

Analiza uvjeta u vrelovodnom kotlu kod prelaska s loženja na tekuće gorivo na izgaranje plinovitog goriva

Begić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:235:783177>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-04**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tomislav Begić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ANALIZA UVJETA U VRELOVODNOM
KOTLU KOD PRELASKA S LOŽENJA
NA TEKUĆE GORIVO NA IZGARANJE
PLINOVITOG GORIVA**

Prof. dr. sc. Daniel Rolph Schneider

Tomislav Begić

Zagreb, 2015.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tomislav Begić**

Mat. br.: 0035177922

Naslov rada na hrvatskom jeziku:

Analiza uvjeta u vrelovodnom kotlu kod prelaska s loženja na tekuće gorivo na izgaranje plinovitog goriva

Naslov rada na engleskom jeziku:

Analysis of conditions in hot water boiler when switching from liquid fuel firing to combustion of gaseous fuel

Opis zadatka:

Zbog adaptacije kotlovnice u smislu prelaska loženja vrelovodnog kotla s tekućeg goriva na plinovito gorivo potrebno je analizirati uvjete koji vladaju u kotlu u smislu osiguravanja sigurnog i učinkovitog pogona. Kotao je namijenjen dogrijavanju vrele vode u postojećoj toplani za daljinsko grijanje grada.

U radu je potrebno napraviti termodinamički, hidrodinamički i aerodinamički proračun vrelovodnog kotla:

- s izgaranjem na teško loživo ulje i
- s izgaranjem na prirodni plin.

Termodinamički proračun treba napraviti prema normativnoj (CKTI) metodi i odrediti stupanj iskoristivosti kotla. Hidrodinamički proračun treba napraviti za vodenu stranu kotla i izračunati padove tlaka te brzine strujanja vode u cijevima. Aerodinamički proračun uključuje proračun dimnog trakta kotla, s izračunom pada tlaka i brzine strujanja dimnih plinova.

Nakon toga treba usporediti izračunate parametre kod oba tipa loženja te donijeti zaključak da li postojeća geometrija kotla može udovoljiti zahtjevima loženja na prirodni plin.

Također treba napraviti dispozicijski nacrt kotla s najmanje jednim presjekom.

Osnovni podaci za kotao:

- Kapacitet: 34,89 MW (toplinske snage)
- Radni tlak: 24,5 bar
- Temperatura ulazne vode: 130 °C
- Temperatura izlazne vode: 160 °C

Potrebni podaci i literatura mogu se dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

25. studenog 2014.

Rok predaje rada:

1. rok: 26. veljače 2015.

2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

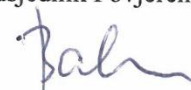
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.

2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Daniel R. Schneider


Prof. dr. sc. Igor Balen

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

Želio bih se zahvaliti svojem mentoru Prof.dr.sc.Danielu Rolphu Schneideru na literaturi i pomoći pri izradi ovog završnog rada.

Tomislav Begić

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 2 |
| 1.1. VRELOVODNI KOTLOVI | 2 |
| 1.2. PLINSKA LOŽIŠTA I LOŽIŠTA NA TEKUĆE GORIVO [2] | 2 |
| 2. PRORAČUN ZA TEKUĆE GORIVO | 4 |
| 2.1. TERMODINAMIČKI PRORAČUN | 4 |
| 2.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN | 25 |
| 3. PRORAČUN ZA PLINOVITO GORIVO | 29 |
| 3.1. TERMODINAMIČKI PRORAČUN | 29 |
| 3.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN | 47 |
| 4. ZAKLJUČAK..... | 51 |
| LITERATURA..... | 52 |
| PRILOZI | |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za tekuće gorivo | 8 |
| Slika 2. Shema optoka kotla..... | 10 |
| Slika 3. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za plinovito gorivo | 32 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Entalpije pojedinih sudionika dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi..... | 6 |
| Tablica 2. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi | 7 |
| Tablica 3. Veličine stanja vode pri loženju na tekuće gorivo | 10 |
| Tablica 4. Svojsva dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi..... | 17 |
| Tablica 5. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za plinovito gorivo | 31 |
| Tablica 6. Veličine stanja vode pri loženju na plinovito gorivo | 33 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|--------------|-------------|--|
| P | MW | toplinska snaga |
| t | $^{\circ}C$ | temperatura |
| p | bar | tlak |
| H_d | kJ/kg_B | donja ogrijevna vrijednost goriva |
| V_{O_2min} | m^3/kg_B | teorijska količina kisika potrebnog za izgaranje |
| V_{Lmin} | m^3/kg_B | teorijska količina zraka potrebnog za izgaranje |
| V_{sdpmin} | m^3/kg_B | teorijska količina suhih dimnih plinova |
| V_{sdp} | m^3/kg_B | stvarna količina suhih dimnih plinova |
| V_{vl} | m^3/kg_B | količina vlažnih dimnih plinova |
| V_{dp} | m^3/kg_B | ukupni volumen dimnih plinova |
| r | | udio u dimnim plinovima |
| h | kJ/kg_B | entalpija |
| h_L | % | gubici na neizgorenom |
| h_Z | % | gubici zračenja na okolinu |
| η_L | | stupanj djelovanja ložišta |
| η_Z | | stupanj djelovanja zračenja na okolinu |
| h_A | % | gubitak osjetne topline dimnih plinova |
| η_K | | stupanj djelovanja kotla |
| D | kg/s | količina zagrijavane vode |
| B | kg/s | količina goriva |
| Q | kW | izmijenjena toplina |
| q | kJ/kg_B | izmijenjena toplina |
| l_L | m | duljina ekrana |
| b_L | m | širina ekrana |

| | | |
|-----------------|------------------------------------|--|
| h_L | m | visina ekrana |
| F | m ² | površina |
| V_L | m ³ | volumen ložišta |
| ψ_L | | stupanj ekranizacije |
| x | | bezdimenzijski položaj maksimalne temperature |
| s_z | m | debljina stijenke cijevi |
| d_z | m | vanjski promjer cijevi |
| s | m | efektivna debljina sloja dimnih plinova koji zrače |
| ξ | | uvjetni faktor zaprljanja |
| r_{RO} | | udio troatomnih plinova u dimnim plinovima |
| ε_L | | stupanj crnoće ložišta |
| t_p | m | poprečni korak cijevi |
| t_u | m | uzdužni korak cijevi |
| n_z | | broj cijevi |
| N_z | | broj cijevi u prvom redu |
| n_r | | broj redova |
| w | | brzina strujanja vode |
| C_C | W/(m ² K ⁴) | koeficijent zračenja crnog tijela |
| ν | m ² /s | kinematička viskoznost |
| λ | W/(mK) | koeficijent toplinske provodljivosti |
| Pr | | Prandtlova značajka |
| α | W/(m ² K) | koeficijent prijelaza topline |
| a | | koeficijent slabljenja zraka troatomnih plinova |
| ρ | kg/m ³ | gustoća |
| λ | | koeficijent trenja |
| ζ | | koeficijent otpora strujanja |
| σ | | srednji relativni dijagonalni korak cijevi |

SAŽETAK RADA

U ovom radu izvršena je analiza uvjeta koji vladaju u vrelovodnom kotlu pri prelasku loženja s tekućeg goriva na plinovito gorivo. Kotao je namijenjen dogrijavanju vrele vode u postojećoj toplani za daljinsko grijanje grada. Napravljen je termodinamički, hidrodinamički i aerodinamički proračun vrelovodnog kotla za slučaj loženja na teško loživo ulje i za slučaj loženja na prirodni plin.

Termodinamički proračun je napravljen prema normativnoj (CKTI) metodi. U hidrodinamičkom proračunu izračunati su padovi tlaka te brzine strujanja vode u cijevima. Aerodinamički proračun uključuje proračun dimnog trakta kotla, s izračunom pada tlaka i brzine strujanja plinova.

Tehnički crtež uključuje dispozicijski nacrt kotla s presjekom konvektivnog kanala.

Ključne riječi: vrelovodni kotao, teško loživo ulje, prirodni plin, termodinamički proračun

SUMMARY

This paper presents a numerical analysis of the conditions in the hot water boiler comparing drive on liquid fuel to gas fuel. The boiler is intended for reheating of hot water in the existing powerplant for heating purposes of town. Thermodynamic, hydrodynamic and aerodynamic calculations have been made in case of using heavy fuel oil and natural gas.

Thermodynamic analysis was made according to the normative (CKTI) method. Hydrodynamic calculation determined pressure drop and flow velocity of water in the pipes. Aerodynamic analysis includes calculations of the flue tract of boiler, estimating the pressure drop and velocity of gases.

Technical drawing includes layout of boiler with section of convective channel.

Key words: hot water boiler, heavy fuel oil, natural gas, thermodynamic analysis

1. UVOD

1.1. VRELOVODNI KOTLOVI

Vrelvodni kotlovi ne proizvode vodenu paru (voda je pod tlakom iznad tlaka zasićenja), međutim, vrelvodno kotlovsko postrojenje je veoma složeno i u velikom broju elemenata slično parnom postrojenju. [1]

Vrelvodni kotlovi koriste se za sisteme daljinskog grijanja. Vrelva voda na izlazu iz kotla može imati temperaturu od 130 do 200°C i pritisak do 25 bar. Toplinska snaga vrelvodnih kotlova kreće se do preko 100 MW.

1.2. PLINSKA LOŽIŠTA I LOŽIŠTA NA TEKUĆE GORIVO [2]

Uvjeti izgaranja prirodnog plina i tekućeg goriva imaju mnogo toga zajedničkog i zbog toga, oba goriva mogu sagorijevati u ložištima iste konstrukcije. U većini slučajeva, takva ložišta se konstruiraju primarno za tekuće gorivo, s prirodnim plinom kao pomoćnim gorivom. Sličnost između tekućeg goriva i prirodnog plina pokazuju sljedeće karakteristike:

1. Oba goriva praktično ne sadrže slučajnu vlagu i stvaraju otprilike iste volumene produkata izgaranja: zbog toga puhalo (ventilatori) parnog kotla mogu djelotvorno raditi bez obzira na to da li u kotlovske peći izgara tekuće gorivo ili prirodni plin.
2. Izgaranje tekućeg goriva i prirodnog plina odvija se u parovitom stanju (homogeni medij) i to prema zakonima razgranatih lančanih reakcija. Intenzitet izgaranja u oba slučaja određen je uvjetima miješanja, a maksimalno dozvoljeno toplinsko opterećenje po volumenu ložišta je za oba goriva blizu jedno drugom (300 kW/m^3 za tekuće gorivo, i 350 kW/m^3 za prirodni plin). Prema tome za istu količinu kotlovske pare mogu se uzeti gotovo jednake dimenzije ložišta za te dvije vrste goriva.
3. Oba goriva gotovo da i ne stvaraju pepeo prilikom izgaranja (sadržaj pepela tekućeg goriva A^d iznosi manje od 0.3% čime je izbjegnuto zašljakivanje ekranskih zidova

u ložištu i čini nepotrebnim uređaje za baratanje šljakom. S obzirom na to, ložišta za oba goriva rade se sa horizontalnim ili blago nagnutim (iskošenim) dnom s otvorima koji omogućavaju popravke.

4. Zbog toga što je gorivo u plinovitom (ili parovitom) stanju, lakše se može izmiješati sa zrakom, što osigurava praktički potpuno izgaranje kod velikog oslobođenog toplinskog toka i niskog omjera pretička zraka $\lambda = 1.02-1.05$. Za oba goriva zrak se može pregrijati na istu temperaturu ($t_{ha} = 250-300$ °C, omogućava upotrebu kombiniranih plamenika na plin i tekuće gorivo s bliskim vrijednostima volumnog protoka zraka i gotovo istim otporom.

Plinovita goriva poznata su po tome što stvaraju plamenove niže emisivnosti nego tekuće gorivo, tako da kad se kotao promijeni s tekućeg goriva na izgaranje prirodnim plinom apsorpcija topline prostora ložišta opada, dok temperature produkata izgaranja na izlazu iz ložišta postaju veće. U otvorenim ložštima pod nazivnim opterećenjem ova temperaturna razlika može biti visoka i gotovo do 100 °C što neizbježno mijenja temperaturne uvjete naknadnih toplinskih površina, primarno onih kod pregrijača pare.

2. PRORAČUN ZA TEKUĆE GORIVO

Zadano:

$$P = 34,89 \text{ MW}$$

$$t_u = 130^\circ\text{C}$$

$$t_i = 160^\circ\text{C}$$

$$p_r = 24,5 \text{ bar}$$

2.1. TERMODINAMIČKI PRORAČUN

2.1.1. Gorivo i izgaranje

Sastav goriva:

$$c = 0,834 \quad h = 0,1 \quad o = 0,001 \quad n = 0,003 \quad s = 0,029 \quad a = 0,003 \quad w = 0,03$$

2.1.1.1. Toplinska vrijednost goriva

$$H_d = \left[339 \cdot c + 1197 \cdot \left(h - \frac{o}{8} \right) + 105 \cdot s - 25 \cdot w \right] \cdot 100 = 40457,138 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_B}$$

2.1.1.2. Količina ugljika koja stvarno izgara

$$c_0 = c \cdot \left(1 - \frac{h_L}{100} \right) = 0,8316 \frac{\text{kg}}{\text{kg}_B}$$

$$\text{gubici na neizgorenom: } h_L = 1\%$$

2.1.1.3. Teorijska količina kisika i zraka za izgaranje

$$V_{O_2 \min} = \left[1,87 \cdot c_0 + 5,55 \cdot \left(h - \frac{o}{8} \right) + 0,69 \cdot s \right] = 2,1294 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_B}$$

$$V_{L \min} = \frac{V_{O_2 \min}}{0,21} = 10,1402 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_B}$$

2.1.1.4. Stvarna količina zraka za izgaranje

$$V_L = V_{Lmin} \cdot \lambda = 10,6472 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.1.5. Teorijska količina suhih dimnih plinova

$$V_{sdpmin} = 1,87 \cdot c_0 + 0,69 \cdot s + 0,8 \cdot n + 0,79 \cdot V_{Lmin} = 9,5883 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.1.6. Stvarna količina suhih dimnih plinova

$$V_{sdp} = V_{sdpmin} + (\lambda - 1) \cdot V_{Lmin} = 10,0953 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.1.7. Volumen vlage u dimnim plinovima

$$V_{vl} = 1,24 \cdot (9 \cdot h + w) = 1,153 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.1.8. Ukupni volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = V_{sdp} + V_{vl} = 11,2485 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.1.9. Volumni udjeli pojedinih sudionika dimnih plinova

$$V_{CO_2} = 1,87 \cdot c_0 = 1,5551 \frac{m^3}{kg_B}$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{dp}} = 0,1383$$

$$r_{O_2} = \frac{(\lambda - 1) \cdot V_{O_2min}}{V_{dp}} = 0,009$$

$$V_{H_2O} = V_{vl} = 1,153 \frac{m^3}{kg_B}$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{vl}}{V_{dp}} = 0,1025$$

$$V_{SO_2} = 0,69 \cdot s = 0,02 \frac{m^3}{kg_B}$$

$$r_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{dp}} = 0,002$$

$$V_{N_2} = 0,8 \cdot n + 0,79 \cdot V_L = 8,4137 \frac{m^3}{kg_B}$$

$$r_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{dp}} = 0,748$$

2.1.1.10. Prirast pretička zraka

V.Đurić, M.Bogner: Parni kotlovi Str.100., 2.1.2 Klasičan ozid: $\Delta\lambda = 0$

2.1.1.11. Sadržaj topline plinova izgaranja

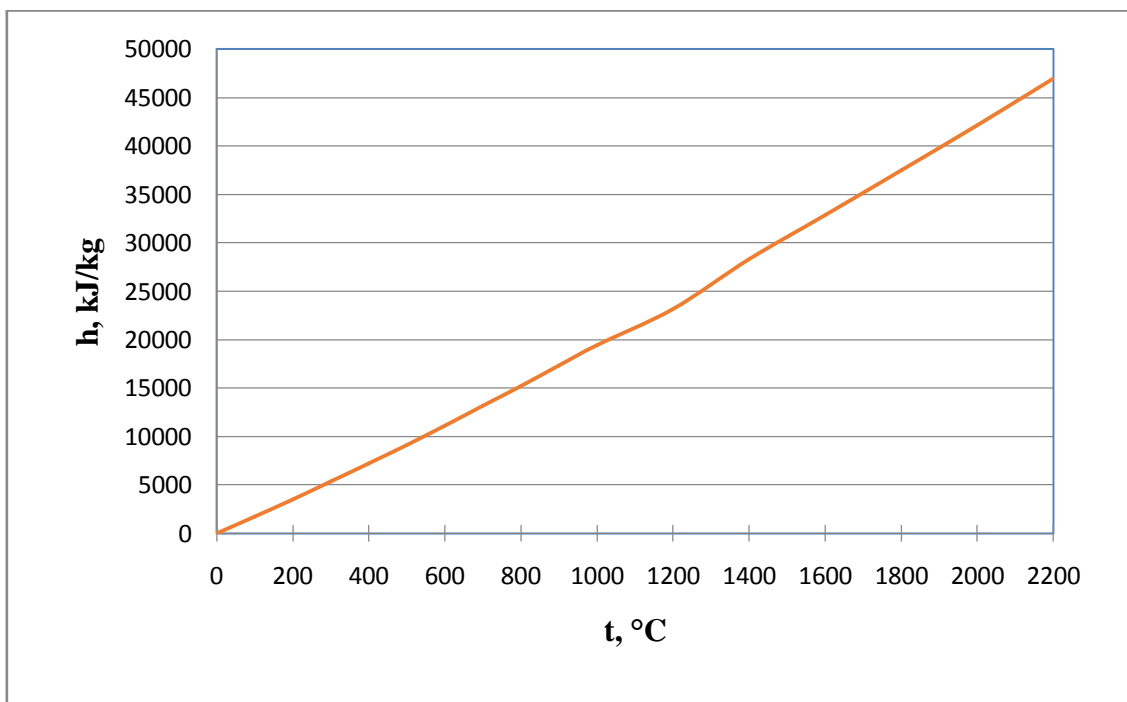
Tablica 1. Entalpije pojedinih sudionika dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi

| t, [°C] | h, [kJ/m ³] | | | | |
|---------|-------------------------|----------------|------------------|---------|-----------------|
| | CO ₂ | N ₂ | H ₂ O | L | SO ₂ |
| 100 | 170,03 | 130,04 | 150,52 | 132,43 | 181,37 |
| 200 | 357,47 | 260,75 | 304,46 | 266,36 | 377,69 |
| 300 | 558,94 | 393,27 | 462,64 | 406,87 | 587,41 |
| 400 | 772,05 | 528,37 | 626,35 | 541,77 | 806,8 |
| 500 | 994,37 | 666,12 | 795,07 | 684,12 | 1034,98 |
| 600 | 1244,64 | 807,22 | 968,83 | 829,82 | 1267,34 |
| 700 | 1462,03 | 951,24 | 1148,86 | 978,46 | 1506,41 |
| 800 | 1704,86 | 1097,36 | 1334,33 | 1129,18 | 1746,73 |
| 900 | 1952,3 | 1245,99 | 1526,09 | 1282,42 | 1992,08 |
| 1000 | 2203,51 | 1397,14 | 1772,87 | 1437,33 | 2237,84 |
| 1200 | 2716,4 | 1704,03 | 2132,34 | 1753,43 | 2733,98 |
| 1400 | 3238,91 | 2016,78 | 2558,97 | 2076,23 | 3223,04 |
| 1600 | 3768,54 | 2333,72 | 3001,94 | 2402,8 | 3726,25 |
| 1800 | 4304,03 | 2654,43 | 3458,72 | 2731,89 | 4237,04 |
| 2000 | 4844,13 | 2977,65 | 3925,54 | 3065,57 | 4768,77 |
| 2200 | 5386,48 | 3303,96 | 4401,98 | 3329,7 | 5314,76 |

$$h_{dp} = V_{CO_2} \cdot h_{CO_2} + V_{SO_2} \cdot h_{SO_2} + V_{N_2} \cdot h_{N_2} + V_{H_2O} \cdot h_{H_2O} + (\lambda - 1) \cdot V_{dp} \cdot h_L$$

Tablica 2. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za tekuće gorivo

| <i>t</i>, °C | <i>h</i>, kJ/kg |
|---------------------|------------------------|
| 100 | 1610,0018 |
| 200 | 3257,8516 |
| 300 | 4951,6197 |
| 400 | 6688,6518 |
| 500 | 8472,4549 |
| 600 | 10304,6626 |
| 700 | 12181,5374 |
| 800 | 14092,093 |
| 900 | 16039,6993 |
| 1000 | 18021,1748 |
| 1200 | 22061,1159 |
| 1400 | 26189,0713 |
| 1600 | 30384,4588 |
| 1800 | 34638,1393 |
| 2000 | 38934,3593 |
| 2200 | 43316,908 |



Slika 1. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za tekuće gorivo

2.1.2. Toplinska bilanca generatora pare

2.1.2.1. Gubici na neizgorenom

$$h_L = 0,2 \%$$

2.1.2.2. Gubici zračenja na okolinu

$$h_Z = 1 \%$$

2.1.2.3. Stupnjevi djelovanja ložišta i zračenja

$$\eta_L = 1 - \frac{h_L}{100} = 0,998$$

$$\eta_L = 1 - \frac{h_Z}{100} = 0,99$$

2.1.2.4 Gubitak osjetne topline dimnih plinova

Pretpostavka: $t_{izdp} = 177^\circ\text{C} \rightarrow h_A = 7,05 \%$

2.1.2.5. Stupanj djelovanja generatora pare

$$\eta_K = 1 - \frac{h_L + h_Z + h_A}{100} = 0,9175$$

2.1.2.6. Veličine stanja

Radni tlak:

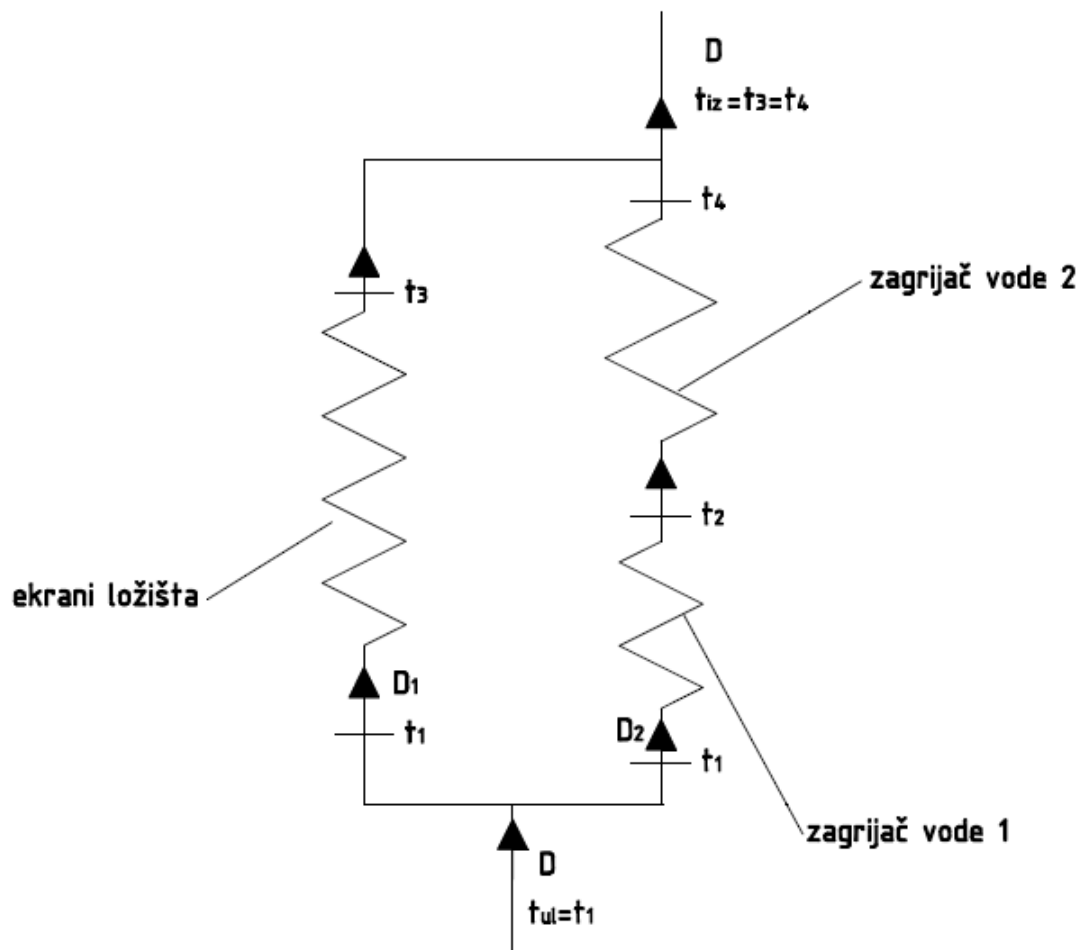
$$p_r = 24,5 \text{ bar} ; p_1 = p_r$$

$$t_{ul} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{iz} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tablica 3. Veličine stanja vode pri loženju na tekuće gorivo

| stanje | t, °C | p, bar | h, kJ/kg | v, m ³ /kg |
|--------|-------|--------|----------|-----------------------|
| 1 | 130 | 24,5 | 547,9 | 0,0010683 |
| 2 | 135,5 | 24,25 | 571,285 | 0,00108375 |
| 3 | 160 | 24 | 676,616 | 0,0011006 |
| 4 | 160 | 24 | 676,616 | 0,0011262 |



Slika 2. Shema optoka kotla

količina vode:

$$D = \frac{P}{h_{t_{iz}} - h_{t_{ul}}} = 271 \frac{kg}{s}$$

2.1.2.7. Količina goriva

$$B = \frac{P}{\eta_K \cdot H_d} = 0,9399 \frac{kg_B}{s}$$

2.1.2.8. Izmijenjena toplina u ložištu

$$Q_{el} = D_1 \cdot (h_3 - h_1) = 19693,55 \text{ kW}$$

$$q_{el} = \frac{Q_{el}}{\eta_Z \cdot B} = 2,166 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

2.1.2.9. Izmijenjena toplina u zagrijaču vode 1

$$Q_{zv1} = D_2 \cdot (h_2 - h_1) = 2806,2 \text{ kW}$$

$$q_{zv1} = \frac{Q_{zv1}}{\eta_K \cdot H_d} = 3,016 \cdot 10^3 \frac{kJ}{kg_B}$$

2.1.2.10. Izmijenjena toplina u zagrijaču vode 2

$$Q_{zv2} = D_2 \cdot (h_4 - h_2) = 12639,72 \text{ kW}$$

$$q_{zv2} = \frac{Q_{zv2}}{\eta_K \cdot H_d} = 1,358 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

2.1.2.11. Ukupna izmijenjena toplina

$$q = q_{el} + q_{zv1} + q_{zv2} = 3,776 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

2.1.2.12. Teoretska entalpija i temperatura izgaranja

$$h_t = \eta_L \cdot H_d + V_L \cdot h_{zr20} = 4,065 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

$$h_t = 4,065 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B} \rightarrow t_{dp} = 2078,41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.1.2.13. Izlazna temperatura dimnih plinova

$$h_{iz} = h_t - q = 2890,083 \frac{kJ}{kg_B} \rightarrow t_{izdpr} = 177,69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pretpostavljeno: $t_{izdp} = 177\text{ }^{\circ}\text{C}$

Provjera greške u pretpostavci:

$$\frac{t_{izdpr} - t_{izdp}}{t_{izdp}} \cdot 100 = 0,358\%$$

2.1.3 Proračun ložišta

2.1.3.1. Dimenzije ložišta

$$l_L = 4,765 mb_L = 3,99 mh_L = 6,15 m$$

2.1.3.2. Površina ekrana

$$F_L = 2 \cdot b_L \cdot h_L + 2 \cdot l_L \cdot h_L + b_L \cdot l_L = 126,699 m^2$$

$$V_L = l_L \cdot b_L \cdot h_L = 116,926 m^3$$

2.1.3.3. Stupanj ekranizacije

$$s_l = 4 mm$$

$$t_{el} = 75 mm$$

$$d_L = 57 mm$$

Očitano iz sl. 4.59. (Đurić: Parni kotlovi):

$$\text{za } \frac{t_{el}}{d_L} = 1,3158 \rightarrow \psi_L = 0,93$$

2.1.3.4. Efektivna površina

$$F_{efL} = F_L \cdot \psi_L = 117,83$$

2.1.3.5. Proračun efektivne površine po normativnoj metodi CKTI

Funkcija distribucije temperature u ložištu

Za izgaranje tekućih goriva: $M = 0,54 - 0,3 \cdot x$

Udaljenost od najnižeg dijela ložišta do sredine polja maksimalnih temperatura:

$$h_{v1} = 2,453 \text{ m}$$

Udaljenost od najnižeg dijela ložišta do sredine izlaznog otvora ložišta:

$$h_{v2} = 5,71 \text{ m}$$

Bezdimenzijski položaj temperature u ložištu:

$$x = \frac{h_{v1}}{h_{v2}} = 0,4296$$

$$M = 0,54 - 0,3 \cdot 0,4296 = 0,4111$$

Efektivni stupanj crnoće plamena

efektivna debljina sloja dimnih plinova koji zrače:

$$s = 3,6 \cdot \frac{V_L}{F_L} = 3,3223 \text{ m}$$

Stupanj crnoće svjetlećeg plamena:

za $s > 2,5 \text{ m}$ i izgaranje tekućeg goriva $\rightarrow \epsilon_{esv} = 0,9$

$m_L = 0,615$ (L.Kreuh: Generatori pare, tablica 4.10.)

uvjetni faktor zaprljanja: $\xi = 0,9$ (L.Kreuh: Generatori pare, str. 304.)

stvarna temperatura dimnih plinova- pretpostavka: $t_L = 1080 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_L = 1080 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_L = 19637,151 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_B}$$

$$T_L = t_L + 273,15 = 1353,15 \text{ K}$$

$$T_t = t_{dp} + 273,15 = 2351,56 \text{ K}$$

$$r_{RO} = r_{CO_2} + r_{SO_2} + r_{H_2O} = 0,2426 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_B}$$

$$p_p = 1,033 \cdot r_{RO} = 0,2506 \text{ bar}$$

$$K_{nsv} = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_L}{1000} \right) \cdot r_{RO} = 0,1132$$

$$\varepsilon_{nsv} = 1 - e^{-K_{nsv} \cdot s} = 0,3135$$

$$\varepsilon_F = \varepsilon_{sv} \cdot m_L + \varepsilon_{nsv} \cdot (1 - m_L) = 0,6742$$

Stupanj crnoće ložišta

za izgaranje u prostoru kod potpuno ekraniziranih ložišta:

$$\varepsilon_L = \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_F + (1 - \varepsilon_F) \cdot \xi \cdot \psi_L} = 0,712$$

Efektivna površina ekrana

$$q_L = \eta_Z \cdot (h_t - h_L) = 20973,358 \frac{kJ}{kg_B}$$

Protok dimnih plinova:

$$B_{dp} = B \cdot V_{dp} = 10,5729 \frac{m^3}{s}$$

Koeficijent zračenja crnog tijela:

$$C_C = 5,672 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$F_L = \left(\frac{q_L \cdot 10^3}{C_C \cdot M \cdot \xi \cdot \varepsilon_L \cdot T_L \cdot T_t^3} \right) \cdot \left[\frac{1}{M^2} \cdot \left(\frac{T_t}{T_L} - 1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} = 117,803 m^2$$

odstupanje:

$$\frac{F_{efL} - F_L}{F_L} \cdot 100 = 0,023\%$$

2.1.4. Proračun zagrijača vode 2

2.1.4.1. Ogrijevna površina

vanjski promjer cijevi: $d_z = 0,0318 \text{ m}$

debljina stijenke: $s_z = 0,003 \text{ m}$

unutarnji promjer stijenke: $d_{zu} = d_z - 2 \cdot s_z = 0,0258 \text{ m}$

duljina zagrijača vode: $L_z = 3,95 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje poprečno nastrujavaju dimni plinovi: $L_p = 7,3 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje usporedno nastrujavaju dimni plinovi: $L_u = 1,1 \text{ m}$

srednja duljina svih cijevi zagrijača: $L_{sr} = 8,4 \text{ m}$

broj cijevi: $n_z = 405$

broj cijevi u prvom redu: $N_z = 22$

broj redova: $n_r = 18$

poprečni korak cijevi: $t_p = 0,077 \text{ m}$

uzdužni korak cijevi: $t_u = 0,0375 \text{ m}$

površina zagrijača vode:

$$F_z = d_z \cdot \pi \cdot L_{sr} \cdot n_z = 339,869 \text{ m}^2$$

površina poprečnih cijevi:

$$F_p = d_z \cdot \pi \cdot L_p \cdot n_z = 295,362 \text{ m}^2$$

površina uzdužnih cijevi:

$$F_u = d_z \cdot \pi \cdot L_u \cdot n_z = 44,507 \text{ m}^2$$

2.1.4.2. Minimalni presjek

$a_z = 3,99 \text{ m}$

$b_z = 1,694 \text{ m}$

$f_{zmax} = a_z \cdot b_z - d_z \cdot L_z \cdot n_z = 3,9956 \text{ m}^2$

$$f_{zmin} = a_z \cdot b_z - \frac{d_z^2 \cdot \pi}{4} \cdot n_z = 6,4374 \text{ m}^2$$

$$f_z = \frac{f_{zmax} + f_{zmin}}{2} = 5,2165 \text{ m}^2$$

2.1.4.3. Volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = 11,2485 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_B}$$

2.1.4.4. Srednja temperatura dimnih plinova

$$T_{z2ul} = T_L = 1353,15 \text{ K} \quad t_{z2ul} = 1080 \text{ }^\circ\text{C}$$

pretpostavljeno: $t_{z2iz} = 355 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_{z2iz} = 628,15 \text{ K}$$

$$T_{z2sr} = \frac{T_{z2ul} + T_{z2iz}}{2} = 990,65 \text{ K} \quad t_{z2sr} = 717,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.1.4.5. Brzina dimnih plinova

Srednja brzina dimnih plinova:

$$w_z = \frac{B_{dp} \cdot T_{z2sr}}{273 \cdot f_z} = 7,3543 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reducirana brzina dimnih plinova:

$$p_L = 1 \text{ bar}$$

$$w_{0z} = w_z \cdot 264 \cdot \frac{p_L}{T_{z2sr}} = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.1.4.6. Koeficijent prijelaza topline konvekcijom

Poprečno nastrujavanje na cijevi

šahovski raspored

$$\frac{t_p}{d_z} = 2,4214 \quad \frac{t_u}{d_z} = 1,1792$$

faktor broja redova cijevi: C_{zz} za broj redova $n_r > 10$ $C_{zz} = 1$

srednji relativni dijagonalni korak cijevi:

$$\sigma = \sqrt{\left(0,25 \cdot \left(\frac{t_p}{d_z}\right)^2 + \left(\frac{t_z}{d_z}\right)^2\right)} = 1,69$$

$$\psi_\sigma = \frac{\frac{t_p}{d_z} - 1}{\sigma_z - 1} = 2,0597$$

za: $1,7 < \psi_\sigma \leq 4$ i $\sigma < 3C_s = 0,275 \cdot \psi_\sigma^{0,5} = 0,3947$

Tablica 4. Svojsva dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi

| t, °C | ν , m ² /s | λ , W/(mK) | Pr |
|-------|---------------------------|----------------------|------|
| 0 | $11,9 \cdot 10^{-6}$ | $2,28 \cdot 10^{-2}$ | 0,74 |
| 100 | $20,8 \cdot 10^{-6}$ | $3,13 \cdot 10^{-2}$ | 0,7 |
| 200 | $31,6 \cdot 10^{-6}$ | $4,01 \cdot 10^{-2}$ | 0,67 |
| 300 | $43,9 \cdot 10^{-6}$ | $4,84 \cdot 10^{-2}$ | 0,65 |
| 400 | $57,8 \cdot 10^{-6}$ | $5,7 \cdot 10^{-2}$ | 0,64 |
| 500 | $73 \cdot 10^{-6}$ | $6,56 \cdot 10^{-2}$ | 0,62 |
| 600 | $89,4 \cdot 10^{-6}$ | $7,42 \cdot 10^{-2}$ | 0,61 |
| 700 | $107 \cdot 10^{-6}$ | $8,27 \cdot 10^{-2}$ | 0,6 |
| 800 | $126 \cdot 10^{-6}$ | $9,15 \cdot 10^{-2}$ | 0,59 |
| 900 | $146 \cdot 10^{-6}$ | $10 \cdot 10^{-2}$ | 0,58 |
| 1000 | $167 \cdot 10^{-6}$ | $10,9 \cdot 10^{-2}$ | 0,58 |
| 1100 | $188 \cdot 10^{-6}$ | $11,7 \cdot 10^{-2}$ | 0,57 |
| 1200 | $211 \cdot 10^{-6}$ | $12,6 \cdot 10^{-2}$ | 0,56 |
| 1300 | $234 \cdot 10^{-6}$ | $13,5 \cdot 10^{-2}$ | 0,55 |
| 1400 | $258 \cdot 10^{-6}$ | $14,4 \cdot 10^{-2}$ | 0,54 |
| 1500 | $282 \cdot 10^{-6}$ | $15,4 \cdot 10^{-2}$ | 0,53 |

za $t_{z2sr} = 717,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$v_z = 1,103 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \lambda_z = 0,0842 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad Pr_z = 0,5982$$

$$\alpha_{kz} = C_{zz} \cdot C_{zs} \cdot \left(\frac{\lambda_z}{d_z}\right) \cdot \left(\frac{w_z \cdot d_z}{v_z}\right)^{0,6} \cdot Pr_z^{0,33} = 87,3923 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Uzdužno nastrujavanje na cijevi

$$\alpha_{uz} = 4,42 \cdot \frac{w_{0z}^{0,75}}{d_z^{0,25}} = 17,3383 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

2.1.4.7. Koeficijent prijelaza topline zračenjem

stupanj crnoće stijenke: $\varepsilon_s = 0,8$

temperatura stijenke:

$$t_{z2s} = \frac{t_2 + t_4}{2} + 30 = 177,75 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{z2s} = 450,9 \text{ K}$$

debljina sloja plina:

$$s = \frac{t_u + t_p}{2} - \frac{d_z}{2} = 0,0413 \text{ m}$$

Koeficijent slabljenja zraka troatomnih plinova:

$$k_g = \frac{0,8 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{T_{z2sr}}{1000}\right) = 5,909$$

$$a = k_g \cdot r_{RO} = 1,4325$$

Stupanj crnoće dimnih plinova:

$$\varepsilon_2 = 1 - e^{(-a \cdot p_p \cdot s)} = 0,0575$$

$$\alpha_{zr} = C_C \cdot \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_{z2sr}^3 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_{z2s}}{T_{z2sr}}\right)^4}{\left(1 - \frac{T_{z2s}}{T_{z2sr}}\right)} = 5,0857 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

2.1.4.8. Ukupan koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova

$$\alpha_{dp} = \frac{\alpha_{kz} \cdot F_p + \alpha_{uz} \cdot F_u}{F_z} + \alpha_{zr} = 83,304 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.4.9. Koeficijent prijelaza topline na strani radnog medija

Za zagrijač vode:

$$\alpha_w = 8000 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.4.10. koeficijent prolaza topline

$$\lambda_{st} = 42 \frac{W}{mK} \xi_z = 0,95$$

$$k_{z2} = \frac{\xi_z}{\frac{1}{\alpha_{dp}} + \frac{s}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_w}} = 77,865 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.4.11. Srednja logaritamska temperatura

$$t_2 = 135,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2iz} = 355 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2ul} = 1080 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z1} = t_{z2ul} - t_4 = 920 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z2} = t_{z2iz} - t_2 = 219,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{zm} = \frac{\Delta t_{z1} - \Delta t_{z2}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{z1}}{\Delta t_{z2}}\right)} = 488,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.1.4.12. Potrebna ogrijevna površina

$$\text{za } t_{z2iz} = 355 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow h_{ziz} = 5906,987 \frac{kJ}{kg_B}$$

$$q_{z2} = h_{zul} - h_{ziz} = 13730,164 \frac{kJ}{kg_B}$$

$$F_{z2} = \frac{B \cdot q_{z2} \cdot 10^3}{\eta_z \cdot k_{z2} \cdot \Delta t_{zm}} = 342,452 \text{ } m^2$$

Odstupanje:

$$\frac{F_z - F_{z2}}{F_{z2}} \cdot 100 = -0,7543 \%$$

2.1.5. Proračun zagrijača vode 1

2.1.5.1. Ogrijevna površina

vanjski promjer cijevi: $d_z = 0,0318 \text{ m}$

debljina stijenke: $s_z = 0,003 \text{ m}$

unutarnji promjer stijenke: $d_{zu} = d_z - 2 \cdot s_z = 0,0258 \text{ m}$

duljina zagrijača vode: $L_z = 3,95 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje poprečno nastrujavaju dimni plinovi: $L_p = 7,3 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje usporedno nastrujavaju dimni plinovi: $L_u = 1,1 \text{ m}$

srednja duljina svih cijevi zagrijača: $L_{sr} = 8,4 \text{ m}$

broj cijevi: $n_z = 405$

broj cijevi u prvom redu: $N_z = 22$

broj redova: $n_r = 18$

poprečni korak cijevi: $t_p = 0,077 \text{ m}$

uzdužni korak cijevi: $t_u = 0,0375 \text{ m}$

površina zagrijača vode:

$$F_z = d_z \cdot \pi \cdot L_{sr} \cdot n_z = 339,869 \text{ m}^2$$

površina poprečnih cijevi:

$$F_p = d_z \cdot \pi \cdot L_p \cdot n_z = 295,362 \text{ m}^2$$

površina uzdužnih cijevi:

$$F_u = d_z \cdot \pi \cdot L_u \cdot n_z = 44,507 \text{ m}^2$$

2.1.5.2. Minimalni presjek

$a_z = 3,99 \text{ m}$

$b_z = 1,694 \text{ m}$

$f_z = a_z \cdot b_z - d_z \cdot L_z \cdot n_z = 3,9956 \text{ m}^2$

2.1.5.3. Volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = 11,2485 \frac{m^3}{kg_B}$$

2.1.5.4. Srednja temperatura dimnih plinova

$$T_{z1ul} = T_{z2iz} = 628,15 \text{ K} \quad t_{z1ul} = 355 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{z1iz} = 450,15 \text{ K} \quad t_{z1iz} = 177 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{z1sr} = \frac{T_{z1ul} + T_{z1iz}}{2} = 539,15 \text{ K} \quad t_{z1sr} = 266 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.1.5.5. Brzina dimnih plinova

Srednja brzina dimnih plinova:

$$w_z = \frac{B_{dp} \cdot T_{z1sr}}{273 \cdot f_z} = 9,6014 \frac{m}{s}$$

Reducirana brzina dimnih plinova:

$$p_L = 1 \text{ bar}$$

$$w_{0z} = w_z \cdot 264 \cdot \frac{p_L}{T_{z1sr}} = 1,96 \frac{m}{s}$$

2.1.5.6. Koeficijent prijelaza topline konvekcijom

Poprečno nastrojavanje na cijevi

šahovski raspored

$$\frac{t_p}{d_z} = 2,4214 \quad \frac{t_u}{d_z} = 1,1792$$

faktor broja redova cijevi: C_{zz} za broj redova $n_r > 10$ $C_{zz} = 1$

srednji relativni dijagonalni korak cijevi:

$$\sigma = \sqrt{\left(0,25 \cdot \left(\frac{t_p}{d_z}\right)^2 + \left(\frac{t_z}{d_z}\right)^2\right)} = 1,69$$

$$\psi_{\sigma} = \frac{\frac{t_p}{d_z} - 1}{\sigma_z - 1} = 2,0597$$

za: $1,7 < \psi_{\sigma} \leq 4$ i $\sigma < 3C_s = 0,275 \cdot \psi_{\sigma}^{0,5} = 0,3947$

za $t_{z1sr} = 266 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$v_z = 3,972 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \lambda_z = 0,0456 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad Pr_z = 0,6568$$

$$\alpha_{kz} = C_{zz} \cdot C_{zs} \cdot \left(\frac{\lambda_z}{d_z}\right) \cdot \left(\frac{w_z \cdot d_z}{v_z}\right)^{0,6} \cdot Pr_z^{0,33} = 90,0129 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Uzdužno nastrujavanje na cijevi

$$\alpha_{uz} = 4,42 \cdot \frac{w_{0z}^{0,75}}{d_z^{0,25}} = 17,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

2.1.5.7. Koeficijent prijelaza topline zračenjem

stupanj crnoće stijenke: $\varepsilon_s = 0,8$

temperatura stijenke:

$$t_{z1s} = \frac{t_1 + t_3}{2} + 30 = 162,75 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{z1s} = 435,9 \text{ K}$$

debljina sloja plina:

$$s = \frac{t_u + t_p}{2} - \frac{d_z}{2} = 0,0413 \text{ m}$$

Koeficijent slabljenja zraka troatomnih plinova:

$$k_g = \frac{0,8 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{T_{z1sr}}{1000}\right) = 7,534$$

$$a = k_g \cdot r_{RO} = 1,827$$

Stupanj crnoće dimnih plinova:

$$\varepsilon_2 = 1 - e^{(-a \cdot p_p \cdot s)} = 0,0728$$

$$\alpha_{zr} = C_C \cdot \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_{z2sr}^3 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_{z1s}}{T_{z1sr}}\right)^4}{\left(1 - \frac{T_{z1s}}{T_{z1sr}}\right)} = 1,8524 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.5.8. Ukupan koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova

$$\alpha_{dp} = \frac{\alpha_{kz} \cdot F_p + \alpha_{uz} \cdot F_u}{F_z} + \alpha_{zr} = 80,07 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.5.9. Koeficijent prijelaza topline na strani radnog medija

Za zagrijač vode:

$$\alpha_w = 8000 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.5.10. koeficijent prolaza topline

$$\lambda_{st} = 42 \frac{W}{mK} \xi_z = 0,95$$

$$k_{z1} = \frac{\xi_z}{\frac{1}{\alpha_{dp}} + \frac{s}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_w}} = 74,89 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.5.11. Srednja logaritamska temperatura

$$t_2 = 135,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2ul} = 355 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2iz} = 177 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z1} = t_{z1ul} - t_2 = 219,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z2} = t_{z1iz} - t_1 = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{zm} = \frac{\Delta t_{z1} - \Delta t_{z2}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{z1}}{\Delta t_{z2}}\right)} = 111,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.1.5.12. Potrebna ogrijevna površina

$$\text{za } t_{z1iz} = 177 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_{z1iz} = 2878,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_B}$$

$$q_{z1} = h_{z1ul} - h_{z1iz} = 3028,141 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_B}$$

$$F_{z1} = \frac{B \cdot q_{z1} \cdot 10^3}{\eta_z \cdot k_{z1} \cdot \Delta t_{zm}} = 342,452 \text{ m}^2$$

Odstupanje:

$$\frac{F_z - F_{z1}}{F_{z1}} \cdot 100 = -0,912 \%$$

2.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN

2.2.1. Proračun ekrana ložišta

2.2.1.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi

$$n_L = 226$$

$$d_u = d_L - 2 \cdot s_L = 0,049 \text{ m}$$

$$L_{sr} = \frac{[(l_L - 0,7) \cdot 2 + h_L] \cdot 104 + h_L \cdot 122}{n_L} = 9,8912 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_1 + v_3)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 922,126 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{sr} = \frac{D_1 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_u^2 \cdot \pi \cdot n_L} = 0,3893 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda = 0,01846$

$$\Delta p_1 = \lambda \cdot \frac{L_{sr}}{d_{uL}} \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 260,416 \text{ Pa}$$

2.2.1.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,3 \text{ m} \quad \frac{R_L}{d_L} = 5,2632 \quad \zeta = 0,13 \text{ iz tablice 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 0,26$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 46,67 \text{ Pa}$$

2.2.1.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \text{ odabrano } \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 2,6$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 466,71 \text{ Pa}$$

2.2.1.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 773,8 \text{ Pa}$$

2.2.2. Proračun zagrijača vode 1**2.2.2.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi**

$n_z = 405$ - cijevi zagrijača

$n_p = 55$ - prestrujne cijevi

$$d_{zu} = 0,0258 \text{ m}$$

$$d_{pu} = 0,0681 \text{ m}$$

$$L_{srz} = 8,4 \text{ m}$$

$$L_{srp} = 2,9 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 929,346 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{srz} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,6098 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_{srp} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{pu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,6446 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda_z = 0,0215$ $\lambda_p = 0,0179$

$$\Delta p_1 = \lambda_z \cdot \frac{L_{srz}}{d_{zu}} \cdot \frac{w_{srz}^2}{2} \cdot \rho_{sr} + \lambda_p \cdot \frac{L_{srp}}{d_{pu}} \cdot \frac{w_{srp}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 1536,87 \text{ Pa}$$

2.2.2.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,08 \text{ m} \quad \frac{R_z}{d_z} = 2,5157 \quad \zeta = 0,2 \quad \text{tablica 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 0,4$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 113,35 \text{ Pa}$$

2.2.2.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \quad \text{odabrano} \quad \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 19 \cdot \zeta = 24,7$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 4468,63 \text{ Pa}$$

2.2.2.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 5938,65 \text{ Pa}$$

2.2.3. Proračun zagrijača vode 2

2.2.3.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi

$$n_z = 405 \text{ - cijevi zagrijača}$$

$$n_p = 55 \quad \text{- prestrujne cijevi}$$

$$d_{zu} = 0,0258 \text{ m}$$

$$d_{pu} = 0,0681 \text{ m}$$

$$L_{srz} = 8,4 \text{ m}$$

$$L_{srp} = 2,9 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_2 + v_4)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 905 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{srz} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,6263 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_{srz} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,6619 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda_z = 0,0215$ $\lambda_p = 0,0179$

$$\Delta p_1 = \lambda_z \cdot \frac{L_{srz}}{d_{zu}} \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} + \lambda_p \cdot \frac{L_{srp}}{d_{pu}} \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 1394,38 \text{ Pa}$$

2.2.3.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,08 \text{ m} \quad \frac{R_z}{d_z} = 2,5157 \quad \zeta = 0,2 \quad \text{tablica 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 19 \cdot \zeta = 0,4$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 113,4 \text{ Pa}$$

2.2.3.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \quad \text{odabrano} \quad \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 19 \cdot \zeta = 24,7$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 4351,36 \text{ Pa}$$

2.2.3.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 5858,1 \text{ Pa}$$

3. PRORAČUN ZA PLINOVITO GORIVO

Zadano:

$$P = 34,89 \text{ MW}$$

$$t_u = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_i = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_r = 24,5 \text{ bar}$$

3.1. TERMODINAMIČKI PRORAČUN

3.1.1. Gorivo i izgaranje

Sastav goriva:

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| $CO_2 = 0,75 \%$ | $n_{CO_2} = 0,0075$ |
| $CH_4 = 86,48 \%$ | $n_{CH_4} = 0,8648$ |
| $C_2H_6 = 9,51 \%$ | $n_{C_2H_6} = 0,0951$ |
| $C_3H_8 = 3,01 \%$ | $n_{C_3H_8} = 0,0301$ |
| $C_4H_{10} = 0,21 \%$ | $n_{C_4H_{10}} = 0,0021$ |
| $C_5H_{12} = 0,03 \%$ | $n_{C_5H_{12}} = 0,0003$ |

3.1.1.1. Toplinska vrijednost goriva

$$H_d = 358 \cdot CH_4 + 634 \cdot C_2H_6 + 936 \cdot C_3H_8 + 1214 \cdot C_4H_{10} + 1460 \cdot C_5H_{12}$$

$$H_d = 40114,64 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

3.1.1.2. Količina ugljika koja stvarno izgara

za plin: $h_L = 0$ odnosno $c_0 = c$

3.1.1.3. Teorijska količina kisika i zraka za izgaranje

$$V_{O_2 \min} = 2 \cdot n_{CH_4} + 3,5 \cdot n_{C_2H_6} + 5 \cdot n_{C_3H_8} + 6,5 \cdot n_{C_4H_{10}} + 8 \cdot n_{C_5H_{12}} = 2,23 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

$$V_{Lmin} = \frac{V_{O_2min}}{0,21} = 10,6167 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.4. Stvarna količina zraka za izgaranje

$$V_L = V_{Lmin} \cdot \lambda = 11,1457 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.5. Teorijska količina suhih dimnih plinova

$$V_{sdpmin} = n_{CO_2} + n_{CH_4} + 2 \cdot n_{C_2H_6} + 3 \cdot n_{C_3H_8} + 4 \cdot n_{C_4H_{10}} + 5 \cdot n_{C_5H_{12}} + 0,79 \cdot V_{Lmin}$$

$$V_{sdpmin} = 9,5481 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.6. Stvarna količina suhih dimnih plinova

$$V_{sdp} = V_{sdpmin} + (\lambda - 1) \cdot V_{Lmin} = 10,0789 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.7. Volumen vlage u dimnim plinovima

$$V_{vl} = 2 \cdot n_{CH_4} + 3 \cdot n_{C_2H_6} + 4 \cdot n_{C_3H_8} + 5 \cdot n_{C_4H_{10}} + 6 \cdot n_{C_5H_{12}} = 2,148 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.8. Ukupni volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = V_{sdp} + V_{vl} = 11,2485 \frac{m^3}{m^3}$$

3.1.1.9. Volumni udjeli pojedinih sudionika dimnih plinova

$$V_{CO_2} = n_{CO_2} + n_{CH_4} + 2 \cdot n_{C_2H_6} + 3 \cdot n_{C_3H_8} + 4 \cdot n_{C_4H_{10}} + 5 \cdot n_{C_5H_{12}} = 1,1609 \frac{m^3}{m^3}$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{dp}} = 0,0949$$

$$r_{O_2} = \frac{(\lambda - 1) \cdot V_{O_2min}}{V_{dp}} = 0,009$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{vl}}{V_{dp}} = 0,1757$$

$$r_{N_2} = \frac{0,79 \cdot V_L}{V_{dp}} = 0,7203$$

3.1.1.10. Prirast pretička zraka

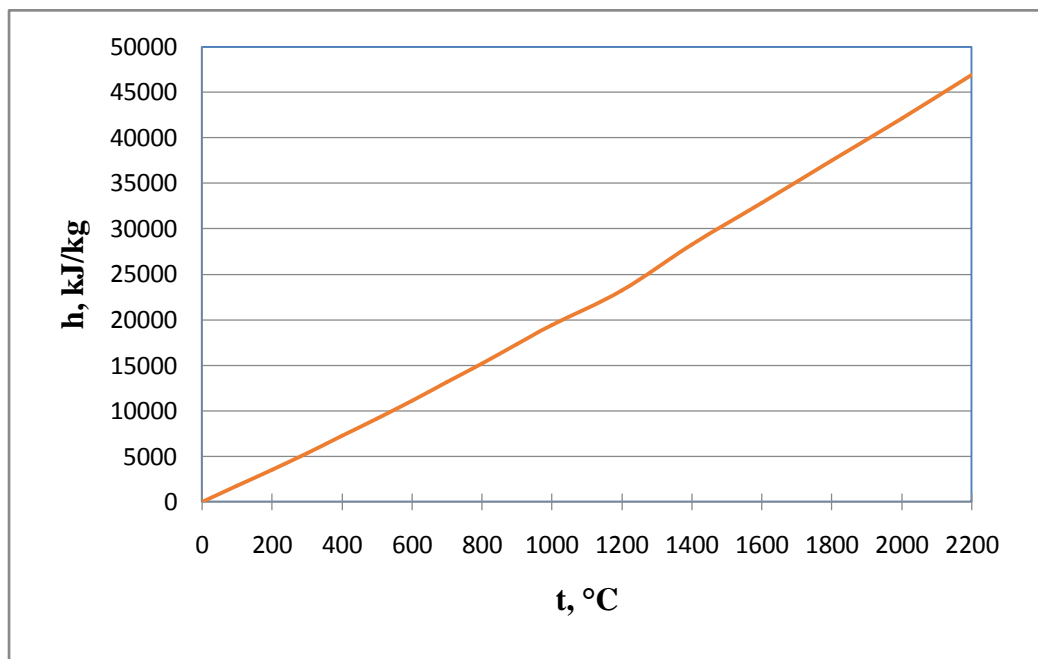
Đurić V., Bogner M.: Parni kotlovi, str.100., 3.2. Klasičan ozid: $\Delta\lambda = 0$

3.1.1.11. Sadržaj topline plinova izgaranja

$$h_{dp} = V_{CO_2} \cdot h_{CO_2} + V_{SO_2} \cdot h_{SO_2} + V_{N_2} \cdot h_{N_2} + V_{H_2O} \cdot h_{H_2O} + (\lambda - 1) \cdot V_{dp} \cdot h_L$$

Tablica 5. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za plinovito gorivo

| $t, [^{\circ}C]$ | $h, [kJ/m^3]$ |
|------------------|---------------|
| 100 | 1746,8657 |
| 200 | 3528,1063 |
| 300 | 5354,7042 |
| 400 | 7225,9846 |
| 500 | 9146,6103 |
| 600 | 11118,8408 |
| 700 | 13140,3174 |
| 800 | 15199,5596 |
| 900 | 17301,3095 |
| 1000 | 19441,4324 |
| 1200 | 23182,2685 |
| 1400 | 28286,8345 |
| 1600 | 32834,9685 |
| 1800 | 37472,3104 |
| 2000 | 42152,4805 |
| 2200 | 46930,4944 |



Slika 3. Entalpija dimnih plinova u ovisnosti o temperaturi za plinovito gorivo

3.1.2. Toplinska bilanca generatora pare

3.1.2.1. Gubici na neizgorenom

$$h_L = 0 \%$$

3.1.2.2. Gubici zračenja na okolinu

$$h_Z = 1 \%$$

3.1.2.3. Stupnjevi djelovanja ložišta i zračenja

$$\eta_L = 1 - \frac{h_L}{100} = 1$$

$$\eta_L = 1 - \frac{h_Z}{100} = 0,99$$

3.1.2.4. Gubitak osjetne topline dimnih plinova

Pretpostavka: $t_{izdp} = 185^\circ\text{C} \rightarrow h_A = 8 \%$

3.1.2.5. Stupanj djelovanja generatora pare

$$\eta_K = 1 - \frac{h_L + h_Z + h_A}{100} = 0,91$$

3.1.2.6. Veličine stanja

Radni tlak:

$$p_r = 24,5 \text{ bar} ; p_1 = p_r$$

$$t_{ul} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{iz} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tablica 6. Veličine stanja vode pri loženju na plinovito gorivo

| stanje | t, °C | p, bar | h, kJ/kg | v, m ³ /kg |
|--------|-------|--------|----------|-----------------------|
| 1 | 130 | 24,5 | 547,9 | 0,0010683 |
| 2 | 135 | 24,25 | 569,15 | 0,0010734 |
| 3 | 160 | 24 | 676,616 | 0,0011006 |
| 4 | 160 | 24 | 676,616 | 0,0011262 |

količina vode:

$$D = \frac{P}{h_{t_{iz}} - h_{t_{ul}}} = 271 \frac{kg}{s}$$

3.1.2.7. Količina goriva

$$B = \frac{P}{\eta_K \cdot H_d} = 0,9399 \frac{m^3}{s}$$

3.1.2.8. Izmijenjena toplina u ložištu

$$Q_{el} = D_1 \cdot (h_3 - h_1) = 14030,044 \text{ kW}$$

$$q_{el} = \frac{Q_{el}}{\eta_Z \cdot B} = 1,483 \cdot 10^4 \frac{kJ}{m^3}$$

3.1.2.9. Izmijenjena toplina u zagrijaču vode 1

$$Q_{zv1} = D_2 \cdot (h_2 - h_1) = 3485 \text{ kW}$$

$$q_{zv1} = \frac{Q_{zv1}}{\eta_K \cdot H_d} = 3,683 \cdot 10^3 \frac{kJ}{m^3}$$

2.1.2.10. Izmijenjena toplina u zagrijaču vode 2

$$Q_{zv2} = D_2 \cdot (h_4 - h_2) = 17624,424 \text{ kW}$$

$$q_{zv2} = \frac{Q_{zv2}}{\eta_K \cdot H_d} = 1,863 \cdot 10^4 \frac{kJ}{m^3}$$

2.1.2.11. Ukupna izmijenjena toplina

$$q = q_{el} + q_{zv1} + q_{zv2} = 3,714 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

3.1.2.12. Teoretska entalpija i temperatura izgaranja

$$h_t = \eta_L \cdot H_d + V_L \cdot h_{zr20} = 4,04 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B}$$

$$h_t = 4,065 \cdot 10^4 \frac{kJ}{kg_B} \rightarrow t_{dp} = 1925,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.1.2.12. Izlazna temperatura dimnih plinova

$$h_{iz} = h_t - q = 3267,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_B} \rightarrow t_{izdpr} = 185,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

Pretpostavljeno: $t_{izdp} = 183 \text{ }^\circ\text{C}$

Provjera greške u pretpostavci:

$$\frac{t_{izdpr} - t_{izdp}}{t_{izdp}} \cdot 100 = 1,287 \%$$

3.1.3. Proračun ložišta

3.1.3.1. Dimenzije ložišta

$$l_L = 4,765 \text{ m} \quad b_L = 3,99 \text{ m} \quad h_L = 6,15 \text{ m}$$

3.1.3.2. Površina ekrana

$$F_L = 2 \cdot b_L \cdot h_L + 2 \cdot l_L \cdot h_L + b_L \cdot l_L = 126,699 \text{ m}^2$$

$$V_L = l_L \cdot b_L \cdot h_L = 116,926 \text{ m}^3$$

3.1.3.3. Stupanj ekranizacije

$$s_l = 4 \text{ mm}$$

$$t_{el} = 75 \text{ mm}$$

$$d_L = 57 \text{ mm}$$

Očitano iz sl. 4.59. (Đurić: Parni kotlovi):

$$\text{za } \frac{t_{el}}{d_L} = 1,3158 \rightarrow \psi_L = 0,93$$

3.1.3.4. Efektivna površina

$$F_{efL} = F_L \cdot \psi_L = 117,83 \text{ m}^2$$

3.1.3.5. Proračun efektivne površine po normativnoj metodi CKTI

Funkcija distribucije temperature u ložištu

Za izgaranje plinskih goriva: $M = 0,52 - 0,3 \cdot x$

Udaljenost od najnižeg dijela ložišta do sredine polja maksimalnih temperatura:

$$h_{v1} = 2,453 \text{ m}$$

Udaljenost od najnižeg dijela ložišta do sredine izlaznog otvora ložišta:

$$h_{v2} = 5,71 \text{ m}$$

Bezdimenzijski položaj temperature u ložištu:

$$x = \frac{h_{v1}}{h_{v2}} = 0,4296$$

$$M = 0,52 - 0,3 \cdot 0,4296 = 0,3911$$

Efektivni stupanj crnoće plamena

Efektivna debljina sloja dimnih plinova koji zrače:

$$s = 3,6 \cdot \frac{V_L}{F_L} = 3,3223 \text{ m}$$

Uvjetni faktor zaprljanja: $\xi = 1$ (L.Kreuh: Generatori pare, str. 304.)

Stvarna temperatura dimnih plinova- pretpostavka: $t_L = 1280 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_L = 1280 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_L = 25602,095 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$T_L = t_L + 273,15 = 1553,15 \text{ K}$$

$$T_t = t_{dp} + 273,15 = 2198,43 \text{ K}$$

$$m_L = 0,05 \quad - \text{ tablica 4.10. (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\varepsilon_L = 0,3933 \quad - \text{ iteracijom prema poglavlju 3.1.3.5.3.}$$

$$m_C = 0,7514 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}_B}$$

$$m_H = 0,2411 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}_B}$$

$$\frac{m_C}{m_H} = 3,1162$$

$$K_C = 0,03 \cdot (2 - \varepsilon_L) \cdot \left(1,6 \cdot \frac{T_L}{1000} - 0,5\right) \cdot \frac{m_C}{m_H} = 0,2982$$

$$r_{RO} = r_{CO_2} + r_{SO_2} + r_{H_2O} = 0,2426 \frac{m^3}{kg_B}$$

$$p_p = 1,033 \cdot r_{RO} = 0,2796 \text{ bar}$$

$$K_{nsv} = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_L}{1000} \right) \cdot r_{RO} = 0,1152$$

$$\varepsilon_{nsv} = 1 - e^{-K_{nsv} \cdot s} = 0,3181$$

$$K_{sv} = K_{nsv} + K_c = 0,4134$$

$$\varepsilon_{sv} = 1 - e^{-K_{sv} \cdot s} = 0,7468$$

$$\varepsilon_F = \varepsilon_{sv} \cdot m_L + \varepsilon_{nsv} \cdot (1 - m_L) = 0,3395$$

Stupanj crnoće ložišta

Za izgaranje u prostoru kod potpuno ekraniziranih ložišta:

$$\varepsilon_L = \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_F + (1 - \varepsilon_F) \cdot \xi \cdot \psi_L} = 0,3559$$

Efektivna površina ekrana

$$q_L = \eta_Z \cdot (h_t - h_L) = 14801,845 \frac{kJ}{m^3}$$

Protok dimnih plinova:

$$B_{dp} = B \cdot V_{dp} = 11,6862 \frac{m^3}{s}$$

$$F_L = \left(\frac{q_L \cdot 10^3}{C_C \cdot M \cdot \xi \cdot \varepsilon_L \cdot T_L \cdot T_t^3} \right) \cdot \left[\frac{1}{M^2} \cdot \left(\frac{T_t}{T_L} - 1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} = 118,253 \text{ m}^2$$

odstupanje:

$$\frac{F_{efL} - F_L}{F_L} \cdot 100 = -0,3577\%$$

3.1.4. Proračun zagrijača vode 2

3.1.4.1. Ogrijevna površina

vanjski promjer cijevi: $d_z = 0,0318 \text{ m}$

debljina stijenke: $s_z = 0,003 \text{ m}$

unutarnji promjer stijenke: $d_{zu} = d_z - 2 \cdot s_z = 0,0258 \text{ m}$

duljina zagrijača vode: $L_z = 3,95 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje poprečno nastrujavaju dimni plinovi: $L_p = 7,3 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje usporedno nastrujavaju dimni plinovi: $L_u = 1,1 \text{ m}$

srednja duljina svih cijevi zagrijača: $L_{sr} = 8,4 \text{ m}$

broj cijevi: $n_z = 405$

broj cijevi u prvom redu: $N_z = 22$

broj redova: $n_r = 18$

poprečni korak cijevi: $t_p = 0,077 \text{ m}$

uzdužni korak cijevi: $t_u = 0,0375 \text{ m}$

površina zagrijača vode:

$$F_z = d_z \cdot \pi \cdot L_{sr} \cdot n_z = 339,869 \text{ m}^2$$

površina poprečnih cijevi:

$$F_p = d_z \cdot \pi \cdot L_p \cdot n_z = 295,362 \text{ m}^2$$

površina uzdužnih cijevi:

$$F_u = d_z \cdot \pi \cdot L_u \cdot n_z = 44,507 \text{ m}^2$$

3.1.4.2. Minimalni presjek

$a_z = 3,99 \text{ m}$

$b_z = 1,694 \text{ m}$

$f_{zmax} = a_z \cdot b_z - d_z \cdot L_z \cdot n_z = 3,9956 \text{ m}^2$

$f_{zmin} = a_z \cdot b_z - \frac{d_z^2 \cdot \pi}{4} \cdot n_z = 6,4374 \text{ m}^2$

$$f_z = \frac{f_{zmax} + f_{zmin}}{2} = 5,2165 \text{ m}^2$$

3.1.4.3. Volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = 12,2269 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

3.1.4.4. Srednja temperatura dimnih plinova

$$T_{z2ul} = T_L = 1553,15 \text{ K}$$

$$t_{z2ul} = 1280 \text{ }^\circ\text{C}$$

pretpostavljeno:

$$t_{z2iz} = 390 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{z2iz} = 663 \text{ K}$$

$$T_{z2sr} = \frac{T_{z2ul} + T_{z2iz}}{2} = 1108,075 \text{ K}$$

$$t_{z2sr} = 835,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.1.4.5. Brzina dimnih plinova

Srednja brzina dimnih plinova:

$$w_z = \frac{B_{dp} \cdot T_{z2sr}}{273 \cdot f_z} = 9,0928 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reducirana brzina dimnih plinova:

$$p_L = 1 \text{ bar}$$

$$w_{0z} = w_z \cdot 264 \cdot \frac{p_L}{T_{z2sr}} = 2,1664 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.1.4.6. Koeficijent prijelaza topline konvekcijom

Poprečno nastrojavanje na cijevi

šahovski raspored

$$\frac{t_p}{d_z} = 2,4214$$

$$\frac{t_u}{d_z} = 1,1792$$

faktor broja redova cijevi: C_{zz} za broj redova $n_r > 10$ $C_{zz} = 1$

srednji relativni dijagonalni korak cijevi:

$$\sigma = \sqrt{\left(0,25 \cdot \left(\frac{t_p}{d_z}\right)^2 + \left(\frac{t_z}{d_z}\right)^2\right)} = 1,69$$

$$\psi_\sigma = \frac{\frac{t_p}{d_z} - 1}{\sigma_z - 1} = 2,0597$$

$$\text{za: } 1,7 < \psi_\sigma \leq 4 \quad \text{i} \quad \sigma < 3C_s = 0,275 \cdot \psi_\sigma^{0,5} = 0,3947$$

za $t_{z2sr} = 835,05 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$v_z = 1,33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \lambda_z = 0,0945 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad Pr_z = 0,5865$$

$$\alpha_{kz} = C_{zz} \cdot C_{zs} \cdot \left(\frac{\lambda_z}{d_z}\right) \cdot \left(\frac{w_z \cdot d_z}{v_z}\right)^{0,6} \cdot Pr_z^{0,33} = 98,86 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Uzdužno nastrojavanje na cijevi

$$\alpha_{uz} = 4,42 \cdot \frac{w_{0z}^{0,75}}{d_z^{0,25}} = 18,69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

3.1.4.7. Koeficijent prijelaza topline zračenjem

stupanj crnoće stijenke: $\varepsilon_s = 0,8$

temperatura stijenke:

$$t_{z2s} = \frac{t_2 + t_4}{2} + 30 = 187,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{z2s} = 460,65 \text{ K}$$

debljina sloja plina:

$$s = \frac{t_u + t_p}{2} - \frac{d_z}{2} = 0,0413 \text{ m}$$

Koeficijent slabljenja zraka troatomnih plinova:

$$k_g = \frac{0,8 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{T_{z2sr}}{1000}\right) = 5,822$$

$$a = k_g \cdot r_{RO} = 1,5754$$

Stupanj crnoće dimnih plinova:

$$\varepsilon_2 = 1 - e^{(-a \cdot p_p \cdot s)} = 0,0631$$

$$\alpha_{zr} = C_C \cdot \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_{z2sr}^3 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_{z2s}}{T_{z2sr}}\right)^4}{\left(1 - \frac{T_{z2s}}{T_{z2sr}}\right)} = 7,271 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.4.8. Ukupan koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova

$$\alpha_{dp} = \frac{\alpha_{kz} \cdot F_p + \alpha_{uz} \cdot F_u}{F_z} + \alpha_{zr} = 95,632 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.4.9. Koeficijent prijelaza topline na strani radnog medija

Za zagrijač vode:

$$\alpha_w = 8000 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.4.10. koeficijent prolaza topline

$$\lambda_{st} = 42 \frac{W}{mK} \xi_z = 0,95$$

$$k_{z2} = \frac{\xi_z}{\frac{1}{\alpha_{dp}} + \frac{s}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_w}} = 89,175 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.4.11. Srednja logaritamska temperatura

$$t_2 = 135,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2iz} = 390 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2ul} = 1280 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z1} = t_{z2ul} - t_4 = 1120,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z2} = t_{z2iz} - t_2 = 255 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{zm} = \frac{\Delta t_{z1} - \Delta t_{z2}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{z1}}{\Delta t_{z2}}\right)} = 584,58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.1.4.12. Potrebna ogrijevna površina

$$\text{za } t_{z2iz} = 390 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_{ziz} = 7038,857 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$q_{z2} = h_{zul} - h_{ziz} = 18563,238 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$F_{z2} = \frac{B \cdot q_{z2} \cdot 10^3}{\eta_z \cdot k_{z2} \cdot \Delta t_{zm}} = 343,785 \text{ m}^2$$

Odstupanje:

$$\frac{F_z - F_{z2}}{F_{z2}} \cdot 100 = -1,14 \%$$

3.1.5. Proračun zagrijača vode 1**3.1.5.1. Ogrijevna površina**

vanjski promjer cijevi: $d_z = 0,0318 \text{ m}$

debljina stijenke: $s_z = 0,003 \text{ m}$

unutarnji promjer stijenke: $d_{zu} = d_z - 2 \cdot s_z = 0,0258 \text{ m}$

duljina zagrijača vode: $L_z = 3,95 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje poprečno nastrojavaju dimni plinovi: $L_p = 7,3 \text{ m}$

srednja duljina cijevi na koje usporedno nastrojavaju dimni plinovi: $L_u = 1,1 \text{ m}$

srednja duljina svih cijevi zagrijača: $L_{sr} = 8,4 \text{ m}$

broj cijevi: $n_z = 405$

broj cijevi u prvom redu: $N_z = 22$

broj redova: $n_r = 18$

poprečni korak cijevi: $t_p = 0,077 \text{ m}$

uzdužni korak cijevi: $t_u = 0,0375 \text{ m}$

površina zagrijača vode:

$$F_z = d_z \cdot \pi \cdot L_{sr} \cdot n_z = 339,869 \text{ m}^2$$

površina poprečnih cijevi:

$$F_p = d_z \cdot \pi \cdot L_p \cdot n_z = 295,362 \text{ m}^2$$

površina uzdužnih cijevi:

$$F_u = d_z \cdot \pi \cdot L_u \cdot n_z = 44,507 \text{ m}^2$$

3.1.5.2. Minimalni presjek

$$a_z = 3,99 \text{ m}$$

$$b_z = 1,694 \text{ m}$$

$$f_z = a_z \cdot b_z - d_z \cdot L_z \cdot n_z = 3,9956 \text{ m}^2$$

3.1.5.3. Volumen dimnih plinova

$$V_{dp} = 12,2269 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

3.1.5.4. Srednja temperatura dimnih plinova

$$T_{z1ul} = T_{z2iz} = 663,15 \text{ K}$$

$$t_{z1ul} = 390 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{z1iz} = 456,15 \text{ K} \quad t_{z1iz} = 183 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{z1sr} = \frac{T_{z1ul} + T_{z1iz}}{2} = 559,65 \text{ K} \quad t_{z1sr} = 286,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.1.5.5. Brzina dimnih plinova

Srednja brzina dimnih plinova:

$$w_z = \frac{B_{dp} \cdot T_{z1sr}}{273 \cdot f_z} = 11,871 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reducirana brzina dimnih plinova:

$$p_L = 1 \text{ bar}$$

$$w_{0z} = w_z \cdot 264 \cdot \frac{p_L}{T_{z1sr}} = 2,1664 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.1.5.6. Koeficijent prijelaza topline konvekcijom

Poprečno nastrojavanje na cijevi

šahovski raspored

$$\frac{t_p}{d_z} = 2,4214 \quad \frac{t_u}{d_z} = 1,1792$$

faktor broja redova cijevi: C_{zz} za broj redova $n_r > 10$ $C_{zz} = 1$

srednji relativni dijagonalni korak cijevi:

$$\sigma = \sqrt{\left(0,25 \cdot \left(\frac{t_p}{d_z}\right)^2 + \left(\frac{t_z}{d_z}\right)^2\right)} = 1,69$$

$$\psi_\sigma = \frac{\frac{t_p}{d_z} - 1}{\sigma_z - 1} = 2,0597$$

$$\text{za: } 1,7 < \psi_\sigma \leq 4 \quad \text{i} \quad \sigma < 3C_s = 0,275 \cdot \psi_\sigma^{0,5} = 0,3947$$

za $t_{z1sr} = 286,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$v_z = 4,224 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \lambda_z = 0,0473 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad Pr_z = 0,6527$$

$$\alpha_{kz} = C_{zz} \cdot C_{zs} \cdot \left(\frac{\lambda_z}{d_z}\right) \cdot \left(\frac{w_z \cdot d_z}{v_z}\right)^{0,6} \cdot Pr_z^{0,33} = 102 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Uzdužno nastrojavanje na cijevi

$$\alpha_{uz} = 4,42 \cdot \frac{w_{0z}^{0,75}}{d_z^{0,25}} = 18,69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

3.1.5.7. Koeficijent prijelaza topline zračenjem

stupanj crnoće stijenke: $\varepsilon_s = 0,8$

temperatura stijenke:

$$t_{z1s} = \frac{t_1 + t_3}{2} + 30 = 162,75 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_s = 435,9 \text{ K}$$

debljina sloja plina:

$$s = \frac{t_u + t_p}{2} - \frac{d_z}{2} = 0,0413 \text{ m}$$

Koeficijent slabljenja zraka troatomnih plinova:

$$k_g = \frac{0,8 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_p \cdot s}} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{T_{z1sr}}{1000} \right) = 7,918$$

$$a = k_g \cdot r_{RO} = 2,1426$$

Stupanj crnoće dimnih plinova:

$$\varepsilon_2 = 1 - e^{(-a \cdot p_p \cdot s)} = 0,0848$$

$$\alpha_{zr} = C_C \cdot \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_{z2sr}^3 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_{z1s}}{T_{z1sr}} \right)^4}{\left(1 - \frac{T_{z1s}}{T_{z1sr}} \right)} = 2,304 \frac{W}{m^2K}$$

2.1.5.8. Ukupan koeficijent prijelaza topline na strani dimnih plinova

$$\alpha_{dp} = \frac{\alpha_{kz} \cdot F_p + \alpha_{uz} \cdot F_u}{F_z} + \alpha_{zr} = 90,66 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.5.9. Koeficijent prijelaza topline na strani radnog medija

Za zagrijač vode:

$$\alpha_w = 8000 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.5.10. koeficijent prolaza topline

$$\lambda_{st} = 42 \frac{W}{mK} \xi_z = 0,95$$

$$k_{z1} = \frac{\xi_z}{\frac{1}{\alpha_{dp}} + \frac{s}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_w}} = 84,623 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.5.11. Srednja logaritamska temperatura

$$t_2 = 135,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2ul} = 390 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{z2iz} = 183 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z1} = t_{z1ul} - t_2 = 255 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{z2} = t_{z1iz} - t_1 = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{zm} = \frac{\Delta t_{z1} - \Delta t_{z2}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{z1}}{\Delta t_{z2}}\right)} = 128,58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.1.5.12. Potrebna ogrijevna površina

$$\text{za } t_{z1iz} = 183 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow h_{z1iz} = 3225,295 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$q_{z1} = h_{z1ul} - h_{z1iz} = 3813,561 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$F_{z1} = \frac{B \cdot q_{z1} \cdot 10^3}{\eta_z \cdot k_{z1} \cdot \Delta t_{zm}} = 338,361 \text{ m}^2$$

Odstupanje:

$$\frac{F_z - F_{z1}}{F_{z1}} \cdot 100 = 0,4456 \%$$

3.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN

3.2.1. Proračun ekrana ložišta

3.2.1.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi

$$n_L = 226$$

$$d_u = d_L - 2 \cdot s_L = 0,049 \text{ m}$$

$$L_{sr} = \frac{[(l_L - 0,7) \cdot 2 + h_L] \cdot 104 + h_L \cdot 122}{n_L} = 9,8912 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_1 + v_3)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 922,126 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{sr} = \frac{D_1 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_u^2 \cdot \pi \cdot n_L} = 0,2774 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda = 0,01846$

$$\Delta p_1 = \lambda \cdot \frac{L_{sr}}{d_{uL}} \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 132,17 \text{ Pa}$$

3.2.1.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,3 \text{ m} \quad \frac{R_L}{d_L} = 5,2632 \quad \zeta = 0,13 \text{ iz tablice 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 0,26$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 33,25 \text{ Pa}$$

3.2.1.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \text{ odabrano } \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 2,6$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{sr}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 332,5 \text{ Pa}$$

3.2.1.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 497,9 \text{ Pa}$$

3.2.2. Proračun zagrijača vode 1**3.2.2.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi**

$n_z = 405$ - cijevi zagrijača

$n_p = 55$ - prestrujne cijevi

$$d_{zu} = 0,0258 \text{ m}$$

$$d_{pu} = 0,0681 \text{ m}$$

$$L_{srz} = 8,4 \text{ m}$$

$$L_{srp} = 2,9 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 929,346 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{srz} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,8335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_{srp} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{pu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,8809 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda_z = 0,0215$ $\lambda_p = 0,0179$

$$\Delta p_1 = \lambda_z \cdot \frac{L_{srz}}{d_{zu}} \cdot \frac{w_{srz}^2}{2} \cdot \rho_{sr} + \lambda_p \cdot \frac{L_{srp}}{d_{pu}} \cdot \frac{w_{srp}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 2534,33 \text{ Pa}$$

3.2.2.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,08 \text{ m} \quad \frac{R_z}{d_z} = 2,5157 \quad \zeta = 0,2 \quad \text{tablica 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 0,4$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{srz}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 154,9 \text{ Pa}$$

3.2.2.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \quad \text{odabrano} \quad \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 19 \cdot \zeta = 24,7$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{srp}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 8906,31 \text{ Pa}$$

3.2.2.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 11595,54 \text{ Pa}$$

3.2.3. Proračun zagrijača vode 2

3.2.3.1. Pad tlaka u ravnom dijelu cijevi

$n_z = 405$ - cijevi zagrijača

$n_p = 55$ - prestrujne cijevi

$$d_{zu} = 0,0258 \text{ m}$$

$$d_{pu} = 0,0681 \text{ m}$$

$$L_{srz} = 8,4 \text{ m}$$

$$L_{srp} = 2,9 \text{ m}$$

$$v_{sr} = \frac{(v_2 + v_4)}{2} = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{sr} = v_{sr}^{-1} = 905 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_{srz} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zu}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,8559 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_{srp} = \frac{D_2 \cdot v_{sr} \cdot 4}{d_{zp}^2 \cdot \pi \cdot n_z} = 0,9046 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Koeficijent trenja:

Tablica 5.4 (Kreuh, Generatori pare) : $\lambda_z = 0,0215$ $\lambda_p = 0,0179$

$$\Delta p_1 = \lambda_z \cdot \frac{L_{srz}}{d_{zu}} \cdot \frac{w_{srz}^2}{2} \cdot \rho_{sr} + \lambda_p \cdot \frac{L_{srp}}{d_{pu}} \cdot \frac{w_{srp}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 2602,52 \text{ Pa}$$

3.2.3.2. Pad tlaka zbog zakrivljenosti cijevi

$$R_L = 0,08 \text{ m} \quad \frac{R_z}{d_z} = 2,5157 \quad \zeta = 0,2 \quad \text{tablica 5.3 (Kreuh, Generatori pare)}$$

$$\sum \zeta = 2 \cdot \zeta = 0,4$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{srz}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 132,6 \text{ Pa}$$

3.2.3.3. Pad tlaka zbog prijelaza iz cijevi u kolektor ili iz kolektora u cijevi

$$\zeta = 1,1 - 1,5 \quad \text{odabrano} \quad \zeta = 1,3$$

$$\sum \zeta = 19 \cdot \zeta = 24,7$$

$$\Delta p_3 = \sum \zeta \cdot \frac{w_{srp}^2}{2} \cdot \rho_{sr} = 9145,95 \text{ Pa}$$

3.2.3.4. Ukupan pad tlaka

$$\Delta p_L = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 11881 \text{ Pa}$$

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršen je proračun za vrelovodni kotao za dogrijavanje vrele vode. Trebalo je ispitati proračunom može li postojeći kotao ložen teškim loživim uljem udovoljiti zahtjevima loženja na prirodni plin.

Proračun jasno pokazuje pri loženju na plin smanjenje izmijenjene topline u ložištu, te veću temperaturu dimnih plinova na izlazu iz ložišta. Taj višak topline potrebno je bilo izmijeniti u konvektivnom dijelu kotla, u zagrijačima. Da bi se ostvario taj povećani prijenos topline, uz zadržavanje jednake toplinske snage, povećan je protok kroz konvektivni dio, a smanjen u ekranima ložišta.

Ove izmjene i loženje na plin rezultirale su povećanom izlaznom temperaturom dimnih plinova, i većim padom tlaka u zagrijačima vode. Stupanj djelovanja kotla se smanjio, ali u prihvatljivoj granici, što dovodi do zaključka da kotao zadovoljava zahtjeve za loženje na prirodni plin.

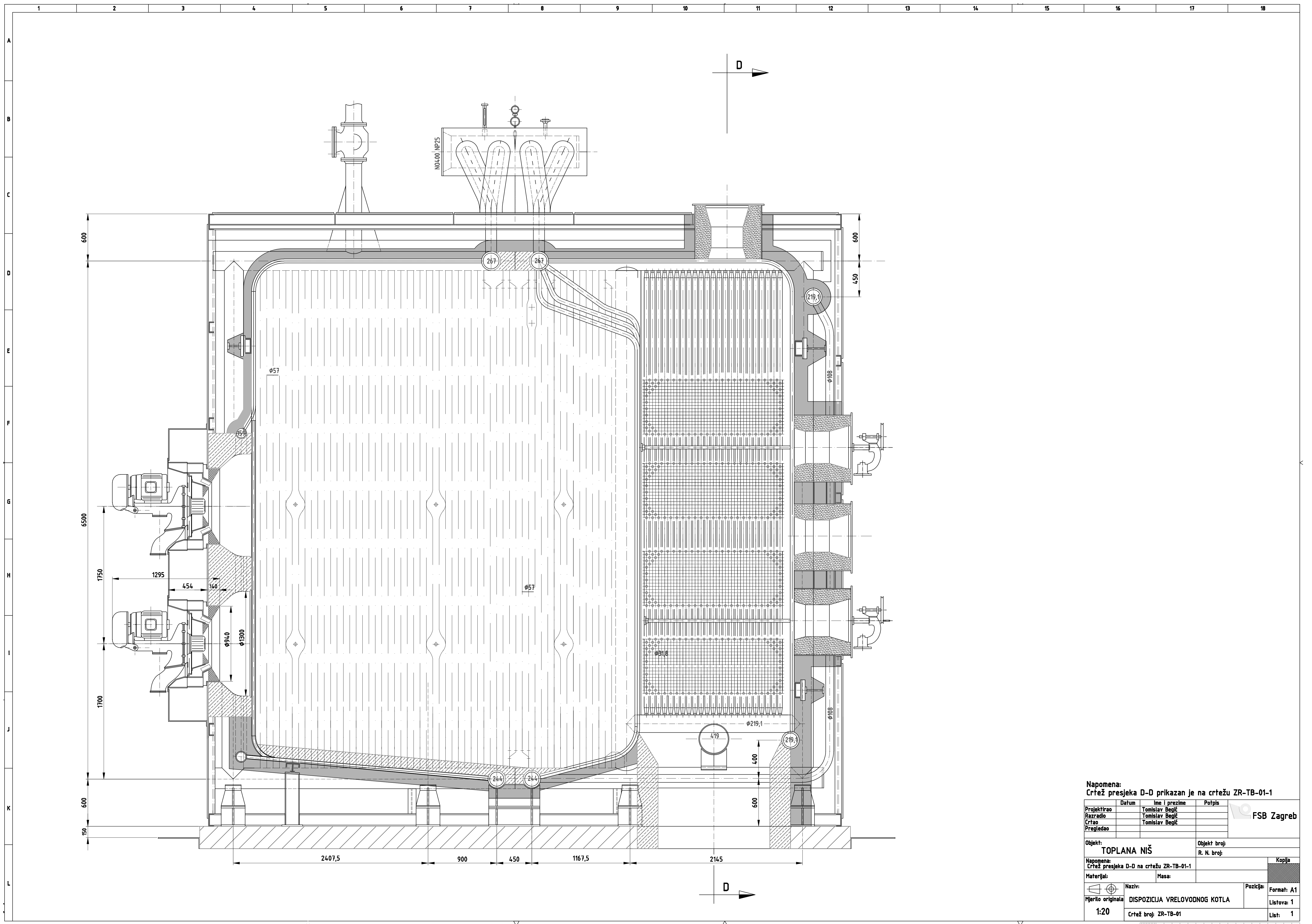
LITERATURA

- [1] Đurić, V., Bogner, M.: Parni kotlovi, Beograd, 1980.
- [2] Schneider, R.: Plinska ložišta i plinski plamenici- interna skripta FSB-a
- [3] Kreuh, L.: Generatori pare, Zagreb 1798.
- [4] Galović, A.: Termodinamika 2, Zagreb 2003.

PRILOZI

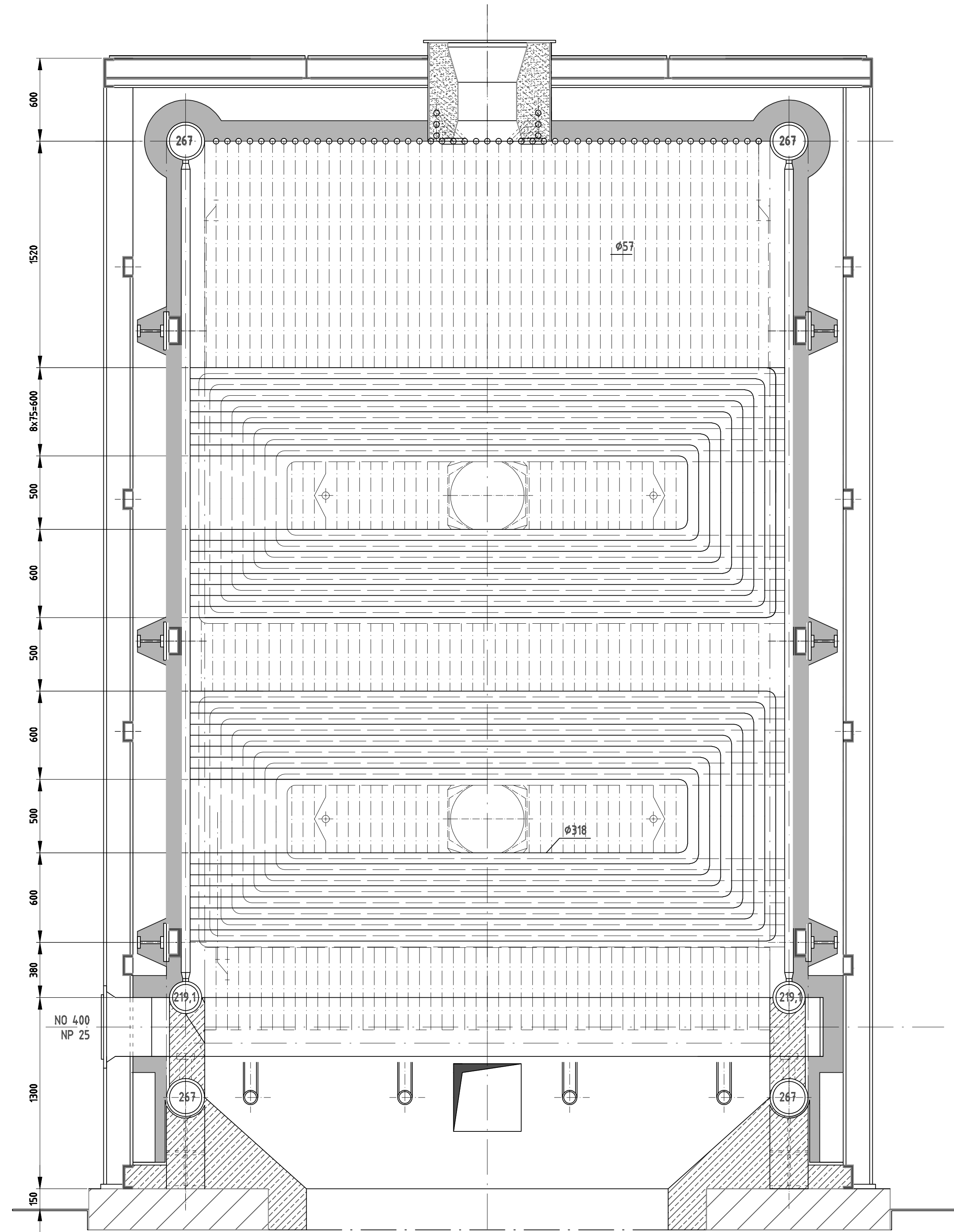
I- CD-R disc

II- Tehnička dokumentacija



Napomena:
 Crtež presjeka D-D prikazan je na crtežu ZR-TB-01-1

| | | | | |
|--|-------|-------------------------------|--------|------------|
| Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | FSB Zagreb |
| Razradio | | Tomislav Begić | | |
| Crtao | | Tomislav Begić | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: | | Objekt broj: | | |
| TOPLANA NIŠ | | R. N. broj: | | |
| Napomena: Crtež presjeka D-D na crtežu ZR-TB-01-1 | | | | Kopija |
| Materijal: | | Masa: | | |
| Naziv: | | Pozicija: | | Format: A1 |
| Mjerilo originala | | DISPOZICIJA VRELOVODNOG KOTLA | | Listova: 1 |
| 1:20 | | Crtež broj: ZR-TB-01 | | List: 1 |



Presjek D-D

| | | | | |
|-------------------|-------|------------------------|--------|------------|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis | FSB Zagreb |
| Projektirao | | Tomislav Begić | | |
| Razradio | | Tomislav Begić | | |
| Crtao | | Tomislav Begić | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: | | Objekt broj: | | |
| TOPLANA NIŠ | | R. N. broj: | | |
| Napomena: | | | | Kopija |
| Materijal: | | Masa: | | |
| Mjerilo originala | | Naziv: | | Pozicija: |
| 1:20 | | PRESJEK D-D | | Format: A1 |
| | | Crtež broj: ZR-TB-01-1 | | Listova: 1 |
| | | | | List: 1 |