

Idejni projekt sustava za proizvodnju pare na tankeru

Gungadin, Peevesh Sharma

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:210237>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Peevesh Gungadin

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Ante Šestan, dipl. ing.

Student:

Peevesh Gungadin

Zagreb, 2016.

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

Zahvaljujem svom mentoru, prof.dr.sc. Anti Šestanu na podršci i korisnim savjetima.

Također, zahvaljujem asistentu Ivici Ančiću na vrlo korisnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Peevesh Gungadin

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA..... | II |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | II |
| POPIS OZNAKA | III |
| 1 SAŽETAK | 2 |
| 1.1 SUMMARY | 3 |
| 2 POČETNI PODACI | 4 |
| 2.1 ZADANI PODACI | 4 |
| 2.2 OSNOVNE ZNAČAJKE | 4 |
| 2.3 SLIČAN BROD | 4 |
| 2.3.1 Snaga otpora broda | 6 |
| 2.3.2 Komponenti propulzije | 8 |
| 2.3.3 Odabir motora | 9 |
| 2.3.4 Broj članova posade | 11 |
| 3 ENERGETSKA BILANCA | 13 |
| 3.1 Bilanca potrošnje električne energije | 14 |
| 3.2 Prikaz potrošnje snage za izravno korištenje pare na brodu | 15 |
| 4 IZBOR PARAMETARA PARE ZA KOTAO | 16 |
| 4.1 Bilanca potrošnje pare..... | 18 |
| 4.2 Potrebne količine pare..... | 18 |
| 5 IZGARANJE | 19 |
| 6 RASPODJELA TOPLINE U KOTLU | 21 |
| 7 KONSTRUKCIJA LOŽENOG KOTLA | 21 |
| 8 KONSTRUKCIJA UTILIZACIJSKOG KOTLA | 22 |
| 9 ZAKLJUČAK..... | 23 |
| 10 DODATAK A..... | 24 |
| 11 DODATAK B..... | 26 |
| 12 DODATAK C..... | 55 |
| 13 DODATAK D..... | 63 |
| 14 DODATAK E..... | 68 |
| 15 DODATAK F..... | 75 |
| 16 LITERATURA | 108 |
| 17 PRILOZI..... | 109 |

POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz ovisnosti efektivne snage o brzini

Slika 2: Ovisnost snage otpora o brzini

Slika 3: Provjera radne točke motora

Slika 4: Određivanje broja članova posade

Slika 5: h-t dijagram izgaranja plinova parnog kotla

Slika 6: h-t dijagram ispušnih plinova motora

Slika 7: T - s / h - s dijagram parnog postrojenja

Slika 8: Shema utilizacionog kotla

POPIS TABLICA

Tablica 1: Prikaz potrošača električne energije i pare na brodu

Tablica 2: Prikaz koeficijenta sustrujanja i upijanja(1.3.2.2. 5str.)

Tablica 3: Prikaz vrijednosti iskoristivosti vijka u slobodnoj vožnji(1.3.3. 6 str.)

Tablica 4: Bilanca potrošnje električne energije(11 str-izmjeni)

Tablica 5: Bilanca potrošnje pare(12 str. Izmjeni)

Tablica 6: Izbor parametara za kotao

Tablica 7: Bilanca potrošnje pare

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

001 – 101: Loženi kotao (D – tip)

001 – 102: Utilizacijski kotao

001 – 103: Tlocrt kotlovnice

001 – 104: Tlocrt strojarnice

001 – 105: Uzdužni presjek strojarnice i kotlovnice

POPIS OZNAKA

| | |
|-------------|--|
| L_{pp} | duljina broda između okomica, m |
| B | širina broda, m |
| T | proračunski gaz, m |
| v | proračunska brzina, čv, m/s |
| Fr | Froudeov broj |
| C_B | faktor istisnine |
| S | oplakana površina, m ² |
| B | specifična potrošnja goriva, g/kWh |
| D | promjer propelera |
| Δ | istisnina broda, t |
| R_F | otpor trenja, N |
| t | faktor upijanja |
| w | faktor sustrujanja |
| η_H | faktor utjecaja trupa |
| η | korisnost |
| η_D | korisnost propulzije |
| η_0 | korisnost broskog vijka u slobodnoj vožnji |
| η_R | faktor prijelaza |
| A | površina, m ² |
| K_T | koeficijent poriva |
| J | koeficijent napredovanja |
| Re | Reynoldsov broj |
| P_e | snaga potrebna broskom vijku, W |
| P_E | snaga otpora |
| ρ_{sv} | gustoća slatke vode |
| ρ_{MV} | gustoća morske vode |
| t | termodinamička temperatura, °C |
| m° | maseni protok, m ³ /s |
| R_T | ukupni otpor, N |
| G_T | težina tereta, t |
| Q | toplinska energija, J |
| C_p | specifični toplinski kapacitet |

| | |
|-----------|--|
| q | gubitak topline, W/m |
| V' | prostor po članu posade, m ³ |
| I | broj izmjena zraka na sat |
| R_s | rashladni učin |
| v_k | brzina kormilarenja, m/s |
| c | specifični toplinski kapacitet, kJ/kgK |
| n | broj članova posade |
| r | specifična toplota isparavanja vode, kJ/kg |
| M | moment, Nm |
| ω | kutna brzina, s ⁻¹ |
| P | snaga, W |
| N_c | opremni broj |
| H_m | manometarska visina dobave, Pa |
| Z | minimlana količina zraka za potupuno izgaranje |
| O | minimalna količina kisika za potpuno izgaranje |
| L_n | stvarna količina zraka za potpuno izgaranje |
| l | faktor viška zraka |
| τ | vrijeme, s |
| W_{iz} | radizotermne kompresije, J |
| O_k | kompresijski omjer |
| C | kapacitet kompresora, m ³ /h |
| h | specifična entalpija, kJ/kg |
| p | tlak, bar |
| g | ubrzanje gravitacijske sile teže, m/s ² |
| Q° | toplinski tok, W |
| V° | volumenski protok, m ³ /s ρ gustoća, kg/m ³ |
| C_{12} | konstanta zračenja između plamena I ozračene površine |
| A_z | djelotvorna ogrijevna površina ekrana ložišta, m ² |
| d | promjer, mm |



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: **PEEVESH SHARMA GUNGADIN** Mat. br.:0035185744

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **IDEJNI PROJEKT SUSTAVA ZA PROIZVODNJU PARE NA TANKERU**

Naslov rada na engleskom jeziku: **PRELIMINARY DESIGN OF TANKER STEAM PRODUCTION SYSTEM**

Opis zadatka:

Izraditi idejni projekt sustava za proizvodnju pare na tankeru za prijevoz sirove nafte. Zadane su sljedeće značajke broda:

Duljina između okomica $L_{pp} = 260,0$ m.

Širina $B = 45,0$ m.

Gaz $T = 15,0$ m.

Brzina $v = 15,5$ čv.

Idejni projekt treba sadržavati sljedeće :

1. Preliminarni proračun snage otpora broda .
2. Određivanje snage poriva i izbor porivnog stroja (vrsta porivnog stroja : sporohodni dvotaktni dizelski motor).
3. Preliminarni proračun snage strojeva i uređaja parnog postrojenja, sistematizirani prikaz energetskih potreba broda u karakterističnim režimima plovidbe.
4. Određivanje toplinskih značajki pare i učina kotlovskeg postrojenja uzimajući u obzir i proizvodnju pare u utilizacijskom kotlu. Principijelnu toplinsku shemu spajanja postrojenja.
5. Projektni proračun loženog i utilizacijskog kotla.
6. Projektne nacрте kotlova .Prikaz razmještaja opreme u strojarnici i kotlovnici broda.

Kod izrade zadatka treba se pridržavati tehničkih pravila Hrvatskog registra brodova.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

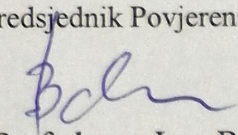
Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:


Prof.dr.sc. Ante Šestan

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

1 SAŽETAK

U radu je proveden proračun otpora kako bi mogli odabrati motor koji odgovara veličini broda. Zatim su određeni potrošači električne energije i pare, a rezultati su prikazani sistematizirano po karakterističnim režimima plovidbe. Prema opterećenju energetske i parnog sistema određeni su učini loženog i utilizacijskog kotla. Priložena je i toplinska shema parnog sistema, kao i principijelna shema spajanja pomoćnog i utilizacijskog kotla. Nakon određivanja učina se određuju potrebni padovi entalpije na svakom dijelu kotla. Konstrukcija kotla je onda provedena prema dobivenim entalpijama. Prikazan je razmještaj opreme u strojarnici i kotlovnici.

Ključne riječi: potrošači energije, loženi, utilizacijski

1.1 SUMMARY

This thesis follows the resistance calculation of the given ship in order to select the appropriate engine. From the known characteristics of the ship the energy needs are determined. The results are displayed systematically for electrical energy produced and direct steam use. Based on the demands for electrical and energy and steam for heating, the flow rate of the steam boiler and exhaust gas boiler are determined. The scheme for the steam generation system is included. After determining the flow rate, the enthalpy change is calculated for every part of the steam boiler. The boiler is then constructed according to the heat transfer needed. All equipment designed has been shown in the engine room and boiler room.

Key words: energy needs, steam boiler, exhaust gas boiler

2 POČETNI PODACI

2.1 ZADANI PODACI

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Tip broda: | Tanker za prijevoz sirove nafte |
| Duljina između okomica: | $L_{pp} = 260 \text{ m}$ |
| Širina | $B = 45,0 \text{ m}$ |
| Gaz | $T = 15,0 \text{ m}$ |
| Brzina | $v = 15,5 \text{ čv}$ |

2.2 OSNOVNE ZNAČAJKE

| | |
|------------------------|-----------------------------------|
| Omjer duljina-širina : | $\frac{L}{B} = 5,778 \text{ m/s}$ |
| Omjer širina-gaz : | $\frac{B}{T} = 3,000 \text{ m/s}$ |
| Brzina : | $v = 7,974 \text{ m/s}$ |
| Froude-ov broj : | $Fr = 0,1579$ |

2.3 SLIČAN BROD

Nepoznati podaci su određeni prema sličnom brodu *Libertas*.

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Tip broda: | Tanker za prijevoz sirove nafte |
| Duljina između okomica: | $L_{pp} = 225 \text{ m}$ |
| Širina | $B = 37,4 \text{ m}$ |
| Gaz | $T = 12,2 \text{ m}$ |
| Brzina | $v = 14,5 \text{ čv}$ |
| Froude-ov broj : | $Fr = 0,1584$ |

Cilj zadatka je projektirati sustav za proizvodnju pare na tankeru. Para je proizvedena na tankeru tako da bi zadovoljila sljedeće energetske potrebe broda kako je prikazano u karakterističnim režimima plovidbe.

| POTROŠAČI ELEKTRIČNE ENERGIJE I NJIHOVO OPTEREĆENJE | Plovidba na | | | |
|--|-------------|------------------------|-------------------|--------------------------|
| | iskrcaj | Terminalski manevar | Iskrcaj tereta | Plovidba iz terminala |
| Butterworth zagrijač | 0% | 0% | 100% | 100% |
| Klimatizacija prostorija | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Rasvjeta | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Ostali potrošači za život posade | 70% | 70% | 70% | 70% |
| Kormilarski uređaj | 100% | 100% | 0% | 100% |
| Sidrena vitla | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Pritezna vitla | 0% | 0% | 100% | 0% |
| Teretna vitla | 0% | 80% | 100% | 0% |
| Pumpe balasta | 0% | 0% | 0% | 100% |
| Protupožarna pumpa | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Navigacioni i komandni uređaji | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Rashladna pumpa sl. vode gl. stroja | 100% | 60% | 0% | 80% |
| Rashladna pumpa mor. vode gl. stroja | 100% | 60% | 0% | 80% |
| Dobavne pumpe i sep. teškog goriva g.s. | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Dobavne pumpe i sep. ulja za podm. g.s.. | 50% | 30% | 0% | 40% |
| Pumpe kaljuže | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Kompresori zraka | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Ventilatori strojnarnice | 100% | 80% | 80% | 100% |
| Rashladna pumpa pom. kondenzatora | 10% | 10% | 100% | 10% |
| Kondenzatna pumpa pom. kondenzatora | 10% | 10% | 100% | 10% |
| Napojna pumpa kotla | 70% | 30% | 100% | 60% |
| Ventilatori kotla | 70% | 30% | 100% | 60% |
| Dobavne pumpe teškog goriva za kotao | 70% | 30% | 100% | 60% |

| POTROŠAČI PARE I NJIHOVO OPTEREĆENJE | Plovidba na | | | |
|---|-------------|------------------------|-------------------|--------------------------|
| | iskrcaj | Terminalski manevar | Iskrcaj tereta | Plovidba iz terminala |
| Grijanje tereta | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Održavanje temperature tereta | 0% | 100% | 100% | 0% |
| Pumpe za iskrcaj | 0% | 0% | 100% | 0% |
| Stripping pumpe | 0% | 0% | 100% | 0% |
| Butterworth zagrijač | 0% | 0% | 0% | 100% |
| Grijanje prostorija | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Proizvodnja slatke vode za posadu | 100% | 100% | 0% | 100% |
| Grijanje vode za posadu | 100% | 100% | 50% | 100% |
| Grijanje teškog goriva gl. stroja | 100% | 60% | 0% | 80% |
| Grijanje ulja za podmazivanje gl. str. | 100% | 60% | 100% | 80% |
| Grijanje strojnarnice | 0% | 50% | 100% | 0% |
| Proizvodnja slatkevode za strojarn. | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Grijanje teškog goriva za kotao | 0% | 0% | 0% | 0% |

Suhozasićena para

Pregrijana para

Tablica 1: Prikaz potrošača električne energije i pare na brodu

Za proračun suhozasićene i pregrijane pare za gore navedene potrebe, **potrebni su nam sljedeći podaci:**

2.3.1 Snaga otpora broda

Preliminarna snaga otpora se proračunava u softver-u NavCAD. Zadane vrijednosti, uz potrebne podatke se unesu u NavCAD te odabranom metodom Holtrop, dobije se dijagram ovisnosti snage otpora PE o brzini plovidbe v . Za unos u NavCAD se računaju sljedeći podaci.

Prema formuli Alexandra,

$$C_B = 1,08 - 0,5363 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{VL}}} = 0,819 \quad (0,80 - 0,85)$$

Istisnina

$$\nabla = C_B \cdot L_{VL} \cdot B \cdot T = 148142,6 \text{ m}^3$$

U NavCAD-u se koristi metoda "Series 60", gdje je

$$S = 16584,1 \text{ m}^2$$

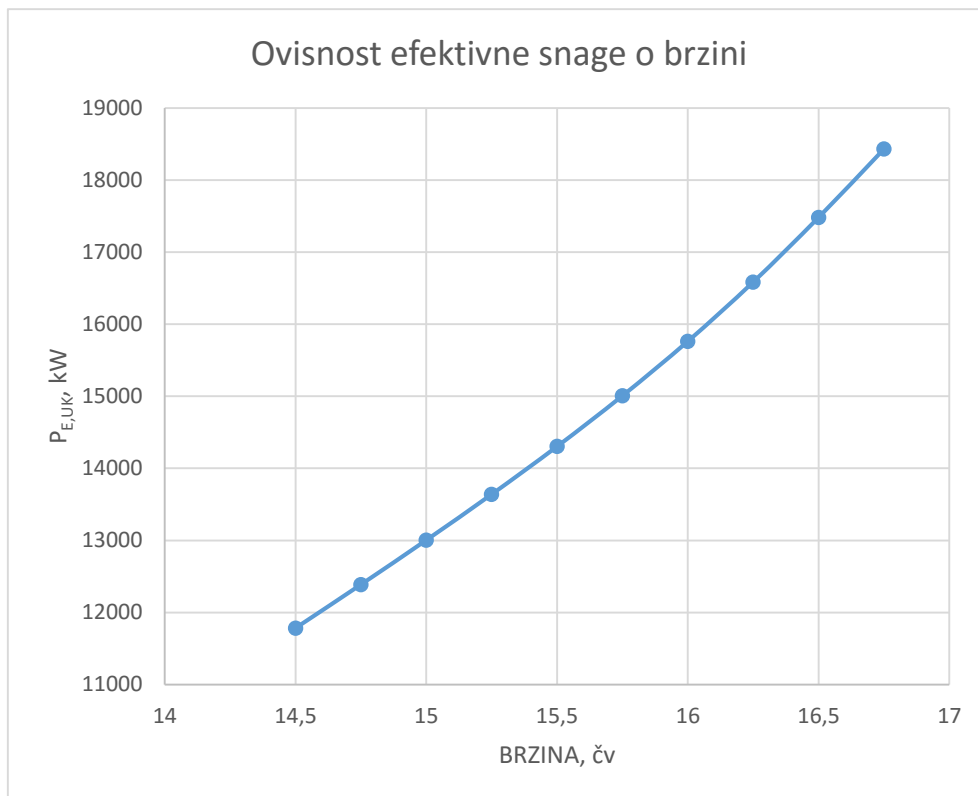
Uvjeti:

- Uvjeti vjetra i mora: Stanje mora 2
- Faktor SM 8% za preliminarni proračun
- Uvjeti viskoziteta: 0,15 mm za novi brod

Koristeći formulu Fancev-a (za provjeru samo)

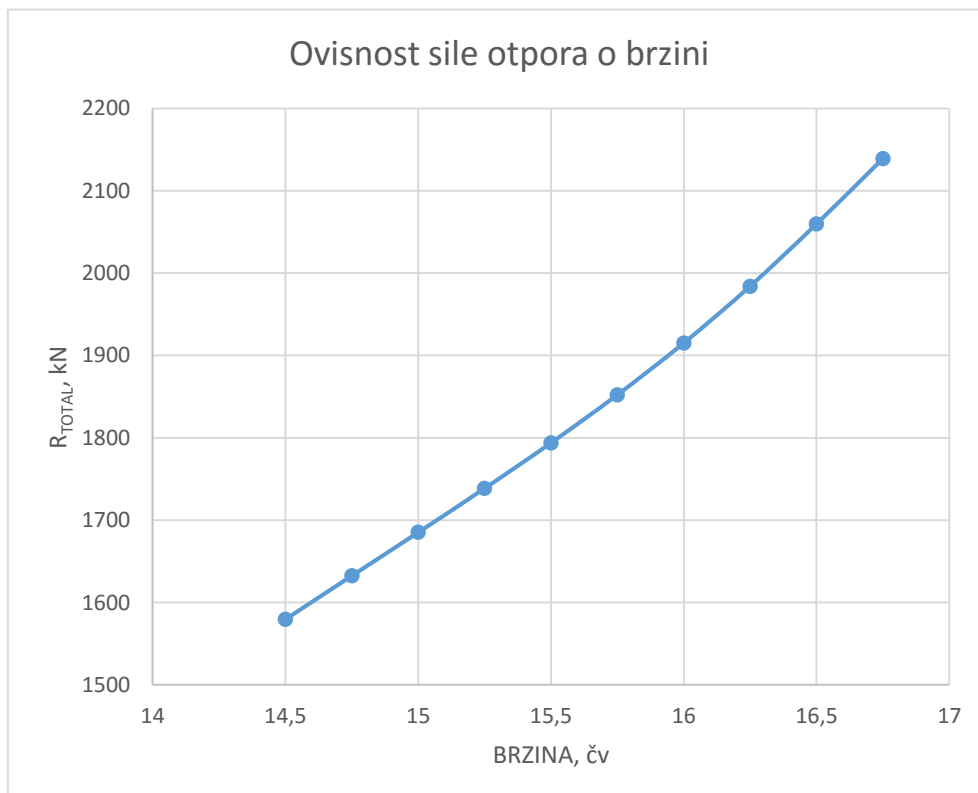
$$S = L_{VL} \cdot T \cdot \left(0,0271 \cdot \frac{B}{T} + 0,492 \cdot C_B + 0,959 \cdot \frac{B}{T} \cdot C_B + 1,39 \right) \text{ m}^2$$

$$S = 17006,5 \text{ m}^2$$



Slika 1: Prikaz ovisnosti efektivne snage o brzini

Pri brzini $v = 15,5$ čv, $P_{E,UK} = 14302,7$ kW i $R_{TOTAL} = 1793,7$ kN



Slika 2: Ovisnost snage otpora o brzini

2.3.2 Komponenti propulzije (pogledati Dodatak A)

Za daljnje određivanje komponenata propulzije, potrebno je znati sljedeće karakteristike vijka:

1. Promjer
2. uspon ili omjer uspona
3. omjer površina A_E/A_0
4. broj krila (4 za ovakvu vrstu broda)

2.3.2.1 Promjer

$$D < 0,7 \cdot T = 9,75 \text{ m}$$

Nakon optimiranja u NavCAD-u se odabire promjer vijka, $D = 8,5 \text{ m}$ jer manji promjeri uzrokuju preveliku brzinu okretaja za odabrani motor što bi zahtjevalo korištenje reduktora.

2.3.2.2 Proračun komponenata propulzije

Komponente propulzije su koeficijent sustrujanja w i upijanja t . Spomenuti koeficijenti će se izračunati pomoću formula različitih autora, dok će se za konačne vrijednosti uzeti njihova aritmetička sredina.

Koeficijent sustrujanja

| Taylor 1910 | Taylor 1923 | Gill | Schiffbau Kalender |
|-------------------|-------------|--------|--------------------|
| 0,3594 | 0,3094 | 0,3986 | 0,3741 |
| $w_{SR} = 0,3604$ | | | |

Koeficijent upijanja

| Taylor 1923 | Schiffbau Kalender | Alferijev |
|-------------------|--------------------|-----------|
| 0,2456 | 0,2594 | 0,2573 |
| $t_{SR} = 0,2541$ | | |

Tablica 2: Prikaz koeficijenata koeficijenata sustrujanja i upijanja

Pomoću koeficijenata sustrujanja i upijanja moguće je izračunati koeficijent utjecaja trupa:

$$\eta_H = \frac{1 - t_{SR}}{1 - w_{SR}} = 1,1661$$

Iz definicijskog izraza sa koeficijent sustrujanja moguće je izračunati brzinu pritjecanja vode vijku:

$$v_a = 0,51444 \cdot v_{PP} \cdot (1 - w_{SR}) = 5,10 \text{ m/s}$$

Prema formuli Kellera, omjer površina A_E/A_0 je definiran kao:

$$\frac{A_E}{A_0} = \left(\frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(p_o - p_v) \cdot D^2} \right) + K$$

Za broj krila vijka 4, $A_E/A_0 = 0,622$

Prema tome je odabran **W.B. 4.70**.

2.3.3 Odabir motora

Na temelju izračunatog omjera površina, iz $K_t - J$ dijagrama za pripadajuću seriju očita se vrijednost iskoristivosti vijka u slobodnoj vožnji za izračunati omjer raširene površine vijka i površine diska vijka.

$$K_T = \frac{T}{\rho_{sv} \cdot n^2 \cdot D^4}$$

$$J = \frac{v_a}{n \cdot D}$$

$$K_T/J^4 = (T \cdot n^2)/(\rho_{sv} \cdot v_a^4)$$

| K_T | N (okr/min) | J | $\sqrt[4]{(K_T/J^4)}$ | P/D | η_0 (%) |
|-------|-------------|-------|-----------------------|--------|--------------|
| 0,221 | 75 | 0,480 | 1,4281 | 0,884 | 52,13 |
| 0,194 | 80 | 0,450 | 1,4749 | 0,806 | 52,11 |
| 0,172 | 85 | 0,424 | 1,5203 | 0,7425 | 51,66 |
| 0,153 | 90 | 0,400 | 1,5644 | 0,6847 | 50,88 |
| 0,138 | 95 | 0,379 | 1,6072 | 0,6365 | 49,78 |

Tablica 3: Prikaz vrijednosti iskoristivosti vijka u slobodnoj vožnji

Glavni motor se odabire prema preliminarnom proračunu sile otpora. Kako ne bi motor bio predimenzioniran, radna točka motora se uzima za brzine iznad 75 okr/s.

Snaga predana brodskom vijku: $P_e = \frac{P_E}{\eta_D} = 23998 \text{ kW}$

$$\eta_D = \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_H \cdot \eta_{os} = 0,596$$

faktor prijelaza smještaja vijka uz brod, $\eta_R = 1$

mehanička korisnost, $\eta_{os} = 0,98$

Prema dobivenoj snazi odabran je porivni stroj iz kataloga proizvođača MAN B&W. Izbor se vrši s obzirom na iskustveni izraz $P_{SCR} = (0,85 \div 0,95) * P_{MCR}$, uz uvjet da je $P_{SCR} = P_e = 23998 \text{ kW}$.

MAN B&W S80ME-C9

Podaci o motoru:

$P_{MCR} = 27,06 \text{ MW}$ pri 78 okr/min

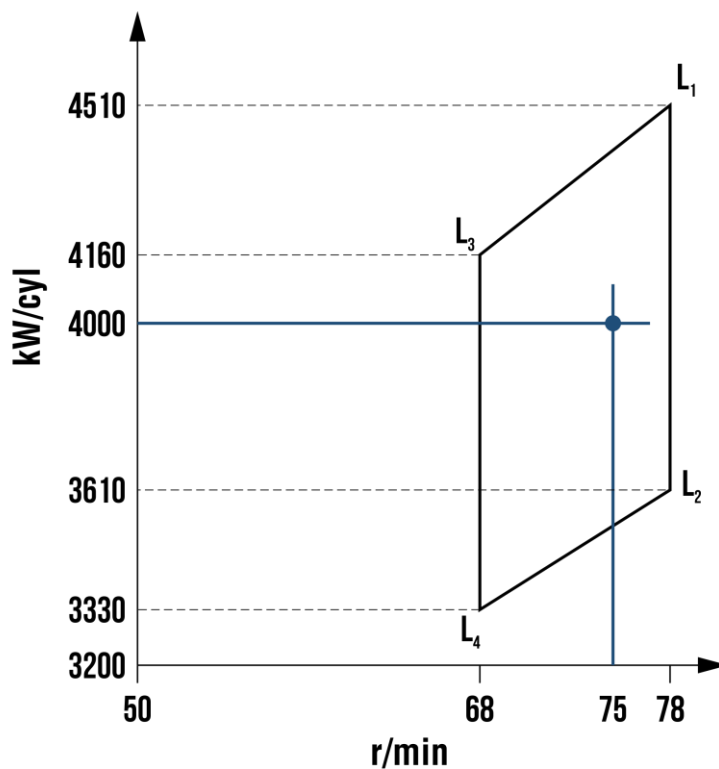
$B = 167 \text{ g/kWh}$ specifična potrošnja goriva

$T_{izl} = 320^\circ\text{C}$

$P_{SCR}/P_{MCR} = 0,89$

Prema dijagramu opterećenja motora prilagođavaju se broj okretaja vijka i uspon kako bi radna točka bila u području motora. Pri tome moramo paziti na korisnost propelera i postotak kavitacije.

Snaga po cilindru, $\frac{P_e}{n} = 4000 \text{ kW}$



Slika 3: Provjera radne točke motora

2.3.4 Broj članova posade

Prema Pravilniku o najmanjem broju članova posade za sigurnu plovidbu, tankeri s više od 3000 BT kategoriji plovidbe 1 (neograničena plovidba) moraju imati najmanje sljedeći broj članova posade:

A. U službi palube

Zapovjednika, jednog prvog časnika, dva časnika plovidbene straže, tri člana posade i jednog mornara

B. U službi stroja (Snaga porivnog uređaja preko 3000 kW)

jednog upravitelja stroja, jednog drugog časnika stroja, jednog časnika odgovornog za stražu u strojarnici, tri člana straže u strojarnici

C. U općoj službi

Brod bez obzira na tonažu i snagu porivnog stroja mora imati jednog kuhara

Min. broj posade: 15

Prema podacima sličnih brodova izračunati je preliminarni broj članova posade za tanker duljine 260 m.

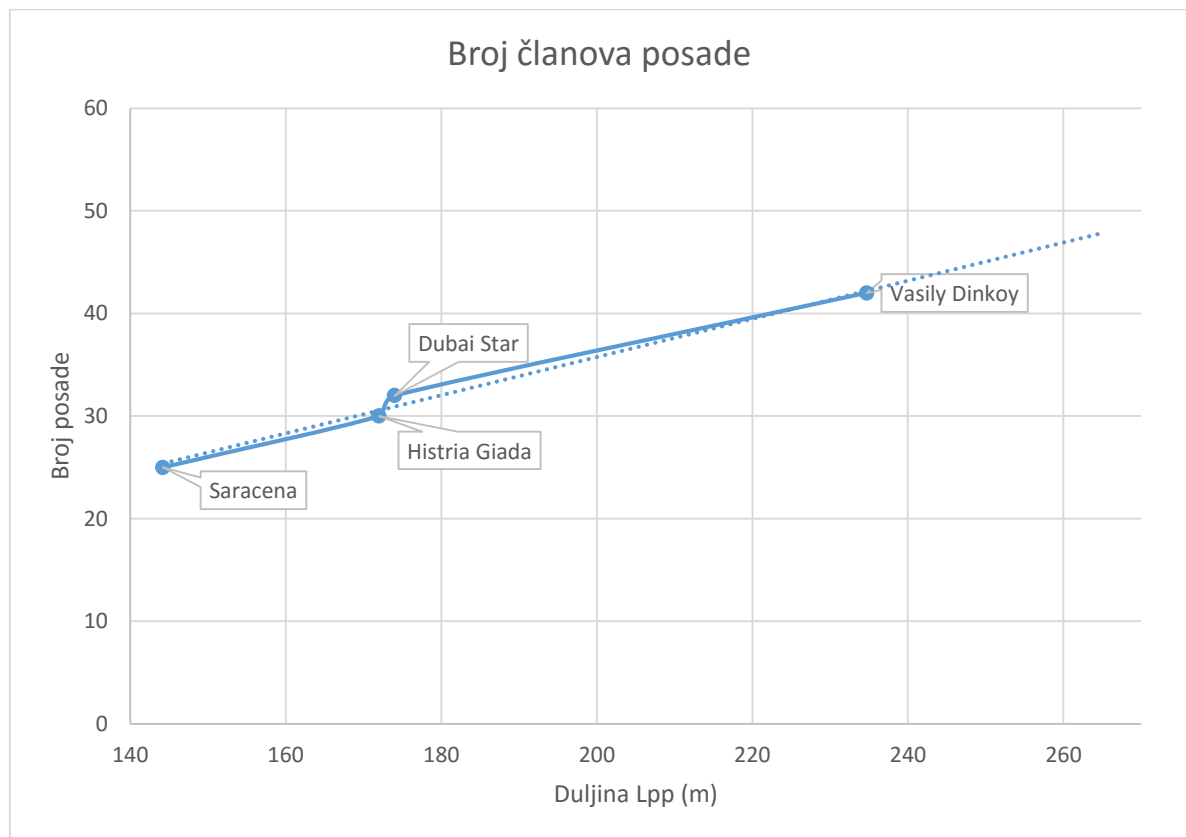
Slični brodovi (Tankeri za prijevoz ulja)

Saracena - Lpp=144,20m – Broj posade=25

Dubai Star – Lpp =174 m – Broj posade=32 (Uključuje 6 posada za Suez)

Histria Giada – Lpp= 172 m – Broj posade=30 (Uključuje 6 posada za Suez)

Vasily Dinkoy – Lpp=234,70m – Broj posade= 42 (Uključuje 6 posada za Suez)



Slika 4: Određivanje broja članova posade

Orijentacijski broj članova posade: 47

3 Energetska bilanca (pogledati Dodatak B)

Energetska bilanca parnog postrojenja se određuje prema opterećenju turbine generatora i kotla pri slučaju maksimalnog opterećenja.

Za potrebe grijanja je korištena formula $Q^\circ = m^\circ \cdot c \cdot \Delta t$ za potrebe grijanja.

Korištena je formula $P = V^\circ \cdot H_m / \eta$ za izračunavanje potrebne snage pumpe i ventilatora.

Snaga kormilarskog uređaja se određuje preko okretnog momenta $P = M \cdot \omega$

Snaga vitla je određena preko brzine dizanja, $P = F \cdot v$

Za kompresor zraka se koristi formula snage izotermne promjene, $P_{iz} = p_1 \cdot V_1^\circ \cdot \ln(p_1/p_2)$

Prema tablici 4 se dobije maksimalno opterećenje turbogeneratora. Najveća potreba električne energije je za stanje C, $P_E = 1090,0 \text{ kW}$.

Uzimajući u obzir korisnost generatora $\eta_G = 0,9$ i korisnost turbine $\eta_{ET} = 0,55$ dobije se snaga turbine generatora.

$$P_{TG} = 2201,9 \text{ kW}$$

Prema tablici 5 uzimajući u obzir P_{TG} i ostale potrošnje pare za pogon pumpi dobije se

$$P_{pr} = 17231 \text{ kW}$$

Snaga zasićene pare se dobije zbrajanjem svih energetskih potreba pare za grijanje (Tablica 3-Stanje C)

$$P_Z = 5605,4 \text{ kW}$$

3.1 Bilanca potrošnje električne energije

Potrošnja električne energije je izračunata pojedinačno za svaki potrošač u dodatku B. U tablici 4 (točka 3.1) su prikazane potrošnje električne energije svakog potrošača.

Snaga potrebna za pokrivanje potrebe električne energije je detaljno izračunato u dodatku B.

| PRIKAZ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE, kW | NAZIVNA SNAGA | A | | B | | C | | D | |
|--|---------------|---------------------|-------|---------------------|-------|----------------|--------|-----------------------|--------|
| | | Plovidba na iskrcaj | | Terminalski manevar | | Iskrcaj tereta | | Plovidba iz terminala | |
| | | kp | | kp | | kp | | kp | |
| PUMPA ZA BUTTERWORTH | 41,1 | | | | | 41,1 | | 41,1 | |
| KLIMATIZACIJA PROSTORIJA | 23,4 | | 23,4 | | 23,4 | 23,4 | | 23,4 | |
| RASVJETA | 80,0 | | | | | | | | |
| OSTALI POTROŠAČI ZA ŽIVOT POSADE | 95,0 | 0,7 | 66,5 | 0,7 | 66,5 | 0,7 | 66,5 | 0,7 | 66,5 |
| KORMILARSKI UREĐAJ | 70,0 | | 70,0 | | 70,0 | | | | 70,0 |
| SIDRENA VITLA | 138,1 | | | | | | | | |
| PRITEZNA VITLA | 868,1 | | | | | 30,0 | | | |
| DIZALICE ZA MANIFOLD | 40,0 | | | 0,8 | 32,0 | 40,0 | | | |
| PUMPE BALASTA | 1717,3 | | | | | | | | 1717,3 |
| PROTUPOŽARNA PUMPA | 107,5 | | 107,5 | | 107,5 | 107,5 | | 107,5 | |
| NAVIGACIONI I KOMANDNI UREĐ | 16,0 | | 16,0 | | 16,0 | 16,0 | | 16,0 | |
| RASHLADNA PUMPA SL. VODE GL. STROJA | 79,3 | | 79,3 | 0,6 | 47,6 | | | 0,8 | 63,5 |
| RASHLADNA PUMPA MOR. VODE GL. STROJA | 162,6 | | 162,6 | 0,6 | 97,6 | | | 0,8 | 130,1 |
| DOBAVNE PUMPE I SEP. TEŠKOG GORIVA G.S. | 19,5 | | | | | | | | |
| DOBAVNE PUMPE I SEP. ULJA ZA PODM. G.S.. | 18,2 | 0,5 | 9,1 | 0,3 | 5,5 | | | 0,4 | 7,3 |
| PUMPE KALJUŽE | 46,6 | | | | | | | | |
| KOMPRESORI ZRAKA | 143,6 | 0,5 | 71,8 | 0,5 | 71,8 | 0,5 | 71,8 | 0,5 | 71,8 |
| VENTILATORI STROJARNICE | 80,0 | | 80,0 | 0,8 | 64,0 | 0,8 | 64,0 | | 80,0 |
| RASHLADNA PUMPA POM. KONDENZATORA | 299,2 | 0,1 | 29,9 | 0,1 | 29,9 | | 299,2 | 0,1 | 29,9 |
| KONDENZATNA PUMPA POM. KONDENZATORA | 6,6 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | | 6,6 | 0,1 | 0,7 |
| NAPOJNA PUMPA KOTLA | 111,9 | 0,7 | 78,3 | 0,3 | 33,6 | | 111,9 | 0,6 | 67,2 |
| VENTILATORI KOTLA | 201,8 | 0,7 | 141,2 | 0,3 | 60,5 | | 201,8 | 0,6 | 121,1 |
| DOBAVNE PUMPE TEŠKOG GORIVA ZA KOTAO | 10,1 | 0,7 | 7,1 | 0,3 | 3,0 | | 10,1 | 0,6 | 6,1 |
| SVEUKUPNO OPTEREĆENJE | | | 943,5 | | 729,6 | | 1090,0 | | 2619,4 |
| BEZ PUMPI BALASTA | | | 943,5 | | 729,6 | | 1090,0 | | 902,1 |

Tablica 4: Bilanca potrošnje električne energije

3.2 Prikaz potrošnje snage za izravno korištenje pare na brodu

Potrošnja pregrijane pare za direktni pogon pumpi i zasićene pare za grijanje je izračunata pojedinačno za svaki potrošač u dodatku B . U tablici 5 (točka 3.2) su prikazane potrošnje pregrijane i zasićene pare.

| | pregr. | zas. | pregr. | zas. | pregr. | zas. | pregr. | zas. |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GRIJANJE TERETA | | 17399 | | | | | | |
| ODRŽAVANJE TEMPERATURE TERETA | | | | 3233 | | 3233 | | |
| PUMPE ZA ISKRCAJ STRIPPING PUMPE | | | | | 14229 | | | |
| BUTTERWORTH ZAGRIJAČ | | | | | | | | 14979 |
| GRIJANJE PROSTORIJA | | 156,7 | | 156,7 | | 156,7 | | 156,7 |
| PROIZVODNJA SLATKE VODE ZA POSADU | | 216,8 | | 216,8 | | | | 216,8 |
| GRIJANJE VODE ZA POSADU | | 10,1 | | 10,13 | | 5,067 | | 10,13 |
| GRIJANJE TEŠKOG GORIVA GL. STROJA | | 1021,7 | | 613 | | | | 817,4 |
| GRIJANJE ULJA ZA PODMAZIVANJE GL. | | 19,3 | | 11,56 | | 88,34 | | 15,41 |
| GRIJANJE STROJARNICE | | | | 274 | | 547,9 | | |
| PROIZVODNJA SLATKEVODE ZA | | 600,1 | | 600,1 | | 600,1 | | 600,1 |
| GRIJANJE TEŠKOG GORIVA ZA KOTAO | | 681,8 | | 292,2 | | 974,1 | | 584,4 |
| TURBOGENERATOR | 1906 | | 1474 | | 2201,9 | | 1822 | |
| SVEUKUPNO OPTEREĆENJE | 1906 | 20106 | 1474 | 5407,7 | 17231 | 5605,4 | 1822 | 17380 |
| BEZ BUTTERWORTH ZAGRIJAČA | 1906 | 20106 | 1474 | 5407,7 | 17231 | 5605,4 | 1822 | 2400,9 |

Tablica 5: Bilanca potrošnje pare

Kako se vidi iz tablice 3, najveće opterećenje je kod **stanja C** pri iskrcaju tereta.

4 Izbor parametara pare za kotao (pogledati Dodatak C)

Tlak u kotlu (p_{pk}) i temperatura pregrijanja se odabiru tako da se dobije kapacitet najbliži standardnom.

Standardni tlakovi u kotlu p_{pk} (atm)

| | | | | | |
|---|---|----|-----------|----|----|
| 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 |
|---|---|----|-----------|----|----|

Standardne temperature pregrijanja ($^{\circ}\text{C}$)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|
| 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|

Standardni kapaciteti kotla (t/h)

| | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 64 | 80 |
|----|----|----|----|----|----|----|

Za standardni tlak 13 atm, $t_{zas} = 194,22^{\circ}\text{C}$

| | | | | | |
|---------------------------|-------|-------------|------|------|------|
| $t_{pr}/^{\circ}\text{C}$ | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |
| Potrebni protok, t/h | 106,8 | 91,4 | 80,5 | 72,3 | 65,7 |

Tablica 6: Izbor parametara za kotao

Najbolji izbor prema standardnim kapacitetima kotla bi bilo $t_{pr} = 400^{\circ}\text{C}$ i $m_k = 40$ t/h s time da bi se koristilo dva kotla.

Ali kako bi smanjili toplinsko opterećenje kotla uz smanjenje dimenzija kotla i kako bi smanjili toplinske gubitke **odabire se $t_{pr} = 300^{\circ}\text{C}$ i $m_k = 50$ t/h s time da će se koristiti dva kotla.**

Upotreba dva kotla omogućuje simetrično smještanje na brodu što pomaže pri centraciji broda.

Za odabrani tlak kotla, $p_{pk} = 13$ atm mogu se direktno očitati sljedeće entalpije iz toplinskih tablica.

$$h' = 825,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h'' = 2789,6 \text{ kJ/kg}$$

$$r_z = h'' - h' = 1964 \text{ kJ/kg}$$

Za tlak u kotlu, $p_{KD} = 0,3$ bar se očitava entalpija mokre pare za pretpostavljeni udio pare $x = 0,85$.

$$h_{kd(teor)} = 2275 \text{ kJ/kg}$$

Stanje pare nakon prolaska u turbini se određuje za apsolutni tlak i temperaturu u kondenzatoru.

Za stanje pregrijane pare, $t_p = 300\text{ }^\circ\text{C}$ i $p = 13,76\text{ bar}$ se dobije entalpija $h_{pr} = 3041,6\text{ kJ/kg}$

Za stanje mokre pare, $t_{KD} = 69,12\text{ }^\circ\text{C}$ i $p_{KD} = 0,3\text{ bar}$ se dobije entalpija mokre pare na ulazu kondenzatora kod pretpostavljenog udjela pare $x = 0,85$, $h_{KD(teor)} = 2275\text{ kJ/kg}$

Teoretski raspoloživi pad dan je sljedećim izrazom $h_t = h_{pr} - h_{KD} = 767,6\text{ kJ/kg}$

Stvarna entalpija mokre pare h_{KD} za apsolutni tlak od $p_{KD} = 0,3\text{ bar}$ i $t_{KD} = 62,19\text{ }^\circ\text{C}$ se može sada izračunati prema izrazu

$$h_{KD} = h_{pr} - h_i$$

gdje je $h_i = \eta_i \cdot h_t$

$$\eta_i = 0,6$$

$$h_i = 0,6 \cdot 767,6 = 460,0\text{ kJ/kg}$$

$$h_{KD} = 2581,6\text{ kJ/kg}$$

$$x = \frac{h_{KD} - h'}{h'' - h'} = 0,905$$

Iz toga proizlazi da parametri pare za Clausius Rankineov proces su sljedeći:

U isparivačkom dijelu kotlu:

$$p_K = 13,762\text{ bar}$$

$$t_Z = 194,22\text{ }^\circ\text{C}$$

U kondenzatoru:

$$p_{KD} = 0,3\text{ bar}$$

$$h_{KD} = 2581,6\text{ kJ/kg}$$

Stanje pregrijanja:

$$t_{pr} = 300\text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{pr} = 3041,6\text{ kJ/kg}$$

4.1 Bilanca potrošnje pare

| BILANACA POTROŠNJE PARE (kg/h) | | | A | | B | | C | | D | |
|---|--|--|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 8935 | 40520 | 6909 | 9912 | 80770 | 10275 | 8542 | 31858 |
| SVEUKUPNO OPTEREĆENJE | | | | 49455 | | 16821 | | 91190 | | 40400 |
| | | | 8935 | 40520 | 6909 | 9912 | 80770 | 10275 | 10077 | 4401 |
| BEZ BUTTERWORTH ZAGRIJAČA | | | | 49455 | | 16821 | | 91190 | | 14478 |
| OPTEREĆENJE LOŽENOG KOTLA PRI RADU | | | 8935 | 36566 | 6909 | 9912 | 80770 | 10275 | 10077 | 27904 |
| UTILIZACIJSKOG KOTLA | | | | 45501 | | 16821 | | 91190 | | 37981 |
| OPTEREĆENJE LOŽENOG KOTLA PRI RADU | | | 8935 | 36566 | 6909 | 9912 | 80770 | 10275 | 10077 | |
| UTILIZACIJSKOG KOTLA BEZ BUTTERWORTH ZAGRIJAČA | | | | 45501 | | 16821 | | 91190 | | 10077 |

Tablica 7: Bilanca potrošnje pare

4.2 Potrebne količine pare

Prema dobivenim vrijednostima latentne topline i potrebne snage za potrebne grijanja možemo izračunati maseni protok pare potrebne za zagrijavanje.

$$m^{\circ}_z = \frac{P_z}{r_z} = \frac{5605,4}{1964} = 2,85 \text{ kg/s}$$

$$m^{\circ}_{pr} = \frac{P_{pr}}{h_t} = 22,48 \text{ kg/s}$$

Maseni protok kroz kotao

$$m^{\circ}_k = m^{\circ}_z + m^{\circ}_{pr} = 25,33 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m^{\circ}_k = 91,19 \text{ t/h}$$

Kako je objašnjeno u točki 3. kapacitet kotla se odabire prema standardnim kapacitetima kako bi zadovoljili potrebni maseni protok kroz kotao, $m^{\circ}_k = 91,19 \text{ t/h}$

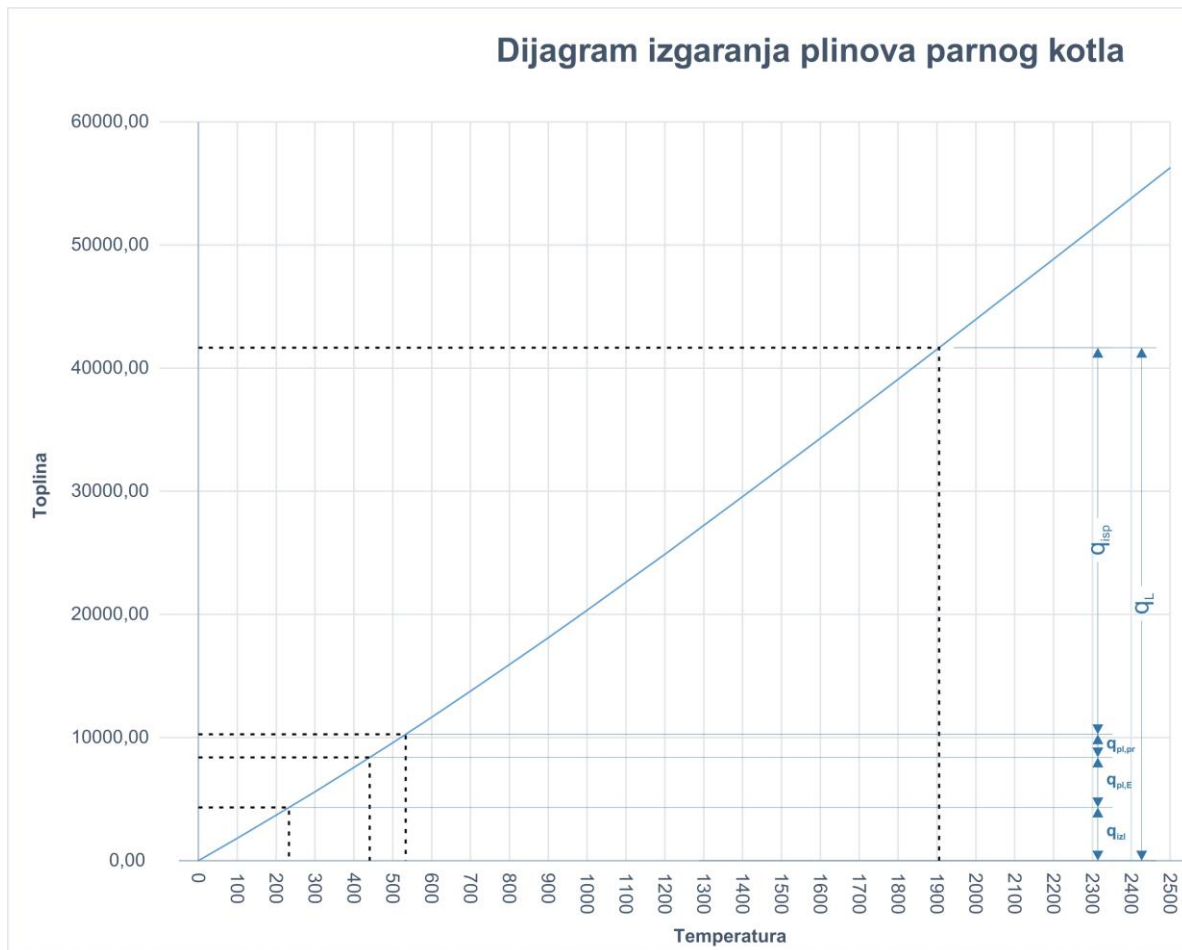
5 Izgaranje

Prema dodatku D, za gorivo C su određene vrijednosti faktora viška zraka.

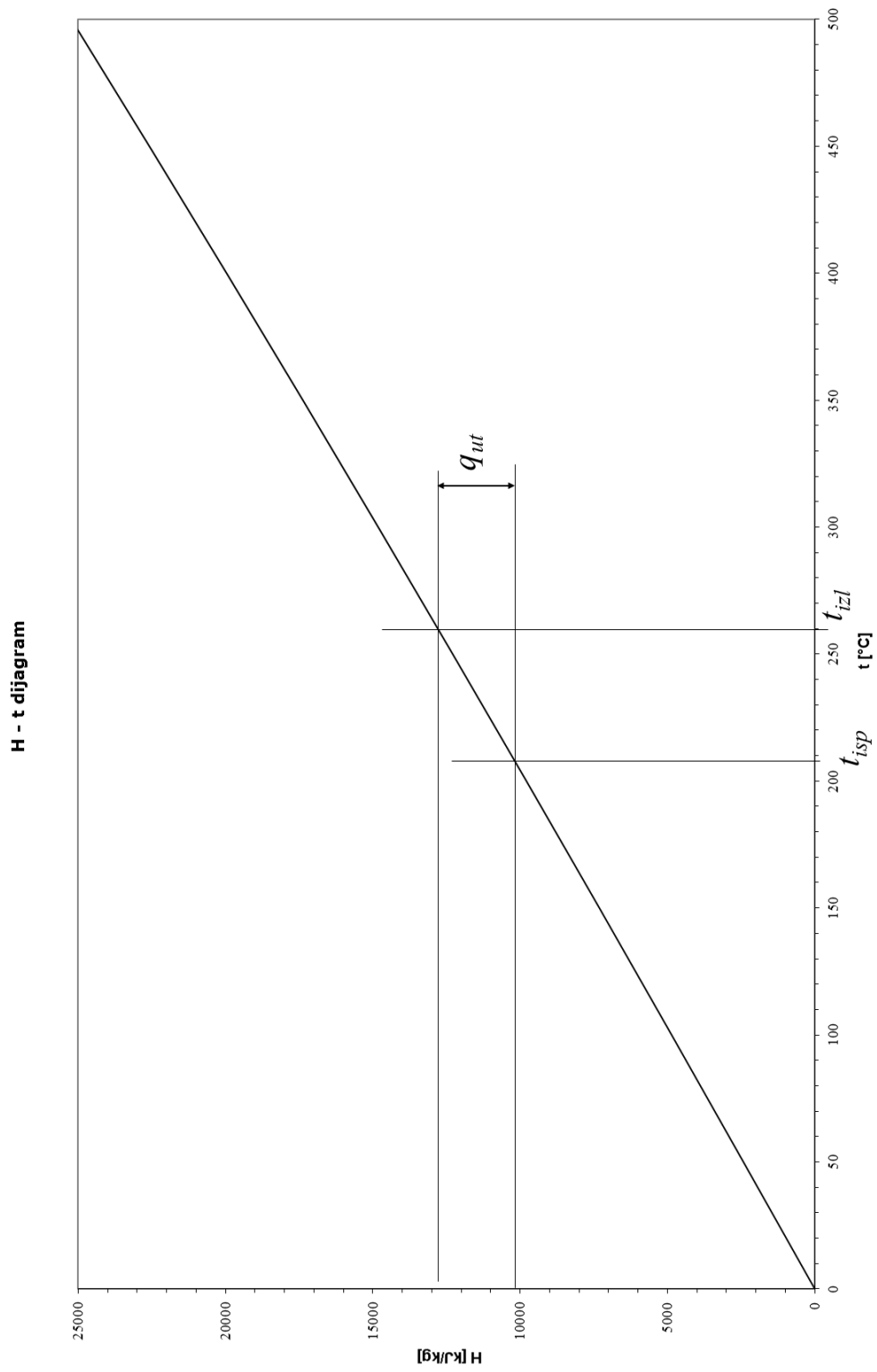
Kod ložišta, $\lambda = 1,15$

Kod dizel motora, $\lambda = 3,3$

Isto tako prema sastavu goriva i entalpije pojedinog element su određene h-t krivulje za motor i kotao.



Slika 5: h-t dijagram izgaranja plinova parnog kotla



Slika 6: h-t dijagram ispušnih plinova motora

6 RASPODJELA TOPLINE U KOTLU (Dodatak E)

Prema dodatku E su određene sljedeće temperature i entalpije kod svakog dijela kotla. Temperature su očitane iz h-t dijagrama za svaku entalpiju.

$$h_L = 42146,8 \quad \text{kJ / kg}$$

$$t_{TL} = 1905,00 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{teoretska temperatura ložišta}$$

$$h_{PL,PR} = 11961,33 \quad \text{kJ / kg}$$

$$t_{PL,PR} = 535,00 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura na ulazu u pregrijač}$$

$$h_{PL,E} = 8712,55 \quad \text{kJ / kg}$$

$$t_{PL,E} = 440,00 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura na ulazu u ekonomajzer}$$

$$h_{IZL} = 4806,43 \quad \text{kJ / kg}$$

$$t_{IZL} = 235,00 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura plinova izgaranja}$$

$$t_0 = 30 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura okoline}$$

7 KONSTRUKCIJA LOŽENOG KOTLA (Dodatak F)

Konstrukcija kotla je napravljena prema dobivenim temperaturama.

Ložište je tako dimenzionirano da bude opterećenje od 0,7 do 1,4 MW/m³.

Dimenzije ložišta:

$$h_L = 4,0 \quad \text{m}$$

$$b_L = 2,5 \quad \text{m}$$

$$L_L = 4,8 \quad \text{m}$$

$$q_{Lož} = 777,258 \quad \text{kW / m}^3$$

Isparivački snopovi su dimenzionirani u dodatku F i prikazani na crtežu loženog kotla.

8 KONSTRUKCIJA UTILIZACIJSKOG KOTLA (Dodatak C)

Utilizacijski kotao je dimenzioniran prema sljedećim podacima.

- potrebni maseni protok $m_{zu}^{\circ} = 3954,42 \text{ kg/h}$

- temperatura dimnih plinova na ulazu u isparivač: $260 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- temperatura dimnih plinova na izlazu iz isparivača: $208,83^{\circ}\text{C}$

- temperatura vode na ulazu u isparivač: $115 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- temperatura vode na izlazu iz isparivača: $158,83 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_1 = \text{izlaz dimnih plinova} - \text{ulaz predgrijane vode} = 208,83 - 115 = 93,83^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_2 = \text{ulaz dimnih plinova} - \text{izlaz zasićene pare} = 260 - 158,83 = 101,17^{\circ}\text{C}$

$\Delta\vartheta_{m, \log} = (\vartheta_2 - \vartheta_1) / (\ln \vartheta_2 / \vartheta_1) = (101,17 - 93,83) / (\ln 101,17 / 93,83) = 97,48 \text{ }^{\circ}\text{C}$

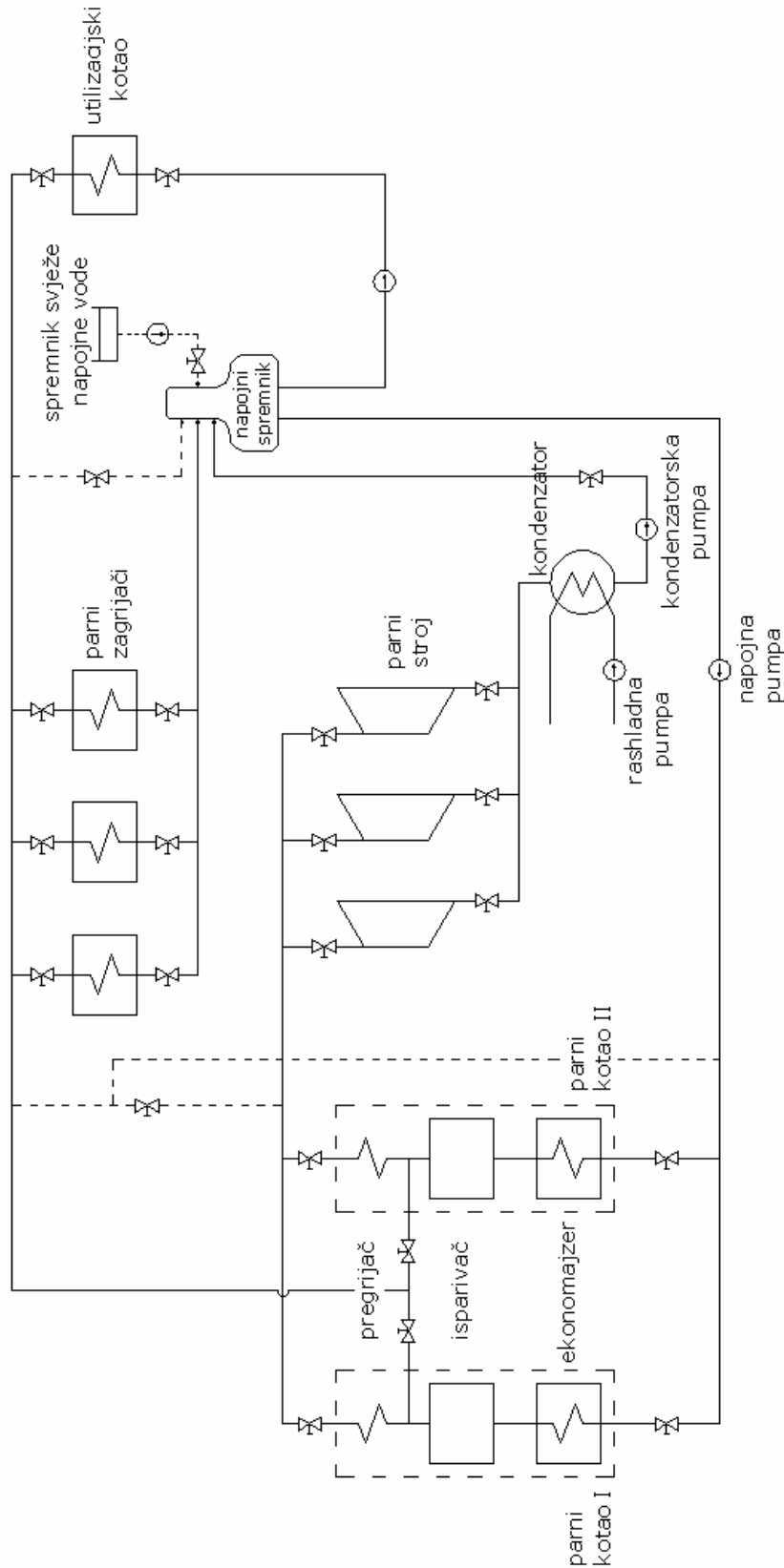
$w_0 = (36,64 \cdot 1,15) / 53,34$

$T_m = \text{srednja temperatura dimnih plinova} = (260 + 208,83) / 2 + 273,15 = 507,56 \text{ K}$

$\varnothing / L = \alpha_v \cdot D_v \cdot \pi \cdot \Delta\vartheta_{m, \log} = 406,7 \cdot 0,032 \cdot \pi \cdot 97,48 = 3983,54 \text{ W/m}$

$L = \varnothing / 3983,54 = (2989,64 \cdot 10^3 \text{ W}) / 3983,54 = 750,5 \text{ m}$

$n_{uzd} = L / (l_1 \cdot n_{pop}) = 750,5 / (1,468 \cdot 31) \approx 16,5 = 17$



Slika 7: Shema brodskog parnog postrojenja

9 ZAKLJUČAK

Energetska učinkovitost je danas jako bitna tema za projektante energetskih sustava. Energetski sustav na brodu je isto tako jako bitan dio postupka projektiranja. Uključuje potrošnje energije za transport i skladištenje goriva kao i potrebe pretvaranja energije. Tijekom ovog rada sam poštivao glavne potrebe energije na brodu, ali se stvarno projektiranje razlikuje u tome što treba uključiti sve potrošače. Kako bi projektiranje jednog dijela tog sustava bilo kvalitetnije i učinkovitije potrebno je shvaćanje energetskog sustava kao cjeline, što je i cilj ovog rada.

DODATAK A

A.1 Proračun komponenata propulzije

Komponente propulzije su koeficijent sustrujanja w i upijanja t . Spomenuti koeficijenti će se izračunati pomoću formula različitih autora, dok će se za konačne vrijednosti uzeti njihova aritmetička sredina.

Koeficijent sustrujanja definiran je izrazom:

$$w = (v - v_a)/v$$

Koeficijent upijanja (ili smanjenja poriva) definiran je izrazom:

$$t = 1 - R/T$$

$$C_B = 0,819$$

$$\begin{aligned} w &= 0,5 * C_b - 0,05 && \text{Taylor 1910} \\ &= 0,3594 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= 0,5 * C_b - 0,1 && \text{Taylor 1923} \\ &= 0,3094 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= 0,67 * C_b - 0,15 && \text{Gill} \\ &= 0,3986 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{SK} &= 0,75 * C_b - 0,24 && \text{Schiffbau Kalender} \\ &= 0,3741 \end{aligned}$$

Konačni koeficijent sustrujanja:

$$w_{SR} = 0,3604$$

Koeficijent upijanja t

$$\begin{aligned} t &= 0,3 * C_b && \text{Taylor 1923} \\ &= 0,2456 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{SK} &= (2/3) * w_{SK} + 0,01 && \text{Schiffbau Kalender} \\ &= 0,2594 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= 0,15 + 0,85 * w_{SR} - 0,38 * C_b * (1 - w_{SR}) && \text{Alferijev} \\ &= 0,2573 \end{aligned}$$

Konačni koeficijent upijanja:

$$t_{SR} = 0,2541$$

Pomoću koeficijenata sustrujanja i upijanja moguće je izračunati koeficijent utjecaja trupa:

$$\eta_H = (1 - t_{SR}) / (1 - w_{SR})$$

$$\eta_H = 1,1661$$

Iz definicijskog izraza sa koeficijent sustrujanja moguće je izračunati brzinu pritjecanja vode vijku:

$$v_a = 0,51444 * v_{PP} * (1 - w_{SR})$$

$$v_a = 5,10 \quad \text{m/s}$$

$$v_a = v_{PP} * (1 - w_{SR})$$

$$v_a = 9,91 \quad \text{čv}$$

A.2 Omjer površina A_E/A_0

Prema formuli Kellera, omjer površina A_E/A_0 je definiran kao:

$$(A_E/A_0) = (((1,3 + 0,3 * Z) * T) / ((p_o - p_v) * D^2)) + K$$

$$Z = 4$$

broj krila vijka

$$D = 8,5 \quad \text{m}$$

pretpostavljeni promjer vijka

$$K = 0,2$$

koeficijent za jednovijčane brodove

$$p_v = 0,04759 \quad \text{bar}$$

$$h = T - (D/2 + 0.75)$$

$$h = 10,0$$

$$p_o = p_{atm} + \rho gh$$

tlak u osi vijka

$$p_o = 2,018 \quad \text{bar}$$

$$T = R_T / (1 - t)$$

poriv vijka

$$R_T = 1793,7 \quad \text{kN}$$

Prema NavCad-u pri brzini $v = 15,5$ čv

$$T = 2404,8 \quad \text{kN}$$

$$(A_E/A_0) = 0,622$$

Odabran W.B. 4.70

B. ENERGETSKA POTROŠNJA POMOĆNIH SUSTAVA

B.1 GRIJANJE TERETA

Toplina potrebna za zagrijavanje :

$$Q_l = G_T * c_p * (t_2 - t_1) \quad \text{J}$$

$$G_T = \Delta * \eta_{DWT} \quad \text{težina tereta}$$

$$\Delta = 175500,0 * 10^3 \text{ kg} \quad \text{istisnina broda}$$

$$\eta_{DWT} = 0,84 \quad \text{korisnost tereta (0,76 - 0,84 za tankere)}$$

$$G_T = 150958 \text{ t}$$

$$G_T = 150,958 * 10^6 \text{ kg}$$

$$c_p = 0,879 \text{ kJ / kgK} \quad \text{spec. toplinski kapacitet tereta pri 20 °C}$$

$$t_1 = 10 \text{ °C} \quad \text{temp. okoliša i tereta (prije grijanja)}$$

$$t_2 = 40 \text{ °C} \quad \text{temperatura zagrijavanja}$$

$$Q_l = 3980,76 * 10^6 \text{ kJ}$$

$$Q_l = 3,981 * 10^6 \text{ MJ}$$

Preporučeno vrijeme zagrijavanja :

$$t = 259200 \text{ s} \quad \text{3 dana}$$

Snaga potrebna za zagrijavanje tereta na temp t_2 :

$$Q^{\circ}_l = Q_l / t \quad \text{W}$$

$$Q^{\circ}_l = 15,358 \text{ MW}$$

Toplina koju je potrebno nadoknaditi zbog gubitka u okolinu :

$$Q^{\circ}_{II} = 0,2 * Q^{\circ}_l \quad \text{iskustvena formula}$$

$$Q^{\circ}_{II} = 3,072 \text{ MW}$$

(iskustvena formula ovisna o vremenu zagrijavanja ; kraće vrijeme zagrijavanja, manji gubitak topline u okolinu)

$$Q^{\circ}_{B.1.} = Q^{\circ}_l + Q^{\circ}_{II}$$

$$Q^{\circ}_{B.1.} = 18,429 \text{ MW}$$

Snaga potrebna za grijanje tereta :

$$P_{B.1.P} = Q^{\circ}_{3.1.} / \eta_{ZT}$$

$$P_{B.1.P} = 19,399 \text{ MW}$$

$$\text{korisnost, } \eta_{ZT} = 0,95$$

(uzima u obzir gubitke uređaja za zagrijavanje i toplinu koja se namjenski gubi od zagrijača do tereta)

B.2 ODRŽAVANJE TEMPERATURE TERETA

Snaga potrebna za održavanje temperature tereta (kada brod čeka istovar) :

$$P_{B.2.P.} = Q_{II} / \eta_{ZT} \quad \text{MW}$$

$$P_{B.2.P.} = 3,233 \quad \text{MW}$$

B.3 PUMPE ZA ISKRCAJ TERETA

Iskrcavanje tereta vrši se centrifugalnim pumpama (3 - 4 pumpe), i to u pravilu pogonjene parnom Curtis turbinom

Snaga svih pumpi potrebnih za iskrcaj :

$$P_p = V^\circ * H_m / \eta_p \quad [\text{W}]$$

$$V^\circ \dots \text{ ukupna dobava (protočna količina) } [\text{m}^3 / \text{s}]$$

$$V_T \dots \text{ volumen tereta}$$

$$G_T = 150,958 \quad * 10^6 \text{ kg} \quad \textit{masa tereta}$$

$$\rho_T = 920 \quad \text{kg} / \text{m}^3 \quad \textit{gustoća tereta}$$

$$\eta_p = 0,70 \quad \textit{korisnost centrifugalne pumpe}$$

$$H_m = 1,5 \quad \text{MPa} \quad \textit{manometarska visina dobave}$$

$$t \dots \text{ vrijeme iskrcavanja } [\text{h}] \quad (12 - 24)$$

$$t = 16 \quad \text{h}$$

$$V_T = G_T / \rho_T$$

$$V_T = 164085 \quad \text{m}^3$$

$$V^\circ = V_T / t$$

$$V^\circ = 2,849 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$P_p = 6104,35 \quad \text{kW}$$

Snaga potrebna za iskrcavanje tereta koju ce para dovesti turbinama za pogon pumpi

$$P_{B.3.PT} = P_p / \eta_e$$

$$\eta_e = \eta_i * \eta_m$$

$$\eta_i = 0,55 \quad \textit{unutarnji stupanj djelovanja}$$

$$\eta_m = 0,78 \quad \textit{mehanički stupanj djelovanja}$$

$$\eta_e = 0,429 \quad \textit{efektivna korisnost turbine}$$

$$P_{B.3.PT} = 14229,2 \quad \text{kW}$$

B.4 PUMPE ZA ISUŠIVANJE TANKOVA TERETA (STRIPPING PUMPE)

Kako je nakon iskrcavanja tereta zaostala nečistoća na dnu tankova izuzetno nehomogena masa s obzirom na gustoću, za njeno se odstranjivanje stoga koristimo stapnim dvorednim pumpama (tzv. stripping pumpe)

Snaga pumpe :

$$P_p = V^\circ * H_m / \eta_p \text{ [W]}$$

$$V^\circ = 700 \quad \text{m}^3 / \text{h} \quad \text{volumenski protok (500 - 1000 m}^3 / \text{h)}$$

$$V^\circ = 0,194 \quad \text{m}^3 / \text{s} \quad \text{Oko 5 puta manje od pumpe za iskrcaj}$$

$$H_m = 1,5 \quad \text{MPa} \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$\eta_p = 0,85 \quad \text{korisnost pumpe(0,85-0,95)}$$

$$P_p = 343,137 \quad \text{kW}$$

Snaga potrebna za isušivanje tankova tereta :

$$P_{B.4.PPS} = P_p / \eta_e \text{ [W]}$$

$$\eta_e = 0,429 \quad \text{efektivna korisnost parnog stroja}$$

$$P_{B.4.PPS} = 799,854 \quad \text{kW}$$

B.5 ISPIRANJE TANKOVA TERETA (BUTTERWORTH SISTEM)

Ispiranje tankova tereta vrši se morskom vodom pomoću " Butterworth " sistema u kojem pumpa osigurava dobavu morske vode i potreban tlak ispiranja (8 bar) , a zagrijač grije vodu na temperaturu (90 °C) koja osigurava kvalitetno i efikasno čišćenje .

Snaga pumpe :

$$P_p = V^\circ * H_m / \eta_p \text{ [W]}$$

$$V^\circ = 140 \quad \text{m}^3 / \text{h}$$

$$V^\circ = 0,03889 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$H_m = 0,8 \quad \text{MPa} \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$\eta_p = 0,85 \quad \text{korisnost pumpe (stapna pumpa)}$$

$$P_p = 36,601 \quad \text{kW}$$

Snaga elektromotora potrebna za ispiranje tankova tereta :

$$P_{B.5.EL} = P_p / \eta_{EM} \text{ [W]}$$

$$\eta_{EM} = 0,89$$

korisnost elektromotora

$$P_{B.5.EL} = 41,125 \text{ kW}$$

Grijanje morske vode :

Morska voda zagrijava se sa $t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ na $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Snaga potrebna za zagrijavanje morske vode :

$$Q^\circ = m^\circ * c_v * \Delta t \text{ [W]}$$

$$m^\circ = V^\circ * \rho \text{ kg / s}$$

maseni protok

$$\rho = 1025 \text{ kg / m}^3$$

$$V^\circ = 0,03889 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$m^\circ = 39,861 \text{ kg / s}$$

$$c_v = 4,2 \text{ kJ / kgK}$$

specifična toplina morske vode

$$\Delta t = t_2 - t_1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{B.5.P} = Q^\circ / \eta_z \text{ W}$$

$$Q^\circ = 14230,4 \text{ kW}$$

$$\eta_z = 0,95$$

korisnost zagrijača

$$P_{B.5.P} = 14979,4 \text{ kW}$$

$$t_p > t_2 + 50^\circ\text{C}$$

$$t_p > 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

B.6 GRIJANJE I KLIMATIZACIJA PROSTORA

GRIJANJE :

Grijanje je u pravilu parno

Snaga potrebna za grijanje svih prostorija :

$$Q^{\circ} = q^{\circ} * n * V^{\circ} \text{ [W]}$$

$$q^{\circ} = 100 \quad \text{W / m}^3$$

obuhvaća gubitke na okolinu i izmjene zraka (iskustveni podatak)

$$n = 47$$

broj članova posade

$$V^{\circ} = 30 \quad \text{m}^3$$

prostor po članu posade

$$Q^{\circ} = 141 \quad \text{kW}$$

$$P_{B.6.P} = Q^{\circ} / \eta_s \text{ [W]}$$

$$\eta_s = 0,9$$

korisnost parnog sistema za grijanje

$$P_{B.6.P} = 156,667 \quad \text{kW}$$

$$t_p > 100 \quad \text{°C}$$

VENTILACIJA :

Snaga ventilatora :

$$P_V = V^{\circ} * H_m / \eta_v \text{ [W]}$$

$$V^{\circ} = V^{\circ} * n * l \text{ [m}^3 \text{ / s]}$$

protok svježeg zraka

$$l = 12$$

broj izmjena zraka na sat (6 - 12)

$$n = 47$$

broj članova posade

$$V^{\circ} = 30 \quad \text{m}^3$$

prostor po članu posade

$$V^{\circ} = 4,7 \quad \text{m}^3 \text{ / s}$$

$$H_m = 600 \quad \text{Pa}$$

otpor strujanju u ventilacijskim vodovima

$$\eta_v = 0,65$$

korisnost ventilatora

$$P_V = 4,338 \quad \text{kW}$$

Snaga potrebna za ventilaciju prostora :

$$P_{B.6.VEL} = P_V / \eta_{EM} \quad \text{W}$$

$$\eta_{EM} = 0,87$$

korisnost elektromotornog pogona

$$P_{B.6.VEL} = 4,987 \quad \text{kW}$$

HLAĐENJE :

Za hlađenje prostora koristi se AC (air condition) kompresor .

Snaga kompresora :

$$P_K = Q_r^\circ / (R_s * \eta_K) [W]$$

$$Q_r^\circ = V^\circ * \Delta t_u * c_{pu} / \eta_r [W] \quad \text{rashladni efekt}$$

$$V^\circ = 4,700 \quad m^3 / s \quad \text{protok svježeg zraka (preuzeto od ventil.)}$$

$$\Delta t_u = 10 \quad ^\circ C \quad \text{temperaturna razlika zraka}$$

$$c_{pu} = 1320 \quad J / m^3 K \quad \text{specifična toplina uzduha}$$

$$\eta_r = 0,9 \quad \text{korisnost rashladnog uređaja}$$

$$\eta_K = 0,7 \quad \text{korisnost kompresora}$$

$$R_s = 6 \quad J / Ws \quad \text{rashladni učinak ciklusa (iskustveni pod.)}$$

$$Q_r^\circ = 68,93 \quad kW$$

$$P_K = 16,41 \quad kW$$

Snaga potrebna za hlađenje prostora :

$$P_{B.6.KEL} = P_K / \eta_{EM} [W]$$

$$\eta_{EM} = 0,89 \quad \text{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{B.6.KEL} = 18,44 \quad kW$$

Ukupna snaga potrebna za grijanje i klimatizaciju prostora :

$$P_{B.6.EL} = P_{B.6.VEL} + P_{B.6.KEL}$$

$$P_{B.6.EL} = 23,428 \quad kW$$

B.7 PROIZVODNJA SLATKE VODE ZA KUHINJU I POSADU

Slatka voda se proizvodi u evaporatorima isparavanjem morske vode koja se zagrijava sa 5 °C na 115 °C pri tlaku 1,7 bar. Isparavanje se vrši samo do nekog većeg postotka soli .

Snaga potrebna za isparavanje morske vode :

$$Q^{\circ} = m^{\circ}_{MV} * c_{MV} * (t_z - t_{MV}) + r * m^{\circ}_{SV} \text{ [W]}$$

$$V^{\circ} = 100 \quad \text{l / dan} \quad \text{prosječna potrošnja vode po članu posade i putniku}$$

$$V^{\circ} = 1,157 \quad *10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m^{\circ}_{SV} = V^{\circ} * n * \rho \quad \text{maseni protok slatke vode}$$

$$n = 47 \quad \text{broj članova posade}$$

$$\rho = 998 \quad \text{kg / m}^3$$

$$m^{\circ}_{SV} = 54,289 \quad * 10^{-3} \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{MV} = 3 * m^{\circ}_{SV} \quad \text{maseni protok morske vode}$$

$$m^{\circ}_{MV} = 162,868 \quad * 10^{-3} \text{ kg / s}$$

$$c_{MV} = 4,180 \quad \text{kJ / kgK} \quad \text{specifična toplina morske vode}$$

$$t_z = 115 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{MV} = 5 \quad ^{\circ}\text{C} \quad \text{temp. morske vode}$$

$$r = h'' - h' \quad \text{toplina isparavanja za } t_z = 115^{\circ}\text{C}$$

$$r = 2215 \quad \text{kJ / kgK}$$

$$Q^{\circ} = 195,121 \quad \text{kW}$$

$$\eta_E = 0,9 \quad \text{korisnost evaporatora}$$

$$P_{B.7.P} = Q^{\circ} / \eta_E \quad \text{W}$$

$$P_{B.7.P} = 216,802 \quad \text{kW}$$

$$t_p > t_z + 50^{\circ}\text{C}$$

$$t_p > 165 \quad ^{\circ}\text{C}$$

B.8 GRIJANJE SLATKE VODE ZA POSADU I KUHINJU

Slatka voda se zagrijava sa 25 °C u spremniku na prosječnu temperaturu 65 °C .

Snaga potrebna za zagrijavanje :

$$Q^{\circ} = m^{\circ}_{SV} * c_v * \Delta t \text{ [W]}$$

$$\begin{aligned} m^{\circ}_{SV} &= 54,289 \quad * 10^{-3} \text{ kg / s} && \textit{maseni protok slatke vode} \\ c_v &= 4,2 \quad \text{kJ / kgK} && \textit{specifična toplina slatke vode} \\ t_2 &= 65 \quad ^{\circ}\text{C} \\ t_1 &= 25 \quad ^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 40 \quad ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q^{\circ} &= 9,121 \quad \text{kW} \\ \eta_z &= 0,9 && \textit{korisnost zagrijača} \\ P_{B.8.P} &= Q^{\circ} / \eta_z \quad \text{W} \\ P_{B.8.P} &= 10,134 \quad \text{kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_z &> t_2 + 50^{\circ}\text{C} \\ t_z &> 115 \quad ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

B.9 RASVJETA

Prema preporuci potrebno 40 W / m^2
 Ukupna površina koju treba o: 2000 m^2

$$P_{B.9.EL} = 80 \text{ kW}$$

B.10 OSTALI POTROŠAČI POTREBNI ZA ŽIVOT POSADE

Potrošači:

| | |
|---------------------|-------|
| električni štednjak | 30 kW |
| hladnjaci | 20 kW |
| stroj za rublje | 20 kW |
| pečnice | 20 kW |
| pumpa hidrofora | 5 kW |

$$P_{B.10.E} = 95 \text{ kW}$$

B.11 KORMILARSKI UREĐAJ

Snaga kormilarskog uređaja mora biti takva da osigura otklon lista kormila od 35 ° u jednu stranu do 35 ° u drugu stranu u vremenu od 28 sekundi .

Površina kormila :

$$A = (1/30 - 1/80) * L_{pp} * T \quad m^2$$

$$A = L_{pp} * T / 60$$

$$L_{pp} = 260,0 \quad m$$

$$T = 15,0 \quad m$$

$$A = 65,000 \quad m^2$$

Visina kormila :

$$h = 0,7 * T \quad m$$

$$T = 15,0 \quad m$$

$$h = 10,50 \quad m$$

Širina kormila :

$$b = A / h \quad m$$

$$b = 6,190 \quad m$$

Sila na kormilo :

$$F = A * \rho * v_k^2 * \sin^2 \alpha / 2 \quad [N]$$

$$v_k = 0,86 * v \quad m / s \quad \text{brzina kormilarenja (0,86 - 0,9 v)}$$

$$v_k = 6,858 \quad m / s$$

$$\rho = 1025 \quad kg / m^3 \quad \text{gustoća morske vode}$$

$$\alpha = 35 \quad ^\circ \quad \text{krajnji kut otklona}$$

$$\alpha = 0,61087 \quad rad$$

$$F = 515,379 \quad kN$$

Krak sile :

$$x = (0,195 + 0,305 * \sin \alpha) * b \quad \text{iskustvena formula}$$

$$x = 2,290 \quad m$$

Moment sile na kormilo :

$$M = F * x \quad \text{Nm}$$

$$M = 1180,28 \quad \text{kNm}$$

Snaga kormilarskog uređaja :

$$P = M * \omega \quad \text{W}$$

$$\omega = 2 * a * (2 * \pi / 360) / t \quad \text{1 / s}$$

$$t = 28 \quad \text{s}$$

$$\omega = 0,044 \quad \text{1 / s}$$

$$P = 51,499 \quad \text{kW}$$

$$\eta_H = 0,8$$

korisnost hidrauličkog dijela

$$\eta_{EM} = 0,92$$

korisnost elektromotora

$$P_{B.11.EL} = P / (\eta_H * \eta_{EM}) \quad [\text{W}]$$

$$P_{B.11.EL} = 69,972 \quad \text{kW}$$

B.12 SIDRENA VITLA

Opremni broj (prema registru) :

$$E_n = \Delta^{2/3} + 2 * B * h + 0,1 * A \quad \text{opremni broj}$$

$$\Delta = 175500,0 \quad \text{t} \quad \text{deplasman}$$

$$B = 45,0 \quad \text{m} \quad \text{širina broda}$$

$$h = a + \sum h_i \quad \text{m} \quad \text{visina od ljetne vodne linije do gornjeg ruba opločenja palube najgornje palubne kućice}$$

$$a = 6,00 \quad \text{m} \quad \text{vertikalna udaljenost od } L_{VL} \text{ do gornjeg ruba palube}$$

$$\sum h_i = 10,0 \quad \text{m} \quad \text{suma visina nadgrađa ili kućica čija je širina veća od } 0,25 B$$

$$h = 16,00 \quad \text{m}$$

$$A = (L_{ppZ} / L_{ppS})^2 * A_S \quad [\text{m}^2] \quad \text{površina izložena vjetru}$$

$$A = 2300 \quad \text{m}^2$$

$$N_C = 4804,62$$

| E_n | Broj Sidra | Masa sidra [kg] | Sidreni lanac* s prečkom F [mm] | Užad [kom] | Prekidno opt. [kN] |
|-----------|------------|-------------------|---------------------------------|-------------|----------------------|
| 4400-4600 | 3,0 | 13500 | 102,0 | 7,0 | 667,0 |

*Spec. Čelik - CRS - L2

1. Minimalna snaga sidrenog vitla :

$$P_{\min 1} = F * v \quad W$$

$$F = k * d^2 \quad N \quad \text{silna na sidreno vitlo}$$

$$d = 102 \quad \text{mm} \quad \text{sidreni lanac sa prečkom - promjer}$$

| Kategorija lanca | I | II | III |
|------------------|------|------|------|
| K | 36,8 | 41,7 | 46,6 |

$$k = 46,6 \quad \text{kategorija lanca}$$

$$F = 484,826 \quad \text{kN}$$

$$v = 9 \quad \text{m / min} \quad \text{minimalna brzina vitla}$$

$$v = 0,15 \quad \text{m/s}$$

$$P_{\min 1} = 72,724 \quad \text{kW}$$

2. Snaga sidrenog vitla treba biti takva da 4 puta težinu sidra diže brzinom 10 m / min.

$$P_{\min 2} = F * v \quad W$$

$$F = 4 * m * g \quad N$$

$$m = 13500 \quad \text{kg} \quad \text{masa sidra}$$

$$g = 9,807 \quad \text{konstanta}$$

$$F = 529,559 \quad \text{kN}$$

$$v = 10 \quad \text{m / min}$$

$$v = 0,167 \quad \text{m / s}$$

$$P_{\min 2} = 88,260 \quad \text{kW}$$

$$P_{\min 2} > P_{\min 1}$$

Snaga sidrenog vitla :

$$P_{B.12.EL} = P_2 / (\eta_{SV} * \eta_H * \eta_{EM}) \quad W$$

$$\eta_{SV} = 0,85$$

korisnost vitla

$$\eta_H = 0,8$$

korisnost hidrauličke pumpe

$$\eta_{EM} = 0,94$$

korisnost elektromotora

$$P_{B.12.EL} = 138,079 \quad kW$$

B.13 PRITEZNA VITLA

Snaga pritezanja jednog priteznog vitla :

$$P = F_N * v \quad W$$

$$F_{Nmax} = F_p / 3 \quad N$$

maksimalna sila pritezanja

$$F_p = f (N_C)$$

prekidno opterećenje

$$F_p = 667 \quad kN$$

$$F_{Nmax} = 222,333 \quad kN$$

$$F_N = 230 \quad kN$$

Uzimamo prvu manju po tablici HRB 0.3.3.26.

$$v = 15 \quad m / min$$

brzina pritezanja

$$v = 0,25 \quad m / s$$

(maksimalno 18 m / min)

$$P = 58 \quad kW$$

$$\eta_{PV} = 0,9$$

korisnost priteznog vitla

$$\eta_H = 0,8$$

korisnost hidrauličke pumpe

$$\eta_{EM} = 0,92$$

korisnost elektromotora

Za 10 pritezna vitla :

$$P_{B.13.EL} = n * P / (\eta_{PV} * \eta_H * \eta_{EM}) \quad W$$

$$P_{B.13.EL} = 868,056 \quad kW$$

B.14 DIZALICE MANIFOLDA

Snaga dizalice manifolda iznosi:

$$P_{B.14.EL} = 40 \quad \text{kW}$$

B.15 PUMPE BALASTA

Volumen balastnih tankova iznosi 15 - 20 % volumena tereta :

$$V_{BT} = 0,17 * V_T$$

$$V_T = 164085 \quad \text{m}^3$$

$$V_{BT} = 27894,4 \quad \text{m}^3$$

$$t = 3 \quad \text{h}$$

vrijeme ukrcaja / iskrcaja tereta (2 - 4 h)

$$V^\circ = V_{BT} / t$$

protok pumpi

$$V^\circ = 2,583 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$H_m = 0,5 \quad \text{Mpa}$$

ukupna manometarska visina dobave (0,3-0,5 MPa)

Ukrcaj / iskrcaj balasta vrši se sa 4 centrifugalne pumpe na elektromotorni pogon koje služe za regulaciju balasta, a dijelom i za ukrcaj i iskrcaj tereta

$$\eta_p = 0,80$$

korisnost pumpe

$$\eta_{EM} = 0,94$$

korisnost elektromotornog pogona

Snaga pumpe :

$$P = V^\circ * H_m / \eta_p \quad [\text{W}]$$

$$P = 1614,261 \quad \text{kW}$$

$$P_{B.15.EL} = P / \eta_{EM} \quad \text{W}$$

$$P_{B.15.EL} = 1717,299 \quad \text{kW}$$

B.16 PROTUPOŽARNA PUMPA

Pored mlaza morske vode još se kao sredstva protupožarne zaštite koriste CO₂ pjena u strojarnici, te vodena para u skladištima, dok se u tankovima tereta koristi sustav inertnog plina kojim se bitno smanjuje prisutnost kisika na oko 5%

| | | |
|--------------------|-----------|---|
| $V^\circ = 180$ | m^3 / h | |
| $V^\circ = 0,05$ | m^3 / s | <i>protočna količina (iskustveni podatak)</i> |
| $H_m = 1,5$ | MPa | <i>manometarska visina dobave</i> |
| $\eta_p = 0,75$ | | <i>korisnost pumpe</i> |
| $\eta_{EM} = 0,93$ | | <i>korisnost elektromotornog pogona</i> |

Snaga pumpe :

$$P = V^\circ * H_m / \eta_p \text{ [W]}$$

$$P = 100 \quad \text{kW}$$

$$P_{B.16.EL} = P / \eta_{EM} \quad \text{W}$$

$$P_{B.16.EL} = 107,527 \quad \text{kW}$$

B.17 NAVIGACIJSKI I KOMANDNI UREĐAJI

| | |
|----------------------|------|
| Uređaj radio stanica | 3 kW |
| radio goniometar | 2 kW |
| radar | 2 kW |
| girokompas | 5 kW |
| komandni uređaji | 4 kW |

$$P_{B.17.EL} = 16 \text{ kW}$$

B.18 RASHLADNA PUMPA SLATKE VODE GLAVNOG STROJA

Indirektan sistem hlađenja : Morskom vodom, koja je agresivni medij, hladi se slatka voda u rashladnom uređaju , koja se potom koristi za hlađenje motora .

Toplinska energija hlađenog motora :

$$Q_{HM}^{\circ} = a * P_e * B * H_d \text{ [W]}$$

teoretska toplina koju dovodimo u motor gorivom

$$a = (20 - 30 \%)$$

faktor odvođenja topline u ukupnoj dovedenoj toplini motora

$$a = 0,3$$

$$P_e = 24,35 \quad \text{MW}$$

efektivna snaga porivnog stroja

$$B = 170 \quad \text{g / kWh}$$

specifična potrošnja goriva

$$B = 4,722 \quad *10^{-5} \text{ kg / kW s}$$

$$H_d = 41569 \quad \text{kJ / kg}$$

donja ogrijevna moć goriva

$$Q_{HM}^{\circ} = 11,9498 \quad \text{MW}$$

Maseni protok slatke vode :

$$m_{SV}^{\circ} = Q_{HM}^{\circ} / (\eta_H * c_v * \Delta t_{SV}) \quad \text{kg / s}$$

$$\eta_H = 0,95$$

korisnost izmjenjivača topline

$$c_v = 4,2 \quad \text{kJ / kg}$$

specifična toplina slatke vode

$$\Delta t_{SV} = 90 - 80$$

$$\Delta t_{SV} = 10 \quad \text{°C}$$

$$m_{SV}^{\circ} = 299,493 \quad \text{kg / s}$$

$$V_{SV}^{\circ} = m_{SV}^{\circ} / \rho_{SV} \text{ [m}^3 \text{ / s]}$$

volumenski protok slatke vode

$$\rho_{SV} = 998 \quad \text{kg / m}^3$$

$$V_{SV}^{\circ} = 0,300 \quad \text{m}^3 \text{ / s}$$

Snaga pumpe :

$$P_{RSV} = V_{SV}^{\circ} * H_m / \eta_P \text{ [W]}$$

$$H_m = 0,2 \quad \text{Mpa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_P = 0,85$$

korisnost pumpe

$$P_{RSV} = 70,610 \quad \text{kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,89$$

korisnost elektromotornog pogona

$$P_{B.18.EL} = P_{RSV} / \eta_{EM} \text{ [W]}$$

$$P_{B.18.EL} = 79,337 \quad \text{kW}$$

B.19 RASHLADNA PUMPA MORSKE VODE GLAVNOG STROJA

Maseni protok morske vode :

$$m^{\circ}_{SV} * c_V * \Delta t_{SV} = m^{\circ}_{MV} * c_V * \Delta t_{MV} * \eta_H$$

$$m^{\circ}_{MV} = (m^{\circ}_{SV} * \Delta t_{SV}) / (\Delta t_{MV} * \eta_H) \text{ [kg / s]}$$

$$\Delta t_{SV} = 90 - 80$$

$$\Delta t_{SV} = 10 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{MV} = 35 - 30$$

$$\Delta t_{MV} = 5 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$c_V = 4,2 \quad \text{kJ / kg}$$

specifična toplina morske vode

$$\eta_H = 0,95$$

korisnost izmjenjivača topline

$$m^{\circ}_{SV} = 299,493 \quad \text{kg / s}$$

masa slatke vode

$$m^{\circ}_{MV} = 630,511 \quad \text{kg / s}$$

Volumenski protok morske vode :

$$V^{\circ}_{MV} = m^{\circ}_{MV} / \rho_{MV} \text{ [m}^3\text{ / s]}$$

$$\rho_{MV} = 1025 \quad \text{kg / m}^3$$

gustoća morske vode

$$V^{\circ}_{MV} = 0,615 \quad \text{m}^3\text{ / s}$$

Snaga pumpe :

$$P_{RMV} = V^{\circ}_{MV} * H_m / \eta_P \text{ [W]}$$

$$H_m = 0,20 \quad \text{Mpa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_P = 0,85$$

korisnost centrifugalne pumpe

$$P_{RMV} = 144,737 \quad \text{kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,89$$

korisnost elektromotornog pogona

$$P_{B.19.EL} = P_{RMV} / \eta_{EM} \text{ [W]}$$

$$P_{B.19.EL} = 162,626 \quad \text{kW}$$

B.20 GRIJANJE TEŠKOG GORIVA GLAVNOG STROJA

m_{DM}° ... maseni protok goriva diesel motora

$$m_{DM}^{\circ} = P_e * B \text{ [kg / s]}$$

$$P_e = 24,35 \quad \text{MW} \quad \text{efektivna snaga porivnog stroja}$$

$$B = 4,722 \quad * 10^{-5} \text{ kg / kW s} \quad \text{specifična potrošnja goriva}$$

$$m_{DM}^{\circ} = 1,150 \quad \text{kg / s}$$

$$m_{ST}^{\circ} = t * m_{DM}^{\circ} \text{ [kg / s]} \quad \text{potrebna količina goriva u skladišnom tanku}$$

$$t \text{ [dana]} = L / v \quad \text{vrijeme plovidbe}$$

$$L = 15000 \quad \text{naut.milja} \quad \text{doplov}$$

$$v = 15,5 \quad \text{kn} \quad \text{brzina plovidbe}$$

$$t = 40,323 \quad \text{dana}$$

$$m_{ST} = 4006,0 \quad \text{t}$$

Snaga potrebna za grijanje teškog goriva glavnog stroja (iskustvena formula) :

$$Q^{\circ} = m_{DM}^{\circ} * (0,14 * t + 3,36 * 10^5 + 2160 * \Delta t_u) \text{ [W]}$$

$$\Delta t_u = 30 \quad \text{°C}$$

$$Q^{\circ} = 1021,700 \text{ kW}$$

$$P_{B.20.P} = Q^{\circ} = 1021,700 \text{ kW}$$

$$t_p > 105 + 50$$

$$t_p > 155 \quad \text{°C}$$

B.21 DOBAVNE (TRANSFER) PUMPE I SEPARATORI TEŠKOG GORIVA GL. STROJA

Dobavna pumpa P_1 :

$$P_1 = V^{\circ} * H_m / \eta_p \text{ [W]} \quad \text{snaga pumpe}$$

$$V^{\circ} = 10 * m_{DM}^{\circ} / \rho_{TG} \quad \text{volumenski protok}$$

$$\rho_{TG} = 1000 \quad \text{kg / m}^3 \quad \text{gustoća goriva}$$

$$H_m = 0,3 \quad \text{MPa} \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$m_{DM}^{\circ} = 1,150 \quad \text{kg / s} \quad \text{maseni protok goriva diesel motora}$$

$$\eta_p = 0,78 \quad \text{korisnost pumpe}$$

$$V^{\circ} = 0,0115 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$P_1 = 4,423 \quad \text{kW}$$

Dobavna pumpa P₂ :

$$P_2 = V^\circ * H_m / \eta_p [W]$$

snaga pumpe

$$V^\circ = 2 * m^\circ_{DM} / \rho_{TG}$$

volumenski protok

$$V^\circ = 0,00230 \text{ m}^3 / s$$

$$H_m = 0,1 \text{ MPa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_p = 0,78$$

korisnost pumpe

$$P_2 = 0,295 \text{ kW}$$

Dobavna pumpa P₃ :

$$P_3 = V^\circ * H_m / \eta_p [W]$$

snaga pumpe

$$V^\circ = 2 * m^\circ_{DM} / \rho_{TG}$$

volumenski protok

$$V^\circ = 0,00230 \text{ m}^3 / s$$

$$H_m = 0,2 \text{ MPa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_p = 0,78$$

korisnost pumpe

$$P_3 = 0,590 \text{ kW}$$

Dobavna pumpa P₄ :

$$P_4 = V^\circ * H_m / \eta_p [W]$$

snaga pumpe

$$V^\circ = 1,2 * m^\circ_{DM} / \rho_{TG}$$

volumenski protok

$$V^\circ = 0,00138 \text{ m}^3 / s$$

$$H_m = 0,2 \text{ MPa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_p = 0,78$$

korisnost pumpe

$$P_4 = 0,354 \text{ kW}$$

Ukupna snaga dobavnih pumpi :

$$P_p = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_p = 5,661 \text{ kW}$$

Snaga potrebna za separiranje goriva jednaka je dvostrukoj snazi dobave :

$$P_S = 2 * P_p \text{ [W]}$$

$$P_S = 11,322 \text{ kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,87 \quad \textit{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{B.21.EL} = (P_p + P_S) / \eta_{EM}$$

$$P_{B.21.EL} = 19,520 \text{ kW}$$

B.22 GRIJANJE ULJA ZA PODMAZIVANJE GLAVNOG STROJA

Ukupna količina (volumen) ulja za podmazivanje u sistemu iznosi 1 l / KS
(iskustvena formula) :

$$1KS = 735,5 \text{ W}$$

$$1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{up} = P_e * 10^{-3} / 735,5$$

$$V_{up} = 33,107 \text{ m}^3$$

$$\rho_{up} = 920 \text{ kg / m}^3 \quad \textit{gustoća ulja za podmazivanje}$$

Ukupna masa ulja :

$$m_{up} = V_{up} * \rho_{up}$$

$$m_{up} = 30458,2 \text{ kg}$$

Maseni protok kroz separator :

$$m^{\circ}_S = n * m_{up} / t \text{ [kg / s]}$$

$$n = 3 \quad \textit{broj pročišćavanja ulja u jednom danu}$$

$$t = 1 \text{ dan}$$

$$m^{\circ}_S = 1,058 \text{ kg / s}$$

Toplinska energija grijanja ulja za separiranje :

$$Q^{\circ}_S = m^{\circ}_S * c_{up} * (t_s - t_1) \text{ [W]}$$

$$c_{up} = 1,587 \text{ kJ / kgK} \quad \textit{specifična toplina ulja}$$

$$t_s = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura ulja u separatoru}$$

$$t_1 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura ulja u spremniku}$$

$$Q^{\circ}_S = 83,919 \text{ kW}$$

$$\eta_z = 0,95 \quad \text{korisnost zagrijača}$$

$$P_{B.22.P} = Q_s^\circ / \eta_z \quad [W]$$

$$P_{B.22.P} = 88,335 \quad kW$$

$$t_p > t_s + 50 \text{ } ^\circ C \quad (\text{u pogonu})$$

$$t_p > 140 \quad ^\circ C$$

Pri pokretanju glavnog stroja potrebno je zagrijati spremnik ulja sa 15 na 40 °C .

$$Q_T^\circ = 1,2 * m_{up}^\circ * c_{up} * \Delta t / t \quad [W]$$

$$t = 6 \quad \text{sati}$$

$$t = 21600 \quad s \quad \text{vrijeme zagrijavanja}$$

$$\Delta t = 40 - 15$$

$$\Delta t = 25 \quad ^\circ C$$

$$\eta_z = 0,95 \quad \text{korisnost zagrijača}$$

$$Q_T^\circ = 67,135 \quad kW$$

$$P_{B.22.P} = Q_T^\circ / \eta_z \quad W$$

$$P_{B.22.P} = 70,668 \quad kW$$

$$t_p > 40 + 50 \quad (\text{u mirovanju})$$

$$t_p > 100 \quad ^\circ C$$

B.23 DOBAVNE PUMPE I SEPARATORI ULJA ZA PODMAZIVANJE GL. STROJA

Kako postoji analogija s točkom B.22., stoga koristimo iste pretpostavke kao i u prije navedenoj točki

Snaga dobavne pumpe (iskustvena formula) :

$$P_p = 5 * m_s^\circ \quad [kW]$$

$$m_s^\circ = 1,058 \quad kg / s \quad \text{maseni protok kroz separator}$$

$$P_p = 5,288 \quad kW$$

Snaga separatora (iskustvena formula) :

$$P_s = 10 * m_s^\circ \quad [kW]$$

$$P_s = 10,58 \quad kW$$

$$\eta_{EM} = 0,87 \quad \text{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{B.23.EL} = (P_p + P_s) / \eta_{EM} \quad [W]$$

$$P_{B.23.EL} = 18,234 \quad kW$$

B.24 GRIJANJE STROJARNICE

Volumen strojarnice :

$$V_Z = 280800 \text{ m}^3 \quad \text{volumen naseg broda}$$

$$k_1 = 0,309$$

$$G_{TS} = 86758,2$$

$$V_{STS} = 13013,73 \text{ m}^3 \quad \text{volumen strojarnice}$$

$$\eta_Z = 0,95 \quad \text{korisnost zagrijača}$$

$$P_{B.24.P} = V_{ST} * 40 / \eta_Z [\text{W}]$$

$$P_{B.24.P} = 547,947 \text{ kW}$$

$$t_p > 100 \quad ^\circ\text{C}$$

B.25 PROIZVODNJA SLATKE VODE ZA STROJARNICU

Maseni protok vode za strojarnicu : $m_{SV}^\circ = 0,15 \text{ kg/s}$

Snaga potrebna za proizvodnju slatke vode :

$$Q^\circ = m_{MV}^\circ * c_{MV} * (t_Z - t_{MV}) + m_{SV}^\circ * \rho [\text{W}]$$

$$m_{MV}^\circ = 3 * m_{SV}^\circ \text{ kg/s} \quad \text{maseni protok morske vode}$$

$$m_{MV}^\circ = 0,45 \text{ kg/s}$$

$$t_Z = 115 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{MV} = 5 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\rho = 2215 \text{ kJ / kgK} \quad (\text{toplinske tablice za } t_Z = 115 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$c_{MV} = 4,2 \text{ kJ / kgK} \quad \text{specifična toplina morske vode}$$

$$Q^\circ = 540,1 \text{ kW}$$

$$\eta_E = 0,9 \quad \text{korisnost evaporatora}$$

$$P_{B.25.P} = Q^\circ / \eta_E [\text{W}]$$

$$P_{B.25.P} = 600,117 \text{ kW}$$

$$t_p > t_Z + 50 \text{ } ^\circ\text{C} : \quad 165 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B.26 PUMPE KALJUŽE

Prema propisima HRB na brodu moraju biti najmanje dvije kaljužne pumpe čiji je maseni protok određen minimalnom brzinom pumpanja $v = 2$ m/s glavnog cjevovoda d_1 .

Promjer glavnog cjevovoda :

$$d_1 = 1,68 * (L * (B + H))^{1/2} + 25 [\text{mm}]$$

$$L = 260,0 \quad \text{m} \quad \textit{duljina broda}$$

$$B = 45,0 \quad \text{m} \quad \textit{širina broda}$$

$$H = 21,000 \quad \text{m} \quad \textit{visina trupa}$$

$$d_1 = 245,074 \quad \text{mm}$$

Ukupan volumenski protok :

$$V^\circ = A * v \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$v_{min} = 2,0 \quad \text{m/s}$$

$$v = 2,2 \quad \text{m / s}$$

$$A = d_1^2 / (p * 4)$$

$$A = 0,0472 \quad \text{m}^2$$

$$V^\circ = 0,1038 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

odabrana brzina pumpanja

površina poprečnog presjeka cjevovoda

Snaga pumpe :

$$P_p = V^\circ * H_m / \eta_p [\text{W}]$$

$$H_m = 0,3 \quad \text{Mpa}$$

$$\eta_p = 0,75$$

$$P_p = 41,511 \quad \text{kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,89$$

$$P_{B.26.EL} = P_p / \eta_{EM} \quad \text{W}$$

$$P_{B.26.EL} = 46,642 \quad \text{kW}$$

manometarska visina dobave

korisnost pumpe

korisnost elektromotornog pogona

B.27 KOMPRESORI ZRAKA

Pretpostavka je, da se proces kompresije zraka odvija po izotermi ($t = \text{konst}$) iako u stvarnosti postoji odstupanje od izotermne kompresije. Stvaran proces odvija se između teoretskih procesa izoterme ($t = \text{konst}$) i adijabate ($Q = 0$), dok je izotermna kompresija poželjna iz razloga manjeg opterećenja postrojenja, te što se zagrijavanjem medija smanjuje efikasnost.

Komprimirani zrak koristi se za pokretanje diesel motora.

Izotermna kompresija :

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 = \text{konst}$$

Rad izotermne kompresije :

$$W_{IZ} = p_1 * V_1 * \ln (p_1 / p_2) [J]$$

Snaga izotermne kompresije :

$$P_{IZ} = p_1 * V_1^\circ * \ln (p_1 / p_2) [W]$$

| | |
|-----------------------------------|---|
| $O_K = (p_t / p_u)^{1/2} * 1,1$ | <i>komp. omjer po jednom stupnju kompresije</i> |
| $Z = 2$ | <i>broj stupnjeva kompresije</i> |
| $p_t = 30 \quad \text{bar}$ | <i>tlak kompresije (tlačni)</i> |
| $p_u = 1 \quad \text{bar}$ | <i>tlak okoline (usisni)</i> |
| $1,1$ | <i>faktor pada tlaka zbog prigušenja na ventilima</i> |
| $p_t / p_u = 30,000$ | <i>ukupni kompresioni omjer</i> |
| $O_K = 6,025$ | |

Kapacitet kompresora (Sulzer) :

$$C = 27,6 * V \quad \text{m}^3 / \text{h}$$

Ukupni volumen spremnika :

$$V = (P * q * n_{st}) / (1000 * (p_{\text{max}} - p_{\text{min}})) \quad \text{m}^3$$

| | | |
|-----------------------|--------------|---|
| $P = P_{MCR} = 24,35$ | MW | <i>snaga porivnog stroja</i> |
| $p_{\text{max}} = 30$ | bar | <i>granični tlakovi (tlakovi pokretanja motora)</i> |
| $p_{\text{min}} = 7$ | bar | |

$q [m^3] = \text{utrošak zraka po cilindru}$

| | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| BROJ CILINDARA | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $q [m^3]$ | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,6 |

| | | | | |
|----------------|-----|------|------|-----|
| BROJ CILINDARA | 8 | 9 | 10 | ... |
| $q [m^3]$ | 1,5 | 1,45 | 1,42 | ... |

$$\begin{aligned}
 q &= 2,1 \quad m^3 && \text{za motor sa 5 cilindara} \\
 n_{st} &= 14 && \text{broj startanja (prema registru)} \\
 V &= 31,126 \quad m^3 \\
 C &= 859,068 \quad m^3 / h
 \end{aligned}$$

Volumenski protok na usisu :

$$\begin{aligned}
 V_u^\circ &= C / 3600 \\
 V_u^\circ &= 0,23863 \quad m^3 / s
 \end{aligned}$$

Hidraulička kompresiona snaga - snaga izotermne kompresije (teoretska vrijednost) :

$$\begin{aligned}
 P_{IZ} &= Z * p_u * V_u^\circ * \ln(O_k) [W] \\
 P_{IZ} &= 85,712 \quad kW
 \end{aligned}$$

Efektivna snaga kompresora :

$$\begin{aligned}
 P_{EK} &= P_{IZ} / \eta_{EK} \quad W \\
 \eta_{EK} &= 0,635 && \text{efektivna korisnost kompresora (0,55 - 0,75)} \\
 P_{EK} &= 134,979 \quad kW \\
 P_{B.27.EL} &= P_{EK} / \eta_{EM} \quad W \\
 \eta_{EM} &= 0,94 && \text{korisnost elektromotornog pogona} \\
 P_{B.27.EL} &= 143,594 \quad kW
 \end{aligned}$$

B.28 VENTILATOR STROJARNICE

Snaga ventilatora :

$$P_V = V^\circ * H_m / \eta_V [W]$$

Količina zraka potrebna za ventilaciju strojarnice (iskustveno) : 10 - 15 m³ / KSh

Odabrano:

$$13 \text{ m}^3 / \text{KSh}$$

$$P_{MCR} = 24,35 \quad 33107 \text{ KS}$$

Volumenski protok :

$$V^\circ = P * n / 3600$$

$$V^\circ = 119,552 \text{ m}^3$$

$$H_m = 400 \text{ Pa}$$

manometarska visina dobave

$$\eta_V = 0,65$$

korisnost ventilatora

$$P_V = 73,571 \text{ kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,92$$

korisnost elektromotornog pogona

$$P_{B.28.EL} = P_V / \eta_{EM}$$

$$P_{B.28.EL} = 79,968 \text{ kW}$$

B.29 RASHLADNA PUMPA POMOĆNOG KONDENZATORA

Količina topline koju je potrebno odvesti kondenzatoru da bi dobili kapljevinu - čisti kondenzat :

$$Q^\circ_{KD} = m^\circ_{KD} * \Delta h_{KD} [W]$$

$$m^\circ_{KD} = 22,476 \text{ kg / s}$$

*maseni protok kroz**kondenzator (pregrijana para)*

$$\Delta h_{KD} = h_{KD} - h' [kJ / kg]$$

toplinski pad u kondenzatoru

$$h_{KD} = 2581,65 \text{ kJ / kg}$$

entalpija pare u kondenzatoru

$$h' = 289,23 \text{ kJ / kg}$$

*entalpija vrele kapljevine (x = 0 ; p = 0,3 bar)**(toplinske tablice)*

$$\Delta h_{KD} = 2292,42 \text{ kJ / kg}$$

$$Q^\circ_{KD} = 51525,2 \text{ kW}$$

Količina topline koju preuzima morska voda uslijed procesa ukapljivanja slatke vode mora biti :

$$m^{\circ}_{MV} = Q^{\circ}_{KD} / (c_{MV} * \Delta t_{MV} * \eta_{KD}) [\text{kg} / \text{s}] \dots \text{maseni protok morske vode}$$

$$c_{MV} = 4,187 \quad \text{kJ} / \text{kgK} \quad \text{specifična toplina morske vode}$$

$$\Delta t_{MV} = (7 - 10) \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{MV} = 8 \quad \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad \text{odabrano}$$

$$\eta_{KD} = 0,95 \quad \text{korisnost kondenzatora}$$

$$m^{\circ}_{MV} = 1619,211 \text{ kg} / \text{s}$$

$$V^{\circ}_{MV} = m^{\circ}_{MV} / r_{MV} [\text{m}^3 / \text{s}] \quad \text{volumenski protok morske vode}$$

$$V^{\circ}_{MV} = 1,57972 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$H_m = 1,5 \quad \text{bar} \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$\eta_P = 0,8 \quad \text{korisnost rashladne pumpe}$$

$$\eta_{EM} = 0,88 \quad \text{korisnost elektromotora}$$

Snaga rashladne pumpe :

$$P_{RP} = V^{\circ} * H_m / \eta_P$$

$$P_{RP} = 296,197 \text{ kW}$$

$$P_{B.29.EL} = P_{RP} / \eta_{EM}$$

$$P_{B.29.EL} = 336,59 \text{ kW}$$

Rezultati iteracije :

$$P_1 = 277,10 \text{ kW}$$

$$P_2 = 297,44 \text{ kW}$$

$$P_3 = 299,05 \text{ kW}$$

$$P_4 = 299,18 \text{ kW}$$

B.30 KONDENZATNA PUMPA POMOĆNOG KONDENZATORA

Snaga pumpe :

$$P_{KP} = V^{\circ} * H_m / \eta_P [\text{W}]$$

$$V^{\circ} = m^{\circ}_{KD} / r_{KD} [\text{m}^3 / \text{s}] \quad \text{volumenski protok kondenzata}$$

$$\rho_{KD} = 978 \quad \text{kg} / \text{m}^3 \quad \text{gustoća kondenzata}$$

$$V^{\circ} = 0,02298 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$H_m = p_{NS} - p_{KD} + H_{wt} + H_{gt} [\text{Pa}] \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$p_{NS} = 1,2080 \quad \text{bar} \quad \text{tlak u napojnom spremniku (zadan } \\ \text{temperaturom } t_{NS} \text{- top. tablice)}$$

$$p_{KD} = 0,3 \quad \text{bar} \quad \text{tlak u kondenzatoru}$$

H_{wt} ... gubitak visine zbog otpora strujanju

H_{gt} ... geodetska visina

$$H_{wt} + H_{gt} = 0,8 \quad \text{bar} \quad \text{(iskustveni podatak)}$$

$$H_m = 1,708 \quad \text{bar}$$

$$\eta_p = 0,7 \quad \text{korisnost pumpe}$$

$$P_{KP} = 5,608 \quad \text{kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,85 \quad \text{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{B.30.EL} = P_{KP} / \eta_{EM}$$

$$P_{B.30.EL} = 6,597 \quad \text{kW}$$

| | | |
|-----------------------|---------|----------|
| Rezultati iteracije : | $P_1 =$ | 6,110 kW |
| | $P_2 =$ | 6,559 kW |
| | $P_3 =$ | 6,594 kW |
| | $P_4 =$ | 6,597 kW |

B.31 NAPOJNA PUMPA KOTLA

Snaga pumpe :

$$P_{NP} = V^\circ * H_m / \eta_p \quad [\text{W}]$$

$$V^{\circ i} = m^{\circ}_K / r_{NV} \quad [\text{m}^3 / \text{s}] \quad \text{volumenski protok pri neprekinutom radu} \\ \text{pumpe}$$

$$V^\circ = 2 * V^{\circ i} \quad [\text{m}^3 / \text{s}] \quad \text{volumenski protok pumpe pri 1 / 2 vremena}$$

$$m^{\circ}_K = 25,331 \quad \text{kg / s} \quad \text{maseni protok u kotlu}$$

$$\rho_{NV} = 954,675 \quad \text{kg / m}^3 \quad \text{gustoća napojne vode}$$

$$V^\circ = 0,05307 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$H_m = p_K - p_{NS} + H_{wt} + H_{gt} \quad [\text{Pa}] \quad \text{manometarska visina dobave}$$

$$p_K = 13,762 \quad \text{bar} \quad \text{tlak u kotlu}$$

$$p_{NS} = 1,2080 \quad \text{bar} \quad \text{tlak u napojnom spremniku}$$

$$H_{wt} + H_{gt} = 2 \quad \text{bar} \quad \text{(iskustveni podatak)}$$

$$H_m = 14,554 \quad \text{bar}$$

$$\eta_p = 0,75 \quad \text{korisnost pumpe}$$

$$\eta_{EM} = 0,92 \quad \text{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{NP} = 102,98 \quad \text{kW}$$

$$P_{B.31.EL} = P_{NP} / \eta_{EM}$$

$$P_{B.31.EL} = 111,932 \text{ kW}$$

| | | |
|-----------------------|---------|------------|
| Rezultati iteracije : | $P_1 =$ | 102,409 kW |
| | $P_2 =$ | 111,167 kW |
| | $P_3 =$ | 111,871 kW |
| | $P_4 =$ | 111,927 kW |

B.32 VENTILATORI KOTLA

Ventilatori kotla dobavljaju zrak za izgaranje u ložište kotla

Snaga ventilatora :

$$P_{VK} = V^\circ * H_m / \eta_V \text{ [W]}$$

| | | |
|-----------------------|-----------|--|
| $V^\circ_{VK} = 24,4$ | m^3 / s | <i>volumenski protok</i> |
| $H_m = 5$ | kPa | <i>manometarska visina dobave (procjena)</i> |
| $\eta_V = 0,65$ | | <i>korisnost ventilatora</i> |
| $\eta_{EM} = 0,93$ | | <i>korisnost elektromotornog pogona</i> |

$$P_{VK} = 187,645 \text{ kW}$$

$$P_{B.32.EL} = P_{VK} / \eta_{EM}$$

$$P_{B.32.EL} = 201,768 \text{ kW}$$

| | | |
|-----------------------|---------|------------|
| Rezultati iteracije : | $P_1 =$ | 184,800 kW |
| | $P_2 =$ | 200,406 kW |
| | $P_3 =$ | 201,660 kW |
| | $P_4 =$ | 201,760 kW |

B.33 GRIJANJE TEŠKOG GORIVA KOTLA

Snaga potrebna za grijanje teškog goriva kotla :

$$Q^\circ = m^\circ_{GK} * (0,14 * t + 3,36 * 10^5 + 2160 * \Delta t) \text{ [W]}$$

| | | |
|-------------------------|--------|-----------------------------|
| $m^\circ_{GK} = 1,7636$ | kg / s | <i>maseni protok goriva</i> |
| $t_M = 40,323$ | dana | <i>vrijeme plovidbe</i> |
| $t = t_M / 5 = 8,065$ | | <i>dana</i> |
| $t = 696774$ | s | |
| $\Delta t = 55$ | °C | |

$$Q^{\circ} = 974,095 \text{ kW}$$

$$P_{B.33.P} = Q^{\circ} = 974,095 \text{ kW}$$

$$P_1 = 892,175 \text{ kW}$$

$$P_2 = 967,520 \text{ kW}$$

$$P_2 = 973,573 \text{ kW}$$

$$P_4 = 974,057 \text{ kW}$$

B.34 DOBAVNE PUMPE TEŠKOG GORIVA KOTLA

Koristimo 4 pumpe s različitim manometarskim visinama dobave (H_m) te različitim volumenskim protocima (V°).

Ukupna snaga dobavnih pumpi (iskustvena formula) :

$$P_p = 5 * m^{\circ}_{GK} \text{ [kW]}$$

$$m^{\circ}_{GK} = 1,7636 \text{ kg / s} \quad \textit{maseni protok goriva}$$

$$P_p = 8,82 \text{ kW}$$

$$\eta_{EM} = 0,87 \quad \textit{korisnost elektromotornog pogona}$$

$$P_{B.34.EL} = P_p / \eta_{EM} \text{ [W]}$$

$$P_{B.34.EL} = 10,14 \text{ kW}$$

$$P_1 = 9,28 \text{ kW}$$

$$P_2 = 10,07 \text{ kW}$$

$$P_3 = 10,13 \text{ kW}$$

$$P_4 = 10,13 \text{ kW}$$

B.35 GORIONICI KOTLA

Maseni protok goriva :

$$m^{\circ}_{GK} = 1,7636 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{GK} = 6348,79 \text{ kg / h}$$

Odabrani gorionici :

| | | |
|----------------|----------------|--------|
| BROJ GORIONIKA | 2 | |
| TIP GORIONIKA | ER32 NEC 20 TC | |
| MASENI PROTOK | 3250 | kg / h |

C. ENERGETSKA BILANCA PARNOG POSTROJENJA

C.1 POGONSKA STANJA BRODA

- A) Plovidba s teretom (plovidba na iskrcaj)
- B) Terminalski manevar
- C) Iskrcaj tereta
- D) Plovidba iz terminala

C.2 BILANCA SNAGE ELEKTRIČNOG GENERATORA

Bilanca snage električnog generatora uzimajući pri tome faktor istodobnosti k_p , prikazana je u Tablici 1 . Iz tablice je vidljivo da je postignuto stanje takvo da je opterećenje najveće pri iskrcaju tereta (stanje C) .

Opterećenje turbogeneratora :

$$P_E = \sum P_{Ei} [W] \quad P_{Ei} \dots \text{iz Tablice 1.}$$

$$P_E = 1089,95 \text{ kW}$$

Snaga potrebna za pokretanje turbogeneratora :

$$P_G = P_E / \eta_G [W]$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$P_G = 1211,06 \text{ kW}$$

korisnost generatora

Snaga turbine generatora :

$$P_{TG} = P_G / \eta_{ET} [W]$$

$$\eta_{ET} = 0,55$$

$$P_{TG} = 2201,92 \text{ kW}$$

efektivna korisnost turbine

$$t_p = 250 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_p = 15 - 30 \text{ bar}$$

C.3 BILANCA SNAGE KOTLA

Bilanca snage kotla dana je u Tablici 2 za slučaj C, tj. max. opterećenja.

$$P_p = \sum P_{p_i} [W]$$

P_{p_i} ... iz Tablice2.

$$P_{pR} = 17231,0 \text{ kW}$$

$$P_{zS} = 5605,4 \text{ kW}$$

C.4 PARAMETRI I KOLIČINA PARE

C.4.1 IZBOR PARAMETARA PARE

| t_p | NAZIVNA SNAGA | p_z |
|--------|------------------|---------|
| [°C] | [kW] | [bar] |
| 100 | 797,91 | 1,2 |
| 115 | 10,13 | 2,0 |
| 140 | 15067,72 | 4,1 |
| 155 | 1995,80 | 6,1 |
| 165 | 816,92 | 7,8 |

p_z [bar] ... tlak zasićenja (potrebni ili preporučeni parametri)

P_p [kW] ... nazivna snaga = $\sum P_{p_i}$

t_p [°C] ... temperatura pare (pregrijanja)

Parametri pare za pogon stroja

| p_p | t_p | NAZIVNA SNAGA | t_z |
|---------|-----------|---------------|-----------|
| [bar] | [°C] | [kW] | [°C] |
| 15 - 30 | 250 - 350 | 14229,2 | 198 - 243 |
| 10 - 25 | 300 - 350 | 799,9 | 180 - 224 |

Standardni tlakovi u kotlu p_{pK} [atm] :

| | |
|----|----|
| 6 | 13 |
| 8 | 16 |
| 10 | 20 |

Standardne temperature pregrijanja za vodocijevne kotlove , t_{pr} [°C] :

| | |
|-----|-----|
| 150 | 350 |
| 200 | 400 |
| 250 | 450 |
| 300 | 500 |

Odabrano :

$$p_{pk} = 13 \quad \text{atm}$$

$$p_{pk} = 12,749 \quad \text{bar}$$

$$t_{pr} = 300 \quad ^\circ\text{C}$$

Apsolutni tlak u kotlu :

$$p_k = p_{pk} + p_0$$

$$p_0 = 1,013 \quad \text{bar} \quad \textit{tlak okoline}$$

$$p_k = 13,762 \quad \text{bar}$$

Temperatura pregrijanja :

$$t_{pr} = 300 \quad ^\circ\text{C}$$

Temperatura zasićenja : (za tlak u kotlu p_k , prema toplinskim tablicama)

$$t_z = 194,22 \quad ^\circ\text{C}$$

Entalpija pregrijane pare: (funkcija $p_k=13,762\text{bar}$, $t_{pr}=300^\circ\text{C}$)

$$h_{pr} = 3041,63 \quad \text{kJ / kg}$$

Toplina isparavanja :

$$r_z = h'' - h' \quad [\text{kJ / kg}]$$

$$h'' = f (p_k) \quad \textit{entalpija suhozasićene pare}$$

$$h'' = 2789,6 \quad \text{kJ / kg}$$

$$h' = f (p_k) \quad \textit{entalpija kapljevine}$$

$$h' = 825,9 \quad \text{kJ / kg}$$

$$r_z = 1964 \quad \text{kJ / kg}$$

Za podtlak u kondenzatoru od $p_{kd} = 0,3$ bara (odabran) i temperaturu kondenzata $t_{kd} = 69,12^\circ\text{C}$, teoretski raspoloživi toplinski pad h_t dan je sljedećim izrazom :

$$p_{KD} = 0,3 \quad \text{bar}$$

$$h_t = h_{pr} - h_{kd(\text{teor})}$$

$$h_{pr} \dots \text{entalpija pregrijane pare (} t_p = 300^\circ\text{C; } p = 13,76 \text{ bar)}$$

$$h_{pr} = 3042 \quad \text{kJ / kg}$$

$$h_{kd(\text{teor})} \dots \text{teoretska entalpija kondenzata (} x = 0,85 \text{)}$$

$$h_{kd(\text{teor})} = 2275 \quad \text{kJ / kg}$$

$$h_t = 766,6 \quad \text{kJ / kg}$$

Realna entalpija kondenzata h_{kd} za podtlak u kondenzatoru od $p_{kd} = 0,3$ bara i temp t_{kd}
 $= 62,19$ °C dana je izrazom :

$$h_{kd} = h_{pr} - h_i$$

h_{pr} ... entalpija pregrijane pare

$$h_{pr} = 3042 \quad \text{kJ / kg}$$

h_i ... realni toplinski pad Curtis turbine

$$h_i = \eta_i * h_t$$

$$\eta_i = 0,6$$

$$h_i = 460 \quad \text{kJ / kg}$$

Nakon uvrštavanja slijedi realna entalpija kondenzata :

$$h_{kd} = 2582 \quad \text{kJ / kg}$$

te tu očitavamo sadržaj pare (udio suhozasićene pare u 1 kg mokre pare) : $x = 0,905$

| PARAMETRI PARE | | | | | | |
|----------------|--------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|
| p_k | t_z | t_{pr} | p_{KD} | h_t | h_{KD} | h_{pr} |
| [bar] | [°C] | [°C] | [bar] | [kJ / kg] | [kJ / kg] | [kJ / kg] |
| 13,8 | 194,2 | 300 | 0,3 | 767 | 2582 | 3042 |

C.4.2 POTREBNE KOLIČINE PARE

Maseni protok pare potrebne za zagrijavanje :

$$m^{\circ}_z = P_z / r_z [\text{kg / s}] \quad P_z = \Sigma P_{zi} [\text{W}]$$

$$P_z = 5605,43 \quad \text{kW} \quad \text{tablica 2 , stanje A}$$

$$r_z = 1964 \quad \text{kJ / kg} \quad \text{toplina isparavanja}$$

$$m^{\circ}_z = 2,8545 \quad \text{kg / s}$$

Maseni protok pregrijane pare potrebne za pogon strojeva :

$$m^{\circ}_{pr} = P_{pr} / h_t [\text{kg / s}] \quad P_{pr} = \Sigma P_{pri} [\text{W}]$$

$$P_{pr} = 17231 \quad \text{kW} \quad \text{tablica 2 , stanje C}$$

$$h_t = 767 \quad \text{kJ / kg} \quad \text{teoretski pad topline}$$

$$m^{\circ}_{pr} = 22,4763 \quad \text{kg / s}$$

Maseni protok kroz kotao :

$$m^{\circ}_k = m^{\circ}_z + m^{\circ}_{pr} \text{ [kg / s]}$$

$$m^{\circ}_k = 25,3308 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{k1} = 23,176 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{k2} = 25,158 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{k3} = 25,317 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{k4} = 25,330 \text{ kg / s}$$

C.4.3 KAPACITET LOŽENOG KOTLA

STANDARDNI KAPACITETI KOTLA [t / h] : 20, 25, 32, 40, 50, 64, 80 ...

Opterećenje :

$$m^{\circ}_k = 25,33 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_k = 91,19 \text{ t / h}$$

Odabrano (prema standardu) :

$$m^{\circ}_{kST} = 50 \text{ t / h}$$

Kako je kapacitet kotla dvostruko veći od odabranog standardnog kapaciteta uzima se da se na brodu nalaze dva kotla. Svaki od dva kotla ima maseni protok jednak polovici ukupnog potrebnog protoka pare:

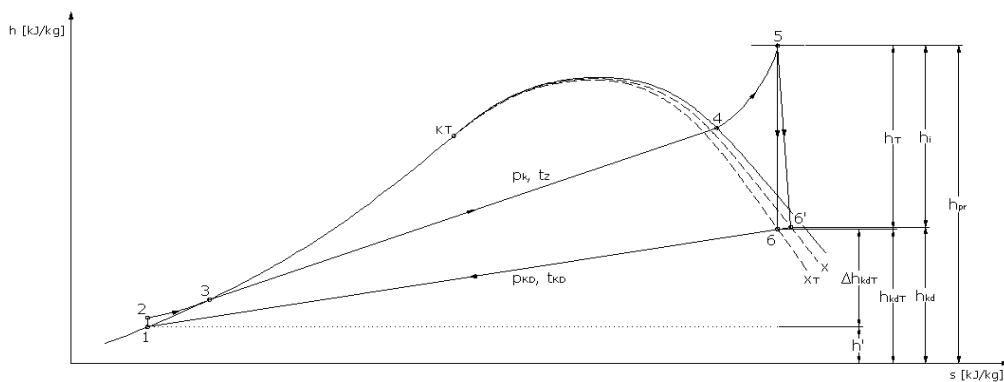
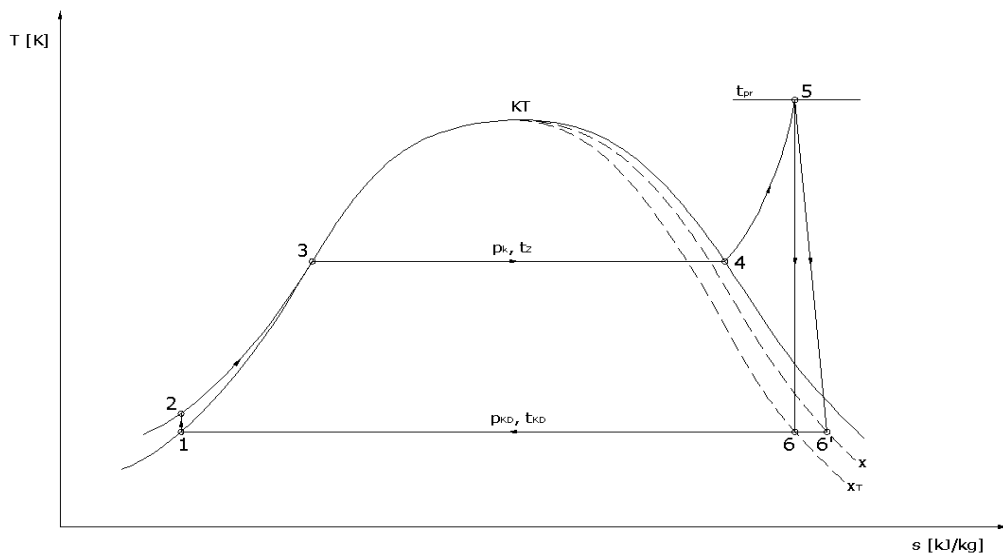
$$m^{\circ}_{k1/2} = 12,67 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{k1/3} = 45,60 \text{ t / h}$$

m°_{kST} ... standardizirani maseni protok kroz kotao

Bilanca potrošnje pare dana je u tablici 3 .

T - s / h - s dijagram parnog postrojenja :

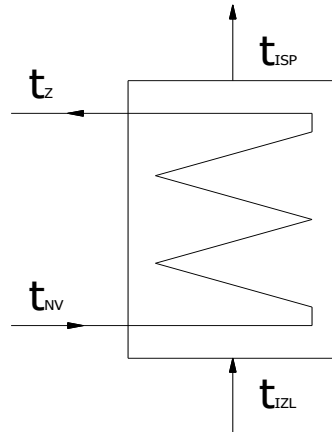


- 1 - 2 ... kompresija napojne vode pomoću napojne pumpe
- 2 - 3 ... predgrijavanje napojne vode u ekonomajzeru
- 3 - 4 ... isparivanje kotlovske vode u isparivaču
- 4 - 5 ... pregrijanje vode u pregrijaču
- 5 - 6 ... adijabatska ekspanzija u parnom stroju (teoretski)
- 5 - 6' ... adijabatska ekspanzija u parnom stroju (realno)
- 6 - 1 ... ukapljivanje pare u kondenzatoru (teoretski)
- 6' - 1 ... ukapljivanje pare u kondenzatoru (realno)

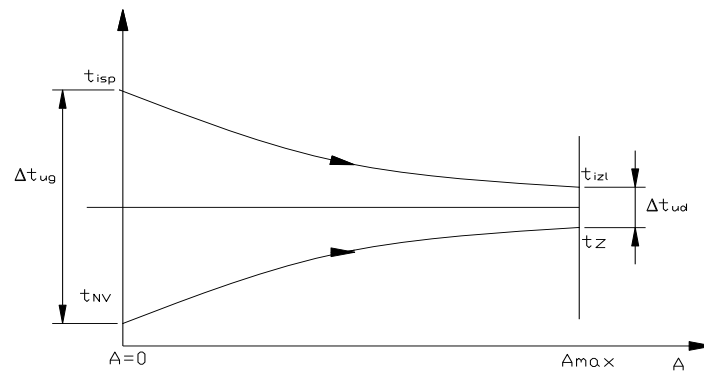
C.4.4 KAPACITET UTILIZACIONOG KOTLA

Utilizacioni kotao koristi toplinu ispušnih plinova diesel motora za zagrijavanje napojne vode, i za proizvodnju suhozasićene pare

Shema utilizacionog kotla :



Dijagram temperatura za istosmjerni izmjenjivač topline :



t_{NV} ... temperatura napojne vode

t_{isp} ... izlazna temperatura ispušnih plinova iz diesel motora

t_z ... temperatura zasićenja

t_{izlU} ... temperatura ispušnih plinova na izlazu iz utilizacionog kotla

Δt_{ug} ... razlika temp. plinova i vode na ulazu u utilizacioni kotao

Δt_{ud} ... razlika temp. plinova i pare na izlazu iz utilizacionog kotla

| | | |
|----------------------------------|--------------------|---|
| $t_{NS} = 120$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura u napojnom spremniku</i> |
| $t_{NV} = t_{NS} - 5$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura napojne vode</i> |
| $t_{NV} = 115$ | $^{\circ}\text{C}$ | |
| $t_{isp} = 260$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura ispušnih plinova</i> |
| $t_z = 158,83$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura zasićenja</i> |
| $\Delta t_{ud} = 50$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>razlika temp. na izlazu iz util. kotla</i> |
| $t_{izlU} = t_z + \Delta t_{ud}$ | | |
| $t_{izlU} = 208,83$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temp. plinova na izlazu iz util kotla</i> |
| $t_{izlU} > 185,00$ | $^{\circ}\text{C}$ | |

Toplina dovedena utilizacionom kotlu :

| | | |
|------------------------------------|---------|---|
| $Q^{\circ}_U = m^{\circ}_{DM} * q$ | [W] | |
| $m^{\circ}_{DM} = 1,150$ | kg / s | <i>maseni protok goriva diesel motora</i> |
| $q = 2600,00$ | kJ / kg | <i>toplina ispušnih plinova (određeno pomoću H - t dijagrama ispušnih plinova glavnog stroja)</i> |
| $Q^{\circ}_U = 2989,64$ | kW | |

Toplina odvedena utilizacijskom kotlu :

| | | |
|--|---------|---|
| $Q^{\circ}_U = m^{\circ}_{ZU} * (h'' - h_{NV}) / \eta_U$ | [W] | |
| $m^{\circ}_{ZU} = Q^{\circ}_U * \eta_U / (h'' - h_{NV})$ | | <i>maseni protok u utilizacionom kotlu</i> |
| $\eta_U = 0,85$ | | <i>korisnost zagrijavanja u utilizacionom kotlu</i> |
| $h_{NV} = f (t_{NV})$ | | <i>entalpija kapljevine (napojne vode)</i> |
| $h_{NV} = 442,7$ | kJ / kg | |
| $h'' = f (t_z)$ | | <i>entalpija suhozasićene pare</i> |
| $h'' = 2756,1$ | kJ / kg | |
| $m^{\circ}_{ZU} = 1,098$ | kg / s | |
| $m^{\circ}_{ZU} = 3954,42$ | kg / h | |

D. IZGARANJE

D.1 GORIVO

D.1.1 SASTAV GORIVA

Gorivo: Bunker "C"

Sastav goriva s obzirom na maseni udio pojedine komponente:

| KOMPONENTA | UGLJIK | VODIK | KISIK |
|---------------------|--------|----------------|----------------|
| KEMIJSKI SASTAV | C | H ₂ | O ₂ |
| OZNAKA | c | h | o |
| MASENI UDIO [kg/kg] | 0,830 | 0,130 | 0,015 |

| KOMPONENTA | DUŠIK | SUMPOR | VLAGA |
|---------------------|----------------|--------|------------------|
| KEMIJSKI SASTAV | N ₂ | S | H ₂ O |
| OZNAKA | n | s | w |
| MASENI UDIO [kg/kg] | 0,0050 | 0,019 | 0,0010 |

D.1.2 DONJA OGRIJEVNA MOĆ GORIVA

H_d [kJ / kg] ... donja ogrijevna moć goriva : toplina dobivena potpunim izgaranjem jedne masene jedinice goriva, ali ne uzimajući u obzir toplinu kondenzacije vodene pare

Formula Mendeljeva :

$$H_d = [33,9 * c + 125,6 * h - 10,9 * (o - s) - 2,51 * (9 * h + w)] * 10^6$$

$$H_d = 41569,4 \text{ kJ / kg}$$

D.2 ANALIZA IZGARANJA

Procesom izgaranja pored oslobođene energije (topline), nastaju i dimni plinovi, koje sačinjava smjesa plinova nastalih kao posljedica oksidacije gorivih sastojaka goriva, te dušika i kisika iz zraka, koji pak ne sudjeluju aktivno u samoj reakciji. Pri tom se ukupni volumen dimnih plinova sastoji od suhih dimnih plinova i vlage koja nastaje oksidacijom vodika sadržanog u gorivu.

D.2.1. STEHIOMETRIJSKI ODNOSI



D.2.2 KOLIČINA ZRAKA ZA IZGARANJE

Minimalna količina kisika potrebna za potpuno izgaranje :

$$O_{(n) \min} = 1,867 \cdot c + 5,6 \cdot (h - o / 8) + 0,7 \cdot s \quad [\text{m}^3 / \text{kg}]$$

$$O_{(n) \min} = 2,280 \quad \text{m}_n^3 / \text{kg}$$

Minimalna količina zraka za potpuno izgaranje :

$$Z_{(n) \min} = O_{(n) \min} / 0,21 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

$$Z_{(n) \min} = 10,859 \quad \text{m}_n^3 / \text{kg}$$

Zbog gubitka u ložištu potrebno je dovesti višak zraka :

I ... faktor viška zraka (1,1 - 1,2)

$$I = 1,15 \quad \text{odabrano}$$

Stoga imamo stvarnu količinu zraka potrebnu za izgaranje:

$$L_n = L_{(n) \min} \cdot I$$

$$L_n = 12,488 \quad \text{m}_n^3 / \text{kg}$$

D.2.3 KOLIČINA I SASTAV PLINOVA IZGARANJA

Iz zakona stehiometrije :

$$\begin{aligned}
 V_{(n)CO_2} &= 1,867 \cdot c = & 1,54961 & \text{m}_n^3 / \text{kg} \\
 V_{(n)SO_2} &= 0,7 \cdot s = & 0,01330 & \text{m}_n^3 / \text{kg} \\
 V_{(n)N_2} &= 0,8 \cdot n + 0,79 \cdot L_{(n)min} = & 8,58269 & \text{m}_n^3 / \text{kg} \\
 V_{(n)H_2O} &= 1,3 \cdot (9 \cdot h + w) = & 1,52230 & \text{m}_n^3 / \text{kg} \\
 V_{(n)N_2+O_2} &= (l - 1) \cdot L_{(n)min} = & 1,62886 & \text{m}_n^3 / \text{kg}
 \end{aligned}$$

$V_{(n)s}$... količina suhih plinova izgaranja (plinovi bez vodene pare)

$V_{(n)smin}$... minimalna količina suhih plinova izgaranja

$$\begin{aligned}
 V_{(n)smin} &= V_{(n)CO_2} + V_{(n)SO_2} + V_{(n)N_2} \text{ [m}_n^3 / \text{kg]} \\
 V_{(n)smin} &= 10,14560 \text{ m}_n^3 / \text{kg}
 \end{aligned}$$

Stvarna količina suhih plinova izgaranja dobije se pribrajanjem N_2 i O_2 iz viška zraka :

$$\begin{aligned}
 V_{(n)s} &= V_{(n)smin} + V_{(n)N_2+O_2} \text{ [m}_n^3 / \text{kg]} \\
 V_{(n)s} &= 11,7745 \text{ m}_n^3 / \text{kg}
 \end{aligned}$$

$V_{(n)VL}$... količina vlažnih plinova izgaranja (količina suhih plinova + količina pare)

$$\begin{aligned}
 V_{(n)VL} &= V_{(n)s} + V_{(n)H_2O} \text{ [m}_n^3 / \text{kg]} \\
 V_{(n)VL} &= 13,2968 \text{ m}_n^3 / \text{kg}
 \end{aligned}$$

x_i ... volumni udio pojedinog sudionika u plinovima izgaranja

$$\begin{aligned}
 \sum x_i &= 1 \\
 \sum V_{(n)i} &= V_{(n)VL} \\
 x_i &= V_{(n)i} / V_{(n)VL}
 \end{aligned}$$

| KOLIČINA I SASTAV PLINOVA IZGARANJA U KOTLU | | | |
|---|--------------------------------------|---|---------|
| br | SUDIONIK | $V_{(n)i}$ [m _n ³ / kg] | x_i |
| 1 | CO ₂ | 1,54961 | 0,11654 |
| 2 | SO ₂ | 0,01330 | 0,00100 |
| 3 | N ₂ | 8,58269 | 0,64547 |
| 4 | ZRAK N ₂ + O ₂ | 1,62886 | 0,12250 |
| 5 | H ₂ O | 1,52230 | 0,11449 |
| | $V_{(n)VL}$ | 13,29676 | 1,0 |

D.2.4 KOLIČINA I SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA GLAVNOG STROJA

Za pogon glavnog stroja koristi se isto gorivo kao i za loženje kotla . Postupak određivanja količine i sastava ispušnih plinova glavnog stroja analogan je onom u točki D.2.3.

Kako je kod diesel motora otežan pristup zraka u prostor izgaranja, veći je stoga i faktor viška uzduha te iznosi: $\lambda_{izg}=(1,8-2,1)$. - kod dvotaktnih motora uvodi se još i dodatna količina uzduha potrebna za "ispiranje cilindara" koja iznosi: $\lambda_{isp}=(1,5-2,8)$ - iskustveni podatak

Iz navedenog slijedi faktor viška uzduha λ za diesel motor:

$$\lambda = \lambda_{izg} * \lambda_{isp}$$

$$\lambda = (2,7 - 3,78)$$

faktor viška zraka

$$\lambda_{izg} = (1,8 - 2,1)$$

faktor viška zraka potrebnog za izgaranje

$$\lambda_{isp} = (1,5 - 1,8)$$

faktor viška zraka potrebnog za ispiranja

$$\lambda = 3,3$$

odabrano

$V_{(n)smin}$... minimalna količina suhih plinova izgaranja

$$V_{(n)smin} = V_{(n)CO_2} + V_{(n)SO_2} + V_{(n)N_2} \quad [m_n^3 / kg]$$

$$V_{(n)smin} = 10,14560 \quad m_n^3 / kg$$

Stvarna količina suhih plinova izgaranja dobije se pribrajanjem N_2 i O_2 iz viška zraka :

$$V_{(n)s} = V_{(n)smin} + V_{(n)N_2+O_2} = V_{(n)smin} + (\lambda - 1) * L_{(n)min} \quad [m_n^3 / kg]$$

$$V_{(n)s} = 35,1215 \quad m_n^3 / kg$$

$V_{(n)VL}$... količina vlažnih plinova izgaranja (količina suhih plinova + količina pare)

$$V_{(n)VL} = V_{(n)s} + V_{(n)H_2O} = V_{(n)s} + 1,3 * (9 * h + w) \quad [m_n^3 / kg]$$

$$V_{(n)VL} = 36,6438 \quad m_n^3 / kg$$

x_i ... volumni udio pojedinog sudionika u plinovima izgaranja

$$\sum x_i = 1$$

$$\sum V_{(n)j} = V_{(n)VL}$$

$$x_i = V_{(n)i} / V_{(n)VL}$$

| KOLIČINA I SASTAV PLINOVA IZGARANJA | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------|
| br | SUDIONIČNIK | $V_{(n)i} [m_n^3 / kg]$ | x_i |
| 1 | CO ₂ | 1,54961 | 0,04229 |
| 2 | SO ₂ | 0,01330 | 0,00036 |
| 3 | N ₂ | 8,58269 | 0,23422 |
| 4 | ZRAK N ₂ + O ₂ | 24,97592 | 0,68159 |
| 5 | H ₂ O | 1,52230 | 0,04154 |
| | $V_{(n)VL}$ | 36,64381 | 1,0 |

D.2.5 SADRŽAJ TOPLINE ISPUŠNIH PLINOVA GLAVNOG STROJA

Sadržaj topline pojedinih sudionika :

$$H_i = h_{(n)i} * V_{(n)i} [kJ / kg]$$

Entalpija pojedinih sudionika :

$$h_{(n)i} = [C_p]_0^t * t / 22,41 [kJ / m_n^3]$$

Ukupni sadržaj topline :

$$H = \sum H_i = \sum h_{(n)i} * V_{(n)i} = \sum h_{(n)i} * x_i * V_{(n)VL}$$

$$H = V_{(n)VL} * \sum h_{(n)i} * x_i [kJ / kg]$$

E. ENERGETSKA BILANCA KOTLA

E.1 KORISNOST KOTLA

E.1.1 DOVEDENA TOPLINA

Toplina sadržana u gorivu koja se oslobađa izgaranjem :

$$q_H = H_d = 41569,4 \text{ kJ / kg}$$

Toplina sadržana u gorivu na ulazu u kotao :

$$q_G = h_G - h_0 \text{ [kJ / kg]}$$

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

temperatura goriva na ulazu u kotao

$$t_0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

temperatura okoline

$$[Cp]_0^{130} = 2,1 \text{ kJ / kgK}$$

srednja specifična toplina goriva

$$[Cp]_0^{30} = 1,8 \text{ kJ / kgK}$$

srednja spec. toplina goriva okolne temp.

$$h_G = [Cp]_0^{130} * t_G$$

entalpija goriva

$$h_G = 273 \text{ kJ / kg}$$

$$h_0 = [Cp]_0^{30} * t_0$$

entalpija goriva

$$h_1 = 54 \text{ kJ / kg}$$

$$q_G = 219 \text{ kJ / kg}$$

sadržaj topline po kilogramu goriva na ulazu u kotao

Toplina sadržana u zraku za izgaranje :

$$q_U = (h_U - h_0) \text{ [kJ / kg]}$$

$$t_U = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

temperatura uzduha za izgaranje

$$t_0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

temperatura okoline

$$[Cp]_0^{45} = 1,2991 \text{ kJ / m}_n^3\text{K}$$

srednja spec. toplina uzduha za izgaranje

$$[Cp]_0^{30} = 1,2984 \text{ kJ / m}_n^3\text{K}$$

srednja spec. toplina okoline (Cp / 22,41)

$$h_0 = [Cp]_0^{30} * t_0 * L_{(n)}$$

$$h_1 = 486,431 \text{ kJ / kg}$$

entalpija okoline

$$h_U = [Cp]_0^{45} * t_U * L_{(n)}$$

$$h_U = 567,809 \text{ kJ / kg}$$

entalpija zraka za izgaranje

$$L_{(n)} = 12,488 \text{ m}_n^3 / \text{kg}$$

količina uzduha potrebnog za izgaranje

$$q_U = 81,378 \text{ kJ / kg}$$

toplina sadržana u zraku za izgaranje

Toplina sadržana u napojnoj vodi :

$$q_{NV} = h_{NV} - h_0 \text{ [kJ / kg]}$$

$$t_{NV} = t_{NS} - 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

temperatura napojne vode

$$t_{NV} = 115 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$[Cp]_0^{30} = 4,176 \text{ kJ / kgK}$$

srednja specifična toplina okoline

$$h_0 = [Cp]_0^{30} * t_0 \text{ [kJ / kg]}$$

entalpija okoline

$$h_0 = 125,28 \text{ kJ / kg}$$

$$h_{NV} = 442,7 \text{ kJ / kg}$$

entalpija napojne vode

$$q_{NV} = 317,43 \text{ kJ / kg}$$

toplina sadržana u napojnoj vodi

Toplina dovedena kotlu napojnom vodom :

$$Q^{\circ}_{NV} = m^{\circ}_{K1/2} * q_{NV} \text{ [W]}$$

$$m^{\circ}_{K1/2} = 12,665 \text{ kg / s}$$

maseni protok kroz kotao

$$Q^{\circ}_{NV} = 4020,3 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_1 = 3678,28 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_2 = 3992,84 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_3 = 4018,14 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_4 = 4020,17 \text{ kW}$$

E.1.2 KORISNA DOVEDENA TOPLINA

$$Q^{\circ} = m^{\circ}_{pr} * h_{pr} + m^{\circ}_Z * h'' - m^{\circ}_K * h_0 \text{ [W]}$$

$$m^{\circ}_{pr1/2} = 11,238 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{Z1/2} = 1,427 \text{ kg / s}$$

$$m^{\circ}_{K1/2} = 12,665 \text{ kg / s}$$

$$h_{pr} = 3041,6 \text{ kJ / kg}$$

$$h'' = 2789,6 \text{ kJ / kg}$$

$$h_0 = 125,28 \text{ kJ / kg}$$

$$Q^{\circ} = 36577,0 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_1 = 34053,8 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_2 = 36329,8 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_3 = 36557,4 \text{ kW}$$

$$Q^{\circ}_4 = 36575,6 \text{ kW}$$

E.1.3 GUBICI I KORISNOST KOTLA

Ukupna dovedena toplina kotlu :

$$H_{d,k} = q_H + q_G + q_U \text{ [kJ / kg]} \quad \textit{korigirana donja ogrijevna moć}$$

$$H_{d,k} = 41869,8 \text{ kJ / kg}$$

GUBITCI U KOTLU :

Gubitci u ložištu :

$$g_L = 0,005$$

gubitak ložišta (neizgoreno gorivo)

$$\eta_L = 0,995$$

korisnost ložišta

$$q_{GL} = g_L * H_{d,k}$$

$$q_{GL} = 209,349 \text{ kJ / kg}$$

Gubitci u okolinu zračenjem :

$$g_{OK} = 0,01$$

gubitak odvođenja u okolinu zračenjem

$$\eta_{OK} = 0,99$$

$$q_{OK} = g_{OK} * H_{d,k}$$

$$q_{OK} = 418,698 \text{ kJ / kg}$$

Gubitak topline u plinovima izgaranja :

$$g_{IZL} = (6 - 20 \%)$$

gubitak plinovima izgaranja

$$\eta_{IZL} = 1 - g_{IZL}$$

$$t_{IZL} = (250 - 350 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

odabrano 250 oC

Iz H - t dijagrama :

$$q_{IZL} = 4320 \text{ kJ / kg}$$

izlazna toplina plin. izgaranja

$$q_{IZL} = h_{IZL} - h_0$$

$$t_{IZL} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_0 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$g_{IZL} = q_{IZL} / H_{d,k}$$

$$g_{IZL} = 10,318 \text{ \%}$$

$$\eta_{IZL} = 0,8968$$

Ukupni gubitci u kotlu :

$$g_K = g_L + g_{OK} + g_{IZL}$$

$$g_K = 0,1182$$

Korisnost kotla :

$$\eta_K = 1 - g_K$$

$$\eta_K = 0,8818$$

E.2 KOLIČINA GORIVA I ZRAKA

$$m^{\circ}_G * H_{d,k} * \eta_K = m^{\circ}_{pr} * h_{pr} + m^{\circ}_Z * h'' - m^{\circ}_K * h_0 - m^{\circ}_K * (h_{NV} - h_0)$$

$$m^{\circ}_{G1/2} = 0,8818 \quad [\text{kg} / \text{s}]$$

$$m^{\circ}_{G1} = 0,8076 \quad \text{kg} / \text{s}$$

$$m^{\circ}_{G2} = 0,8758 \quad \text{kg} / \text{s}$$

$$m^{\circ}_{G3} = 0,8813 \quad \text{kg} / \text{s}$$

$$m^{\circ}_{G4} = 0,8817 \quad \text{kg} / \text{s}$$

Uz:

$$p_o = 1,015 \quad \text{bar} \quad \textit{tlak u strojarnici}$$

$$T_o = 303,15 \quad \text{K} \quad \textit{temperatura u strojarnici}$$

$$p_n = 1,013 \quad \text{bar} \quad \textit{standardni tlak}$$

$$T_n = 273,15 \quad \text{K} \quad \textit{standardna temperatura}$$

$$L_{(n)} = 12,488 \quad \text{m}^3 / \text{kg} \quad \textit{potrebna količina zraka za izgaranje}$$

Specifični volumen potrošenog zraka dan je kako slijedi :

$$L_{(n)'} = L_{(n)} * T_o * p_n / (T_n * p_o)$$

$$L_{(n)'} = 13,832 \quad \text{m}^3 / \text{kg}$$

Potrebni protok zraka stoga slijedi :

$$L_{(N)} = L_{(n)'} * m^{\circ}_G \quad [\text{m}^3 / \text{s}]$$

$$L_{(N)} = 12,1969 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$L_{(N)1} = 11,1712 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$L_{(N)2} = 12,1146 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$L_{(N)3} = 12,1904 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$L_{(N)4} = 12,1964 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

E.3 RASPODJELA TOPLINE U KOTLU

E.3.1 PREDGRIJAVANJE NAPOJNE VODE (EKONOMAJZER)

Napojna voda se u ekonomajzeru predgrijava sa t_{NV} na t_E :

| | | |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------|
| $t_{NV} = 115$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura napojne vode</i> |
| $t_E < t_z - 25,00$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura u ekonomajzeru</i> |
| $t_z = 194,22$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>temperatura zasićenja</i> |
| $t_E < 169,22$ | $^{\circ}\text{C}$ | |
| $t_E = 165$ | $^{\circ}\text{C}$ | <i>odabrano</i> |

Toplina potrebna za predgrijavanje napojne vode u ekonomajzeru :

$$Q_E^{\circ} = m_K^{\circ} * (h_E - h_{NV}) \text{ [W]}$$

| | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| $m_{K1/2}^{\circ} = 12,665$ | kg / s | <i>maseni protok kroz kotao</i> |
| $[Cp]_0^{165} = 4,313$ | kJ / kgK | <i>specifična toplina vode</i> |
| $h_E = [Cp]_0^{165} * t_E$ | | <i>entalpija vode u ekonomajzeru</i> |
| $h_E = 711,604$ | | |
| $h_{NV} = 442,7$ | kJ / kg | <i>entalpija napojne vode</i> |
| $Q_E^{\circ} = 3405,70$ | kW | |

Toplina dovedena ekonomajzeru plinovima izgaranja :

$$Q_E^{\circ} = m_G^{\circ} * q_E \text{ [W]}$$

$$q_E = Q_E^{\circ} / m_G^{\circ} \text{ [kJ / kg]}$$

$$q_E = 3862,32 \text{ kJ / kg}$$

Toplina dovedena ekonomajzeru plinovima izgaranja uz pokrivanje gubitaka:

$$q_{PL,E} = (\eta_K + g_{OK}) * q_E / \eta_K = X * q_E \text{ [kJ / kg]}$$

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| $\eta_K = 0,8818$ | <i>korisnost kotla</i> |
| $g_{OK} = 0,01$ | <i>gubici u okolini zračenjem</i> |
| $X = \eta_K + g_{OK} / \eta_K$ | |
| $X = 1,0113$ | |

$$q_{PL,E} = 3906,12 \text{ kJ / kg}$$

E.3.2 ISPARAVANJE

Radni medij entalpije h_E na izlazu iz ekonomajzera isparava u suhozasićenu paru entalpije h'' .

Toplina potrebna za isparavanje u isparivaču :

$$Q_{IS}^{\circ} = m_K^{\circ} * (h'' - h_E) \text{ [W]}$$

$$m_{K1/2}^{\circ} = 12,665 \quad \text{kg / s} \quad \text{maseni protok kroz kotao}$$

$$h'' = 2789,6 \quad \text{kJ / kg}$$

$$h_E = 711,60 \quad \text{kJ / kg}$$

$$Q_{IS}^{\circ} = 26318,4 \quad \text{kW}$$

Toplina dovedena isparivaču plinovima izgaranja :

$$Q_{IS}^{\circ} = m_G^{\circ} * q_{IS} \text{ [W]}$$

$$q_{IS} = Q_{IS}^{\circ} / m_G^{\circ} \text{ [kJ / kg]}$$

$$q_{IS} = 29847 \quad \text{kJ / kg}$$

Toplina dovedena isparivaču plinovima izgaranja uz pokrivanje gubitaka :

$$q_{PL,IS} = (\eta_K + q_{OK}) * q_{IS} / \eta_K \text{ [kJ / kg]}$$

$$\eta_K = 0,8818$$

korisnost kotla

$$q_{OK} = 0,01$$

gubici u okolinu zračenjem

$$q_{PL,IS} = 30185,5 \quad \text{kJ / kg}$$

E.3.3 PREGRIJANJE PARE

Toplina potrebna za pregrijanje pare :

$$Q_{PR}^{\circ} = m_{pr}^{\circ} * (h_{pr} - h'') \text{ [W]}$$

$$m_{pr1/2}^{\circ} = 11,238 \quad \text{kg / s} \quad \text{maseni protok pregrijane pare}$$

$$h'' = 2789,6 \quad \text{kJ / kg}$$

$$h_{pr} = 3041,6 \quad \text{kJ / kg}$$

$$Q_{PR}^{\circ} = 2832,578 \quad \text{kW}$$

Toplina dovedena pregrijaču plinovima izgaranja :

$$Q_{PR}^{\circ} = m_G^{\circ} * q_{PR} \text{ [W]}$$

$$q_{PR} = Q_{PR}^{\circ} / m_G^{\circ} \text{ [kJ / kg]}$$

$$q_{PR} = 3212,36 \text{ kJ / kg}$$

Toplina dovedena pregrijaču plinovima izgaranja uz pokrivanje gubitaka :

$$q_{PL,PR} = (\eta_K + g_{OK}) * q_{PR} / \eta_K \text{ [kJ / kg]}$$

$$\eta_K = 0,8818 \quad \textit{korisnost kotla}$$

$$g_{OK} = 0,01 \quad \textit{gubici u okolinu zračenjem}$$

$$q_{PL,PR} = 3248,78 \text{ kJ / kg}$$

E.3.4 TOPLINA DOVEDENA U LOŽIŠTE

$$q_L = q_H + q_G - q_{GL} = H_{d,k} * (1 - g_L) = H_{d,k} * \eta_L$$

$$q_L = 41660,4 \text{ kJ / kg}$$

$$q_L = q_{PL,E} + q_{PL,IS} + q_{PL,PR} + q_{IZL}$$

$$q_L = 41660,4 \text{ kJ / kg}$$

ZAKLJUČAK IZ H - t DIJAGRAMA :

$$h_L = 42146,8 \text{ kJ / kg}$$

$$t_{TL} = 1905,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{teoretska temperatura ložišta}$$

$$h_{PL,PR} = 11961,33 \text{ kJ / kg}$$

$$t_{PL,PR} = 535,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura na ulazu u pregrijač}$$

$$h_{PL,E} = 8712,55 \text{ kJ / kg}$$

$$t_{PL,E} = 440,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura na ulazu u ekonomajzer}$$

$$h_{IZL} = 4806,43 \text{ kJ / kg}$$

$$t_{IZL} = 235,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura plinova izgaranja}$$

$$t_0 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \textit{temperatura okoline}$$

F. DIMENZIONIRANJE KOTLA

F.1 PARNI BUBANJ I VODNA KOMORA

Parni bubanj :

Preporuka za opterećenje parnog prostora (dio parnog bubnja kojeg zauzima para = cca 1/2 parnog bubnja) :

$$S_{PP} < 1500 \quad \text{m}^3 / \text{m}^3\text{h}$$

$$S_{PP} = V_K^\circ / V_{PP} \quad \text{m}^3 / \text{m}^3\text{h} \quad \textit{opterećenje parnog prostora}$$

$$V_K^\circ = m_{K1/2}^\circ * v'' \quad [\text{m}^3 / \text{s}] \quad \textit{volumenski protok pare}$$

$$m_{K1/2}^\circ = 12,665 \quad \text{kg} / \text{s} \quad \textit{maseni protok pare}$$

$$v'' = 0,1433 \quad \text{m}^3 / \text{kg} \quad \textit{toplinske tablice (} t_z = 194,22^\circ\text{C, } p_K = 13,762 \text{ bar) (specifični volumen pare)}$$

$$V_K^\circ = 1,815 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

$$V_K^\circ = 6534,65 \quad \text{m}^3 / \text{h}$$

$$V_{PP} > V_K^\circ / S_{PP} \quad \textit{volumen parnog prostora}$$

$$V_{PP} > 4,356 \quad \text{m}^3$$

$$V_{PP} = 0,5 * V_{PB} = (D_{PB}^2 * p) * L_{PB} / 8 \quad [\text{m}^3]$$

$$D_{PB}^2 > 8 * V_{PP} / (p * L_{PB})$$

$$\text{Preporuka } D_{PB} = (1000 - 1500) \text{ mm}$$

$$L_{PB} > 8 * V_{PP} / (D_{PB}^2 * p)$$

$$D_{PB} = 1400 \quad \text{mm} \quad \textit{odabrano}$$

$$D_{PB} = 1,40 \quad \text{m}$$

$$L_{PB} > 5,66 \quad \text{m} \quad \textit{duljina parnog bubnja}$$

$$L_{PB} = 6,6 \quad \text{m} \quad \textit{usvojeno}$$

Vodna komora :

Preporuka :

$$D_{VK} < 1200 \quad \text{mm}$$

$$L_{VK} = L_{PB} = 6,6 \text{ m}$$

$$D_{VK} = 1000 \quad \text{mm} \quad \textit{odabrano}$$

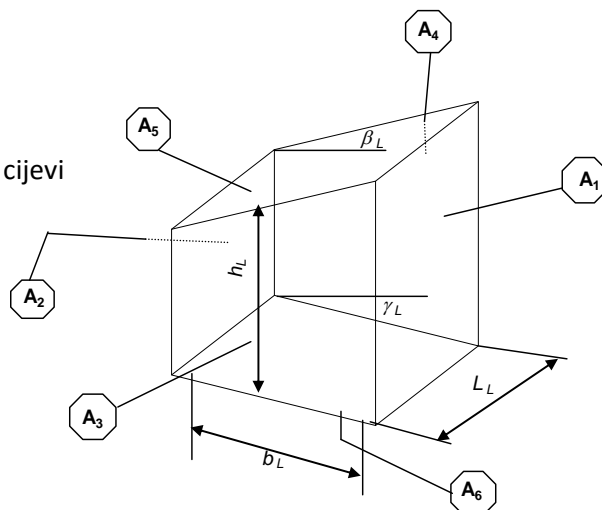
F.2 OGRIJEVNE POVRŠINE

F.2.1 LOŽIŠTE

Ekran je stijenka koju čine izmjenjivačke cijevi

Shema ložišta :

β ... nagib stropa 20 °
 γ ... nagib poda 13 °



Dimenzije ekranskih cijevi : (DIN 2448) F 51 x 2,6
 $d = 51$ mm promjer cijevi
 $s = 2,6$ mm debljina stijenke cijevi
 $t = 52$ mm razmak između dvije cijevi

Prijelaz topline u ložištu :

Stvarna temperatura u ložištu :

$t_{SL} = (1150 - 1300)$ °C za manje opterećene kotlove
 $t_{SL} = (1400 - 1500)$ °C za jako opterećene kotlove

$t_{SL} = 1250$ °C

$T_{PL} = T_{SL} = 1523,15$ K odabrano

Ukupna količina topline predana ekranskim cijevima

$$Q^{\circ}_L = q_{PL,L} * m^{\circ}_G / X \text{ [W]}$$

$q_{PL,L} = H_{tTL} - H_{tSL}$ [kJ / kg] toplina koju plinovi izgaranja predaju u ložište
 $H_{tTL} = 42146,8$ kJ / kg teoretska entalpija plin. izg.
u nehlađenom ložištu pri 1949 °C
 $H_{tSL} = 24750$ kJ / kg entalpija plin. izg. u hlađenom ložištu
za stvarnu temp. ložišta 1250 °C

H_{tTL} , H_{tSL} ... vrijednosti očitane iz H - t dijagrama

$q_{PL,L} = 17396,8$ kJ / kg

$m^{\circ}_G 1/2 = 0,8818$ kg / s

$X = 1,0113$

$Q^{\circ}_L = Q^{\circ}_{ZL} = 15168,1$ kW

maseni protok goriva

koeficijent gubitka

Prijelaz topline u ložištu sa plamena na ekranske cijevi odvija se zračenjem i konvekcijom, a prijelaz topline kodukcijom ćemo u ovom slučaju zanemariti, pa ćemo prijelaz topline zračenjem izraziti preko Stefan - Boltzmann - ove jednadžbe :

Stefan - Boltzmann - ova jednadžba za prijelaz topline između dva tijela :

$$Q_{ZL}^{\circ} = C_{12} * A_Z * [(T_{PL} / 100)^4 - (T_{ST} / 100)^4] \quad [W]$$

Q_{ZL}° ... toplina izmijenjena zračenjem između plamena i ozračene površine

C_{12} ... konstanta zračenja između plamena i ozračene površine

A_Z ... djelotvorna ogrijevna površina ekrana ložišta [m²]

T_{PL} ... srednja temperatura plamene površine [K]

T_{ST} ... temperatura stijenke ekranskih cijevi [K]

$$C_{12} = C_C / (1/e_{PL} + 1/e_{ST} - 1) \quad [W / m^2K]$$

$$C_C = 5,67 \quad W / m^2K \quad \textit{konstanta zračenja crnog tijela}$$

$$e_{PL} = 0,85 \quad \textit{stupanj crnoće plamena } e_{PL} = f(S, q_{LOŽ}, l, \dots)$$

$$e_{ST} = 0,92 \quad \textit{stupanj crnoće stijenke}$$

$$C_{12} = (4,1 - 4,65) [W / m^2K]$$

$$C_{12} = 4,5 \quad W / m^2K \quad \textit{odabrano}$$

Presjek cijevi :

$$t_{ST} = t_Z + (15 - 50) \quad [^{\circ}C]$$

$$t_Z = 194,2 \quad ^{\circ}C$$

$$t_{ST} = 219 \quad ^{\circ}C$$

$$T_{ST} = 492,37 \quad K \quad \textit{temp. stijenki cijevi}$$

$$T_{PL} = T_{SL} = t_{SL} + 273,15 \quad K$$

$$T_{PL} = 1523,15 \quad K$$

T_{PL} ... srednja temp. plamene površine

Djelotvorna ozračena površina :

$$A_Z = \sum j_i * A_i \quad [m^2]$$

A_i ... površina pojedine stijenke [m²]

j_i ... faktor ekranizacije

$$j = f(t, d)$$

$$t = 52 \quad mm$$

$$d = 51 \quad mm$$

$$t/d = 1,020 \quad \dots \gg \gg \gg \gg \gg \gg \quad j = 1,0$$

$$A_Z = Q_{ZL}^{\circ} / \{ C_{12} * [(T_{PL} / 100)^4 - (T_{ST} / 100)^4] \} \quad [m^2]$$

$$A_Z = 63,316 \quad m^2$$

Izbor plamenika :

$$m^{\circ}_G = 0,8818 \quad \text{kg / s}$$

$$m^{\circ}_G = 3174,39 \quad \text{kg / h} \quad \text{maseni protok goriva}$$

Izbor se vrši prema katalogu " RIELLO " :

Odabrani plamenik : ER32 NEC 20 TC

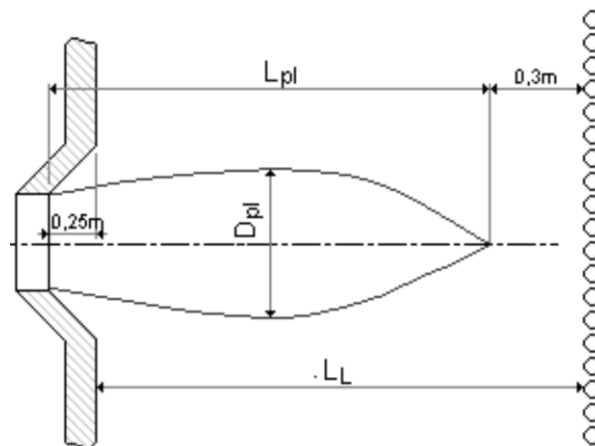
Nominalni kapacitet : 3250 kg / h

Snaga : P = 18,5 MW

Promjer priključne
prirubnice : F_G = 1050 mm

Dimenzije plamena ovise o izboru plamenika . Plamen ne smije dodirivati ekranske cijevi .

Schema gorionika :



$$L_{PL} = 4,70 \quad \text{m} \quad \text{duljina plamena}$$

$$D_{PL} = 2,0 \quad \text{m} \quad \text{promjer plamena}$$

Plamen ne smije dirati stijenku ložišta iz čega slijedi izraz za duljinu ložišta :

$$L_L = L_{PL} + 0,3 - 0,25$$

$$L_L = 4,8 \quad \text{m} \quad \text{duljina ložišta}$$

Za ložišta sa dva palmenika vrijedi odnos promjera plamena i širine ložišta :

$$b_L > D_{PL} ; h_L > 2 D_{PL}$$

b_L ... širina ložišta

h_L ... visina ložišta

$$b_L = 2,5 \quad \text{m} \quad \text{odabrano}$$

Srednja visina ložišta :

$$A_z = 2 * L_L * h_L + b_L * h_L + L_L * b_L / \cos b$$
$$h_L = (A_z - L_L * b_L / \cos b_L) / (2 * L_L + b_L)$$
$$h_L = 4,0$$

Dimenzije ložišta :

$$h_L = 4,0 \quad \text{m}$$
$$b_L = 2,5 \quad \text{m}$$
$$L_L = 4,8 \quad \text{m}$$

Površina ložišta :

$$A_L = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$
$$A_L = h_L * (2 * L_L + 2 * b_L) + b_L * L_L * (1 / \cos b_L + 1 / \cos g_L) \quad [\text{m}^2]$$
$$A_L = 82,824 \quad \text{m}^2$$

Volumen ložišta :

$$V_L = L_L * b_L * h_L \quad [\text{m}^3]$$
$$V_L = 47,500 \quad \text{m}^3$$

Specifično opterećenje ložišta :

$$q_{\text{Lož}} = m^{\circ}_G * H_{d,k} / V_L \quad [\text{W} / \text{m}^3]$$
$$H_{d,k} = 41869,8 \quad \text{kJ} / \text{kg} \quad \text{ukupna dovedena toplina kotlu}$$
$$q_{\text{Lož}} = 777,258 \quad \text{kW} / \text{m}^3$$

Granice u kojima se specifično opterećenje ložišta smatra zadovoljavajućim su od 0,7 do 1,4 MW/m³ te proizlazi da kotao zadovoljava uvjete za eksploataciju .

F.2.2 KONVEKTIVNI ISPARIVAČ

Osnovne dimenzije :

Širina isparivača :

$$b_K = 1,03 * L_L$$

$$b_K = 4,89 \quad \text{m}$$

Visina :

$$h_{KT} = h_L + b_L * (\text{tgb} + \text{tgg}) / 2 \quad \text{teoretska visina}$$

$$h_{KT} = 4,74 \quad \text{m}$$

$$h_{KG} = 0,93 * h_{KT} \quad \text{geometrijska visina}$$

$$h_{KG} = 4,41 \quad \text{m}$$

$$h_K = 0,95 * h_{KG} \quad \text{visina konvektivnog isparivača}$$

$$h_K = 4,19 \quad \text{m}$$

Izmjena topline :

Ukupna količina topline izmjenjena u konvektivnom isparivaču :

$$Q_K^\circ = q_{PL,K} * m_G^\circ / X \quad [\text{W}]$$

$$q_{PL,K} = q_{PL,IS} - q_{PL,ZL} \quad [\text{kJ} / \text{kg}] \quad \text{toplina izmijenjena u konvektivnom isparivaču}$$

$$q_{PL,IS} = 30185,5 \quad \text{kJ} / \text{kg} \quad \text{toplina potrebna za isparavanje vode}$$

$$q_{PL,ZL} = 17396,8 \quad \text{kJ} / \text{kg} \quad \text{toplina predana ekranskim cijevima (H - t dijagram)}$$

$$q_{PL,K} = 12788,7 \quad \text{kJ} / \text{kg}$$

$$X = 1,0113$$

$$m_G^\circ = 0,8818 \quad \text{kg} / \text{s}$$

$$Q_K^\circ = 11150,3 \quad \text{kW}$$

Postoje dva isparivačka snopa različite debljine cijevi . Cijevi većega promjera su relativno manje opterećene , dok su cijevi manjeg promjera relativno više opterećene .

$$Q_K^\circ = Q_{KI}^\circ + Q_{KII}^\circ$$

Prijenos topline u oba snopa se odvija zračenjem i konvekcijom .

1. ISPARIVAČKI SNOP

Prvi isparivački snop napravljen je od naizmjenično poredanih cijevi dimenzija :

| | | |
|---------------------|--------------|---|
| $F = 51 \times 3,2$ | (DIN 2448) | |
| $d = 51$ | mm | |
| $s = 3,2$ | mm | |
| $n_u = 4$ | | <i>broj redova cijevi u uzdužnom smjeru</i> |
| $s_u = 76$ | mm | <i>uzdužni korak</i> |
| $s_p = 76$ | mm | <i>poprečni korak</i> |
| $b_k = 4,89$ | m | <i>širina isparivača</i> |

Broj cijevi u poprečnom smjeru :

$$n_p < (b_k - s_p / 2 - d_v) / s_p$$

$$n_p < 63,204$$

$$n_p = 63 \quad \text{cijevi}$$

Kombinirani prijelaz topline (zračenje + konvekcija) :

- α_v ... vanjski koef. prijelaza topline
- α_u ... unutarnji koef. prijelaza topline
- d_s ... debljina stijenke
- d_{ov} ... debljina vanjskog onečišćenja
- d_{ou} ... debljina unutarnjeg onečišćenja
- t_{fv} ... temp. vanjskog fluida
- t_{fu} ... temp. unutarnjeg fluida

Relativni korak cijevi :

$$a = s_p / d_v \quad \text{u poprečnom smjeru}$$

$$b = s_u / d_v$$

$$a = 1,49$$

$$b = 1,49$$

Geometrijska površina za strujanje A_G možemo izračunati :

$$A_G = b_k * h_k - n_p * d_v * h_k \quad [\text{m}^2]$$

$$A_G = 7,039 \quad \text{m}^2$$

Reducirana brzina strujanja plinova izgaranja u konvektivnom isparivaču w_0 može se jednostavno izračunati uz poznavanje količine vlažnih plinova :

$$w_0 = V_{(n)VL} * m^{\circ}_G / A_G \text{ [m / s] } \text{ (jednadžba kontinuiteta)}$$

$$V_{(n)VL} = 13,297 \text{ m}^3 / \text{kg} \quad \text{količina vlažnih plinova izgaranja}$$

$$m^{\circ}_G = 0,8818 \text{ kg / s} \quad \text{maseni protok goriva}$$

$$w_0 = 1,666 \text{ m / s}$$

Stvarna brzina tada iznosi :

$$T_n = 273,15 \text{ K}$$

$$p_n = 1,013 \text{ bar}$$

$$T = 1523,15 \text{ K}$$

$$p = 1,015 \text{ bar}$$

$$w = 9,273 \text{ m / s}$$

Količina topline prenesena konvekcijom može se odrediti izrazom :

$$Q^{\circ} = k * A_k * (t_{fv} - t_{fu}) \text{ [W]}$$

$$k = 1 / \Sigma r \quad \text{koeficijent prolaza topline}$$

r ... jedinični otpor prijelazu topline

$$k = 1 / (1 / \alpha_u + d_{ou} / l_{ou} + d_s / l_s + d_{ov} / l_{ov} + 1 / \alpha_v) = \alpha_v$$

zanemarivo malo = 0

$$d_{ou}, d_{ov} \ll , d_{ou} / l_{ou} = d_{ov} / l_{ov} = 0$$

$$\alpha_u = 10000 \text{ W / m}^2\text{K} \quad \gg 1 / \alpha_u \sim 0$$

$$d_s = 3,2 \text{ mm}$$

$$l_s = 50 \text{ W / mK}$$

$$d_s / l_s = 6,4 \quad *10^{-5} \sim 0$$

Sada slijedi iterativni postupak, jer ne poznajemo temperaturu plinova izgaranja na izlazu iz l. konvektivnog ispaivača - TK1, te je pretpostavljamo :

$$t_{k1} = 830 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{pretpostavljena temperatura plinovi}$$

Razlika temperatura uzduž izmjenjivača :

$$\Delta t_m = (T_2 - T_1) / \ln (T_2 / T_1) \text{ } ^\circ\text{C} \text{ srednja logaritamska razlika temperatura}$$

$$t_{SL} = 1250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

stvarna temperatura u ložištu (H - t diag.)

$$t_{ST} = 219 \text{ } ^\circ\text{C}$$

temperatura stijenke $\sim t_z + 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$t_{K1} = 830 \text{ } ^\circ\text{C}$$

pretpostavljena temperatura plinova izgaranja na izlazu iz prvog konv. snopa

$$T_{K1} = 1103,15 \text{ K}$$

$$T_2 = t_{SL} - t_{ST}$$

$$T_2 = 1031 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = t_{K1} - t_{ST}$$

$$T_1 = 611 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = 802,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Izmjena topline konvekcijom :

α'_{KV} ... koeficijent konvektivnog prijelaza topline

Shack - ova formula kod poprečnog nastrujavanja na snop :

$$\alpha'_{KV} = 1,72 * (T_m)^{1/4} * f_A * f_Z * w_0^{0,61} / d_v^{0,39} \text{ [W / m}^2\text{K]}$$

$$T_m = (T_{SL} + T_{K1}) / 2 \text{ [K]}$$

srednja temperatura medija (plinova)

$$T_{SL} = 1250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

stvarna temperatura u ložištu

$$T_{K1} = 830 \text{ } ^\circ\text{C}$$

pretpostavljena temp. plinova izg. na izlazu iz I. konvektivnog isparivača

$$T_m = 1313,15 \text{ K}$$

$$t_m = 1040 \text{ } ^\circ\text{C}$$

f_A ... faktor rasporeda cijevi

$$f_A = 1,15$$

za naizmjenično poredane cijevi

f_Z ... faktor broja redova cijevi

$$f_Z = 0,88$$

za $n_u = 4$

w_0 ... reducirana brzina strujanja plinova

d_v ... vanjski promjer cijevi prvog isparivačkog snopa

Koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha'_{KV} = 45,658 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

Stvarni koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha_{KV} = z * \alpha'_{KV}$$

z ... faktor onečišćenja

$$z = 0,82$$

$$\alpha_{KV} = 37,440 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

Izmjena topline zračenjem :

Kod izgaranja plinova zrače samo troatomni plinovi : CO₂ , SO₂, H₂O . Plinovi CO₂ i SO₂ imaju slična svojstva, pa ih u proračunu možemo promatrati kao jedan plin .

Zračenje CO₂ i SO₂ :

$$q_{CO_2} = e_{ST} * (q_{t,p} - f * q_{t,s}) \quad [\text{W / m}^2] \dots \textit{intenzitet zračenja CO}_2$$

$$e_{ST} = 0,92$$

faktor crnoće ozračene stijenke

$$f = T_p / T_s$$

faktor temperature ta CO2

$$q_{t,p} = f (t_m , p_{CO_2} * s)$$

intenzitet zračenja CO2 pri temperaturi plina tm [°C]

$$q_{t,s} = f (t_{ST} , p_{CO_2} * s)$$

intenzitet zračenja CO2 pri temperaturi stijenke tST [°C]

vrijednosti $q_{t,p}$, $q_{t,s}$ određene su pomoću dijagrama za zračenje CO₂ , " Pogon broda " , Str 211

$$p_{CO_2} = x * p_s \quad [\text{bar}]$$

parcijalni tlak komponente CO2

$$x = x_{CO_2} + x_{SO_2}$$

volumni udio (CO₂ + SO₂) u smjesi plina

$$x = 0,11754$$

$$p_s = 1,013 \quad \text{bar}$$

apsolutni tlak smjese plinova

(normalni atmosferski tlak)

$$p_{CO_2} = 11909,8 \quad \text{Pa}$$

$$s = 2,8 * s_p$$

ekvivalentna debljina stijenke snopa za naizmjenični raspored cijevi

$$s_p = 76 \quad \text{mm}$$

poprečni korak

$$s = 0,2128 \quad \text{m}$$

$$p_{CO_2} * s = 2534,41 \quad \text{Pa m}$$

$$p_{CO_2} * s = 2,534 \quad \text{kPa m}$$

$$t_m = 1040,0 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{ST} = 219 \quad ^\circ\text{C}$$

$$q_{t,p} = 10,5 \quad \text{kW} / \text{m}^2$$

$$q_{t,s} = 0,0 \quad \text{za } t_{ST} < 300 \quad ^\circ\text{C}$$

$$q_{CO_2} = 9,66 \quad \text{kW} / \text{m}^2$$

Zračenje H₂O :

$$q_{H_2O} = e_{ST} * (q_{t,p} - f * q_{t,s}) \quad \text{intenzitet zračenja H}_2\text{O}$$

$$e_{ST} = 0,92 \quad \text{faktor crnoće ozračene stijenke}$$

$$f = T_p / T_s \quad \text{faktor temperature ta H}_2\text{O}$$

$$q_{t,p} = f (t_m, p_{H_2O} * s) \quad \text{intenzitet zračenja H}_2\text{O pri temp. plina } t_m$$

$$q_{t,s} = f (t_{ST}, p_{H_2O} * s) \quad \text{intenzitet zračenja H}_2\text{O pri } t_{ST} \text{ stijenke } t_{ST}$$

vrijednosti $q_{t,p}$, $q_{t,s}$ određene su pomoću dijagrama za zračenje H₂O, " Pogon broda " , Str 211

$$p_{H_2O} = x_{H_2O} * p_s \text{ [bar]} \quad \text{parcijalni tlak komponente H}_2\text{O}$$

$$x_{H_2O} = 0,11449 \quad \text{volumni udio H}_2\text{O u plinovima izgaranja}$$

$$p_s = 1,013 \quad \text{bar} \quad \text{apsolutni tlak smjese plinova}$$

(normalni atmosferski tlak)

$$p_{H_2O} = 11600,3 \quad \text{Pa}$$

$$s = 2,8 * s_p \quad \text{ekvivalentna debljina stijenke snopa za naizmjenični raspored cijevi}$$

$$s = 0,2128 \quad \text{m}$$

$$p_{H_2O} * s = 2468,55 \quad \text{Pam}$$

$$p_{H_2O} * s = 2,469 \quad \text{kPam}$$

$$t_m = 1040,0 \quad ^\circ\text{C}$$

$$t_{ST} = 219 \quad ^\circ\text{C}$$

$$q_{t,p} = 6,5 \quad \text{kW} / \text{m}^2$$

$$q_{t,s} = 0,0 \quad \text{za } t_{ST} < 300 \quad ^\circ\text{C}$$

$$q_{H_2O} = 5,98 \quad \text{kW} / \text{m}^2$$

Ukupni intenzitet zračenja :

Zbog međusobnog djelovanja CO₂ i H₂O uzima se faktor smanjenja apsorpcije = 0,97 .

$$q_{z,p} = 0,97 * (q_{CO_2} + q_{H_2O})$$

$$q_{z,p} = 15,171 \quad kW / m^2$$

Fiktivni koeficijent zračenja plinova :

$$\alpha_z = q_{z,p} / \Delta t_m$$

$$\alpha_z = 18,903 \quad W / m^2K$$

Ukupna izmjena u prvom isparivačkom snopu :

$$Q_{K1}^{\circ} = \alpha_1 * A_{K1} * \Delta t_m [W] \quad \text{toplina predana prvom isparivačkom snopu}$$

$$Q_{K1}^{\circ} = 7651,41 \quad kW$$

$$A_{K1} = n_p * n_u * d_v * p * h_K [m^2] \quad \text{ogrijevna površina konvektivnog isparivača}$$

$$A_{K1} = 169,212 \quad m^2$$

$$\alpha_1 = \alpha_{KV} + \alpha_z \quad W / m^2K \quad \text{koeficijent prijelaza topline}$$

$$\alpha_z = 18,903 \quad W / m^2K$$

$$\alpha_{KV} = 37,440 \quad W / m^2K$$

$$\alpha_1 = 56,343 \quad W / m^2K$$

$$\Delta t_m = (T_2 - T_1) / \ln (T_2 / T_1) \quad \text{srednja logaritamska razlika temperatura}$$

(preuzeto iz prethodne točke)

$$\Delta t_m = 802,55 \quad ^{\circ}C$$

$$q_{pl,k1} = Q_{K1}^{\circ} * X / m_g \quad \text{izmjenjena toplina u I. Konv. isparivaču}$$

$$X = 1,0113 \quad \text{koeficijent gubitaka}$$

$$m_G^{\circ} = 0,8818 \quad kg/s \quad \text{maseni protok goriva}$$

$$q_{pl,k1} = 8775,68 \quad kJ / kg$$

$$H_{tSL} = 24750,0 \quad kJ / kg$$

$$H_{tSL} - q_{pl,k1} = 15974,3 \quad kJ / kg$$

Za gore navedenu entalpiju, očitana temperatura na izlazu iz I. isparivačkog snopa iz H-t dijagrama odgovara vrijednosti TK1 = 830 oC, te možemo zaključiti da nam je odstupanje u granicama

2. ISPARIVAČKI SNOPI

Drugi isparivački snop sastavljen je od naizmjenično poredanih cijevi dimenzija :

F 38 x 2,9

| | | |
|------------|----|-----------------------|
| $d = 38$ | mm | |
| $s = 2,9$ | mm | |
| $s_u = 57$ | mm | <i>uzdužni korak</i> |
| $s_p = 57$ | mm | <i>poprečni korak</i> |

Broj cijevi u poprečnom smjeru :

$$n_p < (b_k - s_p / 2 - d_v) / s_p$$

$$n_p < 84,667$$

$$n_p = 83 \quad \text{cijevi} \quad \text{odabrano}$$

Relativni korak cijevi :

$$a = s_p / d_v \quad \text{u poprečnom smjeru}$$

$$b = s_u / d_v \quad \text{u uzdužnom smjeru}$$

$$a = 1,5$$

$$b = 1,5$$

Površina presjeka strujanja :

$$A_G = b_k * h_k - n_p * d_v * h_k \quad [m^2]$$

$$b_k = 4,89 \quad m$$

$$h_k = 4,19 \quad m$$

$$A_G = 7,29 \quad m^2$$

Reducirana brzina strujanja plinova izgaranja :

$$w_0 = V_{(n)VL} * m_G^\circ / A_G \quad [m / s] \quad (\text{jednadžba kontinuiteta})$$

$$V_{(n)VL} = 13,297 \quad m_n^3 / kg \quad \text{količina vlažnih plinova izgaranja}$$

$$m_G^\circ = 0,8818 \quad kg / s \quad \text{maseni protok goriva}$$

$$w_0 = 1,609 \quad m / s$$

Ukupna izmjena topline u drugom isparivačkom snopu :

$$Q_{k2}^{\circ} = Q_k^{\circ} - Q_{k1}^{\circ} \text{ kW} \quad \text{količina topline izmjenjena u II. konvektivnom isparivaču}$$

$$Q_k^{\circ} = 11150,3 \text{ kW} \quad \text{ukupna količina topline izmjenjena u isp.}$$

$$Q_{k1}^{\circ} = 7651,41 \text{ kW} \quad \text{količina topline izmjenjena u I. konvektivnom isparivaču}$$

$$Q_{k2}^{\circ} = 3498,88 \text{ kW}$$

Izmjena topline konvekcijom :

α_{KV}^1 ... koeficijent konvektivnog prijelaza topline

Shack - ova formula kod poprečnog nastrujavanja na snop :

$$\alpha_{KV}^1 = 1,72 * (T_m)^{1/4} * f_A * f_Z * w_0^{0,61} / d_v^{0,39} \text{ [W / m}^2\text{K]}$$

$$T_m = (T_{K1} + T_{K2}) / 2 \quad \text{srednja toplina medija (plina)}$$

$$T_{K1} = 830 \quad ^{\circ}\text{C} \quad \text{na izlazu iz I. kovektivnog snopa}$$

$$T_{K2} = 535,00 \quad ^{\circ}\text{C} \quad \text{na izlazu iz II. isparivačkog snopa}$$

$$T_m = 955,65 \quad \text{K}$$

$$t_m = 682,50 \quad ^{\circ}\text{C}$$

f_A ... faktor rasporeda cijevi

$$f_A = 1,15 \quad \text{za naizmjenično poredane cijevi}$$

f_Z ... faktor broja redova cijevi

$$f_Z = 1,00$$

w_0 ... reducirana brzina strujanja plinova

d_v ... vanjski promjer cijevi drugog isparivačkog snopa

Koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha_{KV} = 52,629 \text{ W / m}^2\text{K}$$

Stvarni koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha_{KV} = z * \alpha_{KV}^1$$

z ... faktor onečišćenja

$$z = 0,83$$

$$\alpha_{KV} = 43,682 \text{ W / m}^2\text{K}$$

Izmjena topline zračenjem :

Zračenje CO₂ i SO₂ :

$$q_{CO_2} = e_{ST} * (q_{t,p} - f * q_{t,s}) \text{ [W / m}^2 \text{] ... intenzitet zračenja CO}_2$$

$$e_{ST} = 0,92$$

faktor crnoće ozračene stijenke

$$f = T_p / T_s$$

faktor temperature ta CO2

$$q_{t,p} = f (t_m , p_{CO_2} * s)$$

*intenzitet zračenja CO₂ pri temperaturi plina
t_m [°C]*

$$q_{t,s} = f (t_{ST} , p_{CO_2} * s)$$

*intenzitet zračenja CO2 pri temperaturi plina
t_{ST} [°C]*

vrijednosti q_{t,p} , q_{t,s} određene su pomoću dijagrama za zračenje CO₂ , " Pogon broda " , Str 211

$$p_{CO_2} = x * p_s \text{ [bar]}$$

parcijalni tlak komponente CO2

$$x = x_{CO_2} + x_{SO_2}$$

volumni udio (CO₂ + SO₂) u smjesi plina

$$x = 0,11754$$

$$p_s = 1,013 \text{ bar}$$

apsolutni tlak smjese plinova

(normalni atmosferski tlak)

$$p_{CO_2} = 11909,8 \text{ Pa}$$

$$s = 2,8 * s_p$$

*ekvivalentna debljina stijenke snopa za
naizmjenični raspored cijevi*

$$s = 0,1596 \text{ m}$$

$$p_{CO_2} * s = 1900,81 \text{ Pam}$$

$$p_{CO_2} * s = 1,901 \text{ kPam}$$

$$t_m = 682,500 \text{ °C}$$

$$t_{ST} = 219 \text{ °C}$$

$$q_{t,p} = 3,65 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{t,s} = 0,0 \text{ za } t_{ST} < 300 \text{ °C}$$

$$q_{CO_2} = 3,36 \text{ kW / m}^2$$

Zračenje H₂O :

$$q_{H_2O} = e_{ST} * (q_{t,p} - f * q_{t,s}) \text{ [W / m}^2 \text{] ... intenzitet zračenja H}_2\text{O}$$

$$e_{ST} = 0,92$$

faktor crnoće ozračene stijenke

$$f = T_p / T_s$$

faktor temperature ta H₂O

$$q_{t,p} = f (t_m , p_{H_2O} * s)$$

*intenzitet zračenja H₂O pri temperaturi plina
t_m [°C]*

$$q_{t,s} = f (t_{ST} , p_{H_2O} * s)$$

*intenzitet zračenja H₂O pri temperaturi plina
t_{ST} [°C]*

vrijednosti q_{t,p} , q_{t,s} određene su pomoću dijagrama za zračenje H₂O, " Pogon broda " , Str 211

$$p_{H_2O} = x_{H_2O} * p_s \text{ [bar]}$$

parcijalni tlak komponente H₂O

$$x_{H_2O} = 0,11449$$

volumni udio H₂O u plinovima izgaranja

$$p_s = 1,013 \text{ bar}$$

apsolutni tlak smjese plinova

(normalni atmosferski tlak)

$$p_{H_2O} = 11600,3 \text{ Pa}$$

$$s = 2,8 * s_p$$

*ekvivalentna debljina stijenke snopa za
naizmjenični raspored cijevi*

$$s = 0,1596 \text{ m}$$

$$p_{H_2O} * s = 1851,42 \text{ Pam}$$

$$p_{H_2O} * s = 1,851 \text{ kPam}$$

$$t_m = 682,500 \text{ °C}$$

$$t_{ST} = 219 \text{ °C}$$

$$q_{t,p} = 2,3 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{t,s} = 0,0 \text{ za } t_{TS} < 300 \text{ °C}$$

$$q_{H_2O} = 2,1 \text{ kW / m}^2$$

Ukupni intenzitet zračenja :

$$q_{z,p} = 0,97 * (q_{CO_2} + q_{H_2O})$$

$$q_{z,p} = 5,310 \text{ kW / m}^2$$

0,97 ... faktor smanjenja apsorpcije zbog međusobnog djelovanja CO₂ i H₂O

$$\Delta t_m = (T_2 - T_1) / \ln (T_2 / T_1) \quad \text{srednja logaritamska razlika temperatura}$$

$$t_{k2} = 535,00 \quad ^\circ\text{C} \quad (\text{H - t dijagram})$$

$$t_{sT} = 219 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura stijenke}$$

$$t_{k1} = 830 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura plinova izgaranja na izlazu iz prvog konvektivnog snopa}$$

$$T_{k1} = 1103,15 \quad \text{K} \quad (\text{dobiveno iteracijom})$$

$$T_2 = t_{k1} - t_{sT}$$

$$T_2 = 611 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = t_{k2} - t_{sT}$$

$$T_1 = 316,00 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = 447,41 \quad ^\circ\text{C}$$

Fiktivni koeficijent zračenja plinova :

$$\alpha_z = q_{z,p} / \Delta t_m$$

$$\alpha_z = 11,868 \quad \text{W} / \text{m}^2\text{K}$$

Ukupni koeficijent prijelaza topline :

$$\alpha_2 = \alpha_{kv} + \alpha_z \quad \text{W} / \text{m}^2\text{K}$$

$$\alpha_2 = 55,550 \quad \text{W} / \text{m}^2\text{K}$$

Ogrijevna površina konvektivnog isparivača :

$$Q_{k2}^\circ = \alpha_2 * A_{k2} * \Delta t_m \quad [\text{W}]$$

$$A_{k2} = Q_{k2}^\circ / (\alpha_2 * \Delta t_m)$$

$$A_{k2} = 140,781 \quad \text{m}^2$$

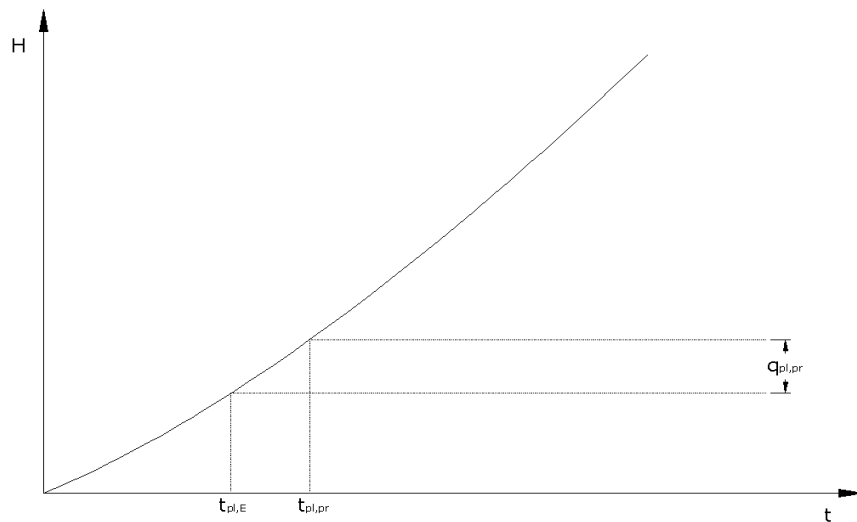
$$A_{k2} = n_p * n_u * d_v * p * h_k \quad [\text{m}^2]$$

$$n_u > A_{k2} / (n_p * d_v * p * h_k)$$

$$n_u > 3,390$$

$$n_u = 5 \quad \text{cijevi} \quad \text{odabrano}$$

F.2.3 PREGRIJAČ PARE



$$t_{PL,PR} = 535,00 \quad ^\circ\text{C}$$

temp. plinova izg. na ulazu u pregrijač

$$t_{PL,E} = 440,00 \quad ^\circ\text{C}$$

temp. plinova izg. na izlazu iz pregrijača

$$q_{PL,PR} = 3248,78 \quad \text{kJ / kg}$$

toplina dovedena pregrijaču

$$t_z = 194,2 \quad ^\circ\text{C}$$

temperatura zasićenja pare

$$t_{PR} = 300 \quad ^\circ\text{C}$$

temperatura pregrijanja pare

$$m_{pr\ 1/2}^\circ = 11,238 \quad \text{kg / s}$$

maseni protok pr. pare kroz pregrijač

$$m_{pr\ 1/2}^\circ = 40457,4 \quad \text{kg / h}$$

Dimenzije pregrijača :

$$L_p = b_K \quad [\text{m}]$$

$$L_p = 4,8925 \quad \text{m}$$

duljina pregrijača pare

$$b_p = 1,8000 \quad \text{m}$$

širina pregrijača pare

Dimenzije cijevi :

$$F = 44,5 \times 2,6$$

$$d_v = 44,5 \quad \text{mm}$$

vanjski promjer

$$s = 2,6 \quad \text{mm}$$

debljina stijenke

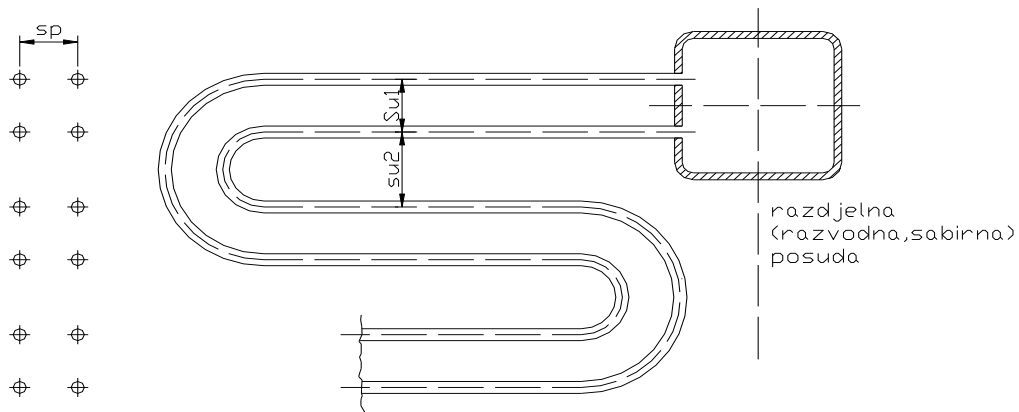
$$d_u = 39,3 \quad \text{mm}$$

unutarnji promjer

Raspored cijevi u pregrijaču je uzdužni . Koriste se paralelni cijevni snopovi sa dva odvojena toka .

$$n_s = 2$$

Shema snopova cijevi u pregrijaču pare :



$$s_u = (2 - 3) * d_v$$

$$s_p = (1,3 - 2,5) * d_v$$

$$s_{u1} = 60 \quad \text{mm} \quad \text{uzdužni korak cijevi}$$

$$s_{u2} = 100 \quad \text{mm} \quad \text{uzdužni korak cijevi}$$

$$s_p = 60 \quad \text{mm} \quad \text{poprečni korak cijevi}$$

Broj cijevi u poprečnom smjeru :

$$n_p < (b_p - d_v) / s_p + 1$$

$$n_p < 30,258$$

$$n_p = 30 \quad \text{cijevi} \quad \text{odabrano}$$

Geometrijski raspoloživa površina za strujanje

$$A_G = b_p * L_p - n_p * d_v * L_p \quad [\text{m}^2]$$

$$A_G = 2,3 \quad \text{m}^2$$

Reducirana brzina strujanja dimnih plinova u pregrijaču pare w_0 može se izračunati uz poznavanje količine vlažnih plinova :

$$w_0 = V_{(n)VL} * m^{\circ}_G / A_G \quad [\text{m} / \text{s}]$$

$$V_{(n)VL} = 13,30 \quad \text{m}^3 / \text{kg} \quad \text{količina vlažnih plinova izgaranja}$$

$$m^{\circ}_G = 0,882 \quad \text{kg} / \text{s} \quad \text{maseni protok goriva}$$

$$w_0 = 5,154 \quad \text{m} / \text{s}$$

Brzina pregrijane pare u pregrijaču uz maseni protok $m_{pr} = 8,293 \text{ kg / s}$, te specif. volumen iste : $v = 0,169 \text{ m}^3 / \text{kg}$ (očitano iz h - s dijagrama), možemo izračunati :

$$w_p = 4 * m_{pr}^\circ * v_{pr} / (d_U^2 * p * n_s * n_p) \text{ [m / s]}$$

| | | |
|-------------------------|--------------------------|---|
| $m_{pr}^\circ = 11,238$ | kg / s | <i>maseni protok pregrijane pare</i> |
| $v_{pr} = 0,169$ | m^3 / kg | <i>specifični volumen pregrijane pare za</i> |
| | | <i>$t_{PR} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ i $p_K = 13,762 \text{ bar}$ (H - s diag.)</i> |
| $d_U = d_v - 2 * d_s$ | | <i>unutarnji promjer cijevi</i> |
| $d_U = 39,3$ | mm | |
| $w_p = 26,095$ | m / s | |

Srednja temperatura u pregrijaču :

| | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|--|
| $t_{mp} = (t_z + t_{PR}) / 2$ | 247,1 | $^\circ\text{C}$ | |
| $t_z = 194,2$ | $^\circ\text{C}$ | | <i>temperatura zasićenja</i> |
| $t_{PR} = 300$ | $^\circ\text{C}$ | | <i>standardna temperatura pregrijanja za vodocijevne kotlove</i> |

Brzina pare svedena na normalno stanje iznosi :

$$w_{p0} = w_p * (T_n / T) * (p / p_n) \text{ [m / s]}$$

| | | | | |
|-------------------|-------|----------------|--------|-----|
| $T_n = 273,15$ | K | $T = T_{PR} =$ | 573,15 | K |
| $p_n = 1,013$ | bar | $p_K =$ | 13,762 | bar |
| $w_{p0} = 168,91$ | m / s | | | |

Koeficijent konvektivnog prijelaza topline iznosi :

$$\alpha'_v = 1,72 * (T_m)^{1/4} * f_A * f_z * w_0^{0,61} / d_v^{0,39} \text{ [W / m}^2\text{K]}$$

| | | |
|------------------------------------|--------------------------|--|
| $T_m = 760,60$ | K | <i>srednja temperatura plinova</i> |
| $T_m = (T_{PL,PR} + T_{PL,E}) / 2$ | | |
| $f_A = 1,1$ | | <i>faktor raspodjele cijevi za paralelan raspored cij</i> |
| $f_z = 1$ | | <i>faktor broja redova cijevi</i> |
| $w_0 = 5,154$ | | <i>reducirana brzina strujanja plinova</i> |
| $d_v = 44,5$ | mm | <i>vanjski promjer</i> |
| $\alpha'_v = 90,94$ | $\text{W / m}^2\text{K}$ | <i>koeficijent konvektivnog prijelaza topline s vanjske strane</i> |

Stvarni koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha_V = z * \alpha'_V$$

$$z = 0,75 \quad \text{faktor onečišćenja}$$

$$\alpha_V = 68,20 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

SHACK - ova formula za unutarnji koef. prijelaza topline :

$$\alpha_U = (4,4 + 0,3 * t_{mp} / 100) * w_{p0}^{0,75} / d_U^{0,25} \quad [\text{W / m}^2\text{K}]$$

$$\alpha_U = 541,02 \quad \text{W / m}^2\text{K} \quad \text{koeficijent konvektivnog prijelaza topline s unutarnje strane}$$

Ukupni koeficijent prijelaza topline :

$$k_V = 1 / (1 / \alpha_V + d_V / (d_U * \alpha_U))$$

$$k_V = 59,68 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

Izmjena topline u pregrijaču :

Upotrijebit ćemo protusmjerni izmjenjivač topline (bolja korisnost) :

Razlika temperature uzduž izmjenjivača iznosi :

$$\Delta t_m = (T_2 - T_1) / \ln (T_2 / T_1) \quad [\text{°C}] \quad \text{srednja logaritamska razlika temperatura}$$

$$T_2 = t_{PL,PR} - t_{PR} = 235,00 \text{ °C}$$

$$T_1 = t_{PL,E} - t_Z = 245,78 \text{ °C}$$

$$\Delta t_m = 240,35 \quad \text{°C}$$

$$t_{PL,PR} = 535,00 \quad \text{°C} \quad \text{temperatura na ulazu u pregrijač}$$

$$t_{PL,E} = 440,0 \quad \text{°C} \quad \text{temperatura na ulazu u ekonomajzer}$$

$$t_Z = 194,2 \quad \text{°C} \quad \text{temperatura zasićenja}$$

$$t_{PR} = 300 \quad \text{°C} \quad \text{standardna temperatura pregrijanja za vodocijevne kotlove}$$

$$Q_{PR}^{\circ} = k_V * A_V * Dt_m \quad [\text{W}] \quad \text{ukupna količina topline izmjenjena u pregrijaču}$$

Ogrijevna površina pregrijača pare :

$$A_V = Q_{PR}^{\circ} / (k_V * Dt_m) \quad [\text{m}^2]$$

$$A_V = 197,46 \quad \text{m}^2$$

Broj redova cijevi u uzdužnom smjeru :

$$A_V = n_p * n_U * d_v * p * l_p \text{ [m}^2 \text{]}$$

$$n_U > A_V / (n_p * d_v * p * l_p)$$

$$n_U > 5,62$$

$$n_U = 6$$

Visina pregrijača :

$$h_p = 2 * s_{u1} + s_{u2} + d_v \quad \text{visina pregrijača}$$

$$h_p = 264,50 \quad \text{mm}$$

$$h_p = 300 \quad \text{mm} \quad \text{odabrano}$$

F.2.4 PREGRIJAČ NAPOJNE VODE (EKONOMAJZER)

Ekonomajzer se postavlja na pregrijač pare pa su im osnovne dimenzije jednake

$$t_{PL,E} = 440,0 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura na ulazu u ekonomajzer}$$

$$t_{IZL} = 235 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura plinova izgaranja}$$

$$t_{NV} = 115 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura napojne vode}$$

$$t_E = 165 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura u ekonomajzeru}$$

Dimenzije ekonomajzera :

Duljina $l_E = l_p \text{ [m]}$

$$l_E = 4,8925 \quad \text{m}$$

Širina : $b_E = b_p \text{ [m]}$

$$b_E = 1,8000 \quad \text{m}$$

Dimenzije cijevi : $F 38 \times 2,9$ $d = 38 \quad \text{mm}$
 $s = 2,9 \quad \text{mm}$

Raspored cijevi u ekonomajzeru je uzdužni .

$$s_U = 76 \quad \text{mm} \quad \text{uzdužni korak}$$

$$s_P = 50 \quad \text{mm} \quad \text{poprečni korak}$$

$$n_p < (b_E - d_v) / s_p + 1 \quad \text{broj cijevi u poprečnom smjeru}$$

$$n_p < 36,24$$

$$n_p = 36 \quad \text{cijevi} \quad \text{odabrano}$$

Izmjena topline :

Ukupna količina topline izmijenjena u ekonomajzeru :

$$Q_E^\circ = k * A_E * \Delta t_m \text{ [W]}$$

Izmjena topline je protusmjerna

$$\Delta t_m = (T_2 - T_1) / \ln (T_2 / T_1) \quad \textit{srednja logaritamska razlika temperatura}$$

$$T_2 = t_{PL,E} - t_E$$

$$T_2 = 275,00 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = t_{IZL} - t_{NV}$$

$$T_1 = 120,00 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = 186,91 \quad ^\circ\text{C}$$

$$k = \alpha'_V = 1,72 * (T_m)^{1/4} * f_A * f_Z * w_0^{0,61} / d_V^{0,39} \text{ [W / m}^2\text{K]}$$

(koeficijent prijelaza topline)

$$T_m = (T_{PL,E} + T_{IZL}) / 2 \text{ [K]} \quad \textit{srednja temperatura medija}$$

$$T_m = 610,65 \quad \text{K}$$

Brzina napojne vode :

$$w = (1 - 1,5) \text{ [m / s]} \quad \textit{zahtjevana brzina}$$

$$w'_V = 4 * m_K^\circ * v_E / (d_U^2 * \rho * \eta_p) \text{ [m / s]}$$

$$m_K^\circ = 12,6654 \quad \text{kg / s} \quad \textit{maseni protok kroz kotao}$$

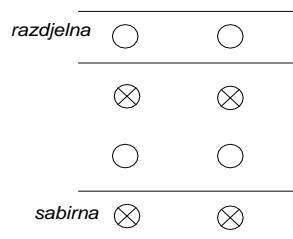
$$v_E = 0,00111 \quad \text{m}^3 / \text{kg} \quad \textit{specifični volumen vode za } t_{NV} \text{ (topl. tablice)}$$

$$d_U = d_V - 2 * d_S \text{ [mm]} \quad \textit{unutarnji promjer cijevi}$$

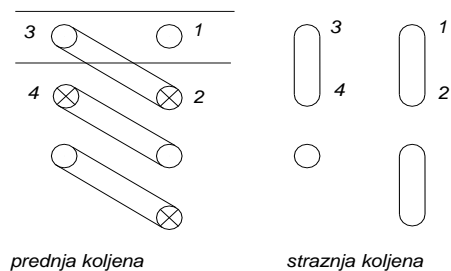
$$d_U = 32,2 \quad \text{mm}$$

$$w'_V = 0,479 \quad \text{m / s} \quad < W_{\text{ZAHTJEVANO}}$$

JEDNOSTAVNI SNOPOVI



DVA SNOPI U JEDAN TOK



Da bi povećao brzinu strujanja vode na zadovoljavajuću vrijednost , vršim spajanje redova cijevi koljenima - po dva reda zajedno . Time se brzina povećava dva puta .

$$w_v = 2 * w'_v$$

$$w_v = 0,958 \text{ m / s}$$

Reducirana brzina strujanja dimnih plinova :

$$w_0 = V_{(n)VL} * m^{\circ}_G / A_G [\text{ m / s }]$$

| | | |
|------------------------|----------------------------|---|
| $V_{(n)VL} = 13,2968$ | m_n^3 / kg | <i>količina vlažnih plinova izgaranja</i> |
| $m^{\circ}_G = 0,8818$ | kg / s | <i>maseni protok goriva</i> |
| $w_0 = 5,5474$ | m / s | |

Relativni korak cijevi :

$$a = s_p / d_v$$

$$a = 1,3158$$

Geometrijski raspoloživa površina za strujanje

$$A_G = b_E * L_E - n_p * d_v * L_E [\text{ m}^2]$$

$$A_G = 2,114 \text{ m}^2$$

Brzina strujanja plinova izgaranja svedena na normno stanje :

$$w = w_0 * (T_E / T_n) * (p_n / p) [\text{ m / s }]$$

| | | | |
|----------------|----------------|----------------|--------------|
| $T_n = 273,15$ | K | $T_E = 523,15$ | K |
| $p_n = 1,013$ | bar | $p = 1$ | bar |
| $w = 10,765$ | m / s | | |

| | |
|-------------|---|
| $f_A = 1,1$ | <i>faktor raspodjele cijevi za paralelne cijevi</i> |
| $f_Z = 1$ | <i>faktor broja redova cijevi</i> |

Stvarni koeficijent konvektivnog prijelaza topline :

$$\alpha_V = z * \alpha'_V$$

faktor onečišćenja

$$z = 0,80$$
$$\alpha'_V = 95,752 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

$$k = \alpha_V = 76,60 \quad \text{W / m}^2\text{K}$$

$$Q^\circ_E = 3405,7 \quad \text{kW} \quad \text{toplina potrebna za predgrijavanje napojne vode u ekonomajzeru}$$

Ogrijevna površina ekonomajzera :

$$A_E = Q^\circ_E / (k * \Delta t_m) \quad [\text{m}^2]$$
$$A_E = 237,869 \quad \text{m}^2$$

Broj redova cijevi u uzdužnom smjeru :

$$A_E = (n_p * n_U - 2 * n_p * n_S) * d_V * p * l_E \quad [\text{m}^2]$$

$$n_S = 0,5 \quad \text{broj odvojenih snopova u jednom cijevnom snopu}$$

$$n_U = A_E / (n_p * d_V * p * l_E) + 2 * n_S$$

$$n_U > 9,313$$

$$n_U = 10 \quad \text{cijevi} \quad \text{odabrano}$$

Visina ekonomajzera :

$$h_E = 9 * s_U + d_V$$

$$h_E = 722 \quad \text{mm}$$

$$h_E = 750 \quad \text{mm} \quad \text{odabrano}$$

F.3 ELEMENTI POD TLAKOM

F.3.1 OPĆE ODREDBE

Proračunski tlak za određivanje čvrstoće pojedinih dijelova kotla, izmjenjivača topline :
i posuda pod tlakom mora biti jednak radnom tlaku medija :

$$p_p = p_k = 13,762 \text{ bar}$$

Proračunska temperatura :

1. Stijenke kotlova i ekonomajzera

Negrijani plaštevci kotla, cijevne ploče, dna, sabirnici komore i cijevi :

$$t_m = t_z = t_p = 194,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Plaštevci kotla, dna, sabirnici, komore, cijevi, zagrijavani vrućim plinovima i zaštićeni od direktnog djelovanja topline zračenja :

$$t_p = t_m + 30 = 224,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sabirnici, komore, glatke plamenice i plamene komore izložene djelovanju topline zračenja

$$t_p = t_m + 90 = 284,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Stijenke pregrijača pare

Negrijani sabirnici i cijevi na temp. Pare do 450 °C :

$$t_p = t_{pr} + 25 = 325 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Negrijane stijenke :

1. Stijenke odvojene od ložišta ili dimovoda vatrostalnom izolacijom , gdje razmak između stijenke i

$$300$$

2. Stijenke zaštićene vatrostalnom izolacijom koja nije izložena djelovanju topline zračenja .

Stijenke zaštićene od djelovanja topline zračenja su one koje zadovoljavaju jedan od slijedećih uvjeta :

- a) zaštićene su vatrostalnom izolacijom
- b) zaštićene su cijevnim redom (s razmakom između cijevi do 3 mm)
- c) zaštićene su sa dva reda cijevi, cik - cak rasporedom s uzdužnim korakom jednakim najviše 2,5 vanjskih promjera cijevi

3. Kotlovi s neizoliranim stijenkama debljim od 20 mm , zagrijavanim dimnim plinovima, koriste se do temperature od 800 °C .

F.3.2 KARAKTERISTIKE MATERIJALA I DOPUŠTENA NAPREZANJA

1. Proračunske karakteristike čelika :

Granica razvlačenja R_{eH} pri temperaturi od 20 °C ili uvjetna granica razvlačenja R_{p02} pri temperaturama od 50 °C

Minimalna granica razvlačenja $R_{el/t}$ pri proračunskoj temperaturi (za proračunske temperature 50 - 350 °C)

2. Dopušteno naprezanje :

$$s_d = R / n \text{ [N / mm}^2 \text{]}$$

R ... karakteristika materijala

n ... koeficijent sigurnosti

a) za kotlovski čelik koristi se lim 1. kategorije :

$$\begin{aligned} S &= 1,7 \\ R_{eH} &= 205 \text{ N / mm}^2 \\ s_d &= 120,59 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

b) za parni bubanj i vodnu komoru :

$$\begin{aligned} R_{el,tz} &= 177 \text{ N / mm}^2 \\ s_d &= 104,12 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

c) za sabirne cijevi kotla i ekonomajzera :

$$\begin{aligned} R_{el,t} &= 183 \text{ N / mm}^2 \\ s_d &= 107,65 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

d) za sabirne cijevi pregrijača pare :

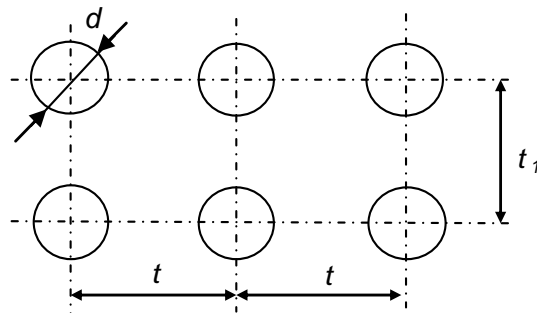
$$\begin{aligned} R_{el,s,t} &= 127,5 \text{ N / mm}^2 \\ s_d &= 75 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

F.3.3 KOEFICIJENTI OSABLJENJA ZAVARENIH SPOJEVA

Koeficijenti osabljenja valjkastih stijenki, oslabljenih otvorima, jednakog promjera, mora biti jednak najmanjoj od slijedećih vrijednosti :

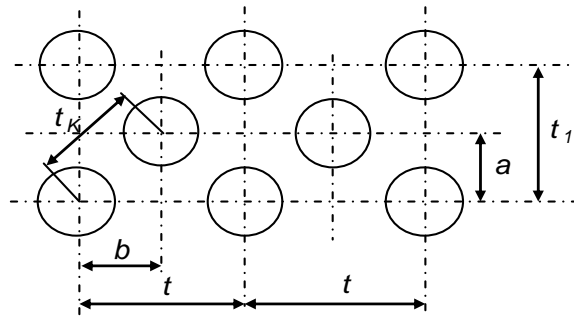
1. Koeficijent osabljenja valjkastih stijenki, oslabljenih uzdužnim nizom otvora ili poljem otvora s jednakim korakom :

$$y = (t - d) / t_1$$



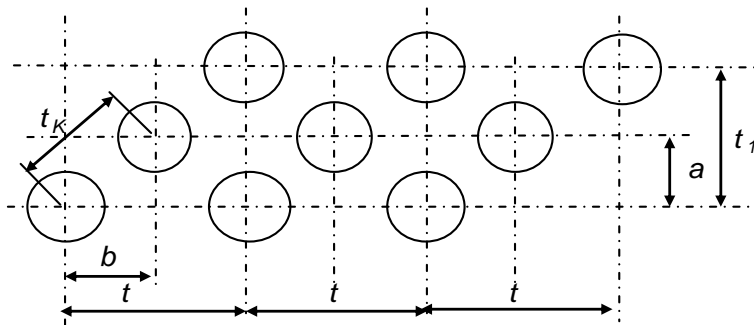
2. Koeficijent oslabljenja sveden na uzdužni smjer valjkastih stijenki oslabljenih poprečnim nizom otvora ili poljem otvora s jednakim korakom :

$$y = 2 * (t_1 - d) / t_1$$



3. Koeficijent oslabljenja sveden na uzdužni smjer valjkastih stijenki oslabljenih otvorima raspoređenim u obliku šahovskog rasporeda otvora :

$$y = n * (t_k - d) / t_k$$



Kotlovi , pregrijači i spremnici pare s tlakom $p > 0,35$ MPa spadaju u klasu I pa je $y = 0,9$

1. Parni bubanj, vodna komora i I. isparivački snop :

$$a = 38 \quad \text{mm}$$

$$b = 76 \quad \text{mm}$$

$$F = 51 \times 3,2$$

$$d_v = 51 \quad \text{mm}$$

$$d = 3,2 \quad \text{mm}$$

$$d_U = 44,6 \quad \text{mm}$$

$$b/a = 2 \quad \gggggg \quad n = 1,41$$

$$t_k = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$t_k = 84,97 \quad \text{mm}$$

$$y_3 = n * (t_k - d_U) / t_k$$

$$y_3 = 0,67$$

II. Isparivački snop :

$$a = 28,5 \quad \text{mm}$$

$$b = 57 \quad \text{mm}$$

$$F = 38 \times 2,9$$

$$d_V = 38 \quad \text{mm}$$

$$d = 2,9 \quad \text{mm}$$

$$d_U = 32,2 \quad \text{mm}$$

$$b/a = 2 \quad \gggggg \quad n = 1,41$$

$$t_K = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$t_K = 63,73 \quad \text{mm}$$

$$y_3 = n * (t_K - d_U) / t_K$$

$$y_3 = 0,698$$

2. Sabirne i razdjelne cijevi kotla i ekonomajzera:

Sabirna cijev kotla :

$$F = F 51 \times 2,6$$

$$d_V = 51 \quad \text{mm}$$

$$d = 2,6 \quad \text{mm}$$

$$d_U = 45,8 \quad \text{mm}$$

$$t = t_1 = 52 \quad \text{mm}$$

$$y = (t - d_U) / t_1$$

$$y = 0,119$$

Ekonomajzer :

$$F = 38 \times 2,9$$

$$d_V = 38 \quad \text{mm}$$

$$d = 2,9 \quad \text{mm}$$

$$d_U = 32,2 \quad \text{mm}$$

$$s_p = 50 \quad \text{mm}$$

$$s_U = 76 \quad \text{mm}$$

$$t_1 = s_U = 76 \quad \text{mm}$$

$$t = s_p = 50 \quad \text{mm}$$

$$y = (t - d_U) / t_1$$

$$y = 0,234$$

3. Sabirne i razdjelne cijevi pregrijača pare :

$$\begin{aligned}
 F &= 44,5 \times 2,6 \\
 d_v &= 44,5 \quad \text{mm} \\
 d &= 2,6 \quad \text{mm} \\
 d_u &= 39,3 \quad \text{mm} \\
 s_p &= 60 \quad \text{mm} \\
 s_u &= 60 \quad \text{mm} \\
 t_1 = s_u &= 60 \quad \text{mm} \\
 t = s_p &= 60 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= (t - d_u) / t_1 \\
 y &= 0,345
 \end{aligned}$$

Povećanje proračunskih debljina zbog djelovanja korozije iznosi 1 mm.

F.3.4 VALKASTI I KUGLASTI ELEMENTI I CIJEVI

To su elementi izloženi djelovanju unutarnjeg tlaka .

Zahtjevi vrijede za slijedeće uvjete :

$$\begin{aligned}
 D_v / D_u < 1,6 & \quad \text{za valjkaste cijevi} \\
 D_v / D_u < 1,7 & \quad \text{za cijevi} \\
 D_v / D_u < 1,2 & \quad \text{za kuglaste stijenke}
 \end{aligned}$$

Valjkaste stijenke sa $D_v < 200$ mm smatraju se cijevima .

Debljina valjkaste stijenke i cijevi ne smije biti manja od vrijednosti dobivenih jednadžbom :

$$s > D_v * p / (2 * s_d * y + p) + c \text{ [mm]} \quad \text{za valjkaste stijenke i cijevi}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ [mm]} & \quad \text{debljina stijenke} \\
 D_v \text{ [mm]} & \quad \text{vanjski promjer} \\
 c \text{ [mm]} & \quad \text{dodatak zbog korozije} \\
 p \text{ [MPa]} & \quad \text{proračunski tlak} \\
 s_d \text{ [N / mm}^2 \text{]} & \quad \text{dopušteno naprezanje}
 \end{aligned}$$

a) debljina stijenke parnog bubnja

$$\begin{aligned}D_V &= 1400 && \text{mm} \\p &= 1,3762 && \text{MPa} \\s_d &= 104,118 && \text{N / mm}^2 \\c &= 2 && \text{mm} \\y &= 0,670 \\s_{PB} &> 15,676 && \text{mm} \\s_{PB} &= 16 && \text{mm}\end{aligned}$$

b) debljina stijenke vodne komore

$$\begin{aligned}D_V &= 1000 && \text{mm} \\p &= 1,3762 && \text{MPa} \\s_d &= 104,118 && \text{N / mm}^2 \\c &= 2 && \text{mm} \\y &= 0,670 \\s_{VK} &> 11,769 && \text{mm} \\s_{VK} &= 12 && \text{mm}\end{aligned}$$

c) debljina stijenke sabirnih i razdjelnih cijevi ložišta

$$\begin{aligned}D_V &= 159 && \text{mm} && \text{prema " Strojarski priručnik ", str. 435.} \\p &= 1,3762 && \text{MPa} \\s_d &= 107,647 && \text{N / mm}^2 \\c &= 1,500 && \text{mm} \\y &= 0,119 \\s_{SK} &> 9,605 && \text{mm}\end{aligned}$$

Strojarski priručnik $s_{SK} = 10,0$ mm
str. 435. ISO standard

d) debljina stijenke sabirnih i razdjelnih cijevi ekonomajzera

$$\begin{aligned}D_V &= 216 && \text{mm} && \text{prema " Strojarski priručnik ", str. 435.} \\p &= 1,3762 && \text{MPa} \\s_d &= 107,647 && \text{N / mm}^2 \\c &= 1,5 && \text{mm} \\y &= 0,234 \\s_{SE} &> 7,239 && \text{mm}\end{aligned}$$

Strojarski priručnik
str. 435. ISO standard
 $s_{SE} = 8$ mm
F 216 x 8

e) debljina stijenke sabirnih i razdjelnih cijevi pregrijača pare

$$\begin{aligned}D_V &= 216 && \text{mm} && \text{prema " Strojarski priručnik ", str. 435.} \\p &= 1,3762 && \text{MPa} \\s_d &= 75 && \text{N / mm}^2 \\c &= 1,5 && \text{mm} \\y &= 0,345 \\s_{SP} &> 7,095 && \text{mm}\end{aligned}$$

Strojarski priručnik

str. 435. ISO standard

$$\begin{aligned}s_{SP} &= 8 && \text{mm} \\&F 216 \times 8\end{aligned}$$

F.3.5 RAVNE STIJENKE DNA I POKLOPCI

Debljina stijenki ravnih i neukručenih dna i poklopaca ne smije biti manja od vrijednosti dobivenih jednadžbom :

$$s > A * D_U (p / s_d)^{1/2} + c \text{ [mm]}$$

$$A = 0,5 \quad \text{proračunski koeficijent}$$

c ... dodatak na koroziju

p ... proračunski tlak

sd ... dopušteno naperzanje

D_u ... unutarnji promjer stijenke

a) debljina stijenke ravnog dna sabirne i razdjelne cijevi ložišta

$$\begin{aligned}D_U &= D_V - 2 * s_{SK} \\D_U &= 139,0 && \text{mm} \\s_{SL} &> 9,358 && \text{mm} \\s_{SL} &= 10 && \text{mm}\end{aligned}$$

b) debljina stijenke ravnog dna pregrijača pare

$$\begin{aligned}D_U &= D_V - 2 * s_{SP} \\D_U &= 200 && \text{mm} \\s_{SP} &> 15,046 && \text{mm} \\s_{SP} &= 16 && \text{mm}\end{aligned}$$

c) debljina stijenke ravnog dna sabirne i razdjelne cijevi ekonomajzera

$$\begin{aligned}D_U &= D_V - 2 * s_{SE} \\D_U &= 200 && \text{mm} \\s_E &> 12,807 && \text{mm} \\s_E &= 13 && \text{mm}\end{aligned}$$

F.3.6 ISPUPČENA DNA

Debljina ispupčenih dna bez ili sa otvorim izloženih djelovanju vanjskog ili unutarnjeg tlaka, ne smije biti manja od vrijednosti dobivenih jednadžbom :

$$s > D_v * p * Y / (4 * s_d * y) + c \text{ [mm]}$$

$$R_U = 0,8 * D_v \gg Y = 2,0$$

a) debljina ispupčenog dna parnog bubnja

| | | | |
|------------------|------------|---------------|----|
| $D_v = 1400$ | mm | $y = 0,670$ | |
| $p = 1,3762$ | MPa | $Y = 2$ | |
| $s_d = 104,118$ | N / mm^2 | $c = 2$ | mm |
| $s_{PB} = 15,81$ | mm | $s_{PB} = 16$ | mm |

b) debljina ispupčenog dna vodne komore

| | | | |
|-------------------|------------|---------------|----|
| $D_v = 1000$ | mm | $y = 0,670$ | |
| $p = 1,3762$ | MPa | $Y = 2$ | |
| $s_d = 104,118$ | N / mm^2 | $c = 2$ | mm |
| $s_{VK} = 11,865$ | mm | $s_{VK} = 12$ | mm |

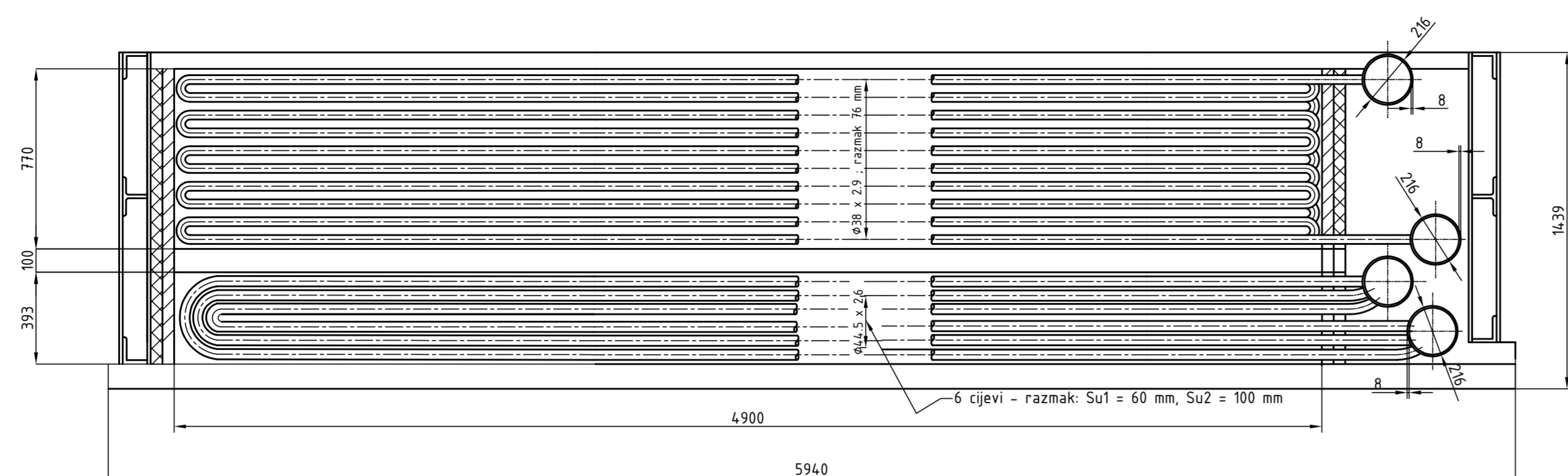
LITERATURA

- [1] Predložak za vježbe iz kolegija Pogon broda 1
- [2] Significant Ships of 2007.
- [3] Proizvođač motora MAN B&W
- [4] Halasz, B., Galović, A., Boras, I. : Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [5] Hrvatski registar brodova
- [6] Galović, A. : Termodinamika 1, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2008.
- [7] Šneller, S. : Pogon broda 1, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1996.
- [10] Halasz, B. : Mollierov h,s-dijagram za vodenu paru, Podaci prema IAPWS-IF97,
- [11] Kraut, B. : Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.
- [12] Proizvođač brodskih kotlova i opreme parnog postrojenja „Riello“
- [13] www.propisi.hr

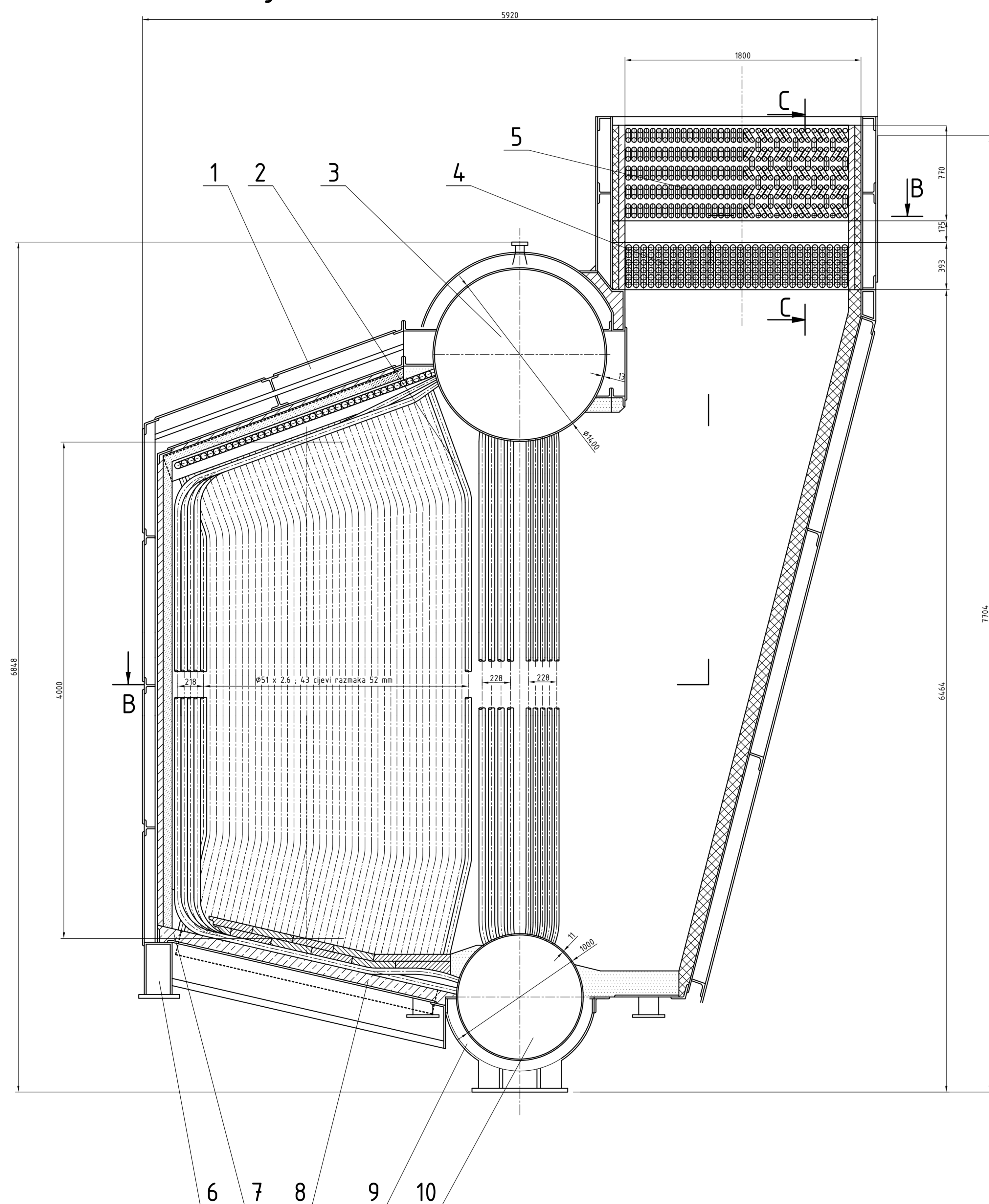
PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

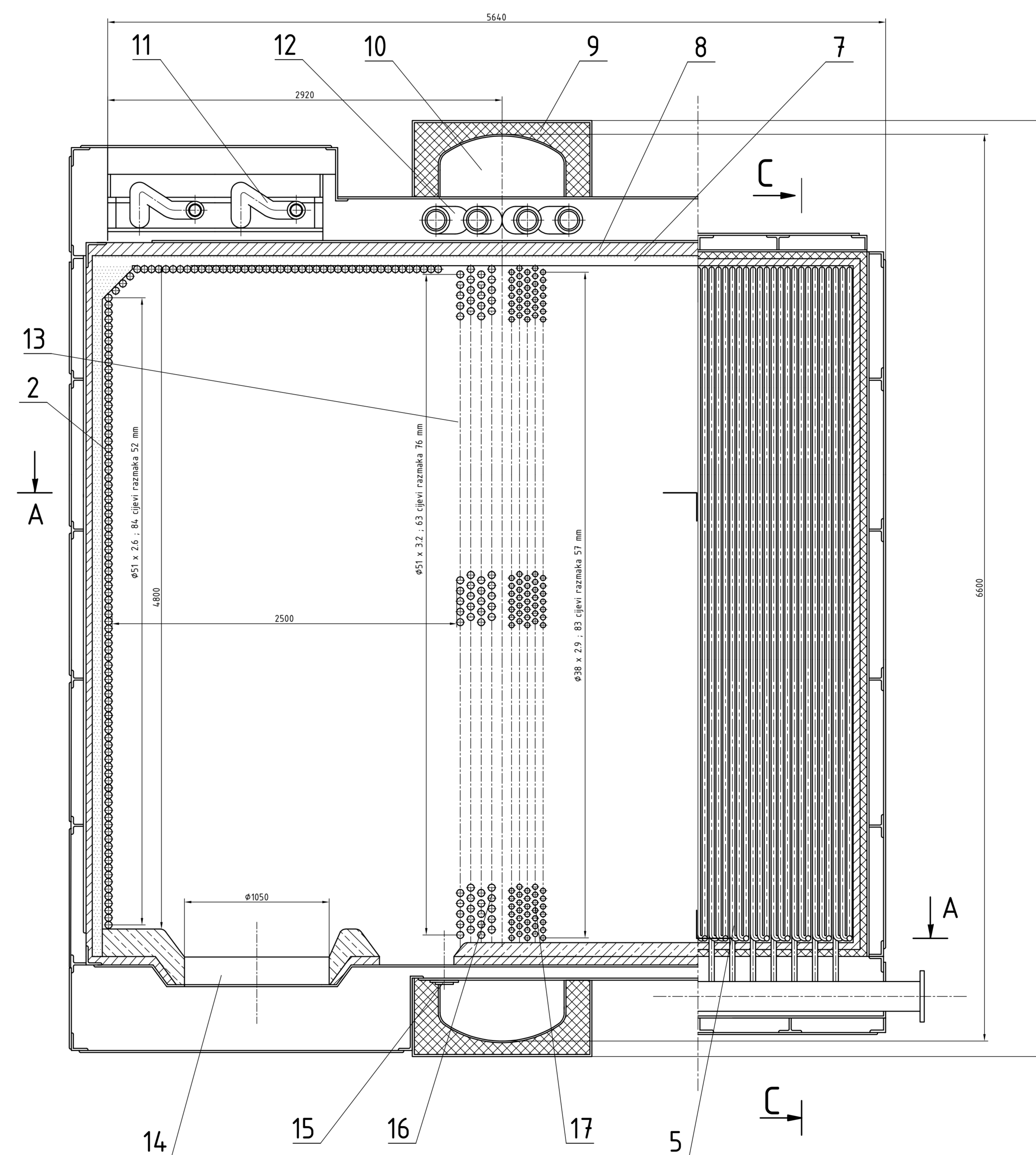
Presjek C-C



Presjek A-A



Presjek B-B



| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------------|-----------|---------------|----------|-------|------------|---------------|--|-------|--|--|--|
| 17 | II. Isparivački snop Ø38 x 2,9; ukupno 415 cijevi | | | | | | | | | | | | |
| 16 | I. Isparivački snop Ø51 x 3,2; ukupno 252 cijevi | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Nadgledni otvor | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Ležište plamenika Ø1050 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Odvodnjavanje pada | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Strujne cijevi vodne komore i parnog bubnja | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Strujne cijevi podne sabirne komore | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Vodna komora Ø1000 x 6600 x 11 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Izolacija vodne komore (Ca-Si) | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Izolacija od visokih temperatura | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Samofna opeka | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Postojeći parnog kotla | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Cijevi ekonomajzera Ø38 x 2,9; ukupno 360 cijevi | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Cijevi pregrijiva pare Ø44,5 x 2,6; ukupno 180 cijevi | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Parna bušavica Ø1000 x 6600 x 13 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Ekranske cijevi Ø51 x 2,6; ukupno 127 cijevi | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Sabirne i razdjelne komore | | | | | | | | | | | | |
| Naziv dijela | | | | | | | | | | | | | |
| 001 - 101 | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>Konstruirao</td> <td>Datum</td> <td>Ize i preuzeo</td> <td>Poljupis</td> </tr> <tr> <td>Ertao</td> <td>28.02.2016</td> <td>Peevsh Gungah</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Dobro</td> </tr> </table> | | Konstruirao | Datum | Ize i preuzeo | Poljupis | Ertao | 28.02.2016 | Peevsh Gungah | | Dobro | | | |
| Konstruirao | Datum | Ize i preuzeo | Poljupis | | | | | | | | | | |
| Ertao | 28.02.2016 | Peevsh Gungah | | | | | | | | | | | |
| Dobro | | | | | | | | | | | | | |
| Mastilo | | Masa | List: 1 | | | | | | | | | | |
| 1:20 | Parni kotao D-tip | | Ukupno: 1 | | | | | | | | | | |

FSB Zagreb

A

B

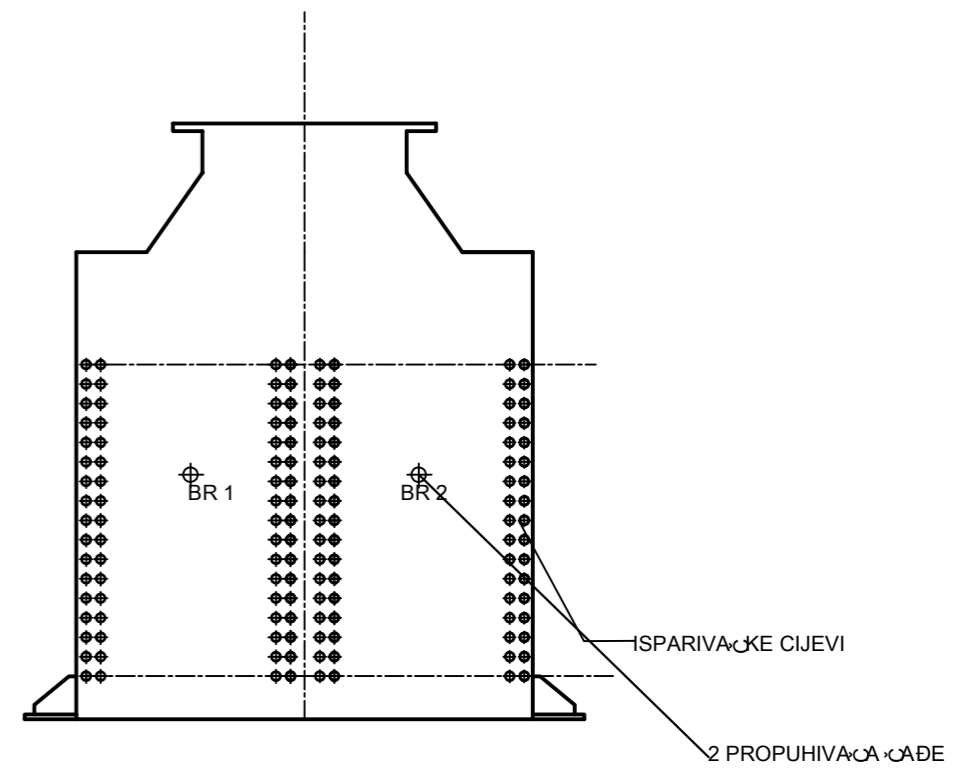
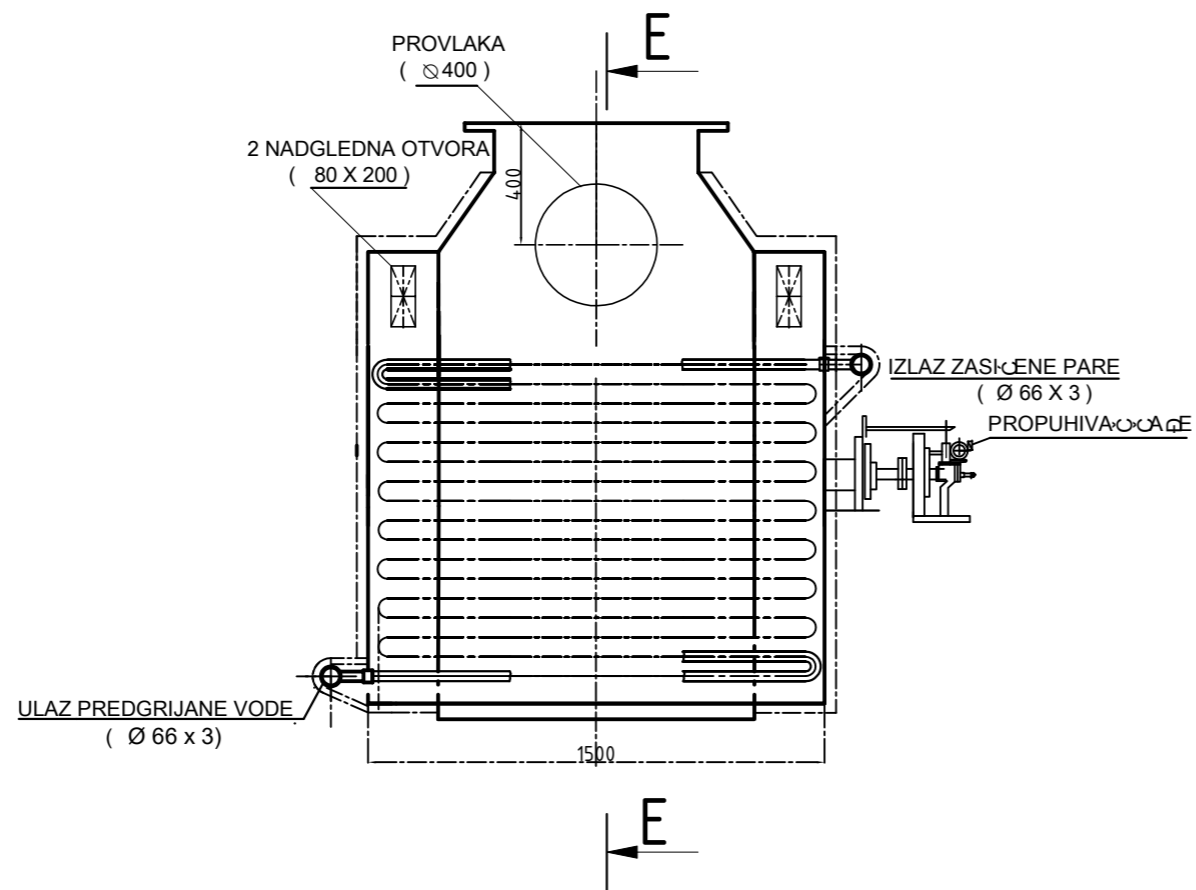
C


D

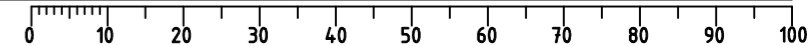
E

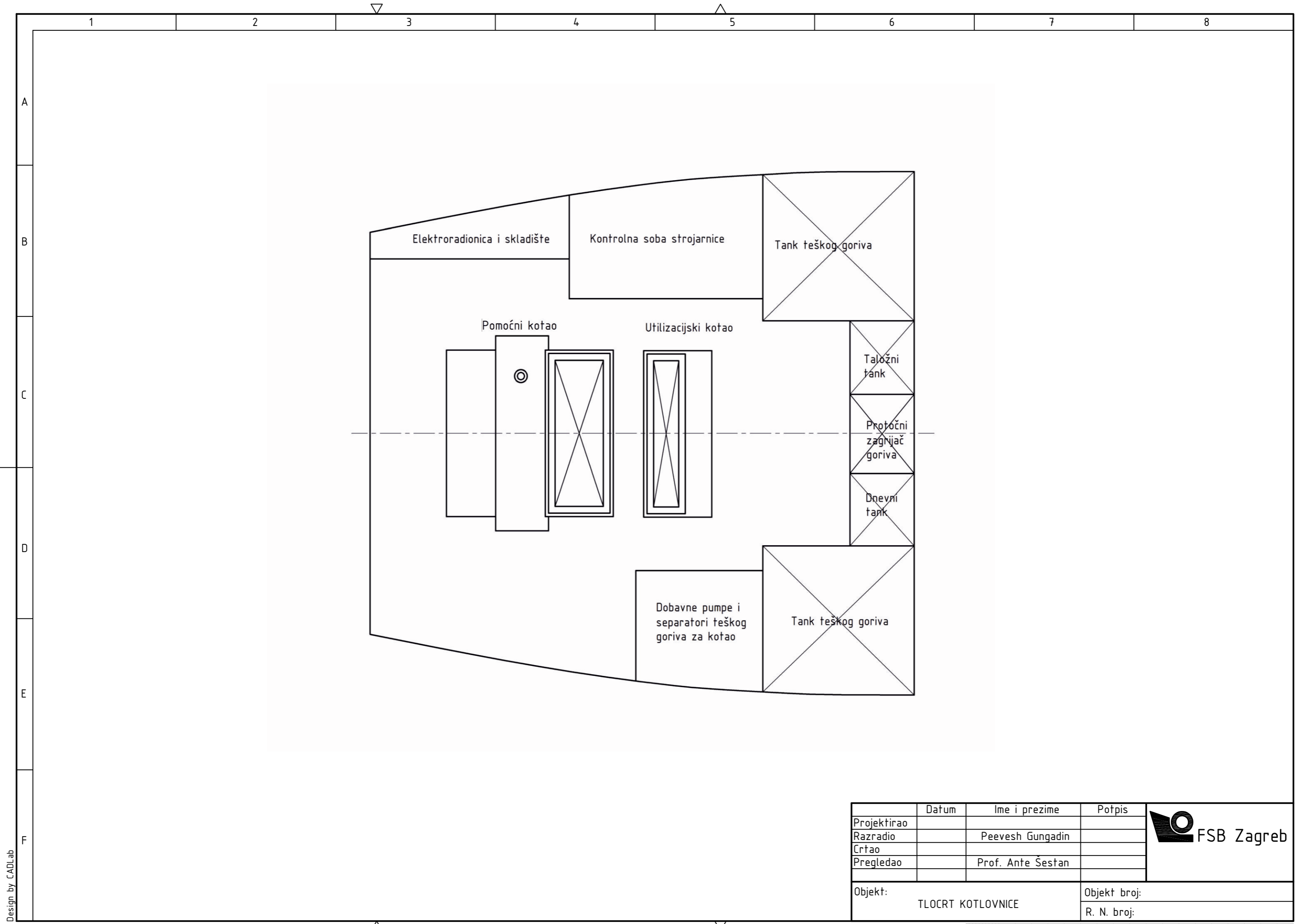
F

Design by CADLab

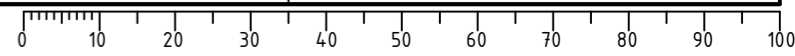
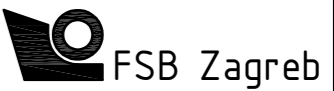


| | | | | | |
|-------------|---------------------|-----------------|--------|---|----------|
| | Datum | Prezime i ime | Potpis | | |
| Konstruirao | | | |  | |
| Crtao | | Peevsh Gungadin | | | |
| Odobrio | | | | | |
| Mjerilo : | (naziv crteza) | | | Ukupna masa : | |
| 1:20 | UTILIZACIJSKI KOTAO | | | List : | Ukupno : |
| | | | | 001 - 102 | |

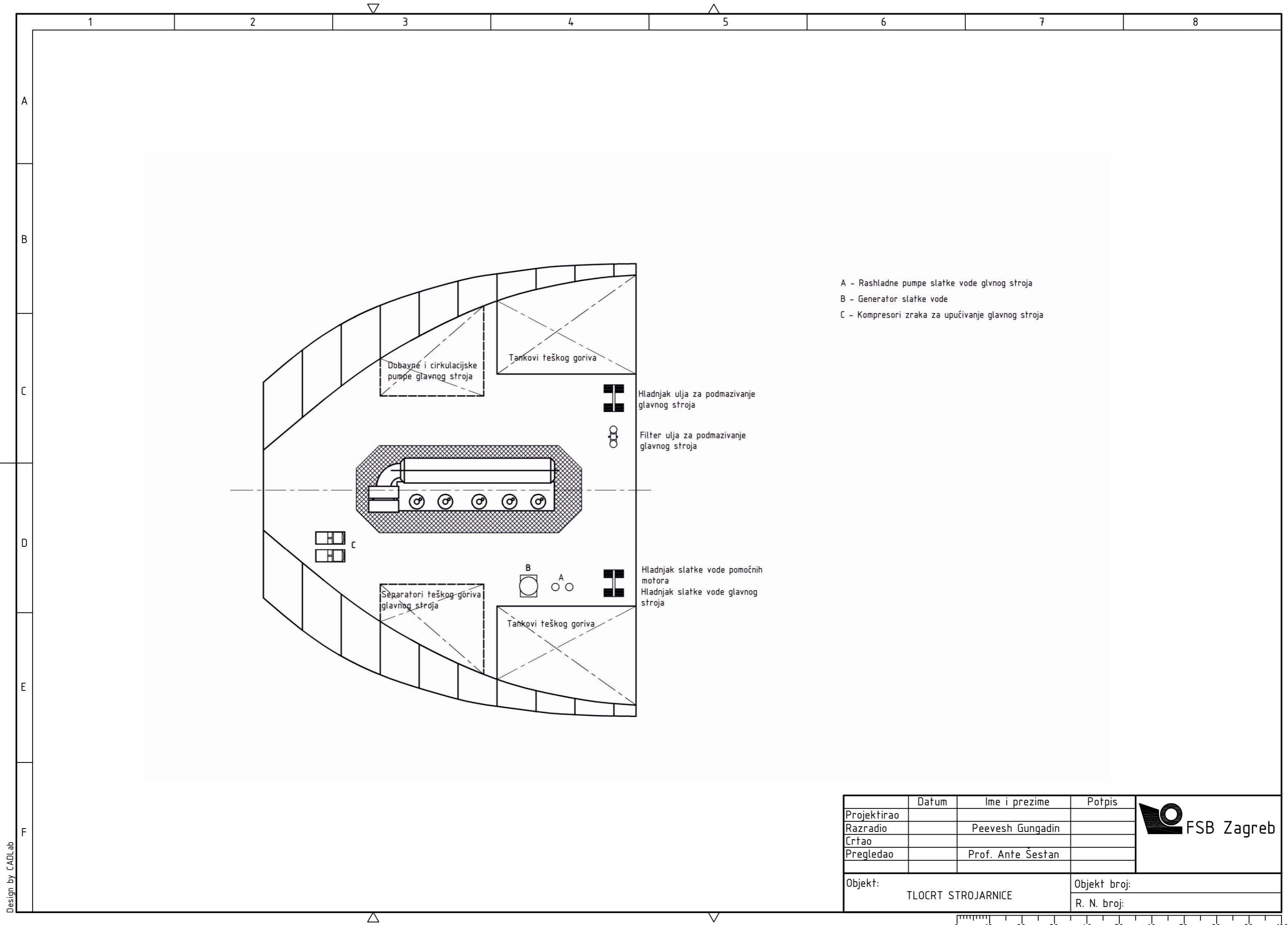




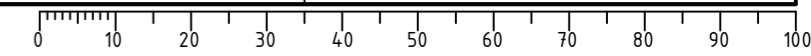
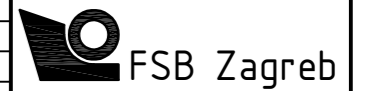
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |
|---------------------------|-------|-------------------|--------------|
| Projektirao | | | |
| Razradio | | Peevesh Gungadin | |
| Crtao | | | |
| Pregledao | | Prof. Ante Šestan | |
| Objekt: TLOCRT KOTLOVNICE | | | Objekt broj: |
| | | | R. N. broj: |



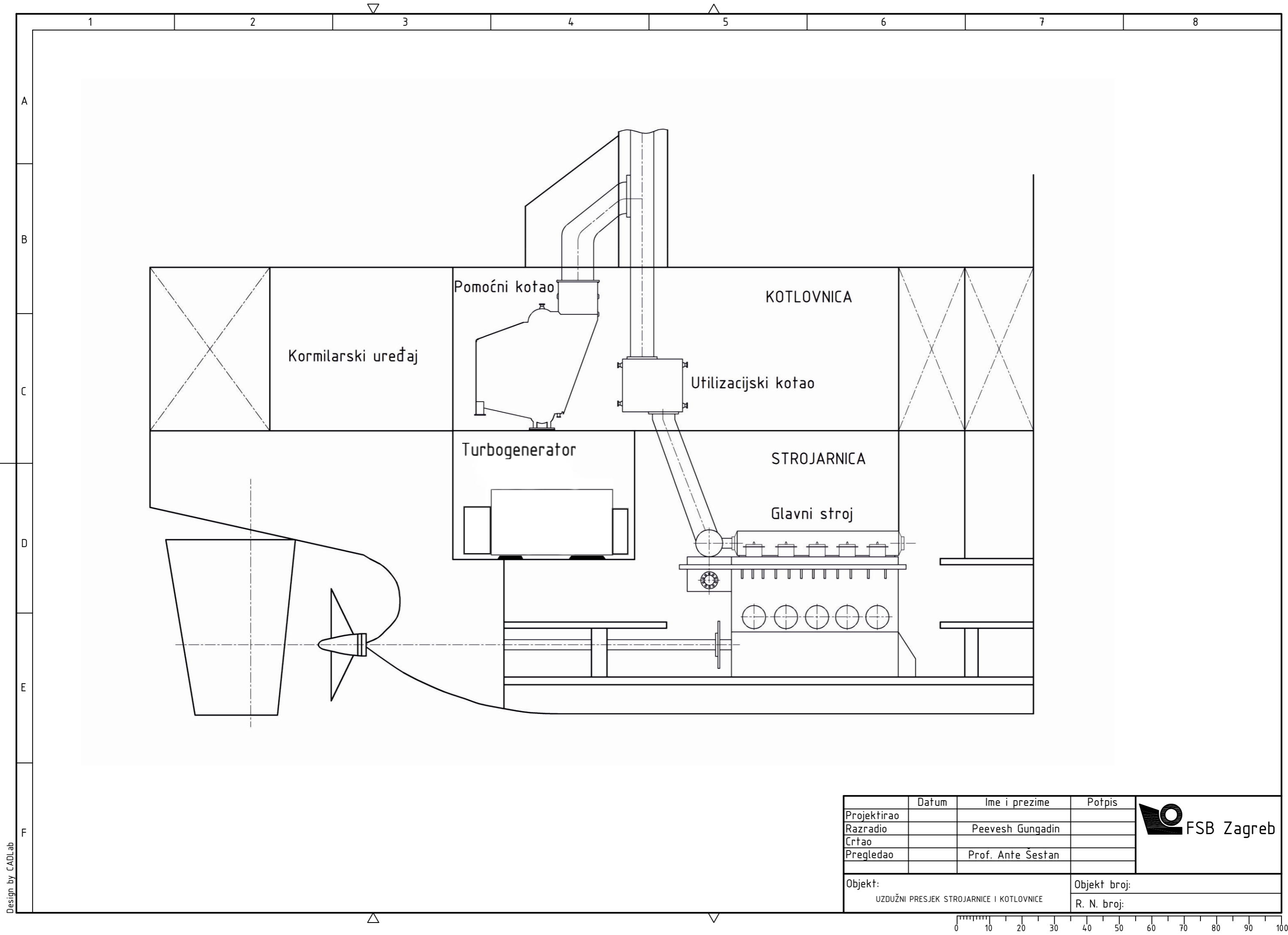
Design by CADLab



| | Datum | Ime i prezime | Potpis |
|----------------------------|-------|-------------------|--------------|
| Projektirao | | | |
| Razradio | | Peevesh Gungadin | |
| Crtao | | | |
| Pregledao | | Prof. Ante Šestan | |
| Objekt: TLOCRT STROJARNICE | | | Objekt broj: |
| | | | R. N. broj: |



Design by CADLab



Design by CADLab

| Projekтираo | Datum | Ime i prezime | Potpis |
|---|-------|-------------------|-----------------------------|
| Razradio | | Peevesh Gungadin | |
| Crtao | | | |
| Pregledao | | Prof. Ante Šestan | |
| Objekt: UZDUŽNI PRESJEK STROJARNICE I KOTLOVNICE | | | Objekt broj: R. N. broj: |



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100