

# Uređaj za zagrijavanje bazenske vode

---

**Banić, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2009**

*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:235:686717>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## **DIPLOMSKI RAD**

Mentor

Prof.dr.sc.Srećko Švaić

Luka Banić

Zagreb,2009.

Izjavljujem da sam rad radio samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studija i nevedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Srećku Švaiću na pomoći pri izradi rada.  
Zahvaljujem se prof.dr.sc Ivanki Boras na pomoći pri izradi rada.

Luka Banić

## SAŽETAK

U ovom radu je prikazana konstrukcija uređaja za zagrijavanje bazenske vode volumena bazena 40 m<sup>3</sup> koji se sastoji od dva izmjenjivača topline snage 12 kW, tipa cijevi u bubnju (Shell&tube), izrađenih iz nehrđajućeg čelika te proračunatih na radni tlak 5 bar pretlaka. Jedan se izmjenjivač priključuje na krug solarnog (30/27°C), a drugi na krug kotlovske grijanja (70/50°C).

Prilikom konstrukcije uređaja, za svaki izmjenjivač je proveden: termodinamički i hidraulički proračun te proračun čvrstoće.

Nakon provedenog termodinamičkog proračuna, dobiven je podatak o veličini aparata te je odlučeno umjesto dva identična konstruirati dva različita aparata po gabaritima.

Oba aparata imaju 4 prolaza sa 20 cijevi u jednom prolazu. Cijevi su kružnog presjeka, poredane u snop, trokutnog rasporeda te zavarene u cijevnu stijenku. Kroz cijevi oba aparata struji bazenska voda (22/25°C), a oko cijevi smjesa vode i propilen-glikola (solarni krug) i voda (kotlovski krug).

U plaštu aparata priključenog na krug solarnog grijanja stavljene su pregrade koje usmjeravaju fluid oko poprečno nastrojanih cijevi i povećavaju njegovu brzinu te na taj način pospješuju izmjenu topline, dok je kod drugog aparata odlučeno ne stavljati pregrade jer bi se s pregradama dobila mala površina i stoga ne bi bilo isplativo graditi takav aparat.

Provedenim proračunom čvrstoće osigurano je da aparati svojom konstrukcijom izdrže sve radne uvjete koji se u eksploataciji mogu pojaviti.

U radu je prikazan sklopni crtež uređaja, sklopni crtež oba izmjenjivača topline te pripadajući radionički crteži izmjenjivača.

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>8</b>
<b>POPIS OZNAKA.....</b>	<b>9</b>
<b>1.UVOD.....</b>	<b>16</b>
<b>2.TERMODINAMIČKI PRORAČUN.....</b>	<b>19</b>
2.1. VRIJEME POTREBNO ZA ZAGRIJAVANJE BAZENA.....	19
2.1.1. Fizikalna svojstva bazenske vode.....	19
2.1.2. Protočni volumen bazenske vode.....	20
2.2. TERMODINAMIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA.....	20
2.2.1. Srednja logaritamska razlika temperatura.....	21
2.2.2. Odabir cijevi.....	21
2.2.3. Prijelaz topline na strani primara.....	21
2.2.3.1. <i>Fizikalna svojstva smjese vode i propilen-glikola.....</i>	21
2.2.3.2. <i>Maseni protok primara.....</i>	22
2.2.3.3. <i>Koeficijent prijelaza topline.....</i>	22
2.2.3.4. <i>Provjera ekvivalentne brzine u plaštu.....</i>	24
2.2.4. Prijelaz topline na strani sekundara.....	25
2.2.4.1. <i>Maseni protok sekundara.....</i>	25
2.2.4.2. <i>Potreban broj cijevi u jednom prolazu.....</i>	25
2.2.4.3. <i>Stvarna brzina u cijevima.....</i>	26
2.2.4.4. <i>Koeficijent prijelaza topline.....</i>	26
2.2.5. <i>Provjera pretpostavljenih temperatura stijenki cijevi.....</i>	27
2.2.6. <i>Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi.....</i>	30
2.2.7. <i>Dimenzioniranje izmjenjivača.....</i>	30
2.2.7.1. <i>Potrebna površina izmjenjivača.....</i>	30
2.2.7.2. <i>Duljina cijevi izmjenjivača.....</i>	30
2.2.7.3. <i>Promjer plašta.....</i>	30

2.2.8. Dimenzioniranje priključaka na izmjenjivaču.....	32
2.2.8.1. Cijevni nastavci na plaštu.....	32
2.2.8.2. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na plaštu.....	33
2.2.8.3. Cijevni nastavci na podnici.....	33
2.2.8.4. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na podnici.....	34
2.3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA.....	34
2.3.1. Srednja logaritamska razlika temperatura.....	34
2.3.2. Odabir cijevi.....	35
2.3.3. Prijelaz topline na strani primara.....	35
2.3.3.1. Fizikalna svojstva vode.....	35
2.3.3.2. Maseni protok primara.....	36
2.3.3.3. Koeficijent prijelaza topline.....	36
2.3.4. Prijelaz topline na strani sekundara.....	38
2.3.4.1. Fizikalna svojstva bazenske vode.....	38
2.3.4.2. Maseni protok sekundara.....	38
2.3.4.3. Potreban broj cijevi u jednom prolazu.....	38
2.3.4.4. Stvarna brzina u cijevima.....	39
2.3.4.5. Koeficijent prijelaza topline.....	39
2.3.5. Provjera pretpostavljene temperature stijenke cijevi.....	40
2.3.6. Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi.....	41
2.3.7. Dimenzioniranje izmjenjivača.....	42
2.3.7.1. Potrebna površina izmjenjivača.....	42
2.3.7.2. Duljina izmjenjivača.....	42
2.3.7.3. Promjer plašta.....	42
2.3.8. Dimenzioniranje priključaka na izmjenjivaču.....	43
2.3.8.1. Cijevni nastavci na plaštu.....	43
2.3.8.2. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na plaštu.....	44
2.3.8.3. Cijevni nastavci na podnici.....	45
2.3.8.4. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na podnici.....	45
<b>3. HIDRAULIČKI PRORAČUN.....</b>	<b>47</b>
3.1. HIDRAULIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA.....	47

3.1.1. Pad tlaka na strani primara.....	47
3.1.1.1. <i>Pad tlaka u priključcima</i> .....	47
3.1.1.2. <i>Pad tlaka u krajnjoj zoni i međuzoni</i> .....	48
3.1.1.3. <i>Pad tlaka u uzdužnoj zoni</i> .....	50
3.1.1.4. <i>Ukupni pad tlaka</i> .....	52
3.1.2. Pad tlaka na strani sekundara.....	52
3.1.2.1. <i>Pad tlaka uslijed promjene presjeka strujanja</i> .....	52
3.1.2.2. <i>Pad tlaka uslijed strujanja kroz cijev</i> .....	52
3.1.2.3. <i>Ukupni pad tlaka</i> .....	53
3.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA.....	53
3.2.1. Pad tlaka na strani primara.....	53
3.2.1.1. <i>Pad tlaka u priključcima</i> .....	54
3.2.1.2. <i>Pad tlaka duž snopa cijevi</i> .....	54
3.2.1.3. <i>Ukupni pad tlaka</i> .....	54
3.2.2. Pad tlaka na strani sekundara.....	55
3.2.2.1. <i>Pad tlaka uslijed promjene presjeka strujanja</i> .....	55
3.2.2.2. <i>Pad tlaka uslijed strujanja kroz cijev</i> .....	55
3.2.2.3. <i>Ukupni pad tlaka</i> .....	56
<b>4. PRORAČUN ČVRSTOĆE.....</b>	<b>57</b>
4.1. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA.....	57
4.1.1. Vrsta i klasa posude pod tlakom.....	57
4.1.1.1. <i>Vrsta posude pod tlakom</i> .....	57
4.1.1.2. <i>Klasa posude pod tlakom</i> .....	58
4.1.2. Proračun cilindričnog plašta.....	58
4.1.3. Proračun i izbor podnica izvrnutih djelovanju unutrašnjeg tlaka.....	60
4.1.3.1. <i>Izbor i proračun podnice bez izreza</i> .....	60
4.1.3.2. <i>Izbor i proračun podnice sa izrezima</i> .....	62
4.1.4. Proračun cijevne stijenke.....	63
4.1.5. Proračun vijaka.....	65
4.1.5.1. <i>Proračun sila u vijku</i> .....	66
4.1.5.2. <i>Proračun promjera vijaka</i> .....	66
4.1.6. Proračun prirubnice za privarivanje.....	67
4.2. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA.....	69
4.2.1. Vrsta i klasa posude pod tlakom.....	69

4.2.2. Proračun cilindričnog plašta.....	69
4.2.3. Proračun i izbor podnica izvrgnutih djelovanju unutrašnjeg tlaka.....	71
4.2.3.1. <i>Izbor i proračun podnice bez izreza</i> .....	71
4.2.3.2. <i>Izbor i proračun podnice sa izrezima</i> .....	73
4.2.4. Proračun cijevne stijenke.....	74
4.2.5. Proračun vijaka.....	75
4.2.5.1. <i>Proračun sila u vijku</i> .....	76
4.2.5.2. <i>Proračun promjera vijaka</i> .....	77
4.2.6. Proračun priрубnice za privarivanje.....	78
<b>5. TEHNIČKI OPIS.....</b>	<b>80</b>
5.1. TEHNIČKI OPIS IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA.....	80
5.1.1. Namjena izmjenjivača.....	80
5.1.2. Opis konstrukcije.....	80
5.1.3. Podaci o izmjenjivaču.....	80
5.1.3.1. <i>Osnovne veličine</i> .....	80
5.1.3.2. <i>Materijali</i> .....	81
5.1.4. Montaža.....	81
5.2. TEHNIČKI OPIS IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA.....	82
5.2.1. Namjena izmjenjivača.....	82
5.2.2. Opis konstrukcije.....	82
5.2.3. Podaci o izmjenjivaču.....	82
5.2.3.1. <i>Osnovne veličine</i> .....	82
5.2.3.2. <i>Materijali</i> .....	83
5.2.4. Montaža.....	83
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>84</b>
<b>7. POPIS LITERATURE.....</b>	
<b>8. PRILOG.....</b>	



## **POPIS SLIKA**

- Slika 1. Principijelna shema zagrijavanja bazenske vode u kombinaciji s PTV–om i centralnim grijanjem
- Slika 2. Tok temperatura u izmjenjivaču topline
- Slika 3. Poprečni presjek izmjenjivača topline
- Slika 4. Smještaj cijevi u plaštu izmjenjivača
- Slika 5. Tok temperatura u izmjenjivaču topline
- Slika 6. Smještaj cijevi u plaštu izmjenjivača
- Slika 7. Shematski prikaz izmjenjivača topline s segmentnima pregradama u plaštu aparata
- Slika 8. Presjek poprečno nastrojanih cijevi u krajnjoj zoni i u međuzoni
- Slika 9. Presjek uzdužno nastrojanih cijevi
- Slika 10. Presjek podnice

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Fizikalna veličina
$A$	$m^2$	Površina izmjenjivača topline
$A_c$	$m^2$	Površina poprečnog presjeka cijevi
$A_{pr}$	$m^2$	Površina presjeka priključka
$A_R$	$m^2$	Površina opterećenja koje dolazi na jednu cijev
$b_D$	mm	Korisna širina brtve
$c_p$	$\text{kJ/kgK}$	Specifični toplinski kapacitet primara
$c_s$	$\text{kJ/kgK}$	Specifični toplinski kapacitet sekundara
$c_u$	$\text{kJ/kgK}$	Specifični toplinski kapacitet za pretpostavljenu temperaturu stijenke na strani sekundara
$c_v$	$\text{kJ/kgK}$	Specifični toplinski kapacitet za pretpostavljenu temperaturu stijenke na strani primara
$c_1$	mm	Dodatak za dopušteno odstupanje dimenzija materijala
$c_2$	mm	Dodatak zbog smanjenja debljine lima korozijom i habanjem
$c_5$	mm	Konstruktivski dodatak
$d_h$	mm	Hidraulički promjer
$d_{pr}$	mm	Promjer priključka
$d_{pu}$	mm	Unutarnji promjer prirubnice

$d_s$	mm	Vanjski promjer prirubnice
$d_u$	mm	Unutarnji promjer cijevi
$d_v$	mm	Vanjski promjer cijevi
$d_1$	mm	Vanjski promjer priključka
$d_{1u}$	mm	Unutarnji promjer priključka
$d_2$	mm	Promjer vijka
$d_t$	mm	Promjer kruga rupa
$d_D$	mm	Srednji promjer brtve
$d_L$	mm	Promjer rupe vijka
$D_v$	mm	Vanjski promjer plašta
$D_u$	mm	Unutarnji promjer plašta
$D_T$	mm	Promjer plašta
$D$	mm	Vanjski promjer prirubnice
$D_s$	mm	Vanjski promjer podnice
$e$	mm	Razmak između cijevi
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Modul elastičnosti
$f_l$	mm <sup>2</sup>	Površina presjeka uzdužnog na cijevi
$f_q$	mm <sup>2</sup>	Površina presjeka poprečnog na cijevi
$f_e$	mm <sup>2</sup>	Ekvivalentna površina
$f_1$		Konstanta rasporeda cijevi

$f_2$	mm	Konstanta broja prolaza
$F_R$	N	Sila cijevi
$F_{DV}$	N	Najmanja sila u vijku za ugradno stanje
$F_{SB}$	N	Najmanja sila u vijku za ispitno stanje
$h$	mm	Visina odsječka segmentnih pregrada
$h_F$	mm	Debljina prirubnice
$h_1$	mm	Visina cilindra
$h_2$	mm	Visina kalote
$k$	mm	Promjer diobenog kruga vijaka
$k$	W/m <sup>2</sup> K	Koeficijent prolaza topline
$k$	mm	Apsolutna hrapavost stijenke cijevi
$k_o$	mm	Koeficijent brtve za stanje pri ugradbi
$k_1$	mm	Koeficijent brtve za radno stanje
$K_D$	N/mm <sup>2</sup>	Otpor promjeni oblika materijala brtve
$K$	N/mm <sup>2</sup>	Proračunska čvrstoća
$L$	m	Duljina cijevi izmjenjivača
$n$		Broj cijevi u jednom prolazu
$N$		Ukupan broj cijevi
$N_u$		Broj cijevi u uzdužnoj zoni
$p$	Pa	Radni tlak

$p_B$	Pa	Tlak ulubljivanja
$P$		Broj prolaza u izmjenjivaču
$Q$	kW	Kapacitet izmjenjivača
$q_p$	kW	Specifični toplinski tok na strani primara
$q_s$	kW	Specifični toplinski tok na strani sekundara
$q_{mp}$	kg/s	Protočna masa primara
$q_{ms}$	kg/s	Protočna masa sekundara
$q_v$	kg/s	Protočni volumen
$R_k$	mm	Radijus kalote
$R_{otp}$	m <sup>2</sup> K/W	Otpor kamenca
$r$	mm	Radijus torusa
$r_h$	mm	Hidraulički polumjer
$s$	mm	Debljina stijenke cijevi
$s_1$	mm	Debljina stijenke plašta
$s_e$	mm	Debljina stijenke podnice
$s_s$	mm	Debljina stijenke priključka
$s_A$	mm	Debljina stijenke plašta
$s_t$	mm	Debljina stijenke torusa
$S$		Stupanj sigurnosti materijala pri proračunskoj temperaturi

$S'$		Stupanj sigurnosti materijala pri ispitnoj temperaturi
$t$	mm	Korak rasporeda cijevi
$t_p$		Normirani poprečni korak cijevi
$u$	mm	Razmak između plašta i najbliže cijevi
$V$	$m^3$	Volumen bazena
$w_s$	m/s	Stvarna brzina u cijevima
$w_e$	m/s	Ekvivalentna brzina
$w_{pr}$	m/s	Brzina u priključku
$w_{prs}$	m/s	Stvarna brzina u priključku
$w_M$	m/s	Brzina strujanja u najužem presjeku međuzone
$w_u$	m/s	Brzina strujanja u uzdužnoj zoni
$w_p$	m/s	Brzina strujanja u plaštu
$W$	$mm^3$	Otporni moment
$z_p$		Broj poprečno nastrojanih cijevi
$z_s$		Broj segmentnih pregrada
$\alpha_p$	$W/m^2K$	Koeficijent prijelaza topline primara
$\alpha_s$	$W/m^2K$	Koeficijent prijelaza topline sekundara

$\vartheta_{p1}$	K	Ulazna temperatura primara
$\vartheta_{p2}$	K	Izlazna temperatura primara
$\vartheta_{s1}$	K	Ulazna temperatura sekundara
$\vartheta_{s2}$	K	Izlazna temperatura sekundara
$\vartheta_p$	K	Srednja temperatura primara
$\vartheta_s$	K	Srednja temperatura sekundara
$\vartheta_{stu}$	K	Temperatura stijenke cijevi s unutarnje strane
$\vartheta_{stv}$	K	Temperatura stijenke cijevi s vanjske strane
$\vartheta_m$	K	Srednja logaritamska razlika temperatura
$\zeta$		Koeficijent otpora
$\Delta p_{pr}$	Pa	Pad tlaka priključaka
$\Delta p_M + \Delta p_K$	Pa	Pad tlaka u krajnjoj zoni i međuzoni
$\Delta p_u$	Pa	Pad tlaka u uzdužnoj zoni
$\Delta p_U$	Pa	Ukupni pad tlaka
$\Delta p_{pp}$	Pa	Pad tlaka uslijed promjene presjeka strujanja
$\rho_p$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća primarne struje
$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća sekundarne struje
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća za pretpostavljenu temperaturu stijenke
$\lambda_p$	W/mK	Koeficijent toplinske vodljivosti primara

$\lambda_s$	W/mK	Koeficijent toplinske vodljivosti sekundara
$\lambda$	W/mK	Koeficijent toplinske vodljivosti za pretpostavljenu temperaturu stijenke
$\eta_p$	Ns/m <sup>2</sup>	Dinamička žilavost primara
$\eta_s$	Ns/m <sup>2</sup>	Dinamička žilavost sekundara
$\eta$	Ns/m <sup>2</sup>	Dinamička žilavost za pretpostavljenu temperaturu stijenke
$\varepsilon$		Relativna hrapavost stijenke cijevi



## **1.UVOD**

Sustavi zagrijavanja bazenske vode su gospodarski najisplativiji način primjene sunčeve energije u tehnici grijanja. Mogu se podijeliti na direktne i indirektne.

Kod direktnih sustava bazenska voda prolazi direktno kroz uređaj odnosno sustav koji je ujedno i izvor energije za dogrijavanje bazenske vode – nema izmjenjivača.

S druge strane, kod indirektnih sustava zagrijavanja bazenske vode predaja topline se vrši preko izmjenjivača topline. Putem primarnog kruga, topla voda se cijevnim sustavom transportira u izmjenjivač, gdje se zagrijava, odnosno predaje toplina bazenskoj vodi u sekundarnom krugu dogrijavanja. Dakle, ovdje postoje izmjenjivači koji čine osnovu sustava.

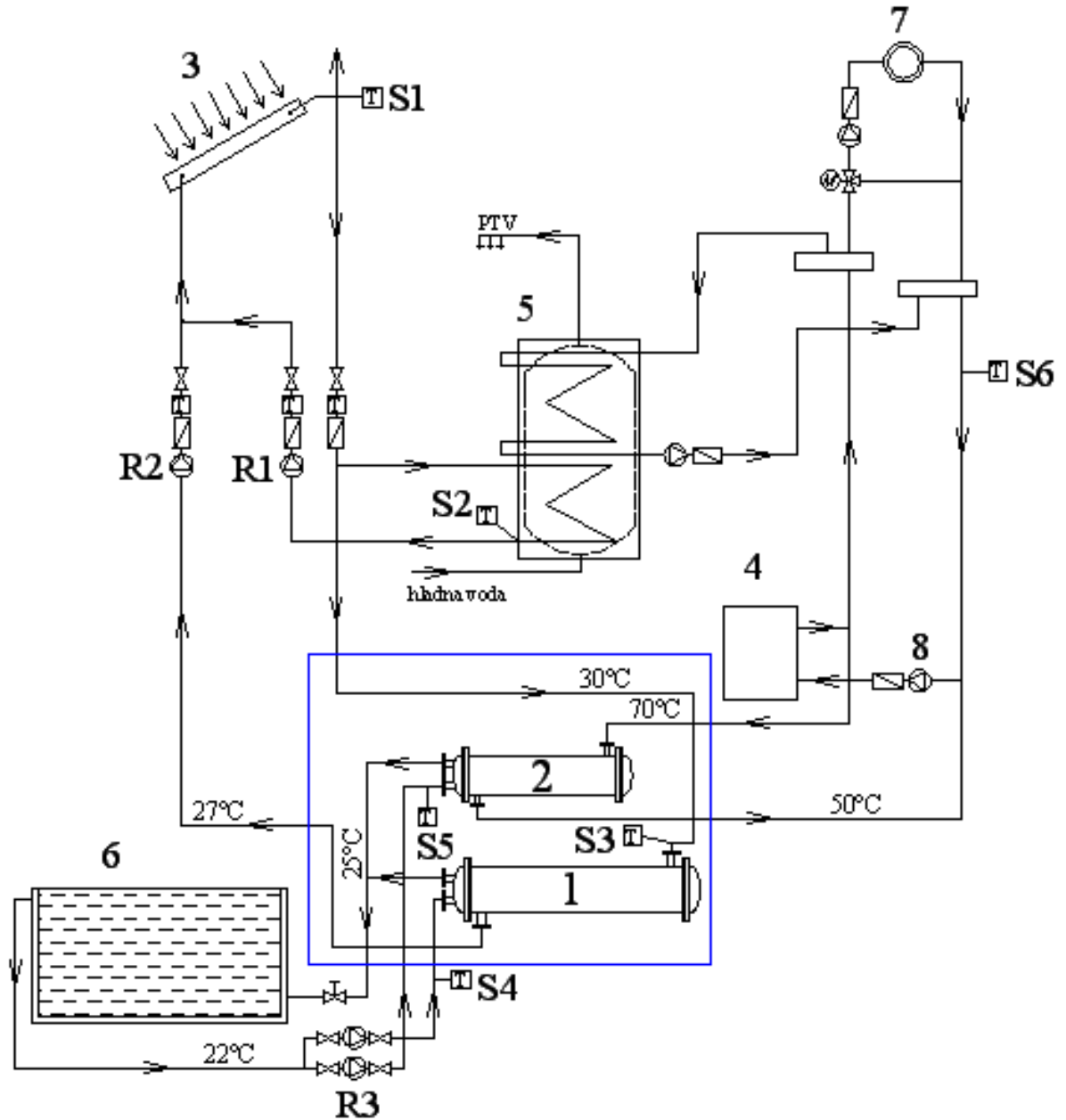
S obzirom da sunčevo zračenje nije istog intenziteta tijekom godine, odnosno najmanje je zimi, a potreba za toplom vodom je tada najveća, solarni krug grijanja se kombinira s nekim drugim proizvođačem topline ( kotao,...) koji umjesto solarne energije zagrijava toplu sanitarnu vodu odnosno vodu u bazenu.

U solarnom sustavu grijanja upotrebljava se solarna tekućina tj. smjesa vode i propilen – glikola radi zaštite od smrzavanja, dok se u kotlovskom sustavu upotrebljava voda.

Tlakovi solarnog i kotlovskog sustava također nisu jednaki. U solarnom sustavu tlak iznosi 5 bar, a u kotlovskom 2,5 bar. Iz tih razloga, imati ćemo dva izmjenjivača topline.

Izmjenjivač priključen na kotlovski krug grijanja koristit ćemo u slučaju kada solarna energija neće biti dovoljna za zagrijavanje vode. Regulacija cijelog sustava mora biti automatizirana.

Prije nego što počnemo s proračunom izmjenjivača topline i njihovom konstrukcijom, dat ćemo jedan primjer zagrijavanja vode u bazenu u kombinaciji s PTV-om i centralnim grijanjem [1].



Slika 1. Principijelna shema zagrijavanja vode u bazenu u kombinaciji s PTV-om i centralnim grijanjem

LEGENDA:

- 1 Izmjenjivač topline solarnog kruga
- 2 Izmjenjivač topline kotlovske kruga
- 3 Kolektor
- 4 Kotao
- 5 Spremnik PTV-a
- 6 Bazen
- 7 Centralno grijanje
- 8 Cirkulacijska pumpa za zagrijavanje vode u bazenu (dodatno zagrijavanje)
- R1 Pumpa solarnog kruga
- R2 Solarni krug za zagrijavanje vode u bazenu
- R3 Cirkulacijska pumpa za zagrijavanje vode u bazenu
- S1 Osjetnik temperature kolektora
- S2 Osjetnik temperature spremnika
- S3 Osjetnik temperature izmjenjivača topline 1
- S4 Osjetnik temperature bazenske vode
- S5 Osjetnik temperature izmjenjivača topline 2
- S6 Osjetnik temperature povratnog voda (centralno grijanje)

**Opis regulacije zagrijavanja vode u bazenu**

Ako je postignuta maksimalna temperatura spremnika  $T_{spmaks}$  ili ako se spremnik PTV-a više ne zagrijava, onda se ispituje može li se zagrijevati bazen. Ako je temperaturna razlika između osjetnika S1 i osjetnika S4 veća od uključne temperaturne razlike  $\Delta T_{2uklj.}$ , onda se uključuje cirkulacijska pumpa R2. Kod postizanja maksimalne temperature bazena pumpa se isključuje.

Ako je temperaturna razlika između osjetnika S3 i osjetnika S4 viša od temperaturne razlike  $\Delta T_{5uklj.}$ , onda se uključuje cirkulacijska pumpa za zagrijavanje vode u bazenu R3. Kod postizanja podešene temperature  $Th_{2isklj.}$ , pumpa R3 se isključuje.

Ako solarna energija nije dovoljna za zagrijavanje vode u bazenu, slijedi zagrijavanje vode u bazenu iz kotla za grijanje preko osjetnika temperature S5 u izmjenjivaču topline 2.

## 2. TERMODINAMIČKI PRORAČUN

Zadani parametri:

- Kapacitet izmjenjivača:  $Q = 12 \text{ kW}$
- volumen bazena:  $40 \text{ m}^3$

2.1. Vrijeme potrebno za zagrijavanje bazena

- iz bilance topline [2]:

$$Q = q_{ms} \cdot c_s \cdot \Delta\vartheta$$

možemo dobiti potrebno vrijeme zagrijavanja bazenske vode sa  $22^\circ\text{C}$  na  $25^\circ\text{C}$ :

$$t = \rho_s \cdot V \cdot c_s \cdot \Delta\vartheta / Q$$

Gdje je:

- $\rho_s$  – gustoća bazenske vode  
 $c_s$  – specifični toplinski kapacitet bazenske vode  
 $\Delta\vartheta$  – razlika temperatura bazenske vode  
 $Q$  – kapacitet izmjenjivača

2.1.1. *Fizikalna svojstva bazenske vode*

Fizikalna svojstva bazenske vode se računaju za njezinu srednju temperaturu, a ona iznosi [3]:

$$\vartheta_s = \frac{\vartheta_{s1} + \vartheta_{s2}}{2} = \frac{22 + 25}{2} = 23.5^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = 997.4 \text{ kg/m}^3$$

$$c_s = 4180 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda_s = 0.603 \text{ W/mK}$$

$$\eta_s = 915 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

- poznavajući svojstva vode možemo izračunati vrijeme potrebno za zagrijavanje vode:

$$t = \frac{\rho_s \cdot V \cdot c_s \cdot \Delta\vartheta}{Q} = \frac{971.9 \cdot 40 \cdot 4.194 \cdot 3}{12} = 41690 \text{ s}$$

ili izraženo u satima:

$$t \approx 12 \text{ h}$$

Možemo zaključiti da će izmjenjivač topline snage 12 kW zagrijati vodu u bazenu volumena  $40 \text{ m}^3$  sa temperature  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  na temperaturu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  za približno 12 h.

### 2.1.2. Protočni volumen bazenske vode

Poznavajući vrijeme zagrijavanja vode u bazenu, možemo izračunati protočni volumen bazena:

$$q_{vs} = \frac{V}{t} = \frac{40}{41690} = 9.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ili izraženo u  $\text{m}^3/\text{h}$ :

$$q_{vs} = 9.6 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 = 3.45 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 2.2. TERMODINAMIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA

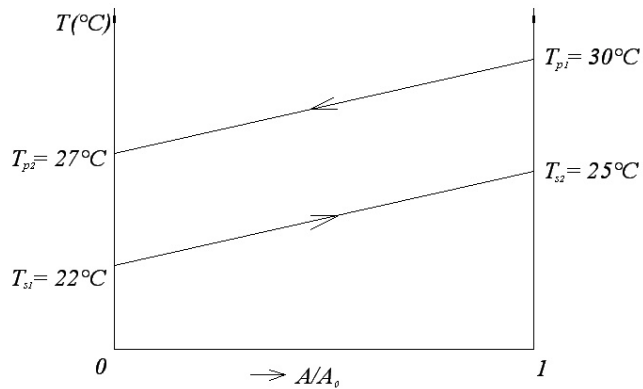
Izmjenjivač je tipa Shell & Tube, snage 12 kW, horizontalno smještenog u prostoru, sa segmentnim pregradama u plaštu.

Primarna struja (smjesa vode i propilen-glikola) ide oko cijevi izmjenjivača s ulaznom temperaturom od  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  te izlaznom temperaturom od  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sekundarna struja (bazenska voda) ide kroz cijevi izmjenjivača s ulaznom temperaturom od  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  te izlaznom temperaturom od  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Cijevi su poprečno nastrojane.

### 2.2.1. Srednja logaritamska razlika temperatura



Slika 2. Tok temperatura u izmjenjivaču topline

$$\Delta\vartheta_m = 5\text{ °C}$$

### 2.2.2. Odabir cijevi

Izabrana je cijev napravljena od Č.4573 (nehrđajući austenitni čelik) dimenzija [4]:

$$\begin{aligned}d_v &= 16\text{ mm} \dots\dots\dots\text{vanjski promjer} \\d_u &= 12.8\text{ mm} \dots\dots\dots\text{unutarnji promjer} \\s &= 1.6\text{ mm} \dots\dots\dots\text{debljina stijenke}\end{aligned}$$

### 2.2.3. Prijelaz topline na strani primara

#### 2.2.3.1. Fizikalna svojstva smjese vode i propilen-glikola

Fizikalna svojstva se računaju za srednju temperaturu smjese, a ona iznosi [5]:

$$\vartheta_p = \frac{\vartheta_{p1} + \vartheta_{p2}}{2} = \frac{30 + 27}{2} = 28.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_p = 1038.1 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 3650 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda_p = 0.393 \text{ W/mK}$$

$$\eta_p = 4871.3 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

### 2.2.3.2. Maseni protok primara

Iz bilance topline slijedi [2]:

$$q_{mp} = \frac{Q}{c_p \cdot (\vartheta_{p1} - \vartheta_{p2})} = \frac{12 \cdot 10^3}{3650 \cdot (30 - 27)} = 1.096 \text{ kg/s}$$

### 2.2.3.3. Koeficijent prijelaza topline

Pretpostavljena ekvivalentna brzina smjese:

$$w_e = 0.16 \text{ m/s ( 0.15 – 0.3 m/s )}$$

- Reynoldsova značajka:

$$\text{Re} = \frac{w_e \cdot d_v \cdot \rho_p}{\eta_p} = \frac{0.16 \cdot 0.016 \cdot 1038.1}{4871.3 \cdot 10^{-6}} = 545.5$$

- Prandtlova značajka:

$$\text{Pr} = \frac{\eta_p \cdot c_p}{\lambda_p} = \frac{4871.3 \cdot 10^{-6} \cdot 3650}{0.393} = 45.24$$

- Nusseltova značajka:

Ukoliko se pri proračunu prijelaza topline želi uzeti u obzir smjer izmjene topline, onda se izraz za Nusseltovu značajku množi korekcionim faktorom  $(\eta_p / \eta)$ , gdje je [6]:

$\eta_p$  – dinamički viskozitet za srednju temperaturu smjese

$\eta$  – dinamički viskozitet za pretpostavljenu temperaturu stijenke cijevi

Pretpostavljena temperature stijenke cijevi s vanjske strane:

$$t_{stv} = 25.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Svojstva smjese za pretpostavljenu temperaturu stijenke:

$$\rho = 1040.2 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 3639 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda = 0.394 \text{ W/mK}$$

$$\eta = 5363 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

Prema Donohue-u, za proračun prijelaza topline izmjenjivača sa segmentnim pregradama, a u području  $4 \leq Re \leq 5 \cdot 10^4$  i  $0.5 \leq Pr \leq 5 \cdot 10^3$ , preporučuje se izraz [6]:

$$Nu = C \cdot Re^{0.6} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left( \frac{\eta_p}{\eta} \right)$$

Konstanta  $C$  iznosi za plašt s vrlo dobrom mehaničkom obradom  $C = 0.25$ , dok za neobrađeni iznosi  $C = 0.22$ . Izabrano  $C = 0.22$ .

Nusseltova značajka tada ima vrijednost:

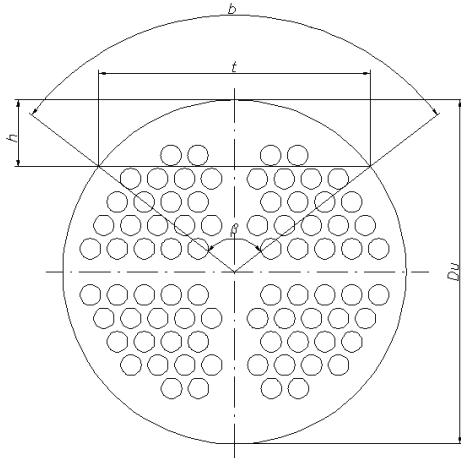
$$Nu = C \cdot Re^{0.6} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left( \frac{\eta_p}{\eta} \right) = 0.22 \cdot 545.5^{0.6} \cdot 45.24^{0.33} \cdot \left( \frac{4871.3 \cdot 10^{-6}}{5363 \cdot 10^{-6}} \right) = 33.5$$

Iz Nusselta dobivamo koeficijent prijelaza topline na strani primara:

$$\alpha_p = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_v} = \frac{33.5 \cdot 0.393}{0.016} = 822.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$



2.2.3.4. Provjera ekvivalentne brzine u plaštu



Slika 3. Poprečni presjek izmjenjivača topline

Unutarnji promjer plašta:  $D_u = 267.8 \text{ mm}$

Razmak između pregrada:  $s_p = 125 \text{ mm}$

Središnji kut:  $\beta = 104 \text{ deg}, \beta = 1.814 \text{ rad}$

Visina odsječka segmentnih pregrada:  $h = 52 \text{ mm}$

$$b = \frac{D_u \cdot \beta}{2} = \frac{318.7 \cdot 2.024}{2} = 243 \text{ mm}$$

$$t = 212 \text{ mm}$$

Površina presjeka uzdužnog na cijevi:

$$f_1 = \frac{D_u \cdot (b-t) + 2 \cdot t \cdot h}{4} - \frac{4 \cdot d_v^2 \cdot \pi}{4} = \frac{267.8 \cdot (243-212) + 2 \cdot 212 \cdot 52}{4} - \frac{4 \cdot 16^2 \cdot 3.14}{4}$$

$$f_1 = 7580 \text{ mm}^2$$

Površina presjeka poprečnog na cijevi:

$$f_q = s_p \cdot \Sigma e$$

$e$  – razmak između cijevi

$$\Sigma e = 50 \text{ mm}$$

$$f_q = 125 \cdot 50 = 6250 \text{ mm}^2$$

Ekvivalentna površina mjerodavna za strujanje vode u aparatu:

$$f_e = \sqrt{f_1 \cdot f_q} = \sqrt{7580 \cdot 6250} = 6883 \text{ mm}^2$$

ili izraženo u metrima  $\text{m}^2$ :

$$f_e = 0.006883 \text{ m}^2$$

Ekvivalentna brzina vode u plaštu iznosi:

$$w_e = \frac{q_{mp}}{\rho_p \cdot f_e} = \frac{1.096}{1038.1 \cdot 0.006883} = 0.153 \text{ m/s}$$

S obzirom da se stvarna brzina u plaštu neznatno razlikuje od pretpostavljene, nije potrebno ponoviti proračun.

## 2.2.4. Prijelaz topline na strani sekundara

### 2.2.4.1. Maseni protok sekundara

Iz bilance topline slijedi [2]:

$$q_{ms} = \frac{Q}{c_s \cdot (\vartheta_{s2} - \vartheta_{s1})} = \frac{12 \cdot 10^3}{4180 \cdot (25 - 22)} = 0.957 \text{ kg/s}$$

### 2.2.4.2. Potreban broj cijevi u jednom prolazu

Pretpostavljena brzina vode na ulazu u cijev:

$$w = 0.52 \text{ m/s ( brzine se kreću od 0.5 – 1 m/s )}$$

Površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A_c = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0.0128^2 \cdot 3.14}{4} = 1.287 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{q_{ms}}{A_c \cdot w \cdot \rho_s} = \frac{0.957}{1.287 \cdot 10^{-4} \cdot 0.52 \cdot 997.4} = 14.34$$

Iz konstrukcijskih razloga odabran broj cijevi je  $n = 20$ .

#### 2.2.4.3. Stvarna brzina u cijevima

$$w_s = \frac{4 \cdot q_{ms}}{d_u^2 \cdot n \cdot \pi \cdot \rho_s} = \frac{0.957}{0.0128^2 \cdot 20 \cdot 3.14 \cdot 997.4} = 0.373 \text{ m/s}$$

#### 2.2.4.4. Koeficijent prijelaza topline

- Reynoldsova značajka

$$\text{Re} = \frac{w_s \cdot d_u \cdot \rho_s}{\eta_s} = \frac{0.373 \cdot 0.0128 \cdot 997.4}{915 \cdot 10^{-6}} = 5202$$

- Prandtlova značajka:

$$\text{Pr} = \frac{\eta_s \cdot c_s}{\lambda_s} = \frac{915 \cdot 10^{-6} \cdot 4180}{0.603} = 6.34$$

- Nusseltova značajka

Ukoliko se pri proračunu prijelaza topline želi uzeti u obzir smjer izmjene topline, onda se izraz za Nusseltovu značajku množi korekcionim faktorom  $\left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_0} \right)$ , gdje je [7]:

Pr – Prandtlova značajka za srednju temperaturu bazenske vode

Pr<sub>0</sub> – Prandtlova značajka za pretpostavljenu temperaturu stijenke cijevi

Pretpostavljena temperatura stijenke cijevi s unutarnje strane:

$$t_{\text{stu}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Svojstva bazenske vode za pretpostavljenu temperaturu stijenske cijevi:

$$\rho = 997.1 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 4179 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda = 0.606 \text{ W/mK}$$

$$\eta = 881 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

Prandtlova značajka za pretpostavljenu temperaturu stijenske cijevi:

$$\text{Pr}_0 = \frac{\eta \cdot c}{\lambda} = \frac{881 \cdot 10^{-6} \cdot 4179}{0.606} = 6.1$$

Pretpostavka duljine cijevi izmjenjivača:

$$L = 1.5 \text{ m}$$

Za turbulentno strujanje u cijevi u području  $1.5 < \text{Pr} < 500$ ,  $2300 < \text{Re} < 10^6$  vrijedi jednačba [7]:

$$\text{Nu} = 0.012 \cdot (\text{Re}^{0.87} - 280) \cdot \text{Pr}^{0.4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d_u}{L} \right)^{2/3} \right] \cdot \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_0} \right)^{0.11}$$

$$\text{Nu} = 0.012 \cdot (5202^{0.87} - 280) \cdot 6.34^{0.4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0.0128}{1.5} \right)^{2/3} \right] \cdot \left( \frac{6.34}{6.1} \right)^{0.11}$$

$$\text{Nu} = 37.6$$

$$\alpha_s = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_s}{d_u} = \frac{37.6 \cdot 0.603}{0.0128} = 1781 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 2.2.5. Provjera pretpostavljenih temperatura stijenske cijevi

Kod proračuna prijelaza topline na strani primara pretpostavljena je temperatura stijenske cijevi s vanjske strane:

$$\vartheta_{stv} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Kod proračuna prijelaza topline na strani sekundara pretpostavljena je temperatura stijenke cijevi s unutarnje strane:

$$\vartheta_{stu} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### Unutarnja temperatura cijevi $\vartheta_{stu}$

Gustoća toplinskog toka na strani smjese voda/propilen-glikol (oko cijevi) svedena na unutarnju površinu cijevi, kao funkcija unutarnje temperature stijenke cijevi [6]:

$$\text{Otpor kamenca: } R_{otp} = 0.0956 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Koeficijent toplinske vodljivosti nehrđajućeg čelika: } \lambda_{\text{č}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = \frac{\vartheta_p - \vartheta_{stu}}{\left( \frac{1}{\alpha_p} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_{\text{č}}} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)}$$

$$x = \left( \frac{1}{\alpha_p} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_{\text{č}}} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)^{-1}$$

$$x = 859.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = x \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{stu})$$

Gustoća toplinskog toka na strani bazenske vode (u cijevi) svedena na unutarnju površinu cijevi, kao funkcija unutarnje temperature stijenke cijevi:

$$q_s = \alpha_s \cdot (\vartheta_{stu} - \vartheta_s)$$

Ravnoteža toplinskih tokova:

$$q_p = q_s$$

$$859.7 \cdot (28.5 - \vartheta_{stu}) = 1781 \cdot (\vartheta_{stu} - 23.5)$$

Nakon sređivanja dobivamo:

$$\vartheta_{stu} = 25.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kako je pretpostavljena unutarnja temperatura cijevi  $\vartheta_{stu} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ , rezultat zadovoljava.

### Vanjska temperatura cijevi $\vartheta_{stv}$

Gustoća toplinskog toka na strani bazenske vode (u cijevi) svedena na vanjsku površinu cijevi, kao funkcija vanjske temperature stijenke cijevi [6]:

$$\text{Otpor kamenca: } R_{otp} = 0.0956 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Koeficijent toplinske vodljivosti nehrđajućeg čelika: } \lambda_{\check{c}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = \frac{\vartheta_{stv} - \vartheta_s}{\left( \frac{1}{\alpha_s} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_{\check{c}}} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)}$$

$$y = \left( \frac{1}{\alpha_s} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_{\check{c}}} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)^{-1}$$

$$y = 1562 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = y \cdot (\vartheta_{stv} - \vartheta_s)$$

Gustoća toplinskog toka na strani smjese voda/propilen-glikol (oko cijevi) svedena na vanjsku površinu cijevi, kao funkcija vanjske temperature stijenke cijevi:

$$q_s = \alpha_p \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{stv})$$

Ravnoteža toplinskih tokova:

$$q_p = q_s$$

$$1562 \cdot (\vartheta_{stv} - 23.5) = 822.7 \cdot (28.5 - \vartheta_{stv})$$

Nakon sređivanja dobivamo:

$$\vartheta_{\text{stv}} = 25.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Kako je pretpostavljena vanjska temperatura cijevi  $\vartheta_{\text{stv}} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , rezultat zadovoljava.

2.2.6. Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} \cdot \frac{d_v}{d_u} + \frac{d_v}{2 \cdot \lambda_c} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + \frac{1}{\alpha_p}}$$

$$k = 491.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.1.7. Dimenzioniranje izmjenjivača

2.2.7.1. Potrebna površina izmjenjivača

$$A = \frac{Q}{k \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{12 \cdot 10^3}{491.1 \cdot 5} = 4.88 \text{ m}^2$$

2.2.7.2. Duljina cijevi izmjenjivača

$P$  – broj prolaza = 4

$$L = \frac{A}{P \cdot n \cdot \pi \cdot d_u} = \frac{4.88}{4 \cdot 20 \cdot 3.14 \cdot 0.0128} = 1.519 \text{ m}$$

Odabrano:

$$L = 1.5 \text{ m}$$

2.2.7.3. Promjer plašta

Vanjski promjer plašta izračunava se prema izrazu [7]:

$$D_T = \sqrt{f_1 \cdot z \cdot t^2 + f_2 \cdot \sqrt{z} \cdot t} = \sqrt{1.1 \cdot 86 \cdot 13.5^2 + 22 \cdot \sqrt{86} \cdot 13.5} = 227.9 \text{ mm}$$

- $t = 21 \text{ mm}$  .....korak rasporeda cijevi
- $f_1 = 1.1$  .....konstanta rasporeda cijevi za trokutni raspored cijevi
- $f_2 = 70 \text{ mm}$  .....konstanta broja prolaza
- $z = 80 \text{ kom}$  .....broj cijevi po cijelom presjeku plašta

Unutarnji promjer plašta:

$$D_u = D_T + d_v + 2 \cdot u = 227.9 + 16 + 2 \cdot 6 = 255.9 \text{ mm}$$

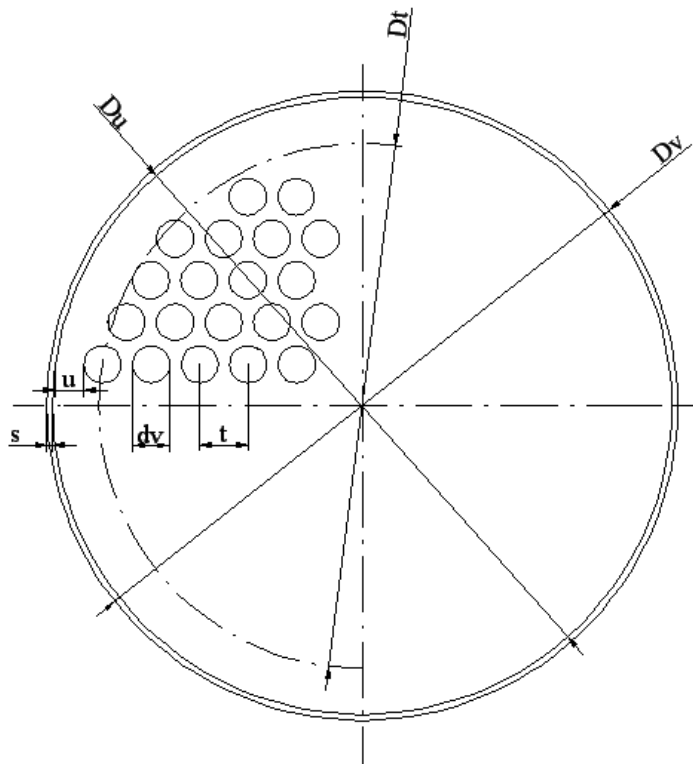
$u = 6 \text{ mm}$  .....razmak između plašta i najbliže cijevi

Odabiremo bešavnu cijev iz nehrđajućeg austenitnog čelika Č.4573 dimenzija [4]:

$D_v = 273 \text{ mm}$  - vanjski promjer

$D_u = 267.8 \text{ mm}$  - unutarnji promjer

$s_1 = 2.6 \text{ mm}$  - debljina stijenke



Slika 4. Smještaj cijevi u plaštu izmjenjivača – šahovski raspored



## 2.2.8. Dimenzioniranje priključaka na izmjenjivaču

### 2.2.8.1. Cijevni nastavci na plaštu

Pretpostavljena brzina smjese kroz priključak:

$$w_{pr} = 0.8 \text{ m/s}$$

Površina presjeka priključka :

$$A_{pr} = \frac{q_{mp}}{\rho_p \cdot w_{pr}} = \frac{1.096}{1038.1 \cdot 0.8} = 0.00132 \text{ m}^2$$

Promjer priključka :

$$d_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{pr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00132}{\pi}} = 0.041 \text{ m}$$

Odabrana je cijev priključka prema DIN 2462 T1 ( bešavna cijev iz nehrđajućeg čelika)  
[4]:

- materijal                            Č 4573
- nazivni promjer                    DN 40
- vanjski promjer                     $d_1 = 48.3 \text{ mm}$
- unutarnji promjer                  $d_{1u} = 43.1 \text{ mm}$
- debljina stijenke                  $s_{pr} = 2.6 \text{ mm}$

Stvarna brzina:

$$w_{prs} = \frac{q_{mp} \cdot 4}{\rho_p \cdot \pi \cdot d_{pu}^2} = \frac{1.096 \cdot 4}{1038.1 \cdot 3.14 \cdot 0.0431^2} = 0.72 \text{ m/s}$$

### 2.2.8.2. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na plaštu

Ravna prirubnica za zavarivanje izabrana je za PN6, a prema HRN M.B6.180 izabrana prirubnica ima sljedeća svojstva [4]:

materijal      Č.4573

mjere prirubnice:

- DN 40
- $d_1 = 48.3$  mm
- $D = 130$  mm
- $b = 16$  mm
- $e = 2.6$  mm
- $k = 100$  mm

vijci:

- broj: 4
- navoj: M12
- $d_2 = 14$  mm

### 2.2.8.3. Cijevni nastavci na podnici

Pretpostavljena brzina vode kroz priključak:

$$w_{pr} = 0.8 \text{ m/s}$$

Površina presjeka priključka :

$$A_{pr} = \frac{q_{ms}}{\rho_s \cdot w_{pr}} = \frac{0.957}{997.4 \cdot 0.8} = 0.0012 \text{ m}^2$$

Promjer priključka :

$$d_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{pr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0012}{\pi}} = 0.039 \text{ m}$$

Odabrana je cijev priključka prema DIN 2462 T1 ( bešavna cijev iz nehrđajućeg čelika) [4]:

- materijal                      Č 4573
- nazivni promjer              DN 40
- vanjski promjer               $d_1 = 48.3$  mm
- unutarnji promjer           $d_{1u} = 43.1$  mm

– debljina stijenke  $s_{pr} = 2.6 \text{ mm}$

Stvarna brzina:

$$w_{\text{prs}} = \frac{q_{ms} \cdot 4}{\rho_s \cdot \pi \cdot d_u^2} = \frac{0.957 \cdot 4}{997.4 \cdot 3.14 \cdot 0.0431^2} = 0.66 \text{ m/s}$$

#### 2.2.8.4. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na podnici

Ravna prirubnica za zavarivanje izabrana je za PN6, a prema HRN M.B6.180 izabrana prirubnica ima slijedeća svojstva [4]:

materijal Č.4573

mjere prirubnice:

vijci:

- DN 40
- $d_1 = 48.3 \text{ mm}$
- $D = 130 \text{ mm}$
- $b = 16 \text{ mm}$
- $e = 2.6 \text{ mm}$
- $k = 100 \text{ mm}$

- broj: 4
- navoj: M12
- $d_2 = 14 \text{ mm}$

### 2.3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA

Izmjenjivač je tipa Shell & Tube, snage 12 kW, horizontalno smještenog u prostoru, bez segmentnih pregrada u plaštu.

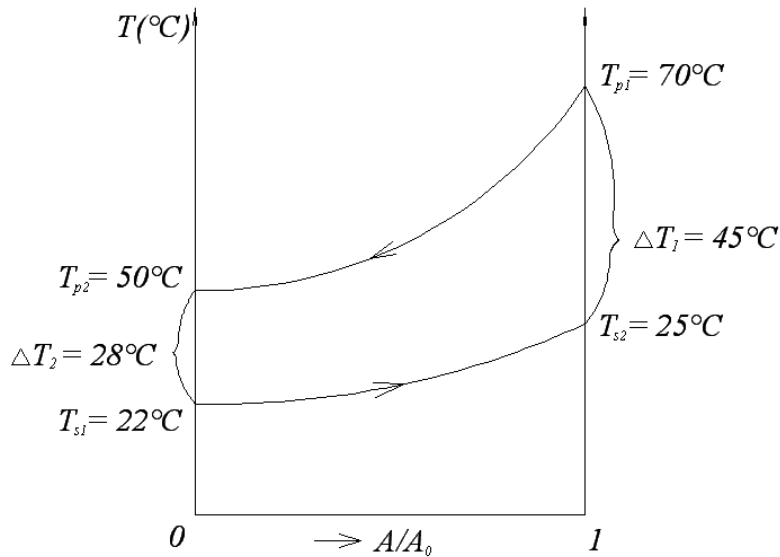
Primarna struja (kotlovska voda) ide oko cijevi izmjenjivača s ulaznom temperaturom od 70 °C te izlaznom temperaturom od 50 °C.

Sekundarna struja (bazenska voda) ide kroz cijevi izmjenjivača s ulaznom temperaturom od 22 °C te izlaznom temperaturom od 25 °C.

Cijevi su uzdužno nastrojane.

#### 2.3.1. Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(70 - 25) - (50 - 22)}{\ln \frac{70 - 25}{50 - 22}} = 35.83 \text{ °C}$$



Slika 5. Tok temperatura u izmjenjivaču topline 2

### 2.3.2. Odabir cijevi

Izabrana je cijev napravljena od Č.4573 (nehrđajući austenitni čelik) dimenzija [4]:

- $d_v = 16$  mm .....vanjski promjer
- $d_u = 12.8$  mm .....unutarnji promjer
- $s = 1.6$  mm .....debljina stijenke

### 2.3.3. Prijelaz topline na strani primara

#### 2.3.3.1. Fizikalna svojstva vode

Fizikalna svojstva se računaju za srednju temperaturu vode, a ona iznosi [3]:

$$\vartheta_p = \frac{\vartheta_{p1} + \vartheta_{p2}}{2} = \frac{70 + 50}{2} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_p = 983.2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 4182 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda_p = 0.659 \text{ W/mK}$$

$$\eta_p = 472 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

### 2.3.3.2. Maseni protok primara

Iz bilance topline slijedi [2]:

$$q_{mp} = \frac{Q}{c \cdot (\vartheta_{p1} - \vartheta_{p2})} = \frac{12 \cdot 10^3}{4182 \cdot (70 - 50)} = 0.143 \text{ kg/s}$$

### 2.3.3.3. Koeficijent prijelaza topline

Slobodni presjek [6]:

$$S = \left( \frac{D_u^2 - N \cdot d_v^2}{4} \right) \cdot \pi = \left( \frac{0.2678^2 - 80 \cdot 0.016^2}{4} \right) \cdot 3.14 = 0.04 \text{ m}^2$$

gdje je:

$D_u = 267.8 \text{ mm}$  – unutarnji promjer plašta aparata

$N = 80$  – ukupni broj cijevi u plaštu aparata

Protočni volumen:

$$q_{vp} = \frac{q_{mp}}{\rho_p} = \frac{0.143}{983.2} = 1.46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Brzina vode u plaštu:

$$w_p = \frac{q_{vp}}{S} = \frac{1.46 \cdot 10^{-4}}{0.04} = 0.0036 \text{ m/s}$$

Hidraulički promjer:

$$d_h = \frac{D_u^2 - N \cdot d_v^2}{D_u + N \cdot d_v} = \frac{0.2678^2 - 80 \cdot 0.016^2}{0.2678 + 80 \cdot 0.016} = 0.033 \text{ m}$$

- Reynoldsova značajka

$$\text{Re} = \frac{w_p \cdot d_h \cdot \rho_p}{\eta_p} = \frac{0.0036 \cdot 0.033 \cdot 983.2}{472 \cdot 10^{-6}} = 250$$

- Prandtlova značajka:

$$\text{Pr} = \frac{\eta_p \cdot c_p}{\lambda_p} = \frac{472 \cdot 10^{-6} \cdot 4182}{0.659} = 3$$

- Nusseltova značajka

Pretpostavka duljine cijevi izmjenjivača:

$$L = 1 \text{ m}$$

Prema Stephan-u za laminarno strujanje u cijevi u području  $2300 < \text{Re}$ ,  $0.1 < K_z < 104$  vrijedi izraz [6]:

$$\text{Nu} = 3.66 + \frac{0.0677 \cdot K_z^{1.33}}{1 + 0.1 \cdot K_z^{0.83} \cdot \text{Pr}^{0.17}} = 3.66 + \frac{0.0677 \cdot 24.79^{1.33}}{1 + 0.1 \cdot 24.79^{0.83} \cdot 3^{0.17}} = 5.43$$

Gdje je bezdimenzionalna značajka zaletne staze  $K_z$  definirana izrazom:

$$K_z = \frac{\text{Re} \cdot \text{Pr} \cdot d_h}{L} = \frac{250 \cdot 3 \cdot 0.033}{1} = 24.79$$

Iz izraza:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha_p \cdot d_h}{\lambda_p}$$

možemo izračunati koeficijent prijelaza topline u plaštu:

$$\alpha_p = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_p}{d_h} = \frac{5.43 \cdot 0.659}{0.0128} = 108.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 2.3.4. Prijelaz topline na strani sekundara

#### 2.3.4.1. Fizikalna svojstva bazenske vode

Fizikalna svojstva bazenske vode se računaju za njezinu srednju temperaturu, a ona iznosi:

$$\vartheta_s = \frac{\vartheta_{p1} + \vartheta_{p2}}{2} = \frac{22 + 25}{2} = 23.5^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = 997.4 \text{ kg/m}^3$$

$$c_s = 4180 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda_s = 0.603 \text{ W/mK}$$

$$\eta_s = 915 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

#### 2.3.4.2. Maseni protok sekundara

Iz bilance topline slijedi [2]:

$$q_{ms} = \frac{Q}{c \cdot (\vartheta_{s2} - \vartheta_{s1})} = \frac{12 \cdot 10^3}{4180 \cdot (25 - 22)} = 0.957 \text{ kg/s}$$

#### 2.3.4.3. Potreban broj cijevi u jednom prolazu

Pretpostavljena brzina vode na ulazu u cijev:

$$w = 0.52 \text{ m/s ( brzine se kreću od 0.5 – 1 m/s )}$$

Površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A_c = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0.0128^2 \cdot 3.14}{4} = 1.287 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{q_{ms}}{A_c \cdot w \cdot \rho_s} = \frac{0.957}{1.287 \cdot 10^{-4} \cdot 0.52 \cdot 997.4} = 14.34$$

Iz konstrukcijskih razloga odabran broj cijevi je  $n = 20$ .

#### 2.3.4.4. Stvarna brzina u cijevima

$$w_s = \frac{4 \cdot q_{ms}}{d_u^2 \cdot n \cdot \pi \cdot \rho_s} = \frac{0.957}{0.0128^2 \cdot 20 \cdot 3.14 \cdot 997.4} = 0.373 \text{ m/s}$$

#### 2.3.4.5. Koeficijent prijelaza topline

- Reynoldsova značajka

$$Re = \frac{w_s \cdot d_u \cdot \rho_s}{\eta_s} = \frac{0.373 \cdot 0.0128 \cdot 997.4}{915 \cdot 10^{-6}} = 5202$$

- Prandtlova značajka:

$$Pr = \frac{\eta_s \cdot c_s}{\lambda_s} = \frac{915 \cdot 10^{-6} \cdot 4180}{0.603} = 6.34$$

- Nusseltova značajka

Ukoliko se pri proračunu prijelaza topline želi uzeti u obzir smjer izmjene topline, onda se izraz za Nusseltovu značajku množi korekcionim faktorom  $\left(\frac{Pr}{Pr_0}\right)$ , gdje je [7]:

$Pr$  – Prandtlova značajka za srednju temperaturu bazenske vode

$Pr_0$  – Prandtlova značajka za pretpostavljenu temperaturu stijenke cijevi

Pretpostavljena temperature stijenke cijevi:

$$t_{st} = 26 \text{ °C}$$

Svojstva bazenske vode za pretpostavljenu temperaturu stijenke cijevi:

$$\rho = 996.8 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 4179 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda = 0.608 \text{ W/mK}$$

$$\eta = 863.2 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$



Prandtlova značajka za pretpostavljenu temperaturu stijenke cijevi:

$$\text{Pr}_0 = \frac{\eta \cdot c}{\lambda} = \frac{863.2 \cdot 10^{-6} \cdot 4179}{0.608} = 5.93$$

Pretpostavka duljine cijevi izmjenjivača:

$$L = 1 \text{ m}$$

Za turbulentno strujanje u cijevi u području  $1.5 < \text{Pr} < 500$ ,  $2300 < \text{Re} < 10^6$  vrijedi jednačica [7]:

$$\text{Nu} = 0.012 \cdot (\text{Re}^{0.87} - 280) \cdot \text{Pr}^{0.4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d_u}{L} \right)^{2/3} \right] \cdot \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_0} \right)^{0.11}$$

$$\text{Nu} = 0.012 \cdot (5202^{0.87} - 280) \cdot 6.34^{0.4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0.0128}{1} \right)^{2/3} \right] \cdot \left( \frac{6.34}{5.93} \right)^{0.11}$$

$$\text{Nu} = 38.2$$

$$\alpha_s = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_s}{d_u} = \frac{38.2 \cdot 0.603}{0.0128} = 1813 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 2.3.5. Provjera pretpostavljene temperature stijenke cijevi

Kod proračuna prijelaza topline na strani sekundara pretpostavljena je temperatura stijenke cijevi:

$$t_{st} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

Gustoća toplinskog toka na strani smjese voda/propilen-glikol (oko cijevi) svedena na unutarnju površinu cijevi, kao funkcija unutarnje temperature stijenke cijevi [6]:

$$\text{Otpor kamenca: } R_{otp} = 0.0956 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Koeficijent toplinske vodljivosti nehrđajućeg čelika: } \lambda_{\check{c}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = \frac{\vartheta_p - \vartheta_{stu}}{\left( \frac{1}{\alpha_p} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_c} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)}$$

$$x = \left( \frac{1}{\alpha_p} \cdot \frac{d_u}{d_v} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_c} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + R_{otp} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{108.1} \cdot \frac{12.8}{16} + \frac{12.8}{2 \cdot 15} \cdot \ln\left(\frac{16}{12.8}\right) + 0.0956 \cdot 10^{-3} \right)$$

$$x = 131.8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_p = x \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{stu})$$

Gustoća toplinskog toka na strani bazenske vode (u cijevi) svedena na unutarnju površinu cijevi, kao funkcija unutarnje temperature stijenke cijevi:

$$q_s = \alpha_s \cdot (\vartheta_{stu} - \vartheta_s)$$

Ravnoteža toplinskih tokova:

$$q_p = q_s$$

$$131.8 \cdot (60 - \vartheta_{st}) = 1813 \cdot (\vartheta_{st} - 23.5)$$

Nakon sređivanja dobivamo:

$$\vartheta_{st} = 25.97 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kako je pretpostavljena temperatura cijevi  $\vartheta_{st} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , rezultat zadovoljava.

2.3.6. Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} \cdot \frac{d_v}{d_u} + \frac{d_v}{2 \cdot \lambda_c} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + \frac{1}{\alpha_p}} = \frac{1}{\frac{1}{1813} \cdot \frac{16}{12.8} + \frac{16}{2 \cdot 15} \cdot \ln\left(\frac{16}{12.8}\right) + \frac{1}{131.8}}$$

$$k = 99.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 2.3.7. Dimenzioniranje izmjenjivača

#### 2.3.7.1. Potrebna površina izmjenjivača

$$A = \frac{Q}{k \cdot \Delta \vartheta_m} = \frac{12 \cdot 10^3}{99.5 \cdot 35.83} = 3.36 \text{ m}^2$$

#### 2.3.7.2. Duljina cijevi izmjenjivača

$$L = \frac{A}{P \cdot n \cdot \pi \cdot d_u} = \frac{3.36}{4 \cdot 20 \cdot 3.14 \cdot 0.0128} = 1.047 \text{ m}$$

$P = 4$  – broj prolaza

Odabrano:

$L = 1.05 \text{ m}$

#### 2.3.7.3. Promjer plašta

Vanjski promjer plašta izračunava se prema izrazu [7]:

$$D_T = \sqrt{f_1 \cdot z \cdot t^2 + f_2 \cdot \sqrt{z} \cdot t} = \sqrt{1.1 \cdot 80 \cdot 21^2 + 70 \cdot \sqrt{80} \cdot 21} = 227.9 \text{ mm}$$

$t = 21 \text{ mm}$  ..... korak rasporeda cijevi  
 $f_1 = 1.1$  ..... konstanta rasporeda cijevi za trokutni raspored cijevi  
 $f_2 = 70 \text{ mm}$  ..... konstanta broja prolaza  
 $z = 80 \text{ kom.}$  ..... broj cijevi po cijelom presjeku plašta

Unutarnji promjer plašta:

$$D_u = D_T + d_v + 2 \cdot u = 227.9 + 16 + 2 \cdot 6 = 255.9 \text{ mm}$$

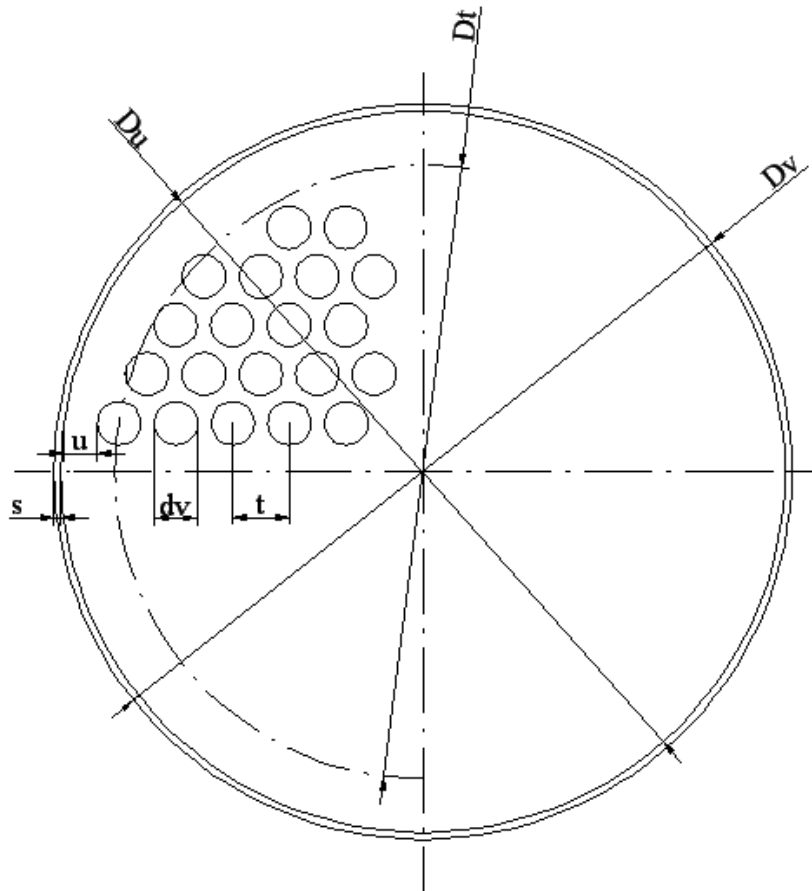
$u = 6 \text{ mm}$  ..... razmak između plašta i najbliže cijevi

Odabiremo bešavnu cijev iz nehrđajućeg austenitnog čelika Č.4573 dimenzija [4]:

$D_v = 273 \text{ mm}$  - vanjski promjer

$D_u = 267.8 \text{ mm}$  - unutarnji promjer

$s_1 = 2.6 \text{ mm}$  - debljina stijenke



Slika 6. Smještaj cijevi u plaštu izmjenjivača – šahovski raspored

### 2.3.8. Dimenzioniranje priključaka na izmjenjivaču

#### 2.3.8.1. Cijevni nastavci na plaštu

Pretpostavljena brzina vode kroz priključak:

$$w_{pr} = 0.7 \text{ m/s}$$

Površina presjeka priključka :

$$A_{pr} = \frac{q_{mp}}{\rho_p \cdot w_{pr}} = \frac{0.143}{983.2 \cdot 0.7} = 0.0002 \text{ m}^2$$

Promjer priključka :

$$d_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{pr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0002}{\pi}} = 0.016 \text{ m}$$

Odabrana je cijev priključka prema DIN 2462 T1 ( bešavna cijev iz nehrđajućeg čelika) [4]:

- materijal                      Č 4573
- nazivni promjer                DN 15
- vanjski promjer                 $d_1 = 21.3 \text{ mm}$
- unutarnji promjer              $d_{1u} = 17.3 \text{ mm}$
- debljina stijenke               $s_s = 2 \text{ mm}$

Stvarna brzina:

$$w_{prs} = \frac{q_{mp} \cdot 4}{\rho_p \cdot \pi \cdot d_u^2} = \frac{0.143 \cdot 4}{983.2 \cdot 3.14 \cdot 0.0173^2} = 0.62 \text{ m/s}$$

### 2.3.8.2. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na plaštu

Ravna prirubnica za zavarivanje izabrana je za PN6, a prema HRN M.B6.180 izabrana prirubnica ima slijedeća svojstva [4]:

materijal              Č.4573

mjere prirubnice:

- DN 15
- $d_1 = 21.3 \text{ mm}$
- $D = 80 \text{ mm}$

vijci:

- broj: 4
- navoj: M10
- $d_2 = 11 \text{ mm}$

- $b = 12 \text{ mm}$
- $e = 2 \text{ mm}$
- $k = 55 \text{ mm}$

### 2.3.8.3. Cijevni nastavci na podnici

Pretpostavljena brzina vode kroz priključak:

$$w_{pr} = 0.7 \text{ m/s}$$

Površina presjeka priključka:

$$A_{pr} = \frac{q_{ms}}{\rho_s \cdot w_{pr}} = \frac{0.957}{997.4 \cdot 0.8} = 0.0012 \text{ m}^2$$

Promjer priključka :

$$d_{pr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{pr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0012}{\pi}} = 0.039 \text{ m}$$

Odabrana je cijev priključka prema DIN 2462 T1 ( bešavna cijev iz nehrđajućeg čelika) [4]:

- materijal                      Č 4573
- nazivni promjer                DN 40
- vanjski promjer                 $d_1 = 48.3 \text{ mm}$
- unutarnji promjer              $d_{1u} = 43.1 \text{ mm}$
- debljina stijenke               $s_s = 2.6 \text{ mm}$

Stvarna brzina:

$$w_{prs} = \frac{q_{ms} \cdot 4}{\rho_s \cdot \pi \cdot d_u^2} = \frac{0.957 \cdot 4}{997.4 \cdot 3.14 \cdot 0.0431^2} = 0.66 \text{ m/s}$$

### 2.3.8.4. Prirubnica za izabrani cijevni nastavak na podnici

Ravna prirubnica za zavarivanje izabrana je za PN6, a prema HRN M.B6.180 izabrana prirubnica ima slijedeća svojstva [4]:

materijal      Č.4573

mjere priрубnice:

- DN 40
- $d_1 = 48.3$  mm
- $D = 130$  mm
- $b = 16$  mm
- $e = 2.6$  mm
- $k = 100$  mm

vijci:

- broj: 4
- navoj: M12
- $d_2 = 14$  mm

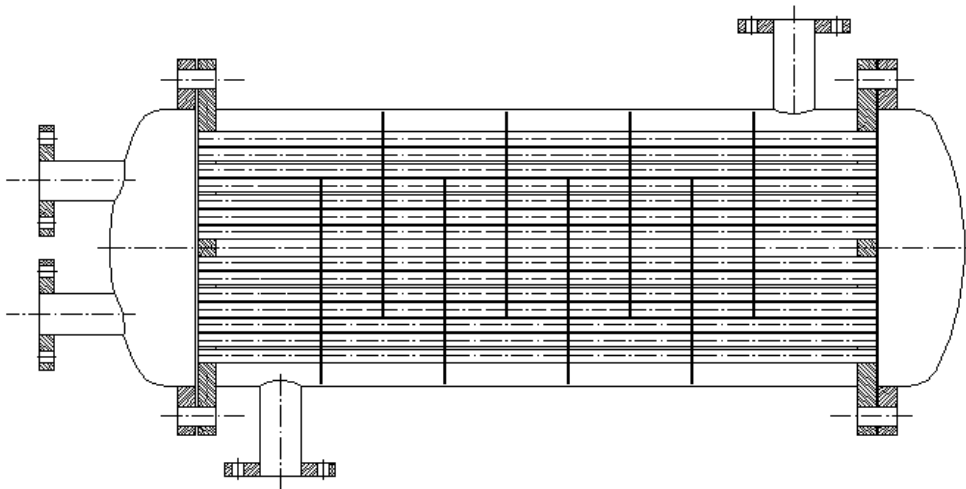
### 3. HIDRAULIČKI PRORAČUN

#### 3.1. HIDRAULIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA

##### 3.1.1. Pad tlaka na strani primara

Na strani smjese vode i propilen-glikola dolazi do pada tlaka uslijed strujanja između segmentnih pregrada u plaštu izmjenjivača i pada tlaka u priključcima.

Pad tlaka u plaštu može se podijeliti na pad tlaka u krajnjoj zoni i međuzoni, te na pad tlaka u uzdužnoj zoni. Njihovim sumiranjem dolazimo do ukupnog pada tlaka na strani smjese.



Slika 7. Shematski prikaz izmjenjivača topline s segmentnim pregradama u plaštu aparata

##### 3.1.1.1. Pad tlaka u priključcima

Za pad tlaka u priključcima općenito vrijedi [6]:



$$\Delta p_{pr} = (\zeta_{pr}) \cdot \frac{\rho_p \cdot w_{prs}^2}{2} = \frac{1038.1 \cdot 0.72^2}{2} = 563 \text{ Pa}$$

Iskustvene vrijednosti za koeficijente otpora na ulazu, odnosno na izlazu iz izmjenjivača su:

$$\zeta_{pr,ul} = 0.5$$

$$\zeta_{pr,iz} = 1$$

$$\rightarrow \zeta_{pr} = \zeta_{pr,ul} + \zeta_{pr,iz} = 0.5 + 1 = 1.5$$

Kako su priključci aparata ulaza i izlaza isti, za brzine strujanja u priključcima vrijedi:

$$w_{pr} = 0.72 \text{ m/s}$$

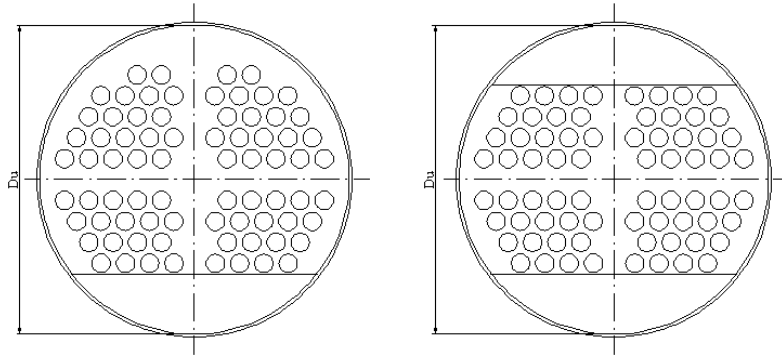
$$\rho_p = 1038.1 \text{ kg/m}^3 \text{ (gustoća smjese)}$$

### *3.1.1.2. Pad tlaka u krajnjoj zoni i međuzoni*

Pod pojmom krajnja zona podrazumijeva se dio izmjenjivača između cijevne stijene i segmentne pregrade. To je dio izmjenjivača gdje se nalaze priključci za ulaz odnosno izlaz smjese. Sve cijevi aparata su u ovoj zoni poprečno nastrojane.

Prostor između dvije susjedne segmentne pregrade u kojima su cijevi poprečno nastrojane naziva se međuzona.

Na slici 7. je dat presjek poprečno nastrojanih cijevi u krajnjoj zoni i u međuzoni. Lijevo na slici je presjek u krajnjoj zoni, dok je na desnoj strani presjek u međuzoni.



Slika 8. Presjek poprečno nastrujanih cijevi u krajnjoj zoni i u međuzoni

Najjednostavniji izraz za proračun pada tlaka u krajnjoj zoni i u međuzoni je prema **Donohue**-u. U tom izrazu se ne uzima u obzir da je broj poprečno nastrujanih redova cijevi u krajnjoj zoni i u međuzoni različit, isto kao i različit razmak između pregrada u tim zonama.

Za pad tlaka u tim zonama zajedno vrijedi izraz [6]:

$$\Delta p_M + \Delta p_K = \zeta \cdot z_p \cdot (z_s + 1) \cdot \frac{\rho_p \cdot w_M^2}{2}$$

Ukupni koeficijent otpora  $\zeta$  za poprečno nastrujane snopove cijevi je funkcija Reynoldsove značajke  $Re$ , koja se određuje pomoću brzine strujanja u najužem presjeku snopa i pomoću vanjskog promjera cijevi, te normiranog koraka cijevi.

S obzirom da je strujanje laminarno ( $Re = 545.5 < 2300$ ), za proračun ukupnog koeficijenta otpora vrijedi izraz:

$$\zeta = \frac{C_l}{(t_p - 1) \cdot Re}$$

Normirani poprečni korak cijevi:

$$t_p = \frac{t}{d_v} = \frac{21}{16} = 1.31$$

Kritični Reynoldsov broj:

$$\text{Re}_{\text{kr}} = \frac{42.3}{t_p - 1} = 135.4 < 545.5$$

Konstanta  $C_l$  ovisi o načinu smještaja cijevi unutar snopa i iznosi za šahovski smještaj:

$$C_l = 60$$

Ukupni koeficijent otpora iznosi:

$$\xi = \frac{C_l}{(t_p - 1) \cdot \text{Re}} = \frac{60}{(1.31 - 1) \cdot 545.5} = 0.352$$

Broj poprečno nastrujanih cijevi u međuzoni iznosi:

$$z_p = 8$$

Broj segmentnih pregrada iznosi:

$$z_s = 10$$

Brzina strujanja u najužem presjeku međuzone:

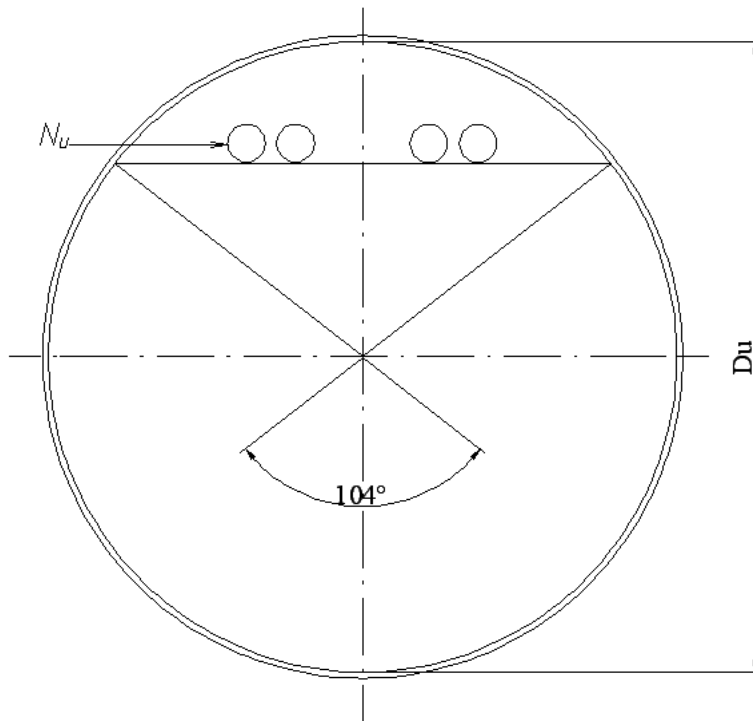
$$w_M = \frac{q_{mp}}{\rho_p \cdot f_q} = \frac{1.096}{1038.1 \cdot 0.00625} = 0.169 \text{ m/s}$$

Pad tlaka u krajnjoj zoni i međuzoni:

$$\Delta p_M + \Delta p_K = \xi \cdot z_p \cdot (z_s + 1) \cdot \frac{\rho_p \cdot w_M^2}{2} = 0.352 \cdot 8 \cdot (10 + 1) \cdot \frac{1038.1 \cdot 0.169^2}{2} = 459 \text{ Pa}$$

### 3.1.1.3. Pad tlaka u uzdužnoj zoni

Uzdužnom zonom se naziva dio aparata u kojem su cijevi uzdužno nastrujane. Na slici se vide u presjeku cijevi, u kružnom odsječku između gornjeg ruba segmentne pregrade i plašta izmjenjivača, koje su uzdužno nastrujane.



Slika 9. Presjek uzdužno nastrujanih cijevi – uzdužna zona

Za pad tlaka u uzdužnoj nastrujanoj zoni vrijedi prema Donohueu izraz [6]:

$$\Delta p_u = (\xi_u) \cdot z_s \cdot \frac{\rho_p \cdot w_u^2}{2}$$

pri čemu je:

$z_s = 10$  – broj segmentnih pregrada

Brzina strujanja  $w_u$  koja se odnosi na slobodan presjek strujanja u uzdužnoj zoni iznosi:

$$w_u = \frac{q_{vp}}{f_1} = \frac{q_{mp}}{\rho_p \cdot f_1} = \frac{1.096}{1038.1 \cdot 0.00758} = 0.139 \text{ m/s}$$

$$f_1 = \frac{D_u \cdot (b-t) + 2 \cdot t \cdot h}{4} - \frac{N_u \cdot d_v^2 \cdot \pi}{4} = \frac{267.8 \cdot (243-212) + 2 \cdot 212 \cdot 52}{4} - \frac{4 \cdot 16^2 \cdot 3.14}{4}$$

$$f_l = 7580 \text{ mm}^2 = 0.00758 \text{ m}^2$$

Koeficijent otpora je konstantan i iznosi:

$$\xi = 2$$

Pad tlaka u uzdužnoj nastrojanoj zoni iznosi:

$$\Delta p_u = (\xi_u) \cdot z_s \cdot \frac{\rho_p \cdot w_u^2}{2} = 2 \cdot 10 \cdot \frac{1038.1 \cdot 0.139^2}{2} = 201 \text{ Pa}$$

#### 3.1.1.4. Ukupni pad tlaka

Ukupni pad tlaka na strani primara jednak je zbroju izračunatih padova tlaka.

$$\Delta p_U = \Delta p_{pr} + \Delta p_M + \Delta p_K + \Delta p_u$$

$$\Delta p_U = 563 + 459 + 201 = 1223 \text{ Pa}$$

#### 3.1.2. Pad tlaka na strani sekundara

##### 3.1.2.1. Pad tlaka uslijed promjene presjeka strujanja

Prema Bernoulliju, pad tlaka iznosi [6]:

$$\Delta p_{pp} = \xi_k \cdot \frac{\rho_s \cdot w_{prs}^2}{2} = 1.5 \cdot \frac{997.4 \cdot 0.66^2}{2} = 326 \text{ Pa}$$

$$w_{prs} = 0.66 \text{ m/s}$$

$$\rho_s = 997.4 \text{ kg/m}^3$$

$\xi_k = \xi_{ku} + \xi_{ki} = 0.5 + 1 = 1.5$  – predložene iskustvene vrijednosti za koeficijent otpora zbog promjene presjeka strujanja na ulazu i izlazu bazenske vode iz izmjenjivača topline.

##### 3.1.2.2. Pad tlaka uslijed strujanja kroz cijev

Pri strujanju kroz cijev dolazi do trenja fluida koji struji i stijenke cijevi, uslijed čega se javlja pad tlaka prema izrazu [6]:

$$\Delta p_c = \xi \cdot \frac{L}{d_u} \cdot \frac{\rho_s \cdot w_s^2}{2} = 0.038 \cdot \frac{1.5}{0.0128} \cdot \frac{997.4 \cdot 0.373^2}{2} = 828 \text{ Pa}$$

$L = 1.5 \text{ m}$  – duljina cijevnog snopa

$d_u = 0.0128 \text{ m}$  – unutarnji promjer cijevi

Za bešavnu cijev apsolutna hrapavost stijenke cijevi:  $k = 0.03 \text{ mm}$

Relativna hrapavost stijenke cijevi:

$$\varepsilon = \frac{k}{d_u} = \frac{0.03}{12.8} = 0.00234 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{\varepsilon} = \frac{d_u}{k} = 427.4$$

$$\text{Re} = \frac{w_s \cdot d_u \cdot \rho_s}{\eta_s} = \frac{0.373 \cdot 0.0128 \cdot 997.4}{915 \cdot 10^{-6}} = 5202 > 2300$$

Koeficijent trenja očitano iz Moodyevog dijagrama:  $\zeta = 0.038$

ili prema izrazu koji daje Filonenko ( $2300 < \text{Re} < 10^8$ ):

$$\zeta = (1.82 \cdot \log \text{Re} - 1.64)^{-2} = (1.82 \cdot \log 5202 - 1.64)^{-2} = 0.038$$

### 3.1.2.3. Ukupni pad tlaka

Ukupni pad tlaka na strani sekundara jednak je zbroju izračunatih padova tlaka.

$$\Delta p_U = \Delta p_{pp} + \Delta p_c$$

$$\Delta p_U = 326 + 828 = 1124 \text{ Pa}$$

## 3.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA

### 3.2.1. Pad tlaka na strani primara

Ukupni pad tlaka u plaštu aparata  $\Delta p$  je suma pada tlaka pri strujanju kroz priključke aparata  $\Delta p_{pr}$  i pada tlaka pri strujanju duž snopa cijevi  $\Delta p_s$ , tako da vrijedi:

$$\Delta p = \Delta p_{pr} + \Delta p_s$$

### 3.2.1.1. Pad tlaka u priključcima

Za pad tlaka u priključcima općenito vrijedi [6]:

$$\Delta p_{pr} = (\xi_{pr}) \cdot \frac{\rho_p \cdot w_{prs}^2}{2} = 1.5 \cdot \frac{983.2 \cdot 0.62^2}{2} = 284 \text{ Pa}$$

Iskustvene vrijednosti za koeficijente otpora na ulazu, odnosno na izlazu iz izmjenjivača su:

$$\xi_{pr,ul} = 0.5$$

$$\xi_{pr,iz} = 1$$

$$\rightarrow \xi_{pr} = \xi_{pr,ul} + \xi_{pr,iz} = 0.5 + 1 = 1.5$$

Kako su priključci aparata ulaza i izlaza isti, za brzine strujanja u priključcima vrijedi:

$$w_{prs} = 0.62 \text{ m/s}$$

$$\rho_p = 983.2 \text{ kg/m}^3 \text{ (gustoća vode)}$$

### 3.2.1.2. Pad tlaka duž snopa cijevi

Pad tlaka snopa cijevi može se približno odrediti po izrazu [6]:

$$\Delta p_s = \xi \cdot \frac{L}{r_h} \cdot \frac{\rho_p \cdot w_p^2}{2} = 0.256 \cdot \frac{1}{0.017} \cdot \frac{983.2 \cdot 0.0032^2}{2} = 0.1 \approx 0 \text{ Pa}$$

Koeficijent otpora je definiran izrazom:

$$\xi = \frac{64}{Re} = \frac{64}{250} = 0.256 \quad (\text{Re} = 250 < 2300 - \text{laminarno strujanje})$$

Hidraulički polumjer:

$$r_h = \frac{d_h}{2} = \frac{0.033}{2} = 0.017 \text{ m}$$

### 3.2.1.3. Ukupni pad tlaka

$$\Delta p = \Delta p_{pr} + \Delta p_s$$

$$\Delta p = 284 + 0 = 284 \text{ Pa}$$

### 3.2.2. Pad tlaka na strani sekundara

#### 3.2.2.1. Pad tlaka uslijed promjene presjeka strujanja

Prema Bernoulliju, pad tlaka iznosi [6]:

$$\Delta p_{pp} = \xi_k \cdot \frac{\rho_s \cdot w_{prs}^2}{2} = 1.5 \cdot \frac{997.4 \cdot 0.66^2}{2} = 326 \text{ Pa}$$

$$w_{prs} = 0.66 \text{ m/s}$$

$$\rho_s = 997.4 \text{ kg/m}^3$$

$$\xi_k = \xi_{ku} + \xi_{ki} = 0.5 + 1 = 1.5 - \text{predložene iskustvene vrijednosti za koeficijent otpora zbog promjene presjeka strujanja na ulazu i izlazu bazenske vode iz izmjenjivača topline.}$$

#### 3.2.2.2. Pad tlaka uslijed strujanja kroz cijev

Pri strujanju kroz cijev dolazi do trenja fluida koji struji i stijenke cijevi, uslijed čega se javlja pad tlaka prema izrazu [6]:

$$\Delta p_c = \xi \cdot \frac{L}{d_u} \cdot \frac{\rho_s \cdot w_s^2}{2} = 0.038 \cdot \frac{1}{0.0128} \cdot \frac{997.4 \cdot 0.373^2}{2} = 552 \text{ Pa}$$

$L = 1 \text{ m}$  – duljina cijevnog snopa

$d_u = 0.0128 \text{ m}$  – unutarnji promjer cijevi

Za bešavnu cijev apsolutna hrapavost stijenke cijevi:  $k = 0.03 \text{ mm}$

Relativna hrapavost stijenke cijevi:

$$\varepsilon = \frac{k}{d_u} = \frac{0.03}{12.8} = 0.00234 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{\varepsilon} = \frac{d_u}{k} = 427.4$$

$$\text{Re} = \frac{w_s \cdot d_u \cdot \rho_s}{\eta} = \frac{0.373 \cdot 0.0128 \cdot 997.4}{915 \cdot 10^{-6}} = 5202 > 2300$$



Koeficijent trenja očitao iz Moodyevog dijagrama:  $\zeta = 0.038$

ili prema izrazu koji daje Filonenko ( $2300 < Re < 10^8$ ):

$$\zeta = (1.82 \cdot \log Re - 1.64)^{-2} = (1.82 \cdot \log 5202 - 1.64)^{-2} = 0.038$$

### 3.2.2.3. Ukupni pad tlaka

Ukupni pad tlaka na strani sekundara jednak je zbroju izračunatih padova tlaka.

$$\Delta p_U = \Delta p_{pp} + \Delta p_c$$

$$\Delta p_U = 326 + 552 = 878 \text{ Pa}$$

## 4. PRORAČUN ČVRSTOĆE

### 4.1. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA

#### 4.1.1. Vrsta i klasa posude pod tlakom

Vrsta i klasa posude pod tlakom određuje se prema standardu HRN M.E2.150 i HRN M.E2.151

Posudom pod tlakom smatra se posuda koja zadovoljava bar jedan od slijedećih uvjeta:

- tlak  $p \geq 1$  [bara pretlaka]
- akumulirana energija  $p \cdot V_g > 0.3$  [bar m<sup>3</sup>]

*Volumen posude pod tlakom*,  $V$  (m<sup>3</sup>), je ukupan unutarnji volumen posude.

*Volumen plina*,  $V_g$  (m<sup>3</sup>), je volumen plina ili plina i tekućine u posudi ili pojedinom njezinom dijelu u kojem vlada tlak, i koji pri kritičnom otkazu posude trenutno prelazi u plinovito stanje, koje se računa za tlak 1 bar i temperaturu 15°C.

*Tlak*,  $p$  (bar), je najveći pretlak u posudi ili nekom njezinom dijelu u kojem vlada tlak.

*Temperatura*,  $T$  (°C), je najviša temperatura radne tvari koja se može javiti u posudi.

*Masa posude*,  $m$  (t), je masa prazne posude s oblogom bez armature i izolacije.

*Kritični otkaz posude* je lom jednog dijela posude pod tlakom ili popuštanje vijaka za zatvaranje glavnih dijelova posude pri čemu dolazi do brzog izlaženja veće količine radne tvari iz posude.

#### 4.1.1.1. Vrsta posude pod tlakom

Posude pod tlakom dijele se prema obliku, izvedbi i namjeni.

- prema obliku
- prema izvedbi
- prema namjeni

#### 4.1.1.2. Klasa posude pod tlakom

Klasa posude pod tlakom predstavlja nivo pouzdanosti rada posude u predviđenim uvjetima i vijeku trajanja. Razlikuju se projektna, izvedbena i trenutna klasa posude. Projektna klasa posude predstavlja traženi nivo pouzdanosti posude. Određuje se na osnovi rizika za okolinu u slučaju kritičnog otkaza posude. Rizik za okolinu definiran je utjecajnim faktorima koji se dijele na opće i lokacijske. Općim faktorima pridružuju se bodovi navedeni u podacima za fizikalno – geometrijske karakteristike posude pod tlakom i karakteristike radne tvari, a njihova suma predstavlja ukupan rizik za okolinu. Lokacijskim faktorima nije moguće jednoznačno odrediti parametre jer se oni razlikuju od slučaja do slučaja. Njihov utjecaj na ukupan rizik za okolinu uzima se u obzir svrstavanjem posude u rizičniju klasu od one dobivene na osnovi sume bodova preko općih faktora.

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za stabilne tlačne posude, ovaj aparat ne spada u posude pod tlakom ali se računa prema dobroj inženjerskoj praksi.

#### 4.1.2. Proračun cilindričnog plašta

Radna podloga za proračun cilindričnih i kuglastih plašteva izvrnutih djelovanju unutrašnjeg tlaka HRN M.E2.253 [8]

Konstruktivski parametri:

- vanjski promjer :  $D_v = 273 \text{ mm}$
- unutarnji promjer :  $D_u = 267.8 \text{ mm}$
- debljina stijenke (odabrana) :  $s_A = 2.6 \text{ mm}$
- radni tlak :  $p = 5 \text{ bara}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$
- stupanj sigurnosti :  $S = 1.5$
- koeficijent zavara :  $v = 1$  (za bešavne cijevi)
- dodatak za dozvoljeno odstupanje mjera materijala :  $c_1 = 0 \text{ mm}$
- dodatak zbog smanjenja lima korozijom :  $c_2 = 0 \text{ mm}$

$$\text{Uvjeti primjene : } \frac{D_v}{D_u} = \frac{273}{267.8} = 1.019 < 1.2 \quad (\text{zadovoljava})$$

Proračun potrebne debljine stijenke:

$$s = \frac{D_v \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{20 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.498 \text{ mm} < s_A = 2.6 \text{ mm}$$

(odabrana debljina stijenke zadovoljava)

Proračun izreza u cilindru plašta – prema HRN M.E2.256 [8]

Uvjet primjene je :

$$0.002 \leq \frac{s_A - c_1 - c_2}{D_v} \leq 0.1$$

Dakle:

$$\frac{s_A - c_1 - c_2}{D_v} = \frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad (\text{uvjet zadovoljen})$$

Ojačanje se izvodi povećanjem debljine stijenke:

$s_s = 2.6 \text{ mm}$  (debljina stijenke priključka)

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{2.6 - 0 - 0}{2.6 - 0 - 0} = 1 \quad (\text{a})$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{43.1}{\sqrt{(267.8 + 2.6 - 0 - 0) \cdot (2.6 - 0 - 0)}} = 1.626 \quad (\text{b})$$

Pomoću (a) i (b) dobije se iz dijagrama koeficijent oslabljenja  $\nu_A = 0.775$  koji se uvrštava u izraz :

$$s = \frac{D_v \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{20 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 0.775 + 5} + 0 + 0 = 0.643$$

Budući je  $s_A > s$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.643 \text{ mm}$ , ojačanje nije potrebno.

#### 4.1.3. Proračun podnice izložene unutrašnjem tlaku

Prema HRN M.E2.252 [8]

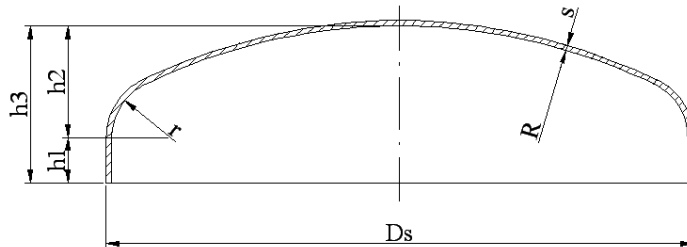
Konstruktivski parametri:

- radni tlak :  $p = 5 \text{ bar}$
- vanjski promjer podnice :  $D_s = 273 \text{ mm}$
- unutrašnji promjer priključka :  $d_{1u} = 43.1 \text{ mm}$
- odabrana debljina stijenke :  $s_e = 2.6 \text{ mm}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$
- modul elastičnosti:  $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
- sigurnost  $S = 1.5$
- dodatak za dozvoljeno odstupanje mjera materijala :  $c_1 = 0 \text{ mm}$
- dodatak zbog smanjenja lima korozijom :  $c_2 = 0 \text{ mm}$

##### 4.1.3.1. Odabir i proračun podnice bez izreza (desna podnica)

Odabrana je plitka podnica prema HRN M.E0.020 [8]

- radijus kalote:  $R_k = D_s = 273 \text{ mm}$
- radijus torusa:  $r = 0.1 \cdot D_s = 27.3 \text{ mm}$
- visina cilindra:  $h_1 \geq 3.5s_e = 21 \text{ mm}$
- visina kalote:  $h_2 = 0.1935 \cdot D_s - 0.455 \cdot s_e$   
 $h_2 = 0.1935 \cdot 273 - 0.455 \cdot 2.6 = 51.6 \text{ mm}$



Slika 10. Presjek podnice

Uvjet primjene standarda je:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad (\text{zadovoljen uvjet})$$

$$\frac{d_{1u}}{D_s} = 0 - \text{nema izreza} \quad (\text{c})$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.00952 \quad (\text{d})$$

Iz ova dva podatka, (c) i (d), pomoću slike 7 (HRN M.E2.252) dobije se koeficijent oblika podnice koji iznosi  $\beta = 2.8$ .

Potrebna debljina torusa iznosi :

$$s_t = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5 \cdot 2.8}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.7 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_t$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.7 \text{ mm}$ , debljina stijenke torusa zadovoljava.

Za plitke i duboke podnice mora se ispitati da li je podnica u prijelaznom dijelu dovoljno dimenzionirana u odnosu spram elastičnih ulubljenja (pojava nabora na prijelazu).

Provjera na elastično ulubljivanje:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 21 \text{ (slika 9 – HRN M.E2.252)}$$

↓

$$p_B = 21 \cdot \frac{2.1 \cdot 10^5}{10^5} = 44.1 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1.5 \cdot p$$

$$44.1 \text{ bar} > 7.5 \text{ bar} \quad \text{Zadovoljava}$$

Odabrana debljina stijenke podnice  $s_e = 2.6 \text{ mm}$  se usvaja.

#### 4.1.3.2. Odabir i proračun podnice sa izrezima (lijeva podnica)

Za proračun lijeve podnice vrijedi isto što i za desnu ali ima izreze:

$$\frac{d_{iu}}{D_s} = \frac{12.8}{273} = 0.158 \quad \text{(e)}$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad \text{(f)}$$

Iz ova dva podatka, (e) i (f), pomoću slike 7 (HRN M E2.252.) dobije se koeficijent oblika podnice koji iznosi  $\beta = 3.3$ .

Potrebna debljina torusa iznosi :

$$s_t = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5 \cdot 3.3}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.97 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_t$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.97 \text{ mm}$ , debljina stijenke  $s_e = 2.6 \text{ mm}$  zadovoljava.

Provjera na elastično ulubljivanje:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 21 \text{ (slika 9 – HRN M.E2.252)}$$

↓

$$p_B = 21 \cdot \frac{2.1 \cdot 10^5}{10^5} = 44.1 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1.5 \cdot p$$

$$44.1 \text{ bar} > 7.5 \text{ bar}$$

Zadovoljava

Proračun izreza lijeve podnice prema HRN M.E2.252 (izrezi su izvan  $0.6D_s$ )

Koeficijent valjanosti zavarenog spoja:

$$v = 0.85$$

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 0.85 + 5} + 0 + 0 = 0.29 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_A$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.29 \text{ mm}$ , ojačanje nije potrebno.

#### 4.1.4. Proračun cijevne stijenke

Prema HRN M.E.259 [8]

Konstruktivski parametri:

- radni tlak :  $p = 5 \text{ bar}$
- promjer najvećeg kruga upisanog u dio sa cijevima:  $d_2 = 51 \text{ mm}$
- odabrana debljina stijenke :  $s = 22 \text{ mm}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$



- sigurnost  $S=1.5$
- vanjski promjer cijevi :  $d_v = 16 \text{ mm}$
- unutarnji promjer cijevi :  $d_u = 12.8 \text{ mm}$

Debljina cijevne stijenke:

$$s = 0.4 \cdot d_2 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot K}} = 0.4 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 1.5}{10 \cdot 205}} = 3.9 \text{ mm}$$

Usvajamo odabranu debljinu  $s = 22 \text{ mm}$ .

Minimalna debljina šava zavarenog spoja:

$$q = 0.4 \cdot \frac{F_R \cdot S}{d_v \cdot K} = 0.4 \cdot \frac{100.48 \cdot 1.5}{16 \cdot 205} = 0.018 \text{ mm}$$

$$F_R = A_R \cdot p = 0.20096 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 = 100.48 \text{ N}$$

$$A_R = \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} = \frac{16^2 \cdot \pi}{4} = 200.96 \text{ mm}^2 = 0.20096 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

gdje je :

$F_R$  - sila cijevi, N

$A_R$  - površina opterećenja koja dolazi na jednu cijev,  $\text{m}^2$

Kako je najmanja potrebna širina šava zavara  $0.018 \text{ mm}$ , usvojena je širina zavara:  
 $q = 2.6 \text{ mm}$ .

Izbor standardne slijepe prirubnice:

- nazivni promjer : DN 250
- vanjski promjer prirubnice:  $D = 375 \text{ mm}$
- debljina prirubnice :  $b = 22 \text{ mm}$

- promjer diobenog kruga vijaka :  $k = 335 \text{ mm}$
- broj vijaka :  $n = 12$
- navoj vijka: M16
- promjer vijka:  $d_2 = 18 \text{ mm}$

#### 4.1.5. Proračun vijaka

Prema normi HRN M.E2.257 [8]

Konstruktivski parametri:

- kružni vijčani spoj
- unutarnji promjer prirubnice:  $d_{pu} = 273 \text{ mm}$
- radni tlak:  $p = 5 \text{ bar}$
- materijal vijka: M.B1.023(4.6)
- proračunska čvrstoća vijka :  $K = 240 \text{ N/mm}^2$
- broj vijaka  $n = 12$

Izbor brtve:

- vanjski promjer brtve :  $d_{bv} = 312 \text{ mm}$
- unutarnji promjer brtve :  $d_{bu} = 274 \text{ mm}$
- srednji promjer brtve:  $d_D = 293 \text{ mm}$
- korisna širina brtve:  $b_D = 19 \text{ mm}$
- debljina brtve:  $b = 2 \text{ mm}$
- materijal brtve: klingerit
- oblik brtve: plosnata

4.1.5.1. Proračun sila u vijku:

$$F_{RB} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_{pu}^2}{40} = \frac{5 \cdot 3.14 \cdot 273^2}{40} = 29270 \text{ N}$$

$$F_{FB} = \frac{p \cdot \pi \cdot (d_D^2 - d_{pu}^2)}{40} = \frac{5 \cdot 3.14 \cdot (293^2 - 273^2)}{40} = 4445 \text{ N}$$

$$F_{DB} = \frac{p}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 = \frac{5}{10} \cdot 3.14 \cdot 293 \cdot 1.2 \cdot 19 = 10490 \text{ N}$$

$S_D = 1.2$  (odabrano)

$k_1$  – očitano iz tablice 1, odnosno iz crteža za klingerit brtvu i iznosi za radno stanje:

$k_1 = b_D = 19 \text{ mm}$ .

Za radno stanje najmanja sila u vijku iznosi:

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} = 29270 + 4445 + 10490 = 44205 \text{ N}$$

Za ugradbeno stanje najmanja sila u vijku iznosi:

$$F_{DV} = \pi \cdot d_D \cdot k_0 \cdot K_D = 3.14 \cdot 293 \cdot 285 = 262300 \text{ N}$$

Faktor  $k_0 \cdot K_D$  se očitava iz tablice 1 u standardu:

$$k_0 \cdot K_D = 15 \cdot b_D = 285 \text{ N/mm}.$$

Budući je  $F_{DV} > F_{SB}$  slijedi da je :

$$\begin{aligned} F_{DV} &= 0.2 \cdot F_{DV} + 0.8 \cdot \sqrt{F_{SB} \cdot F_{DV}} \\ &= 0.2 \cdot 262300 + 0.8 \cdot \sqrt{44205 \cdot 262300} = 138600 \text{ N} \end{aligned}$$

4.1.5.2. Proračun promjera vijaka

Za radno stanje:

$$d_2 = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} + c_5 = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{44205}{240 \cdot 12}} + 3 = 8.41 \text{ mm}$$

$Z$  se iz tablice bira i iznosi za  $\varphi = 1$  i za vijke s punim stablom:

$Z = 1.51$

$$Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{44205}{240 \cdot 12}} = 5.41 \text{ mm}$$

Kako je  $5.41 < 20 \text{ mm}$ , slijedi  $c_5 = 3 \text{ mm}$ .

Za ispitno stanje:

$$d_2 = Z \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot 44205}{240 \cdot 12}} = 6.19 \text{ mm}$$

Z se bira iz tablice 3 i iznosi za  $\varphi = 1$  i za vijke s punim stablom:  
 $Z = 1.29$

Za ugradno stanje:

$$d_2 = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{138600}{240 \cdot 12}} = 8.18 \text{ mm}$$

Odabrani vijci M16 odgovaraju, materijal M.B1.023, klasa 4.6 (čelik za vijke). [9]

#### 4.1.6. Proračun prirubnice za privarivanje

Prema normi HRN M.E.258 [8]

Konstruktivski parametri:

- vanjski promjer prirubnice:  $d_s = 375 \text{ mm}$
- unutarnji promjer osnovnog dijela:  $D_u = 267.8 \text{ mm}$
- srednji promjer brtve:  $d_D = 293 \text{ mm}$
- promjer kruga rupa:  $d_t = 335$
- promjer rupe vijka :  $d_L = 18$
- debljina stijenke osnovnog dijela:  $s_1 = 2.6 \text{ mm}$
- visina oboda prirubnice:  $h_F = 22 \text{ mm}$
- stupanj sigurnosti pri proračunskoj temperaturi:  $S = 1.5$

– stupanj sigurnosti pri ispitnoj temperaturi:  $S' = 1.1$

Korisna dvostruka širina prirubnice iznosi:

$$b = d_s - d_u - 2 \cdot d_L' = 375 - 267.8 - 2 \cdot 13.32 = 80.6 \text{ mm}$$

$$d_L' = v \cdot d_L = 0.74 \cdot 18 = 13.32 \text{ mm}$$

$$v = f(d_u) = 0.74$$

Pomoćna vrijednost:

$$Z = (d_u + s_1) \cdot s_1^2 = (267.7 + 2.6) \cdot 2.6^2 = 1828 \text{ mm}^3$$

Krak djelovanja sile u vijku za pogonsko i ispitno stanje:

$$a = \frac{d_t - d_u - s_1}{2} = \frac{335 - 267.8 - 2.6}{2} = 32.3 \text{ mm}$$

Za ugradno stanje:

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} = \frac{335 - 293}{2} = 21 \text{ mm}$$

Otporni moment za pogonsko stanje:

$$W = \frac{F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{44205 \cdot 1.5}{205} \cdot 32.3 = 10450 \text{ mm}^3$$

Otporni moment za ispitno stanje:

$$W = \frac{1.5 \cdot F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{1.5 \cdot 44205 \cdot 1.5}{205} \cdot 32.3 = 15671 \text{ mm}^3$$

Otporni moment za ugradno stanje:

$$W = \frac{F_{DV} \cdot S'}{K} \cdot a = \frac{138600 \cdot 1.1}{205} \cdot 21 = 15620 \text{ mm}^3$$

Za dimenzioniranje prirubnica mjerodavan je najveći moment otpora, a to je moment otpora za ispitno stanje  $W = 15671 \text{ mm}^3$ .

Potrebna visina oboda prirubnice iznosi:

$$h_{F1} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot W - Z}{b}} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot 15671 - 1828}{80.6}} = 15.92 \text{ mm}$$

Budući je  $h_F > h_{F1}$ ,  $22 > 15.92$ , prirubnica zadovoljava opterećenje.

#### 4.2. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA KOTLOVSKI KRUG GRIJANJA

##### 4.2.1. Vrsta i klasa posude pod tlakom

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za stabilne tlačne posude, ovaj aparat ne spada u posude pod tlakom ali se računa prema dobroj inženjerskoj praksi.

##### 4.2.2. Proračun cilindričnog plašta

Radna podloga za proračun cilindričnih i kuglastih plašteva izvrnutih djelovanju unutrašnjeg tlaka HRN M.E2.253 [8]

Konstruktivski parametri:

- vanjski promjer :  $D_v = 273 \text{ mm}$
- unutarnji promjer :  $D_u = 267.8 \text{ mm}$
- debljina stijenke (odabrana) :  $s_A = 2.6 \text{ mm}$
- radni tlak :  $p = 5 \text{ bara}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$
- stupanj sigurnosti :  $S = 1.5$
- koeficijent zavara :  $v = 1$  (za bešavne cijevi)
- dodatak za dozvoljeno odstupanje mjera materijala :  $c_1 = 0 \text{ mm}$

– dodatak zbog smanjenja lima korozijom:  $c_2 = 0$  mm

$$\text{Uvjeti primjene : } \frac{D_v}{D_u} = \frac{273}{267.8} = 1.019 < 1.2 \quad (\text{zadovoljava})$$

Proračun potrebne debljine stijenke:

$$s = \frac{D_v \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{20 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.498 \text{ mm} < s_A = 2.6 \text{ mm}$$

(odabrana debljina stijenke zadovoljava)

Proračun izreza u cilindru plašta – prema HRN M.E2.256 [8]

Uvjet primjene je :

$$0.002 \leq \frac{s_A - c_1 - c_2}{D_v} \leq 0.1$$

Dakle:

$$\frac{s_A - c_1 - c_2}{D_v} = \frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad (\text{uvjet zadovoljen})$$

Ojačanje se izvodi povećanjem debljine stijenke:

$s_s = 2.6$  mm (debljina stijenke priključka)

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{2.6 - 0 - 0}{2.6 - 0 - 0} = 1 \quad (\text{a})$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{43.1}{\sqrt{(267.8 + 2.6 - 0 - 0) \cdot (2.6 - 0 - 0)}} = 1.626 \quad (\text{b})$$

Pomoću (a) i (b) dobije se iz dijagrama koeficijent oslabljenja  $\nu_A = 0.775$  koji se uvrštava u izraz :

$$s = \frac{D_V \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{20 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 0.775 + 5} + 0 + 0 = 0.643$$

Budući je  $s_A > s$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.643 \text{ mm}$ , ojačanje nije potrebno.

#### 4.2.3. Proračun podnice izložene unutrašnjem tlaku

Prema HRN M.E2.252 [8]

Konstruktivski parametri:

- radni tlak :  $p = 5 \text{ bar}$
- vanjski promjer podnice :  $D_s = 273 \text{ mm}$
- unutrašnji promjer priključka :  $d_u = 43.1 \text{ mm}$
- odabrana debljina stijenke :  $s_e = 2.6 \text{ mm}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$
- modul elastičnosti:  $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
- sigurnost  $S = 1.5$
- dodatak za dozvoljeno odstupanje mjera materijala :  $c_1 = 0 \text{ mm}$
- dodatak zbog smanjenja lima korozijom :  $c_2 = 0 \text{ mm}$

##### 4.2.3.1. Odabir i proračun podnice bez izreza (desna podnica)

Odabrana je plitka podnica prema HRN M.E0.020 [8]

- radijus kalote:  $R_k = D_s = 273 \text{ mm}$
- radijus torusa:  $r = 0.1 \cdot D_s = 27.3 \text{ mm}$
- visina cilindra:  $h_1 \geq 3.5s_e = 21 \text{ mm}$
- visina kalote:  $h_2 = 0.1935 \cdot D_s - 0.455 \cdot s_e$



$$h_2 = 0.1935 \cdot 273 - 0.455 \cdot 2.6 = 51.6 \text{ mm}$$

Uvjet primjene standarda je:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad (\text{zadovoljen uvjet})$$

$$\frac{d_u}{D_s} = 0 - \text{nema izreza} \quad (\text{c})$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.00952 \quad (\text{d})$$

Iz ova dva podatka, (c) i (d), pomoću slike 7 (HRN M.E2.252.) dobije se koeficijent oblika podnice koji iznosi  $\beta = 2.8$ .

Potrebna debljina torusa iznosi :

$$s_t = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5 \cdot 2.8}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.7 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_t$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.7 \text{ mm}$ , debljina stijenke torusa  $s_t = 2.6 \text{ mm}$  zadovoljava.

Za plitke i duboke podnice mora se ispitati da li je podnica u prijelaznom dijelu dovoljno dimenzionirana u odnosu spram elastičnih ulubljenja (pojava nabora na prijelazu).

Provjera na elastično ulubljanje:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 21 \quad (\text{slika 9 - HRN M.E2.252})$$

↓

$$p_B = 21 \cdot \frac{2.1 \cdot 10^5}{10^5} = 44.1 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1.5 \cdot p$$

$$44.1 \text{ bar} > 7.5 \text{ bar}$$

Zadovoljava

Odabrana debljina stijenke podnice  $s_e = 2.6$  mm se usvaja.

#### 4.2.3.2. Odabir i proračun podnice sa izrezima (lijeva podnica)

Za proračun lijeve podnice vrijedi isto što i za desnu ali ima izreze:

$$\frac{d_u}{D_s} = \frac{12.8}{273} = 0.158 \quad (e)$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{2.6 - 0 - 0}{273} = 0.00952 \quad (f)$$

Iz ova dva podatka, (e) i (f), pomoću slike 7 (HRN M E2.252.) dobije se koeficijent oblika podnice koji iznosi  $\beta = 3.3$ .

Potrebna debljina torusa iznosi :

$$s_t = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5 \cdot 3.3}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 1 + 5} + 0 + 0 = 0.97 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_t$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.97 \text{ mm}$ , debljina stijenke torusa  $s_t = 2.6$  mm zadovoljava.

Provjera na elastično ulublivanje:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 21 \text{ (slika 9 - HRN M.E2.252)}$$

↓

$$p_B = 21 \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{10^5} = 44.1 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1.5 \cdot p$$

$$44.1 \text{ bar} > 7.5 \text{ bar}$$

Zadovoljava

Proračun izreza lijeve podnice prema HRN M.E2.252 (izrezi su izvan  $0.6D_s$ )

Koeficijent valjanosti zavarenog spoja:

$$v = 0.85$$

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{273 \cdot 5}{40 \cdot \frac{205}{1.5} \cdot 0.85 + 5} + 0 + 0 = 0.29 \text{ mm}$$

Budući je  $s_e > s_A$ ,  $2.6 \text{ mm} > 0.29 \text{ mm}$ , ojačanje nije potrebno.

#### 4.2.4. Proračun cijevne stijenke

Prema HRN M.E.259 [8]

Konstruktivski parametri:

- radni tlak :  $p = 5 \text{ bar}$
- promjer najvećeg kruga upisanog u dio sa cijevima:  $d_2 = 51 \text{ mm}$
- odabrana debljina stijenke :  $s = 22 \text{ mm}$
- materijal : Č.4573
- čvrstoća :  $K = 205 \text{ N/mm}^2$
- sigurnost  $S=1.5$
- vanjski promjer cijevi :  $d_v = 16 \text{ mm}$
- unutarnji promjer cijevi :  $d_u = 12.8 \text{ mm}$

Debljina cijevne stijenke:

$$s = 0.4 \cdot d_2 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot K}} = 0.4 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 1.5}{10 \cdot 205}} = 3.9 \text{ mm}$$

Usvajamo odabranu debljinu  $s = 22 \text{ mm}$ .

Minimalna debljina šava zavarenog spoja:

$$q = 0.4 \cdot \frac{F_R \cdot S}{d_v \cdot K} = 0.4 \cdot \frac{100.48 \cdot 1.5}{16 \cdot 205} = 0.018 \text{ mm}$$

$$F_R = A_R \cdot p = 0.20096 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 = 100.48 \text{ N}$$

$$A_R = \frac{d_V^2 \cdot \pi}{4} = \frac{16^2 \cdot \pi}{4} = 200.96 \text{ mm}^2 = 0.20096 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

gdje je :

$F_R$  - sila cijevi, N

$A_R$  - površina opterećenja koja dolazi na jednu cijev,  $\text{m}^2$

Kako je najmanja potrebna širina šava zavara 0.018 mm, usvojena je širina zavara:  
 $q = 2.6 \text{ mm}$ .

Izbor standardne slijepa prirubnice:

- nazivni promjer : DN 250
- vanjski promjer prirubnice:  $D = 375 \text{ mm}$
- debljina prirubnice :  $b = 22 \text{ mm}$
- promjer diobenog kruga vijaka :  $k = 335 \text{ mm}$
- broj vijaka :  $n = 12$
- navoj vijka: M16
- promjer vijka:  $d_2 = 18 \text{ mm}$

#### 4.2.5. Proračun vijaka

Prema normi HRN M.E2.257 [8]

Konstruktivski parametri:

- kružni vijčani spoj
- unutarnji promjer prirubnice:  $d_{pu} = 273 \text{ mm}$
- radni tlak:  $p = 5 \text{ bar}$
- materijal vijka: M.B1.023(4.6)

– proračunska čvrstoća vijka:  $K = 240 \text{ N/mm}^2$

– broj vijaka  $n = 12$

Izbor brtve:

– vanjski promjer brtve :  $d_{bv} = 312 \text{ mm}$

– unutarnji promjer brtve :  $d_{bu} = 274 \text{ mm}$

– srednji promjer brtve:  $d_D = 293 \text{ mm}$

– korisna širina brtve:  $b_D = 19 \text{ mm}$

– debljina brtve:  $b = 2 \text{ mm}$

– materijal brtve: klingerit

– oblik brtve: plosnata

4.2.5.1. Proračun sila u vijku:

$$F_{RB} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_{pu}^2}{40} = \frac{5 \cdot 3.14 \cdot 273^2}{40} = 29270 \text{ N}$$

$$F_{FB} = \frac{p \cdot \pi \cdot (d_D^2 - d_{pu}^2)}{40} = \frac{5 \cdot 3.14 \cdot (293^2 - 273^2)}{40} = 4445 \text{ N}$$

$$F_{DB} = \frac{p}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 = \frac{5}{10} \cdot 3.14 \cdot 293 \cdot 1.2 \cdot 19 = 10490 \text{ N}$$

$S_D = 1.2$  (odabrano)

$k_1$  – očitano iz tablice 1, odnosno iz crteža za klingerit brtvu i iznosi za radno stanje:

$k_1 = b_D = 19 \text{ mm}$ .

Za radno stanje najmanja sila u vijku iznosi:

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} = 29270 + 4445 + 10490 = 44210 \text{ N}$$

Za ugradbeno stanje najmanja sila u vijku iznosi:

$$F_{DV} = \pi \cdot d_D \cdot k_0 \cdot K_D = 3.14 \cdot 293 \cdot 285 = 262300 \text{ N}$$

Faktor  $k_0 \cdot K_D$  se očitava iz tablice 1 u standardu :

$$k_0 \cdot K_D = 15 \cdot b_D = 285 \text{ N/mm.}$$

Budući je  $F_{DV} > F_{SB}$  slijedi da je :

$$\begin{aligned} F_{DV} &= 0.2 \cdot F_{DV} + 0.8 \cdot \sqrt{F_{SB} \cdot F_{DV}} \\ &= 0.2 \cdot 262300 + 0.8 \cdot \sqrt{44205 \cdot 262300} = 138600 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 4.2.5.2. Proračun promjera vijaka

Za radno stanje:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} + c_5 = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{44205}{240 \cdot 12}} + 3 = 8.41 \text{ mm}$$

Z se iz tablice bira i iznosi za  $\varphi = 1$  i za vijke s punim stablom:  
 $Z = 1.51$

$$Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{44205}{240 \cdot 12}} = 5.41 \text{ mm}$$

Kako je  $5.41 < 20 \text{ mm}$ , slijedi  $c_5 = 3 \text{ mm}$ .

Za ispitno stanje:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot 44205}{240 \cdot 12}} = 6.19 \text{ mm}$$

Z se bira iz tablice 3 i iznosi za  $\varphi = 1$  i za vijke s punim stablom:  
 $Z = 1.29$

Za ugradno stanje:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{138600}{240 \cdot 12}} = 8.18 \text{ mm}$$

Odabrani vijci M16 odgovaraju, materijal M.B1.023, klasa 4.6 (čelik za vijke). [9]

#### 4.2.6. Proračun prirubnice za privarivanje

Prema normi HRN M.E.258 [8]

Konstruktivski parametri:

- vanjski promjer prirubnice:  $d_s = 375 \text{ mm}$
- unutarnji promjer osnovnog dijela:  $D_u = 267.8 \text{ mm}$
- srednji promjer brtve:  $d_D = 293 \text{ mm}$
- promjer kruga rupa:  $d_t = 335$
- promjer rupe vijka :  $d_L = 18$
- debljina stijenke osnovnog dijela:  $s_1 = 2.6 \text{ mm}$
- visina oboda prirubnice:  $h_F = 22 \text{ mm}$
- stupanj sigurnosti pri proračunskoj temperaturi:  $S = 1.5$
- stupanj sigurnosti pri ispitnoj temperaturi:  $S' = 1.1$

Korisna dvostruka širina prirubnice iznosi:

$$b = d_s - d_u - 2 \cdot d_L' = 375 - 267.8 - 2 \cdot 13.32 = 80.6 \text{ mm}$$

$$d_L' = v \cdot d_L = 0.74 \cdot 18 = 13.32 \text{ mm}$$

$$v = f(d_u) = 0.74$$

Pomoćna vrijednost:

$$Z = (d_u + s_1) \cdot s_1^2 = (267.7 + 2.6) \cdot 2.6^2 = 1828 \text{ mm}^3$$

Krak djelovanja sile u vijku za pogonsko i ispitno stanje:

$$a = \frac{d_t - d_u - s_1}{2} = \frac{335 - 267.8 - 2.6}{2} = 32.3 \text{ mm}$$

Za ugradno stanje:

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} = \frac{335 - 293}{2} = 21 \text{ mm}$$

Otporni moment za pogonsko stanje:

$$W = \frac{F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{44205 \cdot 1.5}{205} \cdot 32.3 = 10450 \text{ mm}^3$$

Otporni moment za ispitno stanje:

$$W = \frac{1.5 \cdot F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{1.5 \cdot 44205 \cdot 1.5}{205} \cdot 32.3 = 15671 \text{ mm}^3$$

Otporni moment za ugradno stanje:

$$W = \frac{F_{DV} \cdot S'}{K} \cdot a = \frac{138600 \cdot 1.1}{205} \cdot 21 = 15620 \text{ mm}^3$$

Za dimenzioniranje prirubnica mjerodavan je najveći moment otpora, a to je moment otpora za ugradno stanje  $W = 15671 \text{ mm}^3$ .

Potrebna visina oboda prirubnice iznosi:

$$h_{F1} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot W - Z}{b}} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot 15671 - 1828}{80.6}} = 15.92 \text{ mm}$$

Budući je  $h_F > h_{F1}$ ,  $22 > 15.92$ , prirubnica zadovoljava opterećenje.



## **5. TEHNIČKI OPIS**

### 5.1. TEHNIČKI OPIS IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA

#### 5.1.1. Namjena izmjenjivača

Izmjenjivač je namijenjen za zagrijavanje bazenske vode pomoću smjese vode i propilen-glikola.

#### 5.1.2. Opis konstrukcije

Izmjenjivač je tipa Shell & Tube, zavarene izvedbe, postavljen horizontalno u prostoru. U plaštu izmjenjivača kao primar struji smjesa vode i propilen-glikola hladeći se pri tome sa 30 °C na temperaturu od 27 °C. Bazenska voda kao sekundar struji kroz cijevi izmjenjivača zagrijavajući se sa polazne temperature od 22 °C na temperaturu od 25 °C. Učin izmjenjivača je 12 kW.

Konstrukcija izmjenjivača sadrži:

- dvije cijevne stijenke – debljina cijevnih stijenki je 22 mm.
- plašt izmjenjivača
- dvije podnice – debljine 2.6 mm
- cijevni priključak s odgovarajućom prirubnicom za ulaz smjese voda/propilen-glikol
- segmentne pregrade – 10 komada
- cijevni priključak s odgovarajućom prirubnicom za izlaz smjese voda/propilen-glikol
- cijevi za prolaz bazenske vode vanjskog promjera 16 mm, debljine stijenke 1.6 mm – 80 komada.
- 6 šipki koje drže segmentne pregrade, promjera 12 mm.

#### 5.1.3. Podaci o izmjenjivaču

##### 5.1.3.1. Osnovne veličine

- vanjski promjer plašta 273 mm

- unutarnji promjer plašta 267.8
- debljina stijenke plašta 2.6 mm
- dužina plašta 1500 mm
- broj cijevi 80
- dimenzije cijevi Ø16 x 1.6 mm
- veličina ulazne prirubnice DN40 PN6
- veličina izlazne prirubnice DN40 PN6
- volumen u prostoru plašta 0.0844 m<sup>3</sup>
- volumen u cijevnom prostoru 0.0158 m<sup>3</sup>
- proračunski tlak 5 bar
- ispitni tlak 7.5 bar

#### 5.1.3.2. Materijali

Odabrani su nehrđajući čelici:

- plašt Č.4573
- cijevne stijenke Č.4573
- cijevi Č.4573
- pregrade Č.4573

#### 5.4. Montaža

- zavariti donju cijevnu stijenku za ulazni dio plašta
- montirati šipke i segmentne pregrade
- zavariti gornju cijevnu stijenku za izlazni dio plašta
- uvući cijevi i zavariti ih

- zavariti priključke

## 5.2. TEHNIČKI OPIS IZMJENJIVAČA PRIKLJUČENOG NA SOLARNI KRUG GRIJANJA

### 5.2.1. Namjena izmjenjivača

Izmjenjivač je namijenjen za zagrijavanje bazenske vode pomoću vode iz kotla.

### 5.1.2. Opis konstrukcije

Izmjenjivač je tipa Shell & Tube, zavarene izvedbe, postavljen horizontalno u prostoru. U plaštu izmjenjivača kao primar struji voda iz kotla hladeći se pri tome sa 70 °C na temperaturu od 50 °C. Bazenska voda kao sekundar struji kroz cijevi izmjenjivača zagrijavajući se sa polazne temperature od 22 °C na temperaturu od 25 °C. Učin izmjenjivača je 12 kW.

Konstrukcija izmjenjivača sadrži:

- dvije cijevne stijenke – debljina cijevnih stijenki je 22 mm.
- plašt izmjenjivača
- dvije litke podnice – debljine 2.6 mm
- cijevni priključak s odgovarajućom prirubnicom za ulaz vode
- cijevni priključak s odgovarajućom prirubnicom za izlaz vode
- cijevi za prolaz bazenske vode vanjskog promjera 16 mm, debljine stijenke 1.6 mm – 80 komada.

### 5.2.3. Podaci o izmjenjivaču

#### 5.2.3.1. Osnovne veličine

- |                            |          |
|----------------------------|----------|
| – vanjski promjer plašta   | 273 mm   |
| – unutarnji promjer plašta | 267.8 mm |
| – debljina stijenke plašta | 2.6 mm   |
| – dužina plašta            | 1050 mm  |

- broj cijevi 80
- dimenzije cijevi  $\text{Ø}16 \times 1.6 \text{ mm}$
- veličina ulazne prirubnice DN15 PN6
- veličina izlazne prirubnice DN15 PN6
- volumen u prostoru plašta  $0.0563 \text{ m}^3$
- volumen u cijevnom prostoru  $0.0112 \text{ m}^3$
- proračunski tlak 5 bar
- ispitni tlak 7.5 bar

#### *5.2.3.2. Materijali*

Odabrani su nehrđajući čelici:

- plašt Č.4573
- cijevne stijenke Č.4573
- cijevi Č.4573

#### 5.4. Montaža

- zavariti donju cijevnu stijenku za ulazni dio plašta
- zavariti gornju cijevnu stijenku za izlazni dio plašta
- uvući cijevi i zavariti ih
- zavariti priključke

## 6. ZAKLJUČAK

Sunčeva energija je prirodan i obnovljiv izvor koji je svuda na raspolaganju, no česta prepreka za njezinu veću primjenu su razmjerno visoka ulaganja. Isto tako, problem je i što se najviše može koristiti tijekom sunčanih mjeseci, kada grijanje uglavnom nije potrebno. S obzirom da nam je topla voda uvijek potrebna, solarna postrojenja se baziraju isključivo na pripremi tople sanitarne vode.

Međutim, kako bi solarni sustavi bili isplativi, priprema potrošne tople vode se kombinira sa nekim drugim potrošačima, i to najčešće preko izmjenjivača topline. Naravno, u takvoj jednoj solarnoj instalaciji mora postojati i drugi proizvođač topline jer sama solarna energija neće biti dovoljna za sve potrošače.

Značajka ovog rada je prikaz konstrukcije uređaja kojim se zagrijava bazenska voda u jednom takvom sustavu. Uređaj se sastoji od dva izmjenjivača topline, svaki priključen na vlastiti krug grijanja. Iako se u zadatku tražila konstrukcija dva identična izmjenjivača, nakon provedenog termodinamičkog proračuna odlučeno je konstruirati dva različita aparata po gabaritima.

Naime, pretpostavilo se kod oba aparata da imaju pregrade u plaštu, čime se pospješuje izmjena topline. Ali nakon provedenog termodinamičkog proračuna, odlučeno je u aparat priključenog na kotlovski krug grijanja ne staviti pregrade. Razlog tomu je što je njegova ogrjevna površina sa pregradama u plaštu iznosila svega  $0.4 \text{ m}^2$ . Stavljati pregrade u tako mali aparat ne bi imalo smisla, stoga je proveden proračun za aparat bez pregrada u plaštu, čime je bitno narušena izmjena topline ali je dobiven aparat realnije konstrukcije. Prema Pravilniku o tehničkim normativima za stabilne tlačne posude, aparati ne spadaju u posude pod tlakom ali se ipak proračunavaju prema inženjerskoj praksi. S tim da je, proračun čvrstoće moguće provesti prema normama koje nisu nužno hrvatske.

Proračunom čvrstoće je osigurano da će aparati izdržati svojom konstrukcijom sve radne uvjete koji se u eksploataciji mogu pojaviti. Isto tako možemo zaključiti da nema opasnosti za ljude, imovinu i životnu okolinu.

Na samom kraju, proizvođač posude pod tlakom dužan je izraditi program kontrole kvalitete, čijim se provođenjem osigurava i dokazuje da će biti poštivani svi zahtjevi definirani zakonima, propisima i normama, a određeni projektnom i izvedbenom dokumentacijom. Gore navedeni program uključuje narudžbu materijala s potrebnim ispitivanjima i atestima, pripremu i atestaciju postupaka za izradu, kontrolu i ispitivanje.

## **7. LITERATURA**

- [1] VIESSMANN, Uputa za projektiranje, Zagreb, 2009
- [2] Bošnjaković F, Nauka o toplini I, I dio, IV izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [3] FSB, Toplinske tablice, interno izdanje, Zagreb
- [4] IPIM, Tehnički priručnik za procesnu industriju, I izdanje, Zagreb, 1993
- [5] VDI – Warmeatlas, Dusseldorf, 1991
- [6] Slipčević B, Razmjenjivači topline sa primjerima iz rashladne tehnike, Beograd, 1989
- [7] VDI – Warmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, Dusseldorf, 1977
- [8] Švaić S, Aparati i posude pod tlakom u procesnoj tehnici i termotehnici, Zagreb, 1993
- [9] Kraut B, Strojarski priručnik, Zagreb, 1997

## **8. PRILOG**

Napomena: Izmjenjivač topline 1 se odnosi na solarni krug grijanja, a izmjenjivač topline 2 se odnosi na kotlovski krug grijanja.

List 01. Dispozicija uređaja

List 02. Sklopni crtež izmjenjivača topline 1

List 03. Radionički crtež plašta izmjenjivača topline 1

List 04. Radionički crtež lijeve podnice izmjenjivača topline 1

List 05. Radionički crtež desne podnice izmjenjivača topline 1

List 06. Radionički crtež lijeve cijevne stijenke izmjenjivača topline 1

List 07. Radionički crtež desne cijevne stijenke izmjenjivača topline 1

List 08. Radionički crtež lijeve brtve izmjenjivača topline 1

List 09. Radionički crtež desne brtve izmjenjivača topline 1

List 10. Radionički crtež segmentne pregrade izmjenjivača topline 1

List 11. Radionički crtež postolja izmjenjivača topline 1

List 12. Sklopni crtež izmjenjivača topline 2

List 13. Radionički crtež plašta izmjenjivača topline 2

List 14. Radionički crtež lijeve podnice izmjenjivača topline 2

List 15. Radionički crtež desne podnice izmjenjivača topline 2

List 16. Radionički crtež lijeve cijevne stijenke izmjenjivača topline 2

List 17. Radionički crtež desne cijevne stijenke izmjenjivača topline 2

List 18. Radionički crtež lijeve brtve izmjenjivača topline 2

List 19. Radionički crtež desne brtve izmjenjivača topline 2

List 20. Radionički crtež postolja izmjenjivača topline 2