregrijane vodene pare (pri punom opterećenju) | °C                 | 300,0               |
| Debljina izolacije, najmanje                                       | mm                 | 200                 |
| Transportna masa pregrijača (bez armature)                         | kg                 | 2552                |
| <b>Izmjenjivač topline dimnih plinova ECO 1</b>                    |                    |                     |
| Pretlak za tlačno ispitivanje hladnom vodom                        | bar                | 56,00               |
| Učink pri plinskom pogonu  | kW                 | 762                 |
| Učink pri uljnom pogonu  | kW                 | 712                 |
| Temperatura dimnih plinova cca. (plin)                             | °C                 | 126                 |
| Temperatura dimnih plinova cca. (loživo ulje)                      | °C                 | 125                 |
| Površina grijanja  | m <sup>2</sup>     | 284                 |
| Protok vode (plin)   | kg/h               | 14292               |
| Protok vode (loživo ulje)  | kg/h               | 14292               |
| Izlazna temperatura vode (plin)                                    | °C                 | 149                 |
| Izlazna temperatura vode (loživo ulje)                             | °C                 | 146                 |
| Otpor strujanju na strani vode                                     | mbar               | 184                 |
| Debljina izolacije, najmanje                                       | mm                 | 100                 |
| <b>Regulacijski ormar kotla</b>                                    |                    |                     |
| Rezervni prostor u regulacijskom ormaru kotla                      | %                  | 20                  |
| Širina regulacijskog ormara  | mm                 | 1200                |
| Visina regulacijskog ormara  | mm                 | 1800                |
| Duljina regulacijskog ormara                                       | mm                 | 400                 |
| Visina podnožja  | mm                 | 100                 |
| Ukupna priključna snaga  | kW                 | 80,34               |
| Dužina snopa kablova   | m                  | 25,00               |
| Ukupna masa regulacijskog ormara                                   | kg                 | 200,00              |
| <b>Plamenik</b>  |                    |                     |
| Dop. NO <sub>x</sub> -emisija (plin)                               | mg/Nm <sup>3</sup> | 100                 |

| Predmet   | Jedinica           | Vrijednost ili opis        |
|---|--------------------|----------------------------|
| Dop. NOx-emisija (loživo ulje)  | mg/Nm <sup>3</sup> | 200                        |
| Vrednovanje emisija prema   | -                  | EN 267/676                 |
| Dodatni otpor dimnih plinova  | mbar               | 2,00                       |
| Temperatura usisanog zraka  | °C                 | 20,00                      |
| Vrsta regulacije (plin)   | -                  | modulacijsko               |
| Vrsta regulacije (loživo ulje)  | -                  | modulacijsko               |
| Dodatni otpor zraka   | mbar               | 3,00                       |
| Sadržaj O <sub>2</sub>  | %                  | 3,00                       |
| Sadržaj dušika  | mg/kg              | 140,00                     |
| Nazivni učinak motora (elektro)   | kW                 | 4,00                       |
| Masa plamenika  | kg                 | 310                        |
| Razina zvučnog tlaka plamenika (bez zaštite od buke)                          | dB(A)              | 79                         |
| Nazivna snaga elektromotora ventilatora plamenika                             | kW                 | 55,00                      |
| Masa ventilatora  | kg                 | 700,00                     |
| Razina zvučnog tlaka ventilatora (bez zaštite od buke)                        | dB(A)              | 103,00                     |
| Razina zvučnog tlaka ventilatora (sa zaštitom od buke)                        | dB(A)              | 80,00                      |
| Masa štitnika buke ventilatora  | kg                 | 210,00                     |
| Mjesto montaže ventilatora  | -                  | Montaža ispred kotla       |
| Zasebni radni medij za paljenje   | -                  | nije potrebno              |
| Širina regulacijskog ormara za vanjski pretvornik frekvencije                 | mm                 | 800                        |
| Visina regulacijskog ormara za vanjski pretvornik frekvencije                 | mm                 | 1200                       |
| Duljina regulacijskog ormara za vanjski pretvornik frekvencije                | mm                 | 400                        |
| Visina podnožja   | mm                 | 0                          |
| Opće karakteristike goriva  | -                  | bez mjehurića i filtrirano |
| Max. dopuštena veličina čestica   | -                  | < 100 μm                   |
| Min. potreban tlak loživog ulja ispred plamenika, odnosno stanice uljne crpke | bar                | - 0,30                     |
| Max. potreban tlak loživog ulja ispred plamenika, odnosno stanice uljne crpke | bar                | 5,00                       |
| Max. temperatura loživog ulja ispred uljne crpke plamenika:                   | °C                 | 90                         |
| Plinska armatura GRM  |                    |                            |

| Predmet  | Jedinica          | Vrijednost ili opis  |
|--|-------------------|----------------------|
| Plinski regulacijski modul na strani montaže   | -                 | desno                |
| Max. propusni nazivni volumni protok   | m <sup>3</sup> /h | 1360                 |
| Nazivni otvor plinske zaporne slavine  | DN                | 80                   |
| Max. dopušteni pretlak plina plinskog regulacijskog modula (osigurani tlak plinske predajne stanice) | mbar              | 4000                 |
| Radna/transportna masa modula za regulaciju plina +/- 4%   | kg                | 125,42               |
| Mjerno područje Q min. (radno m <sup>3</sup> /h)   | m <sup>3</sup> /h | 32,00                |
| Mjerno područje Q max. (radno m <sup>3</sup> /h)   | m <sup>3</sup> /h | 1650,00              |
| Radna/transportna masa modula plinomjera +/- 4%  | kg                | 36,89                |
| <b>Modul pumpe</b>   |                   |                      |
| Min. postojeća visina dovoda   | mm                | 3000                 |
| Vrsta regulacije napojne pumpe   | -                 | Preko broja okretaja |
| Nazivni učinak motora (elektro)  | kW                | 15,00                |
| Transportna masa modula crpke +/- 4%   | kg                | 180                  |
| Radna masa modula crpke +/- 2%   | kg                | 208                  |
| <b>Modul cirkulacije ulja OCM</b>  |                   |                      |
| Maks. količina goriva (loživog ulja)   | kg/h              | 1.100,00             |
| Transportna masa modula za cirkulaciju ulja +/- 4%   | kg                | 60                   |
| Radna masa modula za cirkulaciju ulja +/- 2%   | kg                | 48                   |
| <b>Mjerenje količine protoka, radnog medija: pregrijana vodena para</b>                              |                   |                      |
| Otpor mjernog senzora protoka  | mbar              | 41                   |
| Mjerno područje od   | kg/h              | 1191                 |
| Mjerno područje do   | kg/h              | 31270                |
| <b>Mjerenje količine protoka napojne vode</b>  |                   |                      |
| Otpor mjernog senzora protoka  | mbar              | 95                   |
| Mjerno područje od   | kg/h              | 1080                 |
| Mjerno područje do   | kg/h              | 42910                |
| <b>Zagrijavanje kotla vanjskim izvorom</b>   |                   |                      |
| Pretlak opskrbne vodene pare   | bar               | 15,00                |
| Dovod opskrbne vodene pare osiguran s  | bar               | 20,00                |
| Pretlak za tlačno ispitivanje hladnom vodom  | bar               | 56,00                |

| Predmet   | Jedinica          | Vrijednost ili opis  |
|---|-------------------|----------------------|
| Nazivni otvor ulazne priрубnice   | DN                | 40                   |
| Nazivni otvor izlazne priрубnice  | DN                | 20                   |
| Nazivni otvor odvodnje  | DN                | 20                   |
| <b>Izmjenjivač sa kondenzacijom dimnih plinova ECO 2</b>                                  |                   |                      |
| Toplinski učinak sa plinom kao gorivom  | kW                | 557                  |
| Toplinski učinak sa ELLU kao gorivom  | kW                | 0                    |
| Učinkovitost kotla sa ECO 2 (plin)  | %                 | 100,2                |
| Učinkovitost kotla sa ECO 2 (ELLU)  | %                 | 95,3                 |
| Temperatura dimnih plinova cca. (plin)  | °C                | 80                   |
| Temperatura dimnih plinova cca. (loživo ulje)   | °C                | 125                  |
| Rashladna voda  | -                 | Vraća se u deaerator |
| Temperatura vode na izlazu izmjenjivača topline dimnih plinova (plin) cca.                | °C                | 52                   |
| Temperatura vode na izlazu izmjenjivača topline dimnih plinova (loživo ulje) cca.         | °C                | 15                   |
| Max. volumni protok kondenzata izmjenjivača topline dimnih plinova                        | l/h               | 517,98               |
| Otpor strujanju na strani vode  | mbar              | 238                  |
| Protok vode kroz ECO 2  | m <sup>3</sup> /h | 12,8                 |
| Maksimalni protok vode kroz ECO 2   | m <sup>3</sup> /h | 12,8                 |
| Broj cijevnih snopova ECO   | -                 | 1                    |
| Otpor strujanju produkata izgaranja, pri plinskom pogonu (svedeno na visinu postavljanja) | mbar              | 1,9                  |
| Transportna masa ECO, približna   | kg                | 1412                 |
| Radna masa ECO +/- 2%   | kg                | 1518                 |
| <b>Prigušivač strujanja dimnih plinova</b>  |                   |                      |
| Pozicija ugradnje   | -                 | horizontalna         |
| Ugradna dužina  | mm                | 3.000,00             |
| Vanjski promjer   | mm                | 1.600,00             |
| Materijal   | -                 | čelik                |
| Nazivni otvor dimovodne cijevi (DIN24151, DIN24154)                                       | DN                | 800                  |
| Otpor strujanju   | mbar              | 0,13                 |



| Predmet  | Jedinica | Vrijednost ili opis                          |
|--|----------|--|
| <b>Prigušivač na ventilatoru</b>                     |          |  |
| Razina zvučnog tlaka plamenika (bez zaštite od buke) | dB(A)    | 80 na 1 m                                    |
| Broj ulaznih priključka                              | -        | 3  |
| Promjer  | mm       | 1000   |
| Visina   | mm       | 940  |
| <b>Upravljanje sustavom SCO</b>                      |          |  |
| Širina regulacijskog ormara                          | mm       | 600  |
| Visina regulacijskog ormara                          | mm       | 1800   |
| Dubina regulacijskog ormara                          | mm       | 400  |
| Priključena snaga SCO - upravljačka ploča            | kW       | 3,10   |
| Visina podnožja                                      | mm       | 100  |
| Ukupna priključna snaga                              | kW       | 3,10   |
| <b>Uređaj za analizu kotlovske vode WA</b>           |          |  |
| Broj spojenih kotlova na WA                          | -        | 1  |
| Tip zaštite  | -        | IP54   |
| Širina uređaja                                       | mm       | 600  |
| Visina uređaja                                       | mm       | 980  |
| Duljina uređaja                                      | mm       | 210  |
| Primljena snaga                                      | kVA      | 0,0400                                       |
| Minimalna sobna temperatura                          | °C       | 5,00   |
| Maksimalna sobna temperatura                         | °C       | 50,00  |
| Vlažnost zraka                                       | -        | 20 60% relativne<br>vlažnosti                |
| Opskrba električnom energijom                        | -        | 230 V, 50Hz;                                 |
| Maksimalni tlak povratne vode                        | bar      | 10,00  |
| Kvaliteta ne tretirane vode                          | -        | Sadržaj željeza <0,2<br>mg/l,                |
|  |          | sadržaj mangana 0,05<br>mg/l,                |
|  |          | Sadržaj klora <0,2 mg/l,<br>čestice > 0,25mm |
| <b>Modul za opskrbu loživim uljem OSM</b>            |          |  |
| Izvedba crpne stanice                                | -        | Dvije linje (2x100%)                         |

| Predmet  | Jedinica | Vrijednost ili opis                 |
|--|----------|-------------------------------------|
| Nazivni učinak motora (elektro)                            | kW       | 1,10                                |
| Dobavni protok pri 50Hz                                    | l/h      | 2.232,00                            |
| Brzina pri 50Hz  | l/min    | 2900                                |
| <b>Uređaj za otplinjavanje napojne vode</b>                |          |                                     |
| Pretlak opskrbe vodene pare                                | bar      | 14,30                               |
| Dovod opskrbe vodene pare osiguran s                       | bar      | 18,00                               |
| Tlak reagiranja sigurnosnog ventila spremnika napojne vode | bar      | 0,50                                |
| Učink otplinjavanja  | kg/h     | 12794                               |
| Računska temperatura otplinjavanja                         | °C       | 103                                 |
| Materijal spremnika  | -        | Čelik (St.37)                       |
| Materijal izolacijskog plašta                              | -        | ALU Stucco                          |
| Srednji pogonski pretlak                                   | bar      | 0,2                                 |
| Pretlak za tlačno ispitivanje hladnom vodom                | bar      | 2,00                                |
| Sadržaj vode (tijekom pogona kotla)                        | l        | 5600                                |
| Izvedba uređaja za otplinjavanje                           | -        | Uređaj za otplinjavanje<br>rošenjem |
| Minimalna debljina izolacije                               | mm       | 100,00                              |
| Tipna oznaka uređaja za otplinjavanje                      | -        | DM 14                               |
| Veličina posude (ukupni sadržaj)                           | l        | 8000                                |
| Sadržaj spremnika napojne vode                             | l        | 8.000,00                            |
| Transportna masa   | kg       | 1541                                |
| Radna masa +/-2%   | kg       | 8761                                |
| Maksimalna masa +/-2%                                      | kg       | 11646                               |
| Tlak kondenzata sa sadržajem kisika                        | bar      | 0,00                                |
| Maseni protok vodene pare za zagrijavanje                  | kg/h     | 1793                                |
| Maseni protok vlažne vodene pare                           | kg/h     | 64,00                               |
| Maseni protok dodatne vode                                 | kg/h     | 12795                               |
| Temperatura dodatne vode                                   | °C       | 15                                  |
| Minimalno potreban ulazni tlak dodatne vode                | bar      | 1,00                                |
| Maksimalni ulazni tlak dodatne vode                        | bar      | 10,00                               |
| <b>Uređaj za doziranje kemikalija</b>                      |          |                                     |
| Veličina spremnika (ukupni sadržaj) dozirni spremnik       | l        | 200                                 |

| Predmet   | Jedinica | Vrijednost ili opis |
|---|----------|---------------------|
| Modul za ekspanziju, povrat topline i ispušt vode EHB   |          |                     |
| Temperatura vode za rasol                               | °C       | 202,56              |
| Tlak vode   | bar      | 15,40               |
| Maseni protok vode                                      | kg/h     | 285,85              |
| Računski tlak   | bar      | 0,50                |
| Toplinski učinak izmjenjivača topline                   | kW       | 18,00               |
| Max. possible application temperature                   | °C       | 110,00              |
| Veličina spremnika (ukupni sadržaj) ekspanzijska posuda | l        | 450                 |
| Ukupna veličina modula za ekspanziju                    | l        | 190,00              |
| Temperatura vode za hlađenje                            | °C       | 15,00               |
| Transportna masa +/- 4 %                                | kg       | 499                 |
| Radna masa +/- 2%                                       | kg       | 691                 |
| Maksimalna masa +/- 2%                                  | kg       | 1139                |

## Detaljni opis komponenti parne kotlovnice

### Parni kotao

**Tlačno tijelo kotla** sastoji se od: cilindričnog plašta kotla, prednje i stražnje podnice, na podnice spojene asimetrično ležeće plamene cijevi, unutarnje vodom hlađene reverzibilne komore, dimnih cijevi 2. i 3. prolaza, uređaja za sušenje vodene pare i priključnih nastavaka za oduzimanje vodene pare, osiguranje od prekoračenja tlaka, napajanje, mjerenje tlaka, pokazivača razine i ispusta, zaštitne cijevi za elektrode regulatora i graničnika razine vode, revizionog otvora za komoru loženja na stražnjoj stijeni, revizionih otvora na strani vode i vodene pare, dvije transportne uške i identifikacijske pločice proizvođača.

#### Ispitivanje tijekom proizvodnje:

Kontrola kvalitete zavarenih spojeva provodi se rendgenskim i ultrazvučnim ispitivanjem. Svi dijelovi izloženi djelovanju tlaka zavareni su i nakon zavarivanja podvrgavaju se ispitivanju s povišenim tlakom vode. Mogućnosti kontrolnog pregleda jamče optimalnu reviziju kotla uz povoljne troškove. Zahvaljujući povoljnim mogućnostima revizije, kao i nadziranoj proizvodnji kotla, mogu se poostići dulji rokovi između ponavljanih ispitivanja, prema važećim zakonskim propisima.

#### Montažni i ugradni dijelovi:

Prednja reverzibilna komora za čišćenje i kontrolni pregled na strani produkata izgaranja s visokokvalitetnom unutarnjom izolacijom, dimovodna komora s priključnim nastavkom za kondenzat dimnih plinova i s revizionim otvorom na strani dimnih plinova pripremljena za montažu ekonomajzera, temeljni okvir kotla stabilne konstrukcije od čeličnih profila za jednoličnu raspodjelu opterećenja i za jednostavan transport prikladan je za ugradnju traka za prigušenje buke, perforirana ploča plamenika, ozid plamenika, premaz za zaštitu od korozije montiranih dijelova koji nisu pokriveni izolacijom u dva sloja, s jednokomponentnom lak bojom bez sadržaja olova i kromata na bazi modificirane polimerne, kontrolni otvor plamena za nadzor plamena s kontrolnim staklom svjetlog otvora Ø 32 mm zaštitni poklopac i priključak za rashladni zrak i mjerenje.

#### Pribor:

Manometar - cijev manostata, odvlaživač od nehrđajućeg čelika ugrađen u kotlu za postizanje suhoće vodene pare do cca. 99 % kao i za povišenje kvalitete vodene pare, izolacija tijela kotla i podnica s jastucima od staklene vune i zaštitnim plaštem od strukturiranog aluminijskog, komplet prigušivača vibracija za smanjeni prijenos vibracija na temelj i prigušenje buke tijela kotla, proračunatim oslajanjem s prigušenjem vibracija. Prigušivači vibracija podlažu se pod temeljni okvir, platforme za održavanje armature na tjemenu kotla s maksimalnim dopuštenim površinskim opterećenjem platforme 3 kN/m<sup>2</sup>, zaštitna ograda podesta za izvođenje radova održavanja, ljestve s gazećom površinom s izdancima protiv klizanja.

#### Oprema

Sigurnosni ventil punog hoda, zaporna armatura napojne vode koja se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni s naboranim mijehom, povratna armatura napojne vode koja se sastoji od pločastog povratnog ventila, ispusna zaporna armatura koja se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni, pokazivača razine vode s izravnim pokazivanjem koji se sastoji od refleksijskog pokazivača razine vode s kuglastim zapornim organom na samozatvaranje i ispusne slavine, zaporni ventil manometra koji se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni, uređaj za pokazivanje tlaka koji se sastoji od manometar/zapornog ventila s područjem pokazivanja 0 - 40 bar, odzračni prolazni ventil, sigurnosni uređaj za ograničenje maksimalnog tlaka koji se sastoji od sigurnosnog graničnika tlaka, regulator razine vode s elektrodama i kombinacija graničnika koji se sastoji od mjernog pretvornika razine, ograničenje razine vode s automatskim nadzorom koje se sastoji od elektrode graničnika sa stalnim nadzorom izolacije i elektroničkog rasklopnog uređaja za isključivanje plamenika i slanje

poruke alarma, zasebno osiguranje pri maksimalnoj razini vode kao osiguranje od prepunjavanja, sastoji se od davača razine.

### **Funkcija**

Ovom kombinacijom regulatora i graničnika regulira se razina vode u kotlu, uključivanjem i isključivanjem crpke za napojnu vodu, odnosno regulacijom količine protoka napojne vode. Napojna crpka se isključuje pri prekoračenju maksimalne razine vode. Ložišni uređaj će se pouzdano isključiti i blokirati ako se ne bi dosegla najniža dopuštena razina vode.

### **Automatski uređaj za desalinizaciju:**

Uređaj za mjerenje vodljivosti koji se sastoji od mjernog pretvornika vodljivosti s temperaturnom kompenzacijom (izlaz signala 4-20 mA), povratna armatura za desalinizaciju se sastoji od pločastog povratnog ventila, regulacijski uređaj vodljivosti za kotlovsku vodu koji se sastoji od zapornog kutnog ventila, regulacijskog ventila desalinizacije s električnim izvršnim pogonom, testera vodljivosti za kontrolu vodljivosti vode,

### **Svrha primjene**

Uređaj za desalinizaciju služi za izbjegavanje smetnji u radu kotla zbog prevelikog zgušnjavanja kotlovske vode, kao i za izbjegavanje oštećenja kotla zbog prevelikog obogaćenja solju u kotlu. Prema potrebi, upravljanim odvodom djelomične količine kotlovske vode, na minimum se smanjuju brzine odvoda, na koji način se može uštedjeti na znatnim količinama napojne vode, energije i kemikalija ovisno od potrošnje svježije vode te se skratiti vrijeme odmuljivanja i produžiti stanke između odmuljivanja.

### **Funkcija**

U regulacijskom ormaru kotla, zgušnjavanjem kotlovske vode automatski se regulira promjenjiva vodljivost kotlovske vode. Pri povećanju vodljivosti na vrijednost veću od prethodno namještene vrijednosti, otvara se regulacijska armatura za desalinizaciju i odvodi se kotlovska voda sa sadržajem soli. Pri daljnjem povećanju provodi se memoriranje u dojavnoj radnoj memoriji. Kada se dosegne maksimalno dopuštena granična vrijednost, provodi se isključivanje zbog smetnji ložišnog uređaja, sa signaliziranjem i memoriranjem. Zaporna armatura za desalinizaciju zatvorit će se ako se ne bi dosegla minimalna vrijednost vodljivosti, odnosno pri isključivanju zbog smetnje ložišnog uređaja.

Automatika odmuljivanja za vremenski ovisno pokretanje brzog zapornog ventila za odmuljivanje: brzi zaporni samozatvarajući ventil za odmuljivanje, membranski pogon brzog zapornog ventila za odmuljivanje, modul s digitalnim pokazivanjem vremena i izlazom za upravljanje brzim zapornim ventilom za odmuljivanje.

-sredstvo upravljanja: komprimirani zrak/voda

-tlak radnog medija za upravljanje: 4,5 - 8 bar (odnosno ovisno od osiguranog pretlaka kotla)

### **Svrha primjene**

Pri dovodu većih količina svježije vode, zbog dodavanja kemikalija povećava se taloženje lebdećih tvari u kotlu. Lebdeće tvari talože se u podnožju kotla i u redovitim vremenskim intervalima moraju se odmuljiti.

## **Funkcija**

Preko softverskog modula s podesivim impulsnim vremenima i vremenima stanki, upravlja se magnetskim ventilom koji pomoću komprimiranog zraka pokreće membranski pogon brzog zapornog ventila za odmuljivanje.

## **Prednosti**

Zahvaljujući individualnoj montaži ili postavljanju regulacijskog ormara kotla, može se zajamčiti očitavanje pokazivanja i posluživanje kotlovske postrojenja bez problema. Jednostavan priključak na ormarić s priključnicama i bez opasnosti od pogrešnog spajanja, zahvaljujući pojedinačnim već pripremljenim kabelskim snopovima, koji su kodirani, označeni i odostrano pripremljeni za priključak.

## **Pregrijač pare**

### **Cijevni snop pregrijača**

S cijevnim spiralama uvarenim u kolektor, nosivim okvirom, držačima, ugrađenim u kućištu i prirubnički spojenim na prednjoj povećanoj reverzibilnoj komori.

### **Revizioni otvor**

Revizioni otvor za čišćenje pregrijača.

### **Priključni element za pregrijanu vodu paru**

S priključcima za sigurnosno tehničku opremu i za uređaje za mjerenje temperature i tlaka, odnosno pokazne uređaje.

## **Funkcija**

Produkti izgaranja koji izlaze iz 2. prolaza kotla, u kanalu dostrujavanja modula pregrijača vode se prema gore, skreću i prostrujavaju cijevni snop pregrijača, odozgo prema dolje. Izvedba kolektora i način vođenja produkata izgaranja jamče djelovanje izmjenjivača topline u protustruji. Produkti izgaranja koji izlaze iz pregrijača struje kroz 3. prolaz kotla.

## **Posebna svojstva**

U usporedbi s ostalim konstrukcijama pregrijača, dugi vijek trajanja postiže se manjim toplinskim opterećenjem izmjenjivača topline. To se postiže na dva načina:

1. Modul pregrijača smješten je u relativno nižem temperaturnom području, iznad prednje reverzibilne komore.
2. Namještanjem tražene temperature pregrijane vodene pare iznad zadane temperature koja nadmašuje pregrijanje vodene pare, s narednim povratnim hlađenjem, svjesno se izbjegava regulacijom na strani produkata izgaranja, kako bi se temperatura cijevi spirala pregrijača održala na manjoj visini.

Modularna izvedba izmjenjivača topline na prednjoj reverzibilnoj komori jamči jednostavnost održavanja i montaže, kao i nesmetano čišćenje i kontrolni pregled 2. i 3. prolaza kotla.

## **Oprema pregrijača**

Armatura za oduzimanje pregrijane vodene pare koja se sastoji od motornog ventila s montiranim izvršnim pogonom i ručnim reguliranjem, osiguranje od prekoračenja tlaka koje se sastoji od kutnog sigurnosnog ventila punog hoda, pokazivač temperature pregrijane vodene pare, uređaj za pokazivanje tlaka koji se sastoji od manometara, s područjem pokazivanja 0 - 40 bar, automatski uređaj za ispuštanje vode koji se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni za ispuštanje vode, uređaj za ispuštanje vode iz obilazne armature koji se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni, uređaj za odvod kondenzata koji se sastoji od dvodnika kondenzata plovka, sigurnosni graničnik temperature pregrijane pare.

Funkcija sigurnosnog graničnika temperature pregrijane pare: preko graničnika temperature sprječava se prekoračenje maksimalno dopuštene temperature pregrijane vodene pare. Plamenik će se isključiti pri aktiviranju graničnika temperature.

Cjevovod zasićene vodene pare (neizoliran) za spajanje priključnog nastavka zasićene vodene pare na kotlu s priključnim nastavkom zasićene vodene pare na modulu pregrijača.

Cjevovod za ispuštanje vode (neizoliran) modula pregrijača, za pražnjenje cijevnog snopa pregrijača. Cjevovod za ispuštanje vode vodi se na visini posluživanja

### **Regulacija temperature pregrijane pare**

Mjerni pretvornik temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA, zaštitna čahura na uvijanje za ugradnju senzora temperature kako bi se omogućila zamjena senzora bez pražnjenja sustava, elektromotorni izvršni pogon za pokretanje regulacijske zaklopke pregrijane vodene pare.

#### **Funkcija:**

Za regulaciju temperature pregrijane vodene pare, koju mjeri senzor temperature. Zaklopka za produkte izgaranja aktivira se u ovisnosti od odstupanja temperature pregrijane vodene pare od prethodno namještene zadane vrijednosti. Ovisno od položaja zaklopke za produkte izgaranja, dio produkata izgaranja od izlaza 2. prolaza kotla, izravno se skreće u 3. prolaz kotla, kako bi se postiglo održanje zadane vrijednosti temperature pregrijane vodene pare. Regulator temperature posjeduje integriranu funkciju kontrolnika, koja se aktivira pri prekoračenju temperature. Vraćanje natrag na pogon s regulacijom ložišnog uređaja, automatski se provodi nakon nedosizanja temperature kontrolnika. Automatski uređaj za pokretanje pregrijača sastoji se od motornog ventila s montiranim izvršnim pogonom i ručnim reguliranjem.

## **Izmjenjivač topline ECO 1**

Za uštedu toplinske energije i smanjenje količine CO<sub>2</sub>, sniženjem temperature dimnih plinova pomoću povratne vode mreže. Izmjenjivač topline zavarene izvedbe, za montažu na stražnju dimovodnu komoru, s priključnim nastavcima za ulaz vode, izlaz vode i odvodnju, uključujući i revizioni otvor na strani dimnih plinova. Prijenos topline visoke učinkovitosti, koji se provodi protustrujnim principom. Cijevi izmjenjivača topline s potpuno zavarenim rebrima za optimiziranje prijenosa topline. Kućište izmjenjivača topline izrađeno je kao zavarena konstrukcija od čeličnog lima. Ukrućeno je zbog oscilacija dimnih plinova i nepropusno na pretlak.

#### **Funkcija**

U izmjenjivaču topline dimnih plinova iz (vrelih) dimnih plinova kotla regenerira se toplinska energija, tako što (hladnija) napojna voda struji kroz cijevi izmjenjivača topline i na taj način snižava temperaturu dimnih plinova. Na taj način dobivena energija rezultira povišenjem stupnja djelovanja kotla i time smanjenjem potrošnje goriva, kao i smanjenjem emisija štetnih tvari, kao što je ugljični dioksid i dušikov oksid.

#### **Oprema**

Odzračna armatura koja se sastoji od zapornog ventila izvedenog kao prolazni, armatura za pražnjenje koja se sastoji od zaporni ventil izvedenog kao prolazni, Pokazni uređaj temperature napojne vode.

Pokazni uređaj temperature napojne vode za pokazivanje temperature napojne vode iza izmjenjivača topline dimnih plinova, u pokaznom i upravljačkom uređaju sustava upravljanja kotlom BCO, sastoji se od: mjernog pretvornika temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA, zaštitne čahura na uvijanje, za ugradnju senzora temperature, kako bi se omogućila zamjena senzora bez pražnjenja sustava.

Pokazni uređaj temperature dimnih plinova za pokazivanje temperature dimnih plinova ispred izmjenjivača topline dimnih plinova, u pokaznom i upravljačkom uređaju sustava upravljanja kotlom BCO, sastoji se od: mjernog pretvornika temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA

Pokazni uređaj temperature dimnih plinova za pokazivanje temperature dimnih plinova iza izmjenjivača topline dimnih plinova, u pokaznom i upravljačkom uređaju sustava upravljanja kotlom BCO, sastoji se od: mjernog pretvornika temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA.

Izolacija izmjenjivača topline dimnih plinova, dimovodne komore i kućišta izmjenjivača topline, s jasticima od staklene vune debljine 100 mm i zaštinim plaštem od strukturiranog aluminija. Izolacija spojnog voda na strani vode, između izmjenjivača topline i kotla, bez armatura i prirubnice.

Spojni vod za spajanje priključnog nastavka napojne vode na kotlu s priključkom za izlaz vode na izmjenjivaču topline, s priključnim nastavkom za odzračivanje i pokazivanje temperature. Cjevovod za izvedbu izmjenjivača topline bez mogućnosti zatvaranja. Dimovodni priključni nastavak s protuprirubnicom, brtvom, vijcima i maticama, uvaren u dimovodnu sabirnu komoru.

## Plamenik i ventilator

**Plamenik** je opremljen: uređajem za paljenje, uređajem za raspršivanje goriva, uređajem za reguliranje omjera goriva i zraka, dvostrukom sigurnosnom zapornom armaturom za svako gorivo

**Regulacija toplinskog učinka**, sastoji se od mjernog pretvornika tlaka (Izlazni signal 4 - 20 mA)

### Ventilator zraka za izgaranje

Kompletno montiran sa spojkom, štitnikom spojke, elektromotorom, prigušivačima vibracija i kompenzatorima na tlačnoj strani, protuokvirom uključujući vijke i brtve.

Upravljanje brojem okretaja s pretvornikom frekvencije za ventilator zraka za izgaranje, sastoji se od: pretvornika frekvencije, nadzora broja okretaja, uklopnih uređaja

### Svrha primjene

Upravljanjem brojem okretaja, ventilator zraka za izgaranje može optimalno raditi u radnim točkama. Izbjegavaju se veliki gubici prigušenja na zračnoj zaklopki, te se zbog toga smanjuje primljena snaga.

Prednosti upravljanja brojem okretaja: ušteda električne energije, smanjenje šumova, manje opterećenje mreže pri pokretanju

**O<sub>2</sub>-Regulacijski i pokazni uređaj za svaki plamenik**, sastoji se od: mjerne sonde za kisik, regulacijskog i kontrolnog modula kisika, s lambda davačem u zidnom kućištu

### Svrha primjene

Ušteda goriva do max. ca. 0,5 %, održavanjem konstantnim preostalim sadržajem kisika u dimnim plinovima. Kompenziranje utjecaja smetnji na izgaranje, kao npr. promjena temperature zraka, tlaka zraka i donje ogrjevne vrijednosti goriva.

### Funkcija

Kakvoća izgaranja kontrolira se mjerenjem udjela kisika u struji dimnih plinova. U slučaju odstupanja stvarne O<sub>2</sub>-vrijednosti od prethodno zadane vrijednosti, preko O<sub>2</sub>-regulacije korigira se omjer goriva i zraka.

## Modul plinomjera

Komponente modula plinomjera:

Brojilo uključujući cijevne prijelazne elemente, ulazna mjerna staza, priključni dijelovi, termometar s područjem pokazivanja 0,00°C do 50,00°C.

### Pretvornik količine plina

Komponente: mjerni pretvornik tlaka (Izlazni signal 4 - 20 mA), mjerni pretvornik temperature, mjerni pretvornik temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA, zaštitna čahura na uvijanje, za



ugradnju senzora temperature, kako bi se omogućila zamjena senzora bez pražnjenja sustava, softverski modul za izračunavanje broja normnih kubnih metara plina.

**Funkcija:**

Tlak plina i temperatura plina registriraju se pomoću zasebnih senzora u plinskoj cijevi. Softverski modul šalje ulazni signal radne količine plina u m<sup>3</sup>, kao volumno proporcionalni signal 4-20 mA signal. S ovim vrijednostima provodi se preračunavanje na normni m<sup>3</sup>. Preračunavanje se provodi na bazi DIN 1343.

## Modul crpki

Komponente modula crpki:

Napojna crpka s elektromotorom reguliranim preko frekvencije, prikladna za temperature dovedene vode do 103 °C. Dimenzionirana prema učinku kotla i tlaku kotla, za max. stupanj desalinizacije od 2,00 % i otpore od 0,5 bar.

**Svrha primjene**

Za postizavanje visoke kvalitete vodene pare, pomoću trokomponentne regulacije pri intenzivnim promjenama opterećenja i brzim vršnim opterećenjima, postiže se približno konstantna razina vode u kotlu.

**Zaštitna funkcija**

Sustavom upravljanja crpkom spriječava se rad ispod minimalne količine protoka, koja je potrebna za hlađenje i podmazivanje.

**Armature na usisnoj strani**

-zaporna zaklopka s ručnim pokretanjem, hvatač prljavštine za ugradnju ispred regulacijskih armatura i crpki.

**Armature na tlačnoj strani**

-pločasti povratni ventil, zaporni ventil izveden kao prolazni.

**Pokazni uređaj tlaka na tlačnoj strani**

-manometar, s područjem pokazivanja 0 - 40 bar.

## Modul cirkulacije loživog ulja OCM

**Komponente OCM-a**

Dvokomorna prijemna posuda (separator zraka iz plina), odzračna zaporna armatura, armatura za osiguranje od prekoračenja tlaka, armatura filtra za ulje, zaporna armatura, brojilo količine loživog ulja

**Svrha primjene**

Za registriranje količine goriva i za otplinjavanje loživog ulja. Cirkulacijski modul loživog ulja služi za spajanje opskrbe cijevi plamenika (polazni i povratni od plamenika) na uljni prstenasti vod, s dovodnim tlakom od min. 1,5 bar. Instalira se blizu plamenika. Zaporna armatura izvršava funkciju prvog zatvaranja polaznog i povratnog voda loživog ulja, za polazni i povratni vod plamenika.

**Funkcija**

Loživo ulje se otplinjava bez mjehurića i zraka i transportira do plamenika. Pokazivanje količine ulja u pokaznom i upravljačkom uređaju sustava upravljanja kotlom BCO. Na raspolaganju su slijedeći pokazivači:

- Ukupno brojilo u litrama, ne može se vratiti u početno stanje
- Ukupno brojilo u litrama, može se vratiti u početno stanje
- Trenutačna izmjerena vrijednost u litrama

## **Ekspanzijski modul, modul regeneracije topline i modul ispusne vode EHB**

**Spremnik** s revizionim otvorom, priključcima za odzračivanje, ispusnu vodu, odvodnu vodu, rashladnu vodu, pražnjenje, izveden kao hladnjak gdje se hlađenje provodi miješanjem, potpuno električno zavaren i ispitan na nepropusnost, sa stopalima spremnika, dvije transportne uške i jednom identifikacijskom pločicom proizvođača.

### **Oprema**

Armatura za pražnjenje koja se sastoji od zaporna armatura, uređaj za pokazivanje tlaka ekspanzijske posude koji se sastoji od manometra s područjem pokazivanja 0 - 0,6 bar, uređaj za regulaciju temperature za pokazivanje i regulaciju temperature radnog medija u ekspanzijskoj posudi koji se sastoji se od mjernog pretvornika temperature za proizvodnju proporcionalnih signala 0/4-20 mA, uređaj za odvod kondenzata koji se sastoji od odvodnika kondenzata plovka.

Regulacijski uređaj rashladne vode – komponente: magnetski zaporni ventil, prigušni zaporni organ, sustav upravljanja za rashladni uređaj upravljani od mjernog pretvornika temperature.

Ekspanzijska posuda, s priključcima za vrelu vodu, ispusnu vodu, pražnjenje, izrađena je od čeličnog lima, potpuno elektrolyčno zavarena i ispitana na nepropusnost.

Izolacija spremnika s jastucima od staklene vune i zaštitnim plaštem od strukturiranog aluminijskog, bez armatura i prirubnice.

### **Hladnjak**

Pločasti izmjenjivač topline s navojnim priključcima za vrelu vodu i hladnu vodu, dijelovi koji dolaze u kontakt radnim medijem izrađeni su od nehrđajućeg čelika, koristi se za regeneraciju toplinske energije. .

Komponente hladnjaka: osigurač od prekoračenja tlaka koji se sastoji od kutnog sigurnosnog ventila punog hoda, zaporne armatura koja se sastoji od prigušnog zapornog organa

### **Funkcija:**

Modul regenerira veliki dio količine toplinske energije sadržane u otpadnim vodama kotlovskog postrojenja, koje održavaju toplinu. U ekspanzijskom spremniku voda pod tlakom ekspandira na 0,5 bar. Ekspandirana para koja pri tome nastaje, podržava zagrijavanje spremnika napojne vode. U sekundarnom izmjenjivaču topline predgrijava se dodatna voda kotlovskog postrojenja, a otpadne vode se protuohlađuju na temperaturu od cca. 35°C. Time se povisuje stupanj djelovanja kotlovskog postrojenja, a mogu se sniziti troškovi goriva, svježe vode i troškovi povezani s otpadnim vodama.

## **Sustav regeneracije topline dimnih plinova**

Sastoji se od:

- Ekonomajzera u zavarenoj izvedbi, sa snopom glatkih cijevi od nehrđajućeg čelika
- Dimovodnog priključnog nastavka uključujući revizione otvore na strani dimnih plinova, s protuprirubnicom, brtvom, vijcima i maticama

### **Funkcija**

U izmjenjivaču topline dimnih plinova, toplinska energija dobiva se iz dimnih plinova kotla, tako što voda struji kroz cijevi izmjenjivača topline. Pri tome se (hladnija) voda zagrijava od (vrelih) dimnih plinova kotla, dok se istodobno snižava temperatura dimnih plinova. Na taj način dobivena energija rezultira povišenjem stupnja djelovanja kotla, a time i smanjenjem potrošnje goriva, kao i emisija dimnih plinova.

Optimalnom regeneracijom topline u dospojenom dimovodnom sustavu treba uzeti u obzir da se ovisno od toplinskog učinka kotla, temperature namještaju ispod računске temperature, prema tehničkom informacijskom listu.

Stupanj djelovanja kotla, uključujući kondenzaciju dimnih plinova, što je navedeno u tehničkim podacima, dobije se iz omjera korisne topline i korištene topline (toplinski učinak loženja svedeno na donju ogrjevnu vrijednost).

**Napomena:**

Volumni protok kondenzata izračunat za izmjenjivač topline dimnih plinova, iznosi 517,98 l/h. Nastali kondenzat dimnih plinova koji nastaje pri iskorištenju kondenzacije dimnih plinova, zbog svoje niže pH-vrijednosti mora se neutralizirati prema važećim propisima.

Izolacija izmjenjivača topline dimnih plinova, s jastucima od staklene vune debljine 100 mm i sa zaštitnim plaštem od strukturiranog aluminijskog aluminija.

**Motorni izvršni član dimovodne regulacijske zaklopke**, sastoji se od:

- Elektromotornog izvršnog pogona za pokretanje dimovodne regulacijske zaklopke.
- Upravljačkog uređaja za automatski i ručni pogon

Ovaj upravljački uređaj instaliran je u regulacijskom ormaru kotla ako mi isporučujemo regulacijski ormar.

**Funkcija**

Preko izvršnog uređaja ukupna količina protoka dimnih plinova na izmjenjivaču topline može se voditi mimo preko ugrađenog bajpasa dimnih plinova.