

# Proračun kondenzatora

---

Marelja, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2011

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:235:457409>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

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



## SAŽETAK

Tema ovog rada je proračun kondenzatora koji se koristi za potrebe zagrijavanja stanova u zgradi. Cilj rada je toplinski proračunati kondenzator, te ga na osnovu dobivenih podataka konstruirati.

Na temelju zadanih parametara pronašao sam potrebnu duljinu cijevnog snopa kondenzatora i ostatak konstrukcije prilagodio dobivenoj duljini.

Prilikom izrade konstrukcije morao sam paziti da kondenzator bude tehnološki izvediv, tj. da se svi dijelovi mogu spojiti varenjem ili vijčano.

**SADRŽAJ**

1. POPIS SLIKA .....	5
2. POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA .....	6
3. IZJAVA .....	8
4. UVOD.....	9
5. TOPLINSKI PRORAČUN .....	10
6. KONSTRUKCIJSKI PRORAČUN .....	18
7. ZAKLJUČAK .....	25
8. POPIS LITERATURE .....	26

## 1. POPIS SLIKA

Slika 1:

Kvantitativni prikaz promjene temperature vode i temperature zasićenja pare po dužini kondenzatora

.....16

Slika 2:

Kvantitativni prikaz izmjenjenog toplinskog toka u ovisnosti o lokalnoj duljini kondenzatora.....17

### 1.1 POPIS TABLICA

Tablica 1:

Vrsta i klasa posude pod tlakom.....18

## 2. POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

$\theta_{ul,v}$ - ulazna temperatura vode	( °C )
$\theta_{izl,v}$ - izlazna temperatura vode	( °C )
$\mu$ - dinamička viskoznost	( Ns/m <sup>2</sup> )
$\nu$ - kinematička viskoznost	( m <sup>2</sup> /s )
$q_{mp}$ - maseni protok pare	( kg/s )
$h_{pp}$ - specifična entalpija pregrijane pare	( J/kg )
$h_{vk}$ – specifična entalpija vrele kapljevine	( J/kg )
$\theta$ - temperatura zasićenja	( °C )
$n$ - broj cijevi	
$C_1$ - toplinski kapacitet vode	( W/K )
$q_{mv}$ - maseni protok vode	( kg/s )
$\alpha_v, \alpha_u$ - koeficijent prijelaza topline	( W/m <sup>2</sup> K )
$d_u, d_v$ - promjer cijevi	( m )
$A$ - površina izmjenjivača	( m <sup>2</sup> )
$w$ - brzina protoka vode	( m/s )
$Re$ - Reynoldsov broj	
$Pr$ - Prandtlov broj	
$Nu$ - Nusseltov broj	
$R$ - radijus cijevi	( m )
$\lambda_{\check{c}}$ - toplinska provodnost čelika	( W/mK )
$k$ - koeficijent prolaza topline	( W/m <sup>2</sup> K )
$L$ - duljina izmjenjivača	( m )
$f, m, n$ - funkcijske značajke	
$X_t, X_l$ - geometrijske značajke	
$\eta_w$ - dinamička viskoznost vode	( Ns/m <sup>2</sup> )
$c_w$ - specifični toplinski kapacitet vode	( J/kg K )
$\lambda_w$ - toplinska provodnost vode	( W/mK )
$c_n$ - koeficijent ispravka	
$\rho_w$ - gustoća vode	( kg/m <sup>3</sup> )
$d_{uw}$ - promjer priključka vode	( m )
$\delta$ - debljina stijenke cijevi	( m )
$w_p$ - brzina pare	( m/s )
$\rho_p$ - gustoća pare	( kg/m <sup>3</sup> )
$d_{up}$ - promjer priključka pare	( m )

---

$t$ - korak rasporeda cijevi	( m )
$f$ - konstante rasporeda cijevi	
$D$ - promjer plašta	( m )
$u$ - udaljenost najbliže cijevi od plašta	( m )
$p_r$ - radni tlak	( Pa )
$K, \sigma$ - čvrstoća čelika	( N/mm <sup>2</sup> )
$S$ - faktor sigurnosti	
$c, \nu$ - dodaci za debljinu stijenke	( m )
$s$ - debljina stijenke	( m )
$E$ - modul elastičnosti	( N/mm <sup>2</sup> )
$r$ - radijus torusa podnice	( m )
$h$ - visina kalote podnice	( m )
$\beta$ - koeficijent debljine stijenke	
$F_r$ - sila izvijanja	( N )
$p_i$ - tlak izvijanja	( Pa )

### **3. IZJAVA**

kojom izjavljujem da sam završni rad napravio samostalno uz stručnu pomoć prof. Galovića kojemu se ovom prilikom srdačno zahvaljujem

## 4. UVOD

Kondenzator je aparat koji spada u skupinu izmjenjivača topline.

Izmjenjivači topline su toplinski aparati u kojima se izmjenjuje toplina između dva ili više fluida u svrhu zagrijavanja ili ohlađivanja jednog fluida drugim. Izmjenjivači topline imaju vrlo široku primjenu, a neki od primjera gdje se koriste su: postrojenja centralnog grijanja, postrojenja za pripremu potrošne tople vode i rashladna tehnika. Izmjenjivači topline mogu se podijeliti na rekuperatore, regeneratore i izravne izmjenjivače. Kondenzator čija se konstrukcija obrađuje u ovom radu spada u skupinu rekuperativnih izmjenjivača topline, kod kojih su dvije struje razdvojene čvrstom stijenkom, čime ona postaje ogrjevna površina koja ne dozvoljava direktni dodir struja.

U slučaju kondenzatora konstruiranog u ovom radu pregrijana vodena para tlaka 5 bara i temperature 200 °C služi za zagrijavanje vode za radijatorsko zagrijavanje zgrade.

Za zagrijavanje stanova u zgradi potrebno je ostvariti 1MW toplinskog toka.

Vodu ulazne temperature 70 °C potrebno je zagrijati na 90 °C.

Kondenzator, tipa "Shell – and Tube", izveden je kao snop čeličnih cijevi NO 32 debljine stijenke 2,6 mm.

Brzina strujanja vode u cijevima ne smije prelaziti 0,2 m/s.



## 5. TOPLINSKI PRORAČUN

**Zadano:**

$$\Phi = 1 \text{ MW}$$

$$w_v = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d_v = 0.038 \text{ m}$$

$$\delta = 0.0026 \text{ m}$$

### 5.1 Fizikalna svojstva vode

ulazna temperatura vode

$$\theta_{ul,v} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

izlazna temperatura vode

$$\theta_{izl,v} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

srednja temperatura vode

$$\theta_m = \frac{\theta_{ul,v} + \theta_{izl,v}}{2} = \frac{70 + 90}{2} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_v = 971.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_v = 4194 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\lambda_v = 0.674 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$\eta_v = 352 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$\nu_v = \frac{\eta_v}{\rho_v} = \frac{352 \cdot 10^{-6}}{971.8} = 3.622 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

### 5.1.1 Izračun broja cijevi u kondenzatoru

$$\Phi = C_1 (\theta_1^* - \theta_1)$$

$$C_1 = \frac{\Phi}{\theta_1^* - \theta_1} = \frac{10^6}{90 - 70}$$

$$C_1 = 50\,000 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$C_1 = q_{\text{mv}} c_v$$

$$q_{\text{mv}} = \frac{C_1}{c_v} = \frac{50000}{4194}$$

$$q_{\text{mv}} = 11.92 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$q_{\text{mv}} = \rho_v w_v A$$

$$A = \frac{q_{\text{mv}}}{\rho_v w_v} = \frac{11.92}{971.8 \cdot 0.2}$$

$$A = 0.06133 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{n d_u^2 \pi}{4}$$

$$n = \frac{4 \cdot A}{d_u^2 \pi} = \frac{4 \cdot 0.06133}{0.0328^2 \pi}$$

$$n = 72.58$$

Usvojeni broj cijevi za za kondenzator je 76

## 5.2 Proračun koeficijenta prijelaza topline na strani vode

Stvarna brzina vode

$$w_{vs} = \frac{4 \cdot q_{mw}}{\rho_w n d_u^2 \pi} = \frac{4 \cdot 11.92}{971.8 \cdot 76 \cdot 0.0328^2 \pi}$$

$$w_{vs} = 0.191 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{w_{vs} d_u}{\nu_v} = \frac{0.191 \cdot 0.0328}{3.622 \cdot 10^{-7}} = 17297$$

$Re = 17297 \rightarrow$  Budući je  $Re > 3000$ , strujanje vode u cijevi je turbulentno

$$Pr = \frac{\eta_v c_v}{\lambda_v} = \frac{352 \cdot 10^{-6} \cdot 4194}{0.674} = 2.19$$

$$Nu = \frac{0.0398 Pr Re^{0.75}}{1 + 1.74 Re^{-0.125} (Pr - 1)} = \frac{0.0398 \cdot 2.19 \cdot 17297^{0.75}}{1 + 1.74 \cdot 17297^{-0.125} (2.19 - 1)} = 81.57$$

$$Nu = \frac{\alpha_u d_u}{\lambda_v}$$

$$\alpha_u = Nu \frac{\lambda_v}{d_u} = 81.57 \frac{0.674}{0.0328}$$

#

$$\alpha_u = 1676.64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

### 5.3 Proračun koeficijenta prijelaza topline na strani pare

#

Za temperaturu stijenke prvo je pretpostavljena temperatura 100 °C pa se iteracijom došlo do temperature stijenke 144 °C.

Fizikalna svojstva nastalog kondenzata uzimaju se za temperaturu

$$\theta_{mk} = \frac{\theta' + \theta_s}{2} = \frac{151.85 + 144}{2} = 148 \text{ °C}$$

Svojstva kondenzata

$$\rho_k = 918.82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\lambda_k = 0.6828 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$\eta_k = 189.4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta h = h - h' = (2830 - 639.9) \cdot 10^3 = 2190 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$\alpha_v = \sqrt[4]{\frac{\rho_k^2 \lambda_k^3 g \Delta h}{4 \eta_k d_v (\theta - \theta_s)}} = \sqrt[4]{\frac{918.82^2 \cdot 0.6828^3 \cdot 9.81 \cdot 2190 \cdot 10^3}{4 \cdot 189.4 \cdot 10^{-6} \cdot 0.038 (151.85 - 144.9)}}$$

$$\alpha_v = 12\,641 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

## 5.4 Proračun koeficijenta prolaza topline

$$R_u = 0,0164 \text{ m}$$

$$R_v = 0,019 \text{ m}$$

$$\lambda_\xi = 58 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \alpha_u} + \frac{R_u}{\lambda_\xi} \ln \left[ \frac{R_v}{R_u} \right] + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0.019}{0.0164 \cdot 1676.64} + \frac{0.164}{58} \ln \frac{19}{16.4} + \frac{1}{12641}}$$

$$k_v = 1222.05 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

## 5.5 Proračun duljine izmjenjivača metodom srednje logaritamske temperaturne razlike

$$\Phi = k_v A_v \Delta t_m$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_v - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_v}{\Delta t_M}} = \frac{81.75 - 61.75}{\ln \frac{81.75}{61.75}} = 71.83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_v = \theta - \theta_1 = 151.85 - 70 = 81.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = \theta - \theta_1^* = 151.85 - 90 = 61.75$$

$$A_v = \frac{\Phi}{k_v \Delta t_m} = \frac{10^6}{1222.05 \cdot 71.83} = 11.39 \text{ } m^2$$

$$A_v = n d_v \pi L_{uk}$$

$$L_{uk} = \frac{A_v}{n d_v \pi} = \frac{11.39}{76 \cdot 0.038 \pi} = 1.255 \text{ } m \#$$

Usvojena duljina cijevnog snopa 1.3 m

## 5.6 Proračun temperature vode i toplinskog toka u funkciji duljine izmjenjivača

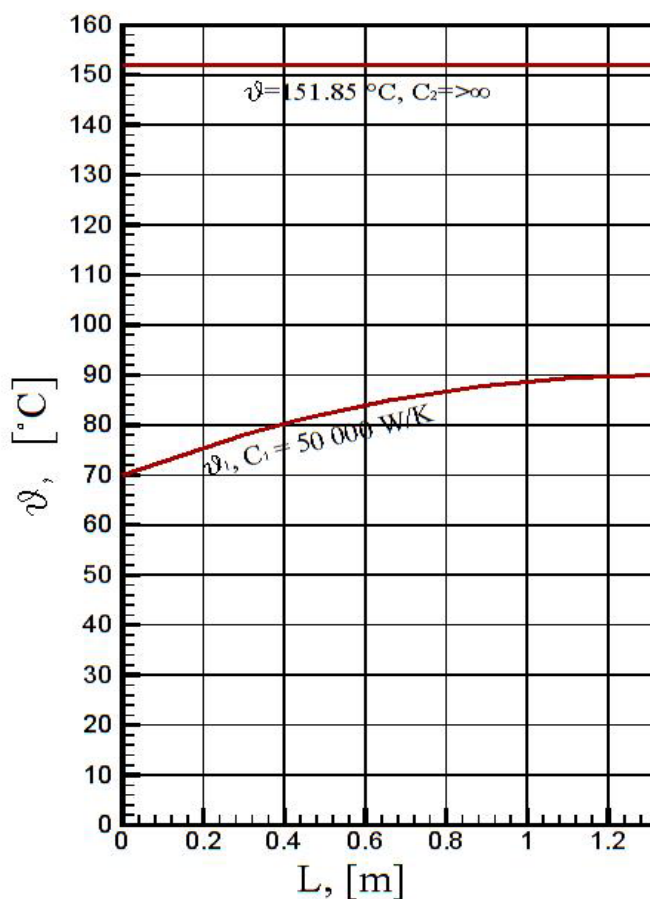
Lokalnu temperaturu vode za ovaj tip izmjenjivača računamo prema jednadžbi koja se može naći u literaturi [1].

$$\frac{\theta'_1 - \theta_1(L)}{\theta'_1 - \theta'_2} = 1 - e^{-\frac{k_y d_y \pi n L}{C_1}}$$

$$\theta_1(L) = \theta'_1 - (\theta'_1 - \theta'_2) \left(1 - e^{-\frac{1222.05 \cdot 0.038 \cdot \pi \cdot 76 \cdot L}{50000}}\right)$$

$$\theta_1(L) = 151.85 - 81.85 e^{-0.22175 \cdot L}$$

Vrijednost lokalnih temperatura rashladne vode prikazuje dijagram na slici 1

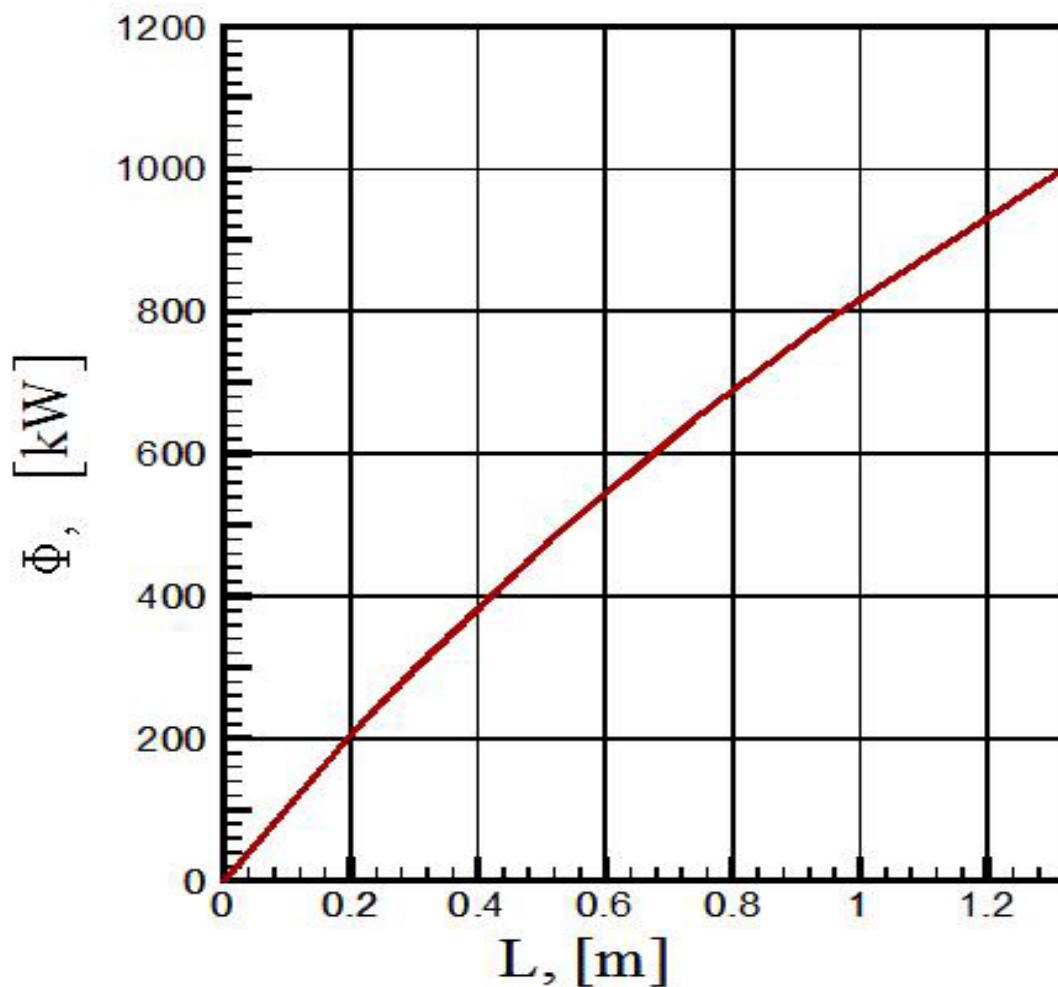


**Slika 1:** Kvantitativni prikaz promjene temperature vode i temperature zasićenja pare po dužini kondenzatora

Pomoću predhodno izračunatih temperatura  $\theta(L)$ , lako se određuju i lokalne vrijednosti toplinskog toka  $\Phi(L)$ .

$$\Phi(L) = c_1(\theta_1(L) - \theta'_1)$$

Rezultati dobivene jednadžbe prikazuje dijagram na slici 2



**Slika 2:** Kvantitativni prikaz izmjenjenog toplinskog toka u ovisnosti o lokalnoj duljini kondenzatora



## 6. KONSTRUKCIJSKI PRORAČUN

Tablica koja prikazuje vrstu i klasu posude pod tlakom

VRSTA	Opći faktori	Fizičko-geometrijske karakteristike		Karakteristika	Broj bodova
		volumen(m <sup>3</sup> )		mali	0
		debljina stijenke (mm)		srednja	1
		masa(t)		mala	0
		temperatura(°C)		visoka	1
		tlak		srednji	1
		akumulirana energija		mala	0
		fizikalne i kemijske karakteristike			
		RT			
				<b>ukupno:</b>	2
	Lokacijski faktori	Namjena posuda		tehnološko-procesna postrojenja	
		Oblik		cilindričan	
		Izvedba		stabilna, zatvorena, horizontalna	
		Materijal		Č.1212	
		Tehnološka izvedba		zavareno	
		<b>Rizik</b>			
		za ljude		mali	
		ekonomski		mali	
		ekološki		mali	
		<b>prema tablici 6.2 standarda posuda</b>			
Klasa	projektna klasa		IV		
	izvedbena klasa				
	trenutna klasa				

**Slika 2:** Vrsta i klasa posude pod tlakom

#

## 6.1 Odabir priključaka

### 6.1.1 Priključak za vodu

preporučena brzina vode u priključcima

$$w_w = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_w = 997.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_{mw} = 11.922 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

minimalni promjer priključka se izračunava iz jednadžbe kontinuiteta

$$d_{uw} = \sqrt{\frac{4 q_{mw}}{w_w \rho_w \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11.922}{0.5 \cdot 997.8 \cdot \pi}}$$

$$d_{uw} = 0.176 \text{ m}$$

Odabrana cijev s prirubnicom prema DIN 2631

$$D_N = 200 \text{ mm}$$

debljine stijenke

$$\delta = 5.9 \text{ mm}$$

### 6.1.2 Priključak za paru na ulazu

preporučena brzina pare u priključku

$$w_p = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_p = 2.353 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

maseni protok pare dobije se iz jednadžbe

$$\Phi = q_{mp} (h - h')$$

$$q_{mp} = \frac{\Phi}{(h - h')} = \frac{10^3}{2830 - 639.9} = 0.456 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

minimalni promjer priključka

$$d_{up} = \sqrt{\frac{4 q_{mp}}{w_p \rho_p \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.456}{8 \cdot 2.353 \cdot \pi}}$$

$$d_{up} = 0.176 \text{ m}$$

Odabrana cijev sa prirubnicom prema DIN 2631

$$D_N = 200 \text{ mm}$$

debljine stijenke

$$\delta = 5.9 \text{ mm}$$

### 6.1.3 Priključak za nastali kondenzat na izlazu

preporučena brzina nastalog kondenzata

$$w_{p,izl} = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_{p,izl} = 918.82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

minimalni promjer priključka

$$d_{up,izl} = \sqrt{\frac{4 q_{mp}}{w_{p,izl} \rho_{p,izl} \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.456}{0.5 \cdot 918.82 \cdot \pi}}$$

$$d_{up,izl} = 0.0355 \text{ m}$$

Odabrana cijev sa prirubnicom prema DIN 2631

$$D_N = 40 \text{ mm}$$

debljine stijenke

$$\delta = 2.6 \text{ mm}$$

## 6.2 Proračun cilindričnog plašta

korak rasporeda cijevi odabran prema literaturi [4]

$$t = 48 \text{ mm}$$

broj cijevi

$$z = 76$$

konstante rasporeda cijevi odabrane prema literaturi [4]

$$f_1 = 1,1$$

$$f_2 = 0$$

unutarnji promjer plašta izračunavamo prema jednadžbi

$$D_t = \sqrt{f_1 z t^2 + f_2 \sqrt{z} t} = \sqrt{1,1 \cdot 76 \cdot 48^2 + 0}$$

$$D_t = 438.88 \text{ mm}$$

udaljenost najbliže cijevi od plašta

$$u = 5 \text{ mm}$$

predpostavljena debljina plašta

$$s_1 = 11 \text{ mm}$$

$$D_1 = D_t + d_v + 2u + 2s_1 = 438.88 + 38 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 11$$

$$D_1 = 498.88 \text{ mm}$$

Odabrana čelična bešavna cijev

nazivnog promjera

$$D_N = 500$$

vanjskog promjera

$$D_v = 508 \text{ mm}$$

i debljine stijenke

$$\delta = 11 \text{ mm}$$

### 6.2.1 Konstrukcijski parametri

Odabran je materijal cilindričnog plašta

Č 1212

zadani radni tlak pare

$$p = 5 \text{ bar}$$

vanjski promjer plašta

$$D_s = 508 \text{ mm}$$

unutarnji promjer plašta

$$D_u = 486 \text{ mm}$$

dopuštena čvrstoća materijala prema literaturi [5]

$$\sigma = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

proračun kondenzatora na čvrstoću se provodi prema M.E2 .250

stupanj sigurnosti

$$S = 1.5$$

$$K = \sigma = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

dodatak koji uzima u obzir smanjenje debljine stijenke

$$e_1 = 0.35 \text{ mm}$$

dodatak na koroziju i trošenje

$$e_2 = 1 \text{ mm}$$

koeficijent valjanosti zavarenog spoja, ili koeficijent oslabljenja

$$v = 1$$

prema M.E2 .253 za plašt posude mora vrijediti

$$\frac{D_s}{D_u} < 1.2$$

$$\frac{D_s}{D_u} = \frac{508}{486} = 1.045 \rightarrow \text{uvijet je zadovoljen}$$

Proračun debljine stijenke

$$s = \frac{D_s p}{20 \frac{K}{S} v + p} + c_1 + c_2 = \frac{508 \cdot 5}{20 \cdot \frac{360}{1.5} + 5} + 0.35 + 1$$

$$s = 1.878 \text{ mm}$$

Odabrana debljina stijenke

$$s_e = 11 \text{ mm}$$

Potrebna debljina stijenke oko najvećeg izreza proračunava se prema M.E2 .256

$$0.002 < \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} < 0.1$$

koeficijent oslabljenja izrezom

$$v_A = 0.5$$

$$s_A = \frac{D_s p}{20 \frac{K}{S} v_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{508 \cdot 5}{20 \cdot \frac{360}{1.5} \cdot 0.5 + 5} + 0.35 + 1$$

$$s_A = 2.406 \text{ mm}$$

$$s_A < s_e \quad \text{ojačanje nije potrebno}$$

### 6.3 Proračun cijevne stijenke

konstrukcijski parametri

materijal

Č0361

unutarnji promjer cijevi

$$d_u = 32.8 \text{ mm}$$

vanjski promjer cijevi

$$d_v = 38 \text{ mm}$$

broj cijevi

$$n = 76$$

čvrstoća materijala prema literaturi [5]

$$\sigma = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

modul elastičnosti prema literaturi [5]

$$E = 210\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

provjera učvršćenja zavarenih cijevi

$$F_r = \frac{d_u^2 \pi p \cdot 10^{-1}}{4} = \frac{32.8^2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-1}}{4}$$

$$F_r = 422.481 \text{ N}$$

minimalna debljina zatvorenog šava

$$g = 0.4 \frac{F_r S}{d_v K} = 0.4 \cdot \frac{422.48 \cdot 1.5}{38 \cdot 240} = 0.0185$$

odabrana debljina zavara

$$g = 2 \text{ mm}$$

## **7. ZAKLJUČAK**

Rad sam napravio prema nupucima iz sažetka uz detaljnu razradu svih dijelova. Prvo sam napravio toplinski proračun kondenzatora i prema protoku odredio potrebni broj cijevi te duljinu snopa cijevi. U konstrukcijskoj razradi sve važnije dijelove kondenzatora sam proračunao prema podlogama prof. Švaića i sve konstrukcijski razradio u tehničkoj dokumentaciji.



## 8. POPIS LITERATURE

- [1] Antun Galović: Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003
- [2] Srećko Švaić: Elementi gradnje aparata, podloge, FSB, Zagreb
- [3] Toplinske tablice, interno izdanje, FSB, Zagreb
- [4] VDI Heat Atlas: Hint on the construction of heat exchangers, VDI- Verlag GmbH, Düsseldorf, 1993
- [5] Tomislav Filetin, Franjo Kovačićek, Janez Indof: Svojstva i primjena materijala, FSB, Zagreb, 2002
- [6] koristio sam programe: Mathematica 7.0  
AutoCad 2010