

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: **2024-12-22**

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)
μ - dinamička viskoznost	(Ns/m ²)
ν - kinematička viskoznost	(m ² /s)
q_{mp} - maseni protok pare	(kg/s)
h_{pp} - specifična entalpija pregrijane pare	(J/kg)
h_{vk} – specifična entalpija vrele kapljevine	(J/kg)
θ - temperatura zasićenja	(°C)
n - broj cijevi	
C_1 - toplinski kapacitet vode	(W/K)
q_{mv} - maseni protok vode	(kg/s)
α_v, α_u - koeficijent prijelaza topline	(W/m ² K)
d_u, d_v - promjer cijevi	(m)
A - površina izmjenjivača	(m ²)
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 ² K)
L - duljina izmjenjivača	(m)
f, m, n - funkcijske značajke	
X_t, X_l - geometrijske značajke	
η_w - dinamička viskoznost vode	(Ns/m ²)
c_w - specifični toplinski kapacitet vode	(J/kg K)
λ_w - toplinska provodnost vode	(W/mK)
c_n - koeficijent ispravka	
ρ_w - gustoća vode	(kg/m ³)
d_{uw} - promjer priključka vode	(m)
δ - debljina stijenke cijevi	(m)
w_p - brzina pare	(m/s)
ρ_p - gustoća pare	(kg/m ³)
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, σ - čvrstoća čelika	(N/mm ²)
S - faktor sigurnosti	
c, ν - dodaci za debljinu stijenke	(m)
s - debljina stijenke	(m)
E - modul elastičnosti	(N/mm ²)
r - radijus torusa podnice	(m)
h - visina kalote podnice	(m)
β - 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

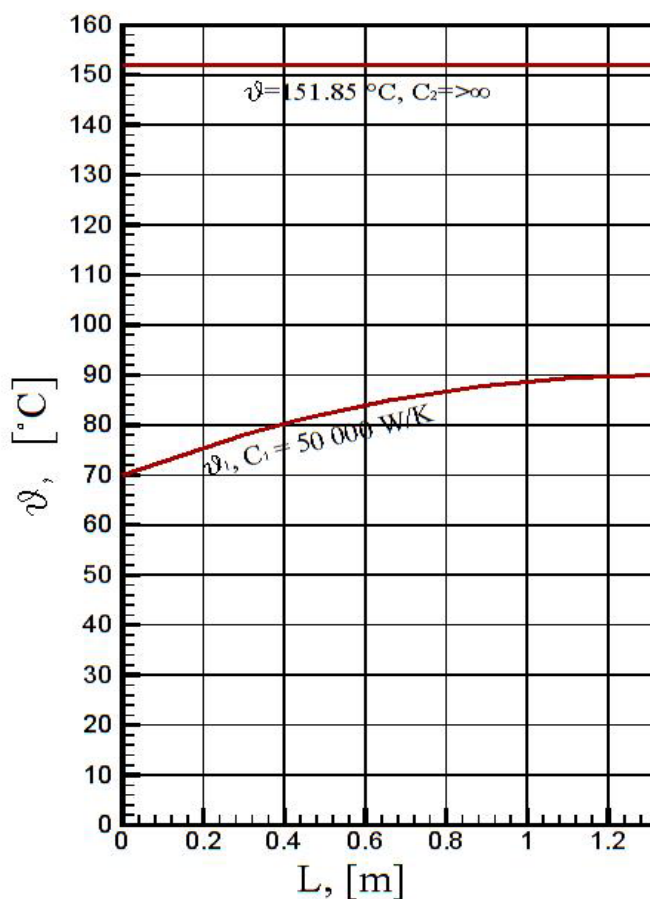
Lokalnu temperaturu vode za ovaj tip izmjenjivača računamo prema jednadžbi koja se može naći u literaturi [1].

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

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

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

Vrijednost lokalnih temperatura rashladne vode prikazuje dijagram na slici 1

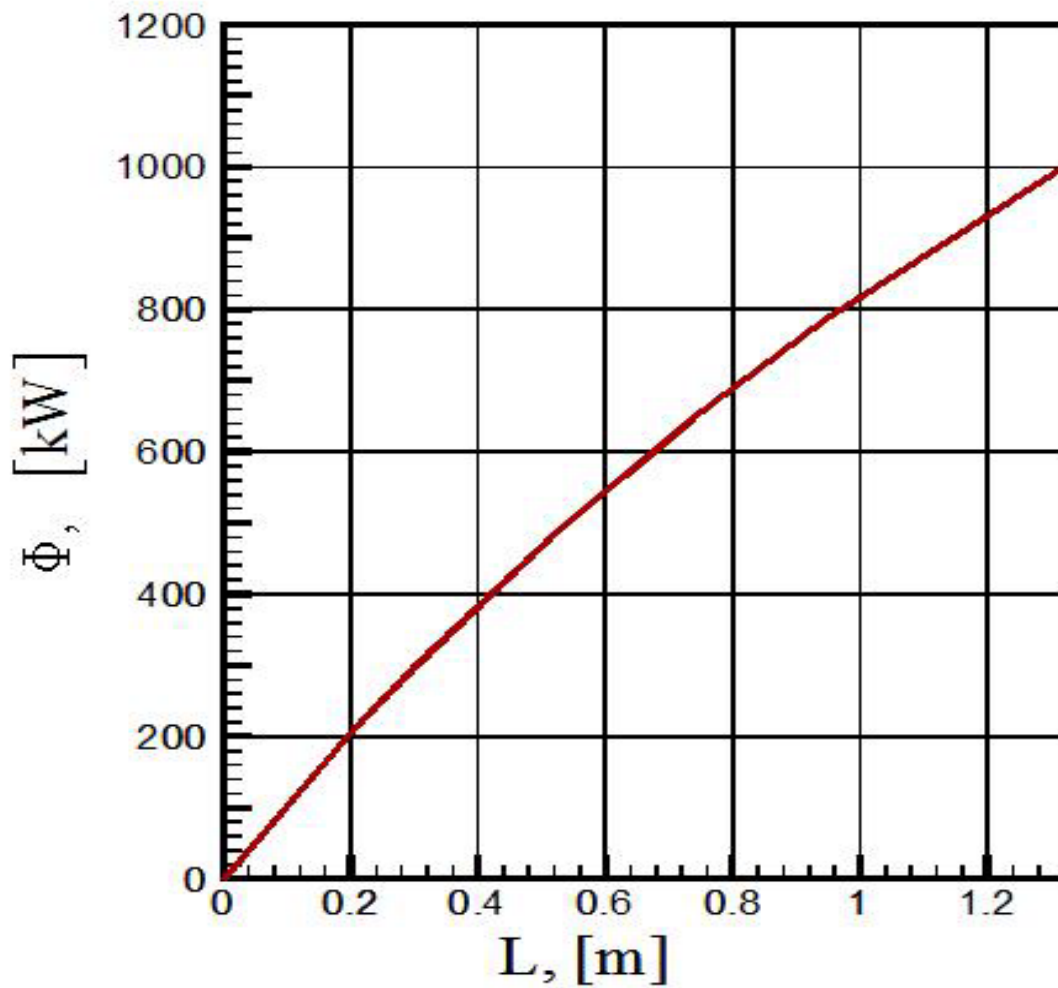


Slika 1: Kvantitativni prikaz promjene temperature vode i temperature zasićenja pare po dužini kondenzatora

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 ³)		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			
				ukupno:	2
	Lokacijski faktori	Namjena posuda		tehnološko-procesna postrojenja	
		Oblik		cilindričan	
		Izvedba		stabilna, zatvorena, horizontalna	
		Materijal		Č.1212	
		Tehnološka izvedba		zavareno	
		Rizik			
		za ljude		mali	
		ekonomski		mali	
		ekološki		mali	
		prema tablici 6.2 standarda posuda			
	projektna klasa		IV		
	izvedbena klasa				
	trenutna klasa				
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