

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Vladimir Soldo

Student:

Ivan Grgić

Zagreb, 2014.

SAŽETAK RADA

U završnom radu detaljno je opisan rashladni sustav koji je namijenjen za potrebe hlađenja triju rashladnih komora za skladištenje prehrambenih proizvoda na brodu, te način njegova rada. Svaka komora je namijenjena za skladištenje različite vrste robe, tako se u prvoj komori skladišti voće i povrće, u drugoj razno smrznuto meso, te u trećoj smrznuta riba. Kako se radi o sustavu na brodu, za hlađenje kondenzatora rashladnog sustava služi morska voda koje ima u izobilju.

Izvršen je proračun rashladnog opterećenja za sve tri rashladne komore zadanog sustava te su na temelju toga dimenzionirane glavne komponente rashladnog sustava koji je podijeljen na dva dijela, plus i minus režim.

U radu je također prikazan način projektiranja isparivača i kondenzatora za hlađenje voća i povrća. Proveden je i opisan odabir glavnih komponenti rashladnog sustava te su u prilogu prikazani shema spajanja s automatskom regulacijom te dispozicijski crtež.

SADRŽAJ

SAŽETAK RADA	I
SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	V
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Rashladne komore.....	1
2. OPIS SUSTAVA.....	2
2.1. Projektni zadatak.....	2
2.2. Tehnički opis sustava	2
3. RASHLADNO OPTEREĆENJE	5
3.1. Rashladna komora za voće i povrće (+4 °C).....	5
3.1.1. Transmisijski gubici (dobici)	5
3.1.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda.....	10
3.1.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja.....	11
3.1.4. Toplinsko opterećenje zbog disanja robe.....	12
3.1.5. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata.....	12
3.1.6. Toplinsko opterećenje od rasvjete	13
3.1.7. Toplinsko opterećenje od ljudi	13
3.1.8. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača.....	14
3.1.9. Ukupno toplinsko opterećenje komore za voće i povrće	14
3.2. Rashladna komora za smrznutu ribu (-25 °C)	14
3.2.1. Transmisijski gubici (dobici)	14
3.2.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda.....	19
3.2.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja.....	19
3.2.4. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata.....	20
3.2.5. Toplinsko opterećenje od rasvjete	20

3.2.6. Toplinsko opterećenje od ljudi	21
3.2.7. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača	21
3.2.8. Ukupno toplinsko opterećenje komore za smrznutu ribu	21
3.3. Rashladna komora za smrznuto meso (-25 °C)	22
3.3.1. Transmisijski gubici (dobici)	22
3.3.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda.....	25
3.3.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja.....	25
3.3.4. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata.....	26
3.3.5. Toplinsko opterećenje od rasvjete	26
3.3.6. Toplinsko opterećenje od ljudi	26
3.3.7. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača	27
3.3.8. Ukupno toplinsko opterećenje komore za smrznuto meso	27
4. PRORAČUN KOMPONENTI RASHLADNOG UREĐAJA.....	28
4.1. Plus režim	29
4.2. Minus režim	30
4.3. Dimenzioniranje isparivača komore za skladištenje voća i povrća (+4 °C).....	32
4.3.1. Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari	34
4.3.2. Koeficijent prijelaza topline na strani zraka.....	37
4.4. Dimenzioniranje kondenzatora komore za skladištenje voća i povrća (+4 °C)	42
4.4.1. Koeficijent prijelaza topline u cijevima (na strani vode).....	45
4.4.2. Koeficijent prijelaza topline u plaštu (na strani radne tvari).....	47
4.5. Proračun cjevovoda	51
4.5.1. Voda za hlađenje kondenzatora	51
4.5.2. Plus režim	52
4.5.3. Minus režim	53
5. ODABIR KOMPONENTI RASHLADNOG SUSTAVA ZA UGRADNJU	54
5.1. Odabir kompresora i kondenzatora	54
5.2. Odabir isparivača	55

6. ZAKLJUČAK	56
PRILOZI	57
LITERATURA	58

POPIS SLIKA

Slika 1. Rashladna komora	1
Slika 2. Prikaz rashladnih komora.....	3
Slika 3. Shematski prikaz rashladnog procesa	28
Slika 4. Karakteristične točke u logp-h dijagramu	28
Slika 5. Karakteristične točke u T-s dijagramu.....	28
Slika 6. Shematski prikaz orebrenog isparivača	32
Slika 7. Shematski prikaz kondenzatora s cijevima u plaštu	42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristične točke plus režima.....	29
Tablica 2. Karakteristične točke minus režima.....	30
Tablica 3. Preporučljive brzine strujanja freona	51
Tablica 4. Odabir dimenzija cjevovoda za rashladnu vodu.....	51
Tablica 5. Odabir dimenzija cjevovoda za plus režim	52
Tablica 6. Odabir dimenzija cjevovoda za minus režim	53
Tablica 7. Odabir kompresora.....	54
Tablica 8. Odabir kondenzatora	54
Tablica 9. Odabir isparivača	55

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Naziv
A	$[m^2]$	– površina zida, poda ili stropa
A_{e1}	$[m^2/m]$	– površina za izmjenu topline na vanjskoj strani
A_f	$[m^2/m]$	– površina rebara
A_{i1}	$[m^2/m]$	– površina za izmjenu topline na unutarnjoj strani
A_i	$[m^2]$	– površina izmjene topline
A_{mt}	$[m^2/m]$	– vanjska površina cijevi između rebara
A_z	$[m^2]$	– najmanja površina između cijevi i lamela
A_i	$[m^2]$	– površina izmjene topline
B	$[m]$	– širina izmjenjivača topline
C	$[-]$	– koeficijent
C_k	$[-]$	– koeficijent otpornosti kontakta između cijevi i lamela
C_r	$[-]$	– koeficijent
C_s	$[-]$	– koeficijent
c_a	$[kJ/(kg \cdot K)]$	– specifični toplinski kapacitet zraka
c_p	$[kJ/(kg \cdot K)]$	– specifični toplinski kapacitet robe
c_{pp}	$[kJ/(kg \cdot K)]$	– specifični toplinski kapacitet pakiranja
c_w	$[kJ/(kg \cdot K)]$	– specifični toplinski kapacitet vode
d	$[mm]$	– promjer cjevovoda
d_b	$[mm]$	– unutarnji promjer utisnutog orebrenja
d_{ekv}	$[m]$	– ekvivalentan promjer
d_e	$[mm]$	– vanjski promjer cijevi
d_i	$[mm]$	– unutarnji promjer cijevi
d_m	$[mm]$	– srednji promjer cijevi
d_t	$[mm]$	– vanjskih promjer utisnutog orebrenja
E	$[-]$	– efikasnost lamela
f	$[-]$	– faktor za procjenu rada ventilatora
f_t	$[mm]$	– debljina lamela
f_w	$[-]$	– korekcijski faktor
G	$[kg/(m^2 \cdot s)]$	– maseni fluks
h	$[mm]$	– visina lamela
H	$[mm]$	– visina izmjenjivača topline
h_{a1}, h_{a2}	$[kJ/kg]$	– entalpija zraka na ulazu odnosno izlazu
h_i	$[kJ/kg]$	– entalpija infiltriranog zraka
h_r	$[kJ/kg]$	– entalpija hlađenog
i_{in}	$[-]$	– broj ulaznih cijevi
i_r	$[-]$	– broj redova cijevi
i_t	$[-]$	– broj cijevi u jednom redu
k	$[W/(m^2 \cdot K)]$	– ukupni koeficijent prolaza topline
k_e	$[W/(m^2 \cdot K)]$	– koeficijent prolaza topline sveden na vanjski promjer
L	$[m]$	– dubina izmjenjivača topline
L_{ov}	$[m]$	– ukupna duljina cijevi
L_1	$[m]$	– duljina cijevi u jednom redu
m	$[kg]$	– masa robe
\dot{m}_a	$[kg/s]$	– protok zraka kroz isparivač
\dot{m}_w	$[kg/s]$	– protok vode
m_f	$[-]$	– koeficijent
m_p	$[kg]$	– masa pakiranja
n	$[-]$	– koeficijent
n_p	$[-]$	– broj ljudi
n_p	$[-]$	– broj prolaza

n_t	[–]	– broj cijevi
Nu	[–]	– Nusseltov broj
P	[W]	– snaga kompresora
Δp	[Pa]	– pad tlaka
Q_{hl}	[J]	– toplina koju je potrebno odvesti
q_i	[W/m ²]	– gustoća toplinskog toka
q_e	[W/m ²]	– gustoća toplinskog toka svedena na vanjsku stranu
q_k	[kJ/kg]	– specifični učinak kondenzacije
q_o	[kJ/kg]	– specifični rashladni učinak
q_p	[W/osobi]	– toplinsko opterećenje po osobi
Re	[–]	– Reynoldsov broj
R_i	[(m ² · K)/W]	– toplinska otpornost zbog naslaga na strani radne tvari
R_o	[(m ² · K)/W]	– toplinska otpornost zbog naslaga na strani zraka
r_{RT}	[kJ/kg]	– toplina isparavanja radne tvari
R_t	[(m ² · K)/W]	– toplinska otpornost materijala cijevi
s_1	[mm]	– razmak između cijevi u vertikalnom smjeru
s_2	[mm]	– razmak između cijevi u horizontalnom smjeru
s_f	[mm]	– razmak između lamela ili vrha orebrenja
t_{a1}	[°C]	– ulazna temperatura zraka
t_{a2}	[°C]	– izlazna temperatura zraka
t_e, t_i	[°C]	– temperatura isparavanja
t_k, t_c	[°C]	– temperatura kondenzacije
t_s	[°C]	– temperatura na vanjskoj stijenci isparivača
t_{w1}, t_{w2}	[°C]	– ulazna odnosno izlazna temperatura vode
Δt_m	[°C]	– logaritamska razlika temperature
\dot{V}_a	[m ³ /s]	– volumenski protok
w	[m/s]	– brzina zraka ili vode
w_f	[m/s]	– brzina zraka na ulazu u isparivač
x, x_1	[m]	– debljina sloja
x_b	[mm]	– širina rebra pri vrhu
x_t	[mm]	– razmak između rebara pri dnu
α	[°]	– kut orebrenja
α_i	[W/(m ² · K)]	– unutarnji koeficijent prijelaza topline
α_o	[W/(m ² · K)]	– vanjski koeficijent prijelaza topline
α_R	[W/(m ² · K)]	– koeficijent prijelaza topline
β	[–]	– odnos vanjske i unutarnje površine za izmjenu topline
δ	[m]	– debljina stjenke cijevi
λ_1	[W/(m · K)]	– toplinska vodljivost sloja
λ_a	[W/(m · K)]	– toplinska vodljivost zraka
λ_f	[W/(m · K)]	– toplinska vodljivost aluminijske
λ_t	[W/(m · K)]	– toplinska vodljivost bakra
λ_w	[W/(m · K)]	– toplinska vodljivost vode
ρ_a, ρ_w	[kg/m ³]	– gustoća zraka odnosno vode
τ	[h]	– vrijeme uključenosti rasvjete i boravka u komori
u_a, u_w	[(m ² /s)]	– kinematička viskoznost zraka odnosno vode
μ_a, μ_w	[Pa · s]	– dinamička viskoznost zraka odnosno vode
ϕ_{dis}, ϕ_{EM}	[W]	– rashladno opterećenje disanja robe odnosno elektromotora
ϕ_K, ϕ_0	[W]	– potreban učin kondenzatora odnosno isparivača
ϕ_{lj}, ϕ_{rasvj}	[W]	– rashladno opterećenje ljudi odnosno rasvjete
ϕ_{pak}, ϕ_R	[W]	– rashladno opterećenje pakiranja odnosno hlađenja
ϕ_t, ϕ_{TR}	[W]	– rashladno opterećenje zbog infiltracije odnosno transmisije
ϕ_{UK}	[W]	– ukupno rashladno opterećenje
ξ	[–]	– faktor trenja
Ψ_c	[–]	– koeficijent

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

Zahvaljujem dr.sc. Vladimiru Soldi koji je prihvatio mentorstvo te mi ustupio potrebne materijale i stručno me vodio kroz završni rad.

Ivan Grgić

1. UVOD

Glavni smisao hlađenja robe u hladionicama je mogućnost očuvanja, skladištenja i distribucije robe koja je sklona kvarenju. Smanjenjem temperature produljujemo postojanost hrane, budući da na taj način usporavamo kemijske reakcije i kvarenje hrane uslijed utjecaja bakterija.

U današnje vrijeme prehrambena industrija je nezamisliva bez tehnologije hlađenja, tako se hlađenje koristi pri proizvodnji, preradi, čuvanju, transportu, izlaganju u rashladnim vitrinama te na kraju u našim kućnim hladnjacima.

Različite vrste prehrambenih proizvoda, kao što su razne vrste voća i povrća te meso stoke i ribe zahtijevaju različite uvjete čuvanja, pa se tako rashladne komore za određenu robu razlikuju po temperaturi hlađenja, brzini ohlađivanja, kontroli vlage, a time i konstrukciji same komore.

Hlađenje i zamrzavanje robe ne može poboljšati kvalitetu robe nego najbolje može postići očuvanje što sličnije kvalitete onoj kakvu je roba imala prilikom ulaska u proces obrade hlađenjem.

1.1. Rashladne komore

Rashladne komore su namijenjene za održavanje svježine i kvalitete prehrambenih proizvoda koji se u njima čuvaju. Komore se grade od izolacijskih panela koji se često sastoje od poliuretanske pjene izvana obložene limom te se pomoću njih hlađeni prostor izolira od vanjskih utjecaja.



Slika 1. Rashladna komora

Zadatak rashladnog sustava je da unutar rashladnih komora pomoću isparivača osigura potrebni rashladni učin za hlađenje robe ali i kompenzira toplinske dobitke poput transmisijskih dobitaka, infiltracije vanjskog zraka, rasvjete, opreme i slično.

2. OPIS SUSTAVA

2.1. Projektni zadatak

Rashladni sustav je smješten na brodu te se sastoji od tri rashladne komore:

- komora za hlađenje voća i povrća temperature hlađenja +4 °C, dimenzija 5x3x3 m
- komora za smrznutu ribu temperature hlađenja -25 °C, dimenzija 3x2,5x3 m
- komora za smrznuto meso temperature hlađenja -25 °C, dimenzija 3x2,5x3 m

Rashladne komore i uređaje treba projektirati za slobodan i nesmetan rad zaposlenika u skladu s higijenskim i tehnološkim uvjetima. Za hlađenje kondenzatora se koristi morska voda temperature 28 °C.

Radnu tvar rashladnog uređaja potrebno je odabrati prema suvremenim standardima obzirom na zaštitu okoliša.

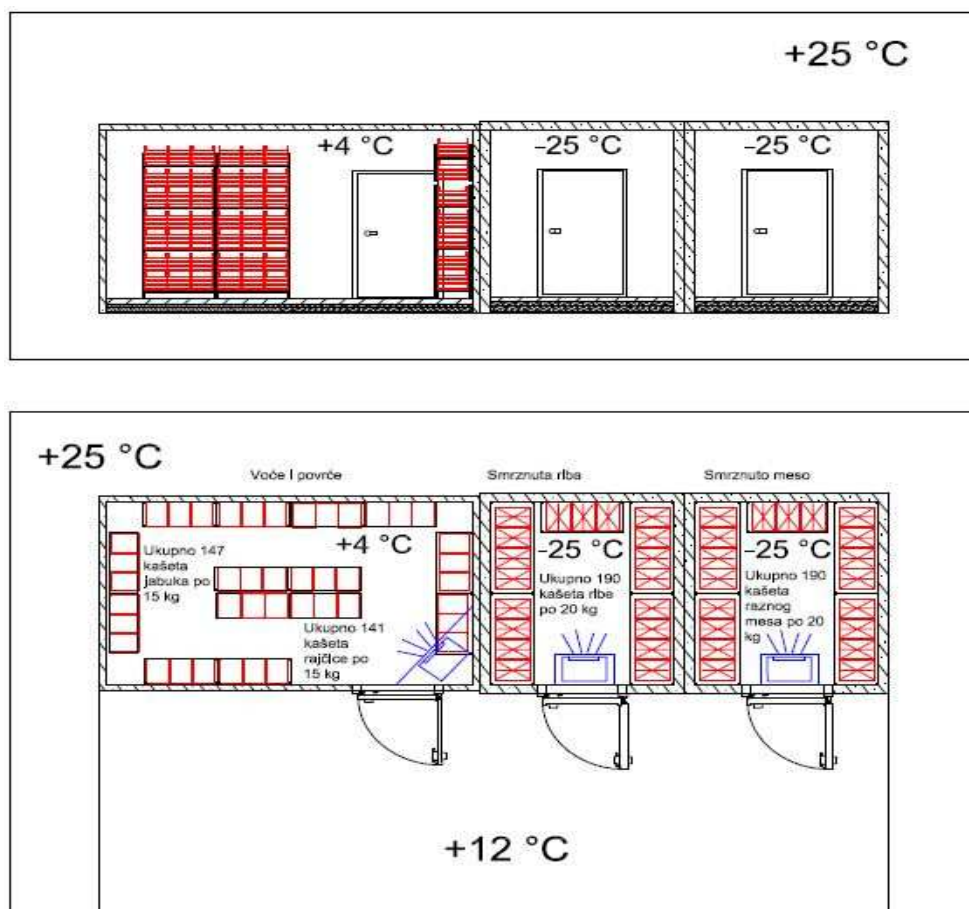
2.2. Tehnički opis sustava

Zbog postojanja velikih razlika temperatura hlađenja u komorama odlučeno je da će sustav biti podijeljen na dva dijela, plus režim koji se sastoji od jedne komore za hlađenje voća i povrća te minus režim koji se sastoji od dvije komore za smrznute proizvode. Plus režim radi na temperaturi isparavanja od -3 °C, dok minus režim radi na temperaturi isparavanja od -33 °C.

Odabrana radna tvar je freon R404A.

Isparivači su postavljeni u svaku komoru iznad ulaznih vrata zbog dobrog ispiranja prostora te zbog osoblja koje ulazi u rashladne prostore. Kašete u kojima se nalaze hlađeni proizvodi postavljene su na regale koji su raspoređeni tako da se osoblju olakša pristup hlađenoj robi.

Raspored regala u komorama kao i smještaj komora s prikazanim temperaturama može se vidjeti na slici 2.



Slika 2. Prikaz rashladnih komora

Dio sustava koji je u plus režimu sastoji se od jednog isparivača u komori, te kondenzacijske jedinice sastavljene od jednog kompresora i jednog kondenzatora s cijevima u plaštu u strojarnici.

Dio sustava koji je u minus režimu sastoji se od dva isparivača, po jedan za svaku komoru za smrzavanje robe, te vlastite kondenzacijske jedinice sastavljene od jednog kompresora i jednog kondenzatora s cijevima u plaštu u strojarnici.

Svi isparivači su opremljeni TEVV ventilima za regulaciju pregrijanja te električnim grijačima snage 2 kW za potrebe odleđivanja.

Oba dijela sustava također sadrže filtre, sigurnosne ventile, sakupljače radne tvari te potrebne presostate. Presostati niskog tlaka na usisnim vodovima kompresora u kombinaciji s elektromagnetskim ventilima i termostatima koji se nalaze u komorama omogućuju potrebnu regulaciju komora te „pump down“ sistem.

Kondenzatori su hlađeni slatkom vodom koja je naknadno hlađena morskom vodom putem pločastog izmjenjivača slatka voda/morska voda koji se nalazi u glavnoj brodskoj strojarnici u blizini oplata broda. Takvo tehničko rješenje je doneseno zbog olakšanja čišćenja prilikom broskog dokovanja.

3. RASHLADNO OPTEREĆENJE

- proračun i podaci prema [1]

3.1. Rashladna komora za voće i povrće (+4 °C)

3.1.1. Transmisijski gubici (dobici)

3.1.1.1. Zidovi +25 °C/+4 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad (1)$$

gdje je:

- x [m] -debljina sloja
- λ [W/(m·K)] -koeficijent toplinske vodljivosti sloja
- α_i [W/(m²·K)] -unutarnji koeficijent prijelaza topline
- α_o [W/(m²·K)] -vanjski koeficijent prijelaza topline

- za dinamično hlađenje u hlađenom prostoru $\alpha_i=20$ W/(m²·K)

- za miran zrak izvan komore $\alpha_o=9,5$ W/(m²·K)

Slojevi:

- pocinčani čelik: $x_1=0,0005$ m , $\lambda_1=50$ W/(m·K)
- poliuretanska pjena: $x_1=0,1$ m , $\lambda_1=0,024$ W/(m·K)
- pocinčani čelik: $x_1=0,0005$ m , $\lambda_1=50$ W/(m·K)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,1}{0,024} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{9,5}} = 0,231 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_o - \vartheta_i \quad (2)$$

$$\Delta\vartheta = 25 - 4 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vanjska površina zida:

$$A = l \cdot h \quad (3)$$

$$A = (5,2 + 3,2) \cdot 3,1 = 26,04 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

$$\dot{Q}_{tr} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{tr1} = 0,231 \cdot 26,04 \cdot 21 = 126,32 \text{ W}$$

3.1.1.2. Zid +12 °C/+4 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- prema jednadžbi (1):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,1}{0,024} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{9,5}} = 0,231 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = 12 - 4 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vanjska površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A = 5,2 \cdot 3,1 = 16,12 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr2} = 0,231 \cdot 16,12 \cdot 8 = 29,79 \text{ W}$$

3.1.1.3. Zid -25 °C/+4 °C

- za dinamično hlađenje u hlađenom prostoru $\alpha_i = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- za dinamično hlađenje u susjednoj komori $\alpha_o = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Slojevi:

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- poliuretanska pjena: $x_1 = 0,1 \text{ m}$, $\lambda_1 = 0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- poliuretanska pjena: $x_1 = 0,15 \text{ m}$, $\lambda_1 = 0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- prema jednadžbi (1):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{20} + 4 \cdot \frac{0,0005}{50} + \frac{0,1}{0,024} + \frac{0,15}{0,024} + \frac{1}{20}} = 0,095 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između temperature zraka susjedne komore i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = -25 - 4 = -29 \text{ °C}$$

Unutarnja površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A=3 \cdot 2,77=8,31 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr,3}=0,095 \cdot 8,31 \cdot (-29)=-22,89 \text{ W}$$

3.1.1.4. Pod +25 °C/+4 °C

- za dinamično hlađenje u hlađenom prostoru $\alpha_i=20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- za miran zrak izvan komore $\alpha_o=9,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Slojevi:

- armirani cementni estrih: $x_1=0,08 \text{ m}$, $\lambda_1=1,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- dvoslojna ekstrudirana PS pjena: $x_1=0,12 \text{ m}$, $\lambda_1=0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- polietilenska folija: $x_1=0,00025 \text{ m}$, $\lambda_1=0,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- cementni estrih: $x_1=0,03 \text{ m}$, $\lambda_1=1,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- bitumenska traka armirana staklenom tkaninom: $x_1=0,003 \text{ m}$, $\lambda_1=0,23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- prema jednadžbi (1):

$$k=\frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,08}{1,6} + \frac{0,12}{0,035} + \frac{0,00025}{0,5} + \frac{0,03}{1,6} + \frac{0,003}{0,23} + \frac{1}{9,5}}=0,273 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta=25-4=21\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Površina poda:

$$A=l\cdot b \tag{5}$$

$$A=5\cdot 3=15\text{ }m^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr4}=0,279\cdot 15\cdot 21=86\text{ }W$$

3.1.1.5. Strop +25 °C/+4 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- slojevi kao i kod zidnih panela pa je prema jednadžbi (1):

$$k=0,231\text{ }W/(m^2\cdot K)$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta=25-4=21\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Površina stropa:

- prema jednadžbi (5):

$$A=5,2\cdot 3,2=16,64\text{ }m^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr5} = 0,231 \cdot 16,64 \cdot 21 = 80,72 \text{ W}$$

3.1.1.6. Ukupni transmisijski gubici rashladne komore za voće i povrće:

$$\dot{Q}_{TR1} = \dot{Q}_{tr1} + \dot{Q}_{tr1} + \dot{Q}_{tr1} + \dots + \dot{Q}_n \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{TR1} = 126,32 + 29,79 - 22,89 + 86 + 80,72 = 299,94 \text{ W} = 0,3 \text{ kW}$$

3.1.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda

- rajčice i jabuke se unose u rashladnu komoru pri temperaturi od 25 °C te se hlade na 4 °C

$$\vartheta_1 = 25 \text{ °C}, \quad \vartheta_i = 4 \text{ °C}$$

- ukupna masa jabuka u rashladnoj komori je 2205 kg, a dnevni unos robe je 25% ukupne mase

$$m = 2205 \cdot 0,25 = 551,25 \text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet jabuka iznad temperature zaleđivanja je $c_p = 3,85 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Toplina koju je potrebno odvesti za hlađenje jabuka:

$$Q_{hl} = m \cdot c_p \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_i) \quad (7)$$

$$Q_{hl(j)} = 551,25 \cdot 3,85 \cdot (25 - 4) = 44568,563 \text{ kJ}$$

- ukupna masa rajčica je 2115 kg, dnevni unos je također 25%

$$m = 2115 \cdot 0,25 = 528,75 \text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet rajčica iznad temperature zaleđivanja je $c_p = 3,94 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Toplina koju je potrebno odvesti za hlađenje rajčica:

- prema jednadžbi (7):

$$Q_{hl(R)} = 528,75 \cdot 3,94 \cdot (25-4) = 43748,775 \text{ kJ}$$

Ukupna toplina koju je potrebno odvesti:

$$Q_{HL} = Q_{hl(J)} + Q_{hl(R)} \quad (8)$$

$$Q_{HL} = 44568,563 + 43748,775 = 88317,338 \text{ kJ}$$

Rashladni kapacitet za hlađenje proizvoda:

$$\phi_r = \frac{Q_{HL}}{3600 \cdot \tau} \quad (9)$$

- gdje je τ [h] vrijeme hlađenja, $\tau=12$ h

$$\phi_{r1} = \frac{88317,338}{3600 \cdot 12} = 2,044 \text{ kW}$$

3.1.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja

$$\phi_{pak} = \frac{m_p \cdot c_{pp} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_i)}{3600 \cdot \tau} \quad (10)$$

- masa dnevnog unosa drvenih gajbi iznosi oko 4% mase dnevnog unosa robe, prema tome:

$$m_p = (551,25 + 528,75) \cdot 0,04 = 43,2 \text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet drvenih gajbi je $c_{pp}=2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$$\phi_{pak1} = \frac{43,2 \cdot 2 \cdot (25-4)}{3600 \cdot 12} = 0,042 \text{ kW}$$

3.1.4. Toplinsko opterećenje zbog disanja robe

- prema [1] jabuke pri 4 °C odaju toplinu disanja u iznosu 14,04 W/1000 kg, prema tome:

$$\phi_{\text{dis(J)}} = \frac{14,04 \text{ W}}{1000 \text{ kg}} \cdot 2205 \text{ kg} = 30,96 \text{ W} = 0,031 \text{ kW}$$

- prema [1] rajčice pri 4 °C odaju toplinu disanja oko 65 W/1000 kg, prema tome:

$$\phi_{\text{dis(R)}} = \frac{65 \text{ W}}{1000 \text{ kg}} \cdot 2115 \text{ kg} = 137,48 \text{ W} = 0,137 \text{ kW}$$

Ukupno toplinsko opterećenje zbog disanja robe:

$$\phi_{\text{dis}} = \phi_{\text{dis(J)}} + \phi_{\text{dis(R)}} \quad (11)$$

$$\phi_{\text{dis1}} = 0,031 + 0,137 = 0,168 \text{ kW}$$

3.1.5. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata

$$\phi_t = w \cdot A \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \cdot D_t \quad (12)$$

gdje je:

$w = 0,5 \text{ m/s}$ - prosječna brzina zraka

$A = 1,71 \text{ m}^2$ - otvorena površina

$h_i = 33 \text{ kJ/kg}$ - entalpija infiltriranog zraka, za 12 °C i RV 60%

$h_r = 14 \text{ kJ/kg}$ - entalpija hlađenog zraka, za 4 °C i RV 80%

$\rho_r = 1,258 \text{ kg/m}^3$ - gustoća hlađenog zraka

- dnevno su vrata otvorena 45 minuta, pa je dekadski udio vremena otvorenosti vrata:

$$D_t = \frac{45}{24 \cdot 60} = 0,03125$$

$$\phi_{t1} = 0,5 \cdot 1,71 \cdot (33 - 14) \cdot 1,258 \cdot 0,03125 = 0,639 \text{ kW}$$

3.1.6. Toplinsko opterećenje od rasvjete

$$\phi_{\text{rasvj}} = \frac{A \cdot q_A \cdot \tau}{24 \cdot 1000} \quad (13)$$

gdje je:

$A=5 \cdot 3=15 \text{ m}^2$ (prema jednadžbi (5)) - površina poda

$q_A=10 \text{ W/m}^2$ - intenzitet rasvjete

$\tau=0,75 \text{ h}$ - broj sati uključenosti po danu

$$\phi_{\text{rasvj1}} = \frac{15 \cdot 10 \cdot 0,75}{24 \cdot 1000} = 0,005 \text{ kW}$$

3.1.7. Toplinsko opterećenje od ljudi

Ekvivalentna toplina po osobi:

$$q_p = 272 - 6 \cdot \vartheta_i \quad (14)$$

$\vartheta_i=4 \text{ }^\circ\text{C}$ - temperatura hlađenog prostora

$$q_p = 272 - 6 \cdot 4 = 248 \text{ W/osobi}$$

Toplinsko opterećenje:

$$\phi_{\text{lj}} = \frac{q_p \cdot n_p \cdot \tau}{24 \cdot 1000} \quad (15)$$

$n_p=2$ - broj ljudi

$\tau=0,75 \text{ h}$ - vrijeme provedeno u hlađenom prostoru

$$\phi_{\text{lj1}} = \frac{248 \cdot 2 \cdot 0,75}{24 \cdot 1000} = 0,02 \text{ kW}$$

3.1.8. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača

- može se približno izračunati pomoću:

$$\phi_{EM} = f \cdot \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (16)$$

f - faktor za procjenu rada ventilatora - za skladištenje u hladnom f=0,05

$$\phi_{EM1} = f(\phi_{TR1} + \phi_{r1} + \phi_{pak1} + \phi_{dis1} + \phi_{t1} + \phi_{rasvj1} + \phi_{lj1})$$

$$\phi_{EM1} = 0,05 \cdot (0,3 + 2,044 + 0,042 + 0,168 + 0,639 + 0,005 + 0,02) = 0,161 \text{ kW}$$

3.1.9. Ukupno toplinsko opterećenje komore za voće i povrće

$$\phi_{UK} = \sum_{n=1}^m \phi_n \quad (17)$$

$$\phi_{UK1} = \phi_{TR1} + \phi_{r1} + \phi_{pak1} + \phi_{dis1} + \phi_{t1} + \phi_{rasvj1} + \phi_{lj1} + \phi_{EM1}$$

$$\phi_{UK1} = 0,3 + 2,044 + 0,042 + 0,168 + 0,639 + 0,005 + 0,02 + 0,161 = 3,379 \text{ kW}$$

3.2. Rashladna komora za smrznutu ribu (-25 °C)

3.2.1. Transmisijski gubici (dobici)

3.2.1.1. Zid +25 °C/-25 °C

- za dinamično hlađenje u hlađenom prostoru $\alpha_i = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- za miran zrak izvan komore $\alpha_o = 9,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Slojevi:

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- poliuretanska pjena: $x_1 = 0,15 \text{ m}$, $\lambda_1 = 0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- pocinčani čelik: $x_1 = 0,0005 \text{ m}$, $\lambda_1 = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- prema jednadžbi (1):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,15}{0,024} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{9,5}} = 0,156 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = 25 - (-25) = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vanjska površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A = 2,8 \cdot 3,15 = 8,82 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

-prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr1} = 0,156 \cdot 8,82 \cdot 50 = 68,8 \text{ W}$$

3.2.1.2. Zid +12 °C/-25 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- slojevi i uvjeti kao kod prethodnog zida pa je prema jednadžbi (1):

$$k = 0,156 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = 12 - (-25) = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vanjska površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A=2,8 \cdot 3,15=8,82 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

-prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr2}=0,156 \cdot 8,82 \cdot 37=50,91 \text{ W}$$

3.2.1.3. Zid +4 °C/-25 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- k za ovaj zid je već izračunat u ulomku 3.1.1.3.

$$k=0,095 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između temperature zraka susjedne komore i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta=4-(-25)=29 \text{ °C}$$

Unutarnja površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A=3 \cdot 2,77=8,31 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr3}=0,095 \cdot 8,31 \cdot 29=22,89 \text{ W}$$

3.2.1.4. Pod +25 °C/-25 °C

- za dinamično hlađenje u hlađenom prostoru $\alpha_i=20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- za miran zrak izvan komore $\alpha_o=9,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Slojevi:

- armirani cementni estrih: $x_1=0,08 \text{ m}$, $\lambda_1=1,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- dvoslojna ekstrudirana PS pjena: $x_1=0,16 \text{ m}$, $\lambda_1=0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- polietilenska folija: $x_1=0,00025 \text{ m}$, $\lambda_1=0,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- cementni estrih: $x_1=0,03 \text{ m}$, $\lambda_1=1,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

- bitumenska traka armirana staklenom tkaninom: $x_1=0,003 \text{ m}$, $\lambda_1=0,23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- prema jednadžbi (1):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,08}{1,6} + \frac{0,16}{0,035} + \frac{0,00025}{0,5} + \frac{0,03}{1,6} + \frac{0,003}{0,23} + \frac{1}{9,5}} = 0,208 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\theta = 25 - (-25) = 50 \text{ °C}$$

Površina poda:

- prema jednadžbi (5):

$$A = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr4} = 0,208 \cdot 7,5 \cdot 50 = 78 \text{ W}$$

3.2.1.5. Strop +25 °C/-25 °C

- slojevi kao i kod zidnih panela pa je prema jednadžbi (1):

$$k = 0,156 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = 25 - (-25) = 50 \text{ °C}$$

Površina stropa:

- prema jednadžbi (5):

$$A = 2,8 \cdot 3,3 = 9,24 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr5} = 0,156 \cdot 9,24 \cdot 50 = 72,07 \text{ W}$$

3.2.1.6. Ukupni transmisijski gubici rashladne komore za smrznutu ribu:

- prema jednadžbi (6):

$$\dot{Q}_{TR2} = 68,8 + 50,91 + 22,89 + 78 + 72,07 = 292,67 \text{ W} = 0,293 \text{ kW}$$

3.2.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda

- smrznuta riba se u rashladnu komoru unosi u već smrznutom stanju s temperaturom od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ te se tada hladi na $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\vartheta_1 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \vartheta_2 = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- ukupna masa ribe u rashladnoj komori je 3800 kg, a dnevni unos robe je 25% ukupne mase

$$m = 3800 \cdot 0,25 = 950\text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet ribe ispod temperature zaleđivanja je $c_p = 1,7\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Toplina koju je potrebno odvesti za hlađenje ribe:

- prema jednadžbi (7):

$$Q_{hl} = 950 \cdot 1,7 \cdot (-20 - (-25)) = 8075\text{ kJ}$$

Rashladni kapacitet za hlađenje proizvoda:

- vrijeme hlađenja $\tau = 10\text{ h}$

- prema jednadžbi (9):

$$\dot{Q}_{r2} = \frac{8075}{3600 \cdot 10} = 0,224\text{ kW}$$

3.2.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja

- masa dnevnog unosa plastičnih kutija iznosi oko 3% mase dnevnog unosa robe, prema tome:

$$m_p = 950 \cdot 0,03 = 28,5\text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet plastičnih kutija je $c_{pp} = 1,4\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

- prema jednadžbi (10):

$$\dot{Q}_{pak2} = \frac{28,5 \cdot 1,4 \cdot (-20 - (-25))}{3600 \cdot 10} = 0,006\text{ kW}$$

3.2.4. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata

$w=0,6$ m/s - prosječna brzina zraka

$A=1,71$ m² - otvorena površina

$h_i=33$ kJ/kg - entalpija infiltriranog zraka, za 12 °C i RV 60%

$h_r=-24$ kJ/kg - entalpija hlađenog zraka, za -25 °C i RV 95%

$\rho_r=1,4224$ kg/m³ - gustoća hlađenog zraka

- dnevno su vrata otvorena 30 minuta, pa je dekadski udio vremena otvorenosti vrata:

$$D_t = \frac{30}{24 \cdot 60} = 0,02083$$

- prema jednadžbi (12):

$$\dot{Q}_{t2} = 0,6 \cdot 1,71 \cdot (33 - (-24)) \cdot 1,4224 \cdot 0,02083 = 1,733 \text{ kW}$$

3.2.5. Toplinsko opterećenje od rasvjete

$A=2,5 \cdot 3=7,5$ m² (prema jednadžbi (5)) - površina poda

$q_A=10$ W/m² - intenzitet rasvjete

$\tau=0,5$ h - broj sati uključenosti po danu

- prema jednadžbi (13):

$$\dot{Q}_{\text{rasvj2}} = \frac{7,5 \cdot 10 \cdot 0,5}{24 \cdot 1000} = 0,002 \text{ kW}$$

3.2.6. Toplinsko opterećenje od ljudi

Ekvivalentna toplina po osobi:

$\vartheta_i = -25$ °C - temperatura hlađenog prostora

- prema jednadžbi (14):

$$q_p = 272 - 6 \cdot (-25) = 422 \text{ W/osobi}$$

Toplinsko opterećenje:

$n_p = 2$ - broj ljudi

$\tau = 0,5$ h - vrijeme provedeno u hlađenom prostoru

- prema jednadžbi (15):

$$\dot{Q}_{lj2} = \frac{422 \cdot 2 \cdot 0,5}{24 \cdot 1000} = 0,018 \text{ kW}$$

3.2.7. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača

- može se približno izračunati pomoću jednadžbe (16) pa je:

$$\dot{Q}_{EM2} = f(\dot{Q}_{TR2} + \dot{Q}_{r2} + \dot{Q}_{pak2} + \dot{Q}_{t2} + \dot{Q}_{rasvj2} + \dot{Q}_{lj2})$$

f - faktor za procjenu rada ventilatora - za skladištenje u hladnom $f = 0,05$

$$\dot{Q}_{EM2} = 0,05 \cdot (0,293 + 0,224 + 0,006 + 1,733 + 0,002 + 0,018) = 0,114 \text{ kW}$$

3.2.8. Ukupno toplinsko opterećenje komore za smrznutu ribu

-prema jednadžbi (17):

$$\dot{Q}_{UK2} = \dot{Q}_{TR2} + \dot{Q}_{r2} + \dot{Q}_{pak2} + \dot{Q}_{t2} + \dot{Q}_{rasvj2} + \dot{Q}_{lj2} + \dot{Q}_{EM2}$$

$$\dot{Q}_{UK2} = 0,293 + 0,224 + 0,006 + 1,733 + 0,002 + 0,018 + 0,114 = 2,39 \text{ kW}$$

3.3. Rashladna komora za smrznuto meso (-25 °C)

3.3.1. Transmisijski gubici (dobici)

3.3.1.1. Zidovi +25 °C/-25 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- slojevi i uvjeti kao kod zida u ulomku 3.2.1.1. pa je prema jednadžbi (1):

$$k=0,156 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\theta=25-(-25)=50 \text{ °C}$$

Vanjska površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A=(2,8+3,3)\cdot 3,15=19,22 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

-prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr1}=0,156\cdot 19,22\cdot 50=149,92 \text{ W}$$

3.3.1.2. Zid +12 °C/-25 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- slojevi i uvjeti kao kod prethodnog zida pa je prema jednadžbi (1):

$$k=0,156 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta=12-(-25)=37\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Vanjska površina zida:

- prema jednadžbi (3):

$$A=2,8\cdot 3,15=8,82\text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr2}=0,156\cdot 8,82\cdot 37=50,91\text{ W}$$

3.3.1.3. Pod +25 °C/-25 °C

Ukupni koeficijent prolaza topline:

- slojevi i uvjeti kao kod poda u ulomku 1.2.1.4. pa je prema jednadžbi (1):

$$k=0,208\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta=25-(-25)=50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Površina poda:

- prema jednadžbi (5):

$$A=2,5\cdot 3=7,5\text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr3} = 0,208 \cdot 7,5 \cdot 50 = 78 \text{ W}$$

3.3.1.4. Strop +25 °C/-25 °C

- slojevi kao i kod zidnih panela pa je prema jednadžbi (1):

$$k = 0,156 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora:

- prema jednadžbi (2):

$$\Delta\vartheta = 25 - (-25) = 50 \text{ °C}$$

Površina stropa:

- prema jednadžbi (5):

$$A = 2,8 \cdot 3,3 = 9,24 \text{ m}^2$$

Toplinski tok:

- prema jednadžbi (4):

$$\dot{Q}_{tr4} = 0,156 \cdot 9,24 \cdot 50 = 72,07 \text{ W}$$

3.3.1.5. Ukupni transmisijski gubici rashladne komore za smrznuto meso:

- prema jednadžbi (6):

$$\dot{Q}_{TR3} = 149,92 + 50,91 + 78 + 72,07 = 350,9 \text{ W} = 0,351 \text{ kW}$$

3.3.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda

- smrznuto meso se u rashladnu komoru unosi u već smrznutom stanju s temperaturom od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ te se tada hladi na $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\vartheta_1 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \vartheta_2 = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- ukupna masa mesa u rashladnoj komori je 3800 kg, a dnevni unos robe je 25% ukupne mase

$$m = 3800 \cdot 0,25 = 950\text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet mesa ispod temperature zaleđivanja je $c_p = 1,6\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Toplina koju je potrebno odvesti za hlađenje mesa:

- prema jednadžbi (7):

$$Q_{hl} = 950 \cdot 1,6 \cdot (-20 - (-25)) = 7600\text{ kJ}$$

Rashladni kapacitet za hlađenje proizvoda:

- vrijeme hlađenja $\tau = 10\text{ h}$

- prema jednadžbi (9):

$$\dot{Q}_{r3} = \frac{7600}{3600 \cdot 10} = 0,211\text{ kW}$$

3.3.3. Toplinsko opterećenje od pakiranja

- masa dnevnog unosa plastičnih kutija iznosi oko 3% mase dnevnog unosa robe, prema tome:

$$m_p = 950 \cdot 0,03 = 28,5\text{ kg}$$

- specifični toplinski kapacitet plastičnih kutija je $c_{pp} = 1,4\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

- prema jednadžbi (10):

$$\dot{Q}_{pak3} = \frac{28,5 \cdot 1,4 \cdot (-20 - (-25))}{3600 \cdot 10} = 0,006\text{ kW}$$

3.3.4. Toplinsko opterećenje zbog infiltracije zraka kroz vrata

$w=0,6$ m/s - prosječna brzina zraka

$A=1,71$ m² - otvorena površina

$h_i=33$ kJ/kg - entalpija infiltriranog zraka, za 12 °C i RV 60%

$h_r=-24$ kJ/kg - entalpija hlađenog zraka, za -25 °C i RV 95%

$\rho_r=1,4224$ kg/m³ - gustoća hlađenog zraka

- dnevno su vrata otvorena 30 minuta, pa je dekadski udio vremena otvorenosti vrata:

$$D_t = \frac{30}{24 \cdot 60} = 0,02083$$

- prema jednadžbi (12):

$$\dot{Q}_{t3} = 0,6 \cdot 1,71 \cdot (33 - (-24)) \cdot 1,4224 \cdot 0,02083 = 1,733 \text{ kW}$$

3.3.5. Toplinsko opterećenje od rasvjete

$A=2,5 \cdot 3=7,5$ m² (prema jednadžbi (5)) - površina poda

$q_A=10$ W/m² - intenzitet rasvjete

$\tau=0,5$ h - broj sati uključenosti po danu

- prema jednadžbi (13):

$$\dot{Q}_{\text{rasvj3}} = \frac{7,5 \cdot 10 \cdot 0,5}{24 \cdot 1000} = 0,002 \text{ kW}$$

3.3.6. Toplinsko opterećenje od ljudi

Ekvivalentna toplina po osobi:

$\vartheta_i=-25$ °C - temperatura hlađenog prostora

- prema jednadžbi (14):

$$q_p = 272 - 6 \cdot (-25) = 422 \text{ W/osobi}$$

Toplinsko opterećenje:

$n_p=2$ - broj ljudi

$\tau=0,5$ h - vrijeme provedeno u hladnom prostoru

- prema jednadžbi (15):

$$\dot{Q}_{lj3} = \frac{422 \cdot 2 \cdot 0,5}{24 \cdot 1000} = 0,018 \text{ kW}$$

3.3.7. Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača

- može se približno izračunati pomoću jednadžbe (16) pa je:

$$\dot{Q}_{EM3} = f(\dot{Q}_{TR3} + \dot{Q}_{r2} + \dot{Q}_{pak3} + \dot{Q}_{t3} + \dot{Q}_{rasvj3} + \dot{Q}_{lj3})$$

f - faktor za procjenu rada ventilatora - za skladištenje u hladnom $f=0,05$

$$\dot{Q}_{EM3} = 0,05 \cdot (0,351 + 0,211 + 0,006 + 1,733 + 0,002 + 0,018) = 0,116 \text{ kW}$$

3.3.8. Ukupno toplinsko opterećenje komore za smrznuto meso

- prema jednadžbi (17):

$$\dot{Q}_{UK3} = \dot{Q}_{TR3} + \dot{Q}_{r3} + \dot{Q}_{pak3} + \dot{Q}_{t3} + \dot{Q}_{rasvj3} + \dot{Q}_{lj3} + \dot{Q}_{EM3}$$

$$\dot{Q}_{UK3} = 0,351 + 0,211 + 0,006 + 1,733 + 0,002 + 0,018 + 0,116 = 2,437 \text{ kW}$$

4. PRORAČUN KOMPONENTI RASHLADNOG UREĐAJA

Podaci o svojstvima radne tvari R404A preuzeti su iz podloga „Radne tvari u Tehnici hlađenja“ [2].

Proračun je izveden za temperaturu morske vode $\vartheta_{mw}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, a kako je između morske vode i kondenzatora dodatni izmjenjivač morska voda/slatka voda, razlika između temperature morske vode i temperature kondenzacije uzima se $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatura kondenzacije:

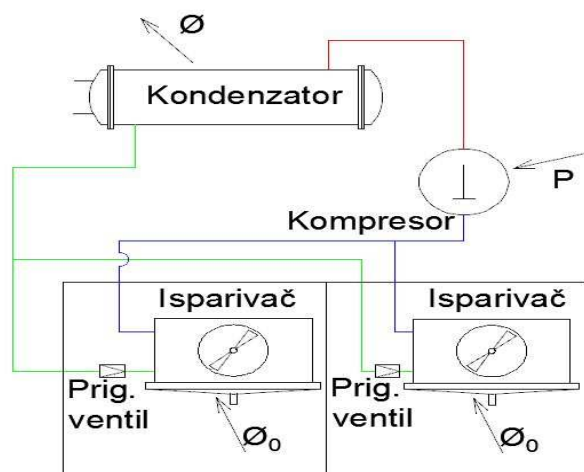
$$\vartheta_k = \vartheta_{mw} + 10\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (18)$$

Temperatura pothlađenja kapljevine:

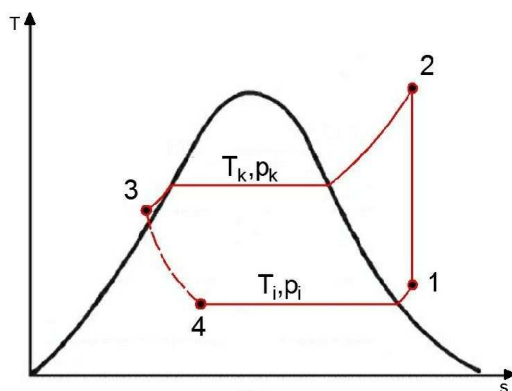
$$\vartheta_3 = \vartheta_k - 3\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (19)$$

Temperatura pregrijanja:

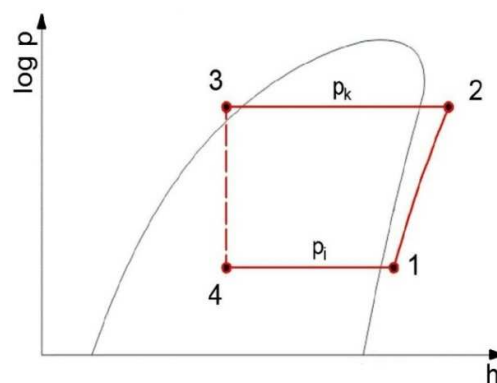
$$\vartheta_1 = \vartheta_i + 5\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (20)$$



Slika 3. Shematski prikaz rashladnog procesa



Slika 5. Karakteristične točke u log-p-h dijagramu



Slika 4. Karakteristične točke u T-s dijagramu

Nakon definiranja radnih parametara dobivamo karakteristične točke rashladnog procesa pomoću tablica radne tvari R404A. Karakteristične točke su prikazane za plus i minus režim.

- proračun prema [3]

4.1. Plus režim

Temperatura hlađenja rashladne komore za voće i povrće je $\vartheta_{0+} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pa temperaturu isparavanja radne tvari za taj slučaj uzimamo $\vartheta_{i+} = -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tablica 1. Karakteristične točke plus režima [2]

Karakteristične točke	Temperatura [°C]	Tlak [bar]	Entalpija [kJ/kg]	Entropija [kJ/(kg·K)]
1	2	5,4869	368,553	1,6249
2	47,1	17,322	391,9	1,6249
3	35	17,322	252,45	
4	-3	5,4869	252,45	

Iz dobivenih vrijednosti u karakterističnim točkama rashladnog procesa dobivamo podatke za plus režim.

- potreban učin isparivača uzimamo prema ukupnom rashladnom opterećenju rashladne komore u plus režimu pa je prema ulomku 3.1.9.:

$$\dot{\varphi}_{0+} = \dot{\varphi}_{UK1} = 3,379 \text{ kW} \quad (21)$$

Specifični rashladni učin:

$$q_{0+} = h_1 - h_4 = 368,553 - 252,45 = 116,103 \text{ kJ/kg} \quad (22)$$

Protok radne tvari:

$$q_{mR404A+} = \frac{\dot{\varphi}_{0+}}{q_{0+}} = \frac{3,379}{116,103} = 0,0291 \text{ kg/s} \quad (23)$$

Specifični rad:

$$w_+ = h_2 - h_1 = 391,9 - 368,553 = 23,347 \text{ kJ/kg} \quad (24)$$

Snaga kompresora:

$$P_+ = q_{mR404A+} \cdot w_+ = 0,0291 \cdot 23,347 = 0,679 \text{ kW} \quad (25)$$

Potreban učin kondenzatora:

$$\dot{Q}_{k+} = P_+ + \dot{Q}_{0+} = 0,679 + 3,379 = 4,058 \text{ kW} \quad (26)$$

4.2. Minus režim

Temperatura hlađenja rashladnih komora za smrznute proizvode je $\vartheta_0 = -25 \text{ °C}$ pa temperaturu isparavanja radne tvari za taj slučaj uzimamo $\vartheta_1 = -33 \text{ °C}$.

Tablica 2. Karakteristične točke minus režima [2]

Karakteristične točke	Temperatura [°C]	Tlak [bar]	Entalpija [kJ/kg]	Entropija [kJ/(kg·K)]
1	-28	1,8041	351,226	1,6441
2	52,04	17,322	398,088	1,6441
3	35	17,322	252,45	
4	-33	1,8041	252,45	

Iz dobivenih vrijednosti u karakterističnim točkama rashladnog procesa dobivamo podatke za minus režim.

- ukupno potrebni učin isparivača uzimamo prema ukupnom rashladnom opterećenju rashladnih komora u minus režimu pa je prema ulomcima 3.2.8. i 3.3.8.:

$$\dot{Q}_{0-} = \dot{Q}_{UK2} + \dot{Q}_{UK3} = 2,39 + 2,437 = 4,827 \text{ kW} \quad (27)$$

Specifični rashladni učin:

- prema jednadžbi (22):

$$q_{0-} = h_1 - h_4 = 351,226 - 252,45 = 98,776 \text{ kJ/kg}$$

Protok radne tvari:

- prema jednadžbi (23):

$$q_{mR404A-} = \frac{\dot{Q}_{0-}}{q_{0-}} = \frac{4,827}{98,776} = 0,0489 \text{ kg/s}$$

Specifični rad:

- prema jednadžbi (24):

$$w_- = h_2 - h_1 = 398,088 - 351,226 = 46,862 \text{ kJ/kg}$$

Snaga kompresora:

- prema jednadžbi (25):

$$P_- = q_{mR404A-} \cdot w_- = 0,0489 \cdot 46,862 = 2,292 \text{ kW}$$

Potreban učin kondenzatora:

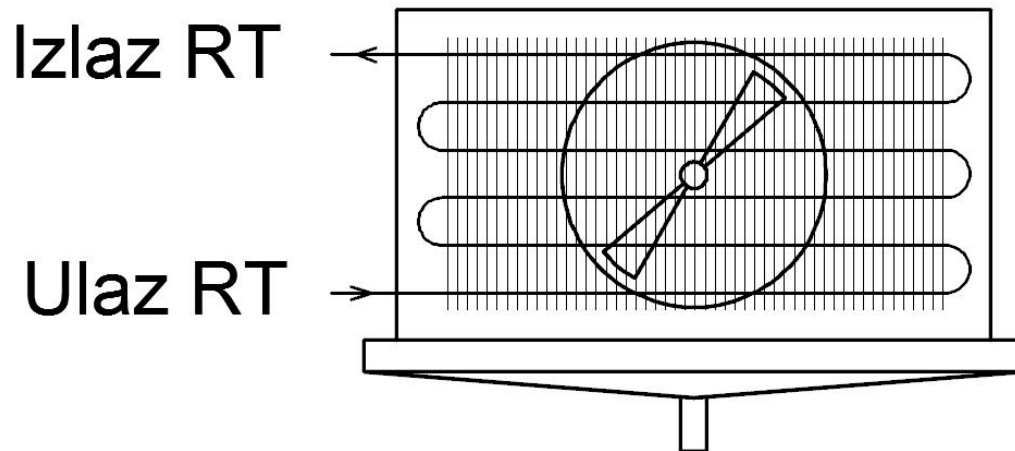
- prema jednadžbi (26):

$$\dot{Q}_{k-} = P_- + \dot{Q}_{0-} = 2,292 + 4,827 = 7,119 \text{ kW}$$

4.3. Dimenzioniranje isparivača komore za skladištenje voća i povrća (+4 °C)

-proračun i podaci prema [4]

Isparivač je orebreni sa šahovskim rasporedom cijevi od bakra te s rebrima izrađenim od aluminija.



Slika 6. Shematski prikaz orebrenog isparivača

Proračun dimenzija isparivača je izveden prema ulaznim parametrima za predviđene uvjete rada:

- rashladni učin: $\Phi_{o+} = 3,379 \text{ kW}$
- ulazna temperatura zraka: $t_{a1} = 5 \text{ °C}$
- izlazna temperatura zraka: $t_{a2} = 1,4 \text{ °C}$
- temperatura isparavanja: $t_e = -3 \text{ °C}$
- temperatura kondenzacije: $t_c = 38 \text{ °C}$

Iskustveno odabrane početne vrijednosti konstrukcije za daljnji proračun:

- vanjski promjer cijevi: $d_e = 12$ mm
- unutarnji promjer cijevi: $d_i = 10$ mm
- razmak između cijevi u vertikalnom smjeru: $s_1 = 28$ mm
- razmak između cijevi u horizontalnom smjeru: $s_2 = 28$ mm
- razmak između lamela: $s_f = 5,2$ mm [3]
- debljina lamela: $f_t = 0,2$ mm
- broj redova: $i_r = 6$
- broj cijevi u jednom redu: $i_t = 14$
- broj ulaznih cijevi (krugova): $i_{in} = 7$

Vanjska površina cijevi između rebara:

$$A_{mt} = \pi \cdot d_e \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = \pi \cdot 0,012 \cdot \left(1 - \frac{0,2}{5,2}\right) = 0,03625 \text{ m}^2/\text{m} \quad (28)$$

Površina rebara:

$$A_f = \frac{2 \cdot (s_1 \cdot s_2 - \frac{\pi \cdot d_e^2}{4})}{s_f} = \frac{2 \cdot (0,028 \cdot 0,028 - \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4})}{0,0052} = 0,25804 \text{ m}^2/\text{m} \quad (29)$$

Površina za izmjenu topline na vanjskoj strani po metru duljine:

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0,03625 + 0,25804 = 0,2943 \text{ m}^2/\text{m} \quad (30)$$

Površina za izmjenu topline na unutarnjoj strani po metru duljine:

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = \pi \cdot 0,01 = 0,03142 \text{ m}^2/\text{m} \quad (31)$$

Odnos između vanjske i unutarnje površine za izmjenu topline:

$$\beta = A_{e1}/A_{i1} = \frac{0,2943}{0,03142} = 9,37 \quad (32)$$

Visina izmjenjivača topline:

$$H = i_t \cdot s_1 = 14 \cdot 0,028 = 0,392 \text{ m} \quad (33)$$

Dubina izmjenjivača topline:

$$L = i_r \cdot s_2 = 6 \cdot 0,028 = 0,168 \text{ m} \quad (34)$$

Logaritamska razlika temperature:

$$\Delta t_m = \frac{t_{a1} - t_{a2}}{\ln \frac{t_{a1} - t_e}{t_{a2} - t_e}} = \frac{5 - 1,4}{\ln \frac{5 - (-3)}{1,4 - (-3)}} = 6,022 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (35)$$

Srednja vrijednost temperature zraka:

$$t_{am} = t_e + \Delta t_m = -3 + 6,022 = 3,022 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (36)$$

Termodinamička svojstva zraka za $t_{am} = 3,022 \text{ } ^\circ\text{C}$ [5]:

- gustoća zraka: $\rho_a = 1,262 \text{ kg/m}^3$
- specifični toplinski kapacitet: $c_a = 1,005 \text{ kJ/kg}$
- toplinska vodljivost: $\lambda_a = 0,02429 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- kinematička viskoznost: $\nu_a = 1,377 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

4.3.1. Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari

Protok radne tvari:

- iz jednadžbe (23):

$$q_{mR404A+} = \dot{m}_{R+} = 0,0291 \text{ kg/s}$$

Maseni fluks:

$$G = \frac{\dot{m}_{R+}}{\frac{i_{in} \cdot \pi \cdot d_i^2}{4}} = \frac{0,0291}{\frac{7 \cdot \pi \cdot 0,01^2}{4}} = 52,9304 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (37)$$

Pretpostavljeno je mjehuričasto isparavanje u cijevima (Ciconkov str.126 tabl.7-1 [1]) te je prema tome izveden proračun.

- koeficijent C za temperaturu isparavanja $t_e = -3 \text{ }^\circ\text{C}$ i radnu tvar R404A iznosi: $C = 0,1817$

- gustoću toplinskog toka pretpostavljamo (na temelju iteracije): $q_i = 1200 \text{ W}/\text{m}^2$

Koeficijent prijelaza topline:

$$\alpha_R = C \cdot \frac{G^{0,1} \cdot q_i^{0,7}}{d_i^{0,5}} = 0,1817 \cdot \frac{52,9304^{0,1} \cdot 1200^{0,7}}{0,01^{0,5}} = 386,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (38)$$

Toplinska otpornost uslijed naslaga na strani zraka:

$$R_0 = 0,0005 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Toplinska otpornost zbog stvaranja naslaga na strani rashladne tvari:

$$R_i = 0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Debljina cijevi:

$$\delta_t = 0,001 \text{ m}$$

Toplinska vodljivost bakra:

$$\lambda_t = 370 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Toplinska otpornost materijala cijevi:

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = \frac{0,001}{370} = 2,703 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (39)$$

Srednji promjer cijevi:

$$d_m = d_i + \frac{d_e - d_i}{2} = 10 + \frac{12 - 10}{2} = 11 \text{ mm} \quad (40)$$

Temperatura na vanjskoj strani stjenki isparivača:

$$t_s = t_e + \left(\frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \cdot \frac{d_i}{d_m} + R_0 \cdot \frac{1}{\beta} \right) \cdot q_i \quad (41)$$

$$t_s = -3 + \left(\frac{1}{386,5} + 0 + 2,703 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{11} + 0,0005 \cdot \frac{1}{9,37} \right) \cdot 1200 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Površina izmjene topline:

$$A_i = \frac{\Phi_{0+}}{q_i} = \frac{3379}{1200} = 2,816 \text{ m}^2 \quad (42)$$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{ov} = A_i / A_{i1} = \frac{2,816}{0,03142} = 89,624 \text{ m} \quad (43)$$

Duljina cijevi u jednom redu:

$$L_1 = L_{ov} / i_r = \frac{89,624}{6} = 14,937 \text{ m} \quad (44)$$

Širina izmjenjivača topline:

$$B = L_1 / i_t = \frac{14,937}{14} = 1,07 \text{ m} \quad (45)$$

4.3.2. Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

Stanja vlažnog zraka [Mollier h,x – dijagram]:

- entalpija ulaznog zraka: $h_1 = 16$ kJ/kg

- sadržaj vlage ulaznog zraka: $x_1 = 4,4$ g/kg

- entalpija zraka na stjenci isparivača ($\varphi_s=1$): $h_s = 10,5$ kJ/kg

- sadržaj vlage zraka na stjenci isparivača: $x_s = 3,9$ g/kg

- sadržaj vlage izlaznog zraka:

$$x_2 = x_1 - \frac{(x_1 - x_s) \cdot (t_{a1} - t_2)}{(t_{a1} - t_s)} = 4,4 - \frac{(4,4 - 3,9) \cdot (5 - 1,4)}{(5 - 0,2)} = 4,025 \text{ g/kg} \quad (46)$$

- entalpija izlaznog zraka:

$$h_2 = 1,005 \cdot t_{a2} + x_2 \cdot (2501 + 1,863 \cdot t_{a2}) \quad (47)$$

$$h_2 = 1,005 \cdot 1,4 + 0,004025 \cdot (2501 + 1,863 \cdot 1,4) = 11,484 \text{ kJ/kg}$$

Protok zraka kroz isparivač:

$$\dot{m}_a = \frac{\phi_{0+}}{(h_1 - h_2)} = \frac{3,379}{(16 - 11,484)} = 0,748 \text{ kg/s} \quad (48)$$

Volumenski protok zraka kroz isparivač:

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = \frac{0,748}{1,262} = 0,593 \text{ m}^3/\text{s} \quad (49)$$

Najmanja površina između cijevi i lamela za strujanje zraka:

$$A_Z = L_1 \cdot (s_1 - d_e) \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) \quad (50)$$

$$A_Z = 14,937 \cdot (0,028 - 0,012) \cdot \left(1 - \frac{0,0002}{0,0052}\right) = 0,23 \text{ m}^2$$

Brzina zraka u najmanjem presjeku:

$$w = \dot{V}_a / A_z = \frac{0,593}{0,23} = 2,58 \text{ m/s} \quad (51)$$

Nusseltov broj:

- pri odabiru pravilne jednadžbe za Nusseltov broj moramo obratiti pozornost na njene pretpostavke pri proračunu

- odabire se jednadžba:

$$Nu = C \cdot C_r \cdot C_s \cdot \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0,14} \cdot Re^n \quad (52)$$

- pri čemu se mora zadovoljiti uvjet:

$$\frac{s_f}{d_e} = \frac{5,2}{12} = 0,4333 > 0,35$$

- za cijevi postavljene u šahovski raspored o koeficijenti su (Ciconkov str.154.tab.):

$$C = 0,23 ; n = 0,65$$

- koeficijent C_r odabire se prema broju redova:

$$C_r = 0,95$$

- koeficijent C_s :

$$s_{2d} = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = \sqrt{(28/2)^2 + 28^2} = 31,3 \text{ mm} \quad (53)$$

$$C_s = \left(\frac{s_1 - d_e}{s_{2d} - d_e}\right)^{0,2} = \left(\frac{28 - 12}{31,3 - 12}\right)^{0,2} = 0,9632 \quad (54)$$

Visina lamela:

$$h = \frac{s_1 - d_e}{2} = \frac{28 - 12}{2} = 8 \text{ mm} \quad (55)$$

Ekvivalentni promjer:

$$d_{ekv} = \frac{2 \cdot (s_1 - d_e) \cdot (s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = \frac{2 \cdot (28 - 12) \cdot (5,2 - 0,2)}{28 - 12 + 5,2 - 0,2} = 7,62 \text{ mm} \quad (56)$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_{ekv}}{v_a} = \frac{2,58 \cdot 0,00762}{1,377 \cdot 10^{-5}} = 1427,7 \quad (57)$$

- prema tome Nusseltov broj iznosi:

$$Nu = 0,23 \cdot 0,95 \cdot 0,9632 \cdot \left(\frac{12}{5,2}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{8}{5,2}\right)^{-0,14} \cdot 1427,7^{0,65} = 14,2 \quad (58)$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\alpha_a = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{d_{ekv}} = \frac{14,2 \cdot 0,02429}{0,00762} = 45,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (59)$$

- kako je $x_2 < x_1$, vanjske površine isparivača su mokre što poboljšava prolaz topline, to uzimamo u obzir koeficijentom ξ_w :

$$\xi_w = 1 + 2500 \cdot \frac{(x_1 - x_s)}{(t_{a1} - t_s)} = 1 + 2500 \cdot \frac{(0,00044 - 0,00039)}{(5 - 0,2)} = 1,026 \quad (60)$$

Konačni koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\alpha_{aw} = \xi_w \cdot \alpha_a = 1,026 \cdot 45,26 = 46,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (61)$$

Koeficijent prijelaza topline sveden na unutarnji promjer cijevi:

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} \cdot (A_f \cdot E \cdot C_k + A_{mt})/A_{i1} \quad (62)$$

- toplinska vodljivost aluminija:

$$\lambda_f = 209 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

- članovi za izračunavanje efikasnosti lamela:

$$m_f = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{aw}}{f_t \cdot \lambda_f}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 46,44}{0,0002 \cdot 209}} = 47,14 \text{ 1/m} \quad (63)$$

$$A_{f1} = s_1 = 0,028 \text{ m}$$

$$B_f = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = \sqrt{(0,028/2)^2 + 0,028^2} = 0,0313 \text{ m} \quad (64)$$

$$\rho_f = 1,27 \cdot \left(\frac{B_f}{d_e}\right) \cdot \sqrt{\frac{A_{f1}}{B_f} - 0,3} = 1,27 \cdot \left(\frac{0,0313}{0,012}\right) \cdot \sqrt{\frac{0,028}{0,0313} - 0,3} = 2,55 \quad (65)$$

$$h_f = 0,5 \cdot d_e \cdot (\rho_f - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln \rho_f) \quad (66)$$

$$h_f = 0,5 \cdot 0,012 \cdot (2,55 - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln 2,55) = 0,012347 \text{ m}$$

- efikasnost lamela:

$$E = \frac{th(m_f \cdot h_f)}{m_f \cdot h_f} = \frac{th(47,14 \cdot 0,012347)}{47,14 \cdot 0,012347} = 0,901 \quad (67)$$

- koeficijent otpornosti kontakta između cijevi i lamela: $C_k = 1$

- prema jednadžbi (62) koeficijent prijelaza topline sveden na unutarnji promjer cijevi iznosi:

$$\alpha_{ai} = 46,44 \cdot (0,25804 \cdot 0,901 \cdot 1 + 0,03625)/0,03142 = 397,214 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnji promjer cijevi:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_0 \cdot \frac{1}{\beta} + R_t \cdot \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} \quad (68)$$

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{397,214} + 0,0005 \cdot \frac{1}{9,37} + 2,703 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{11} + 0 + \frac{1}{386,5}} = 194 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Stvarni toplinski tok:

$$q_i = k_i \cdot \Delta t_m = 194 \cdot 6,022 = 1168,27 \text{ W}/\text{m}^2 \quad (69)$$

- dovoljno blizu pretpostavci

Brzina struje zraka na ulazu u isparivač:

$$w_f = \frac{\dot{V}_a}{B \cdot H} = \frac{0,593}{1,07 \cdot 0,392} = 1,414 \text{ m/s} \quad (70)$$

Pad tlaka zraka na isparivaču:

$$\Delta p = 0,233 \cdot i_r \cdot \left(\frac{s_2}{s_f - f_t} \right)^{0,42} \cdot (w \cdot \rho_a)^{1,8} \quad (71)$$

$$\Delta p = 0,233 \cdot 6 \cdot \left(\frac{0,028}{0,0052 - 0,0002} \right)^{0,42} \cdot (2,58 \cdot 1,262)^{1,8} = 24,13 \text{ Pa}$$

Konačne dimenzije orebrenog isparivača:

- visina: $H = 392 \text{ mm}$

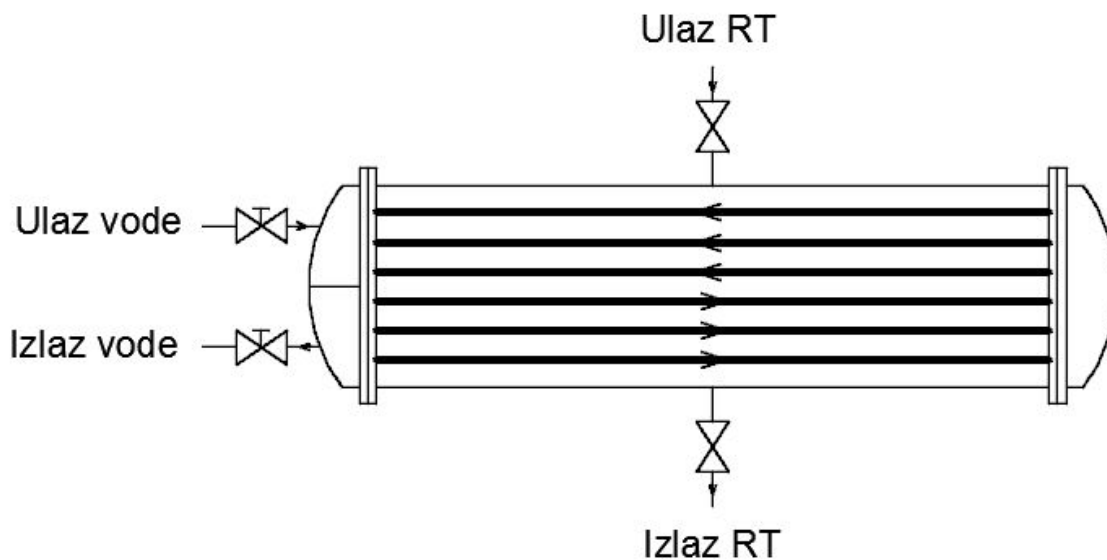
- dubina: $L = 168 \text{ mm}$

- širina: $B = 1070 \text{ mm}$

4.4. Dimenzioniranje kondenzatora komore za skladištenje voća i povrća (+4 °C)

- proračun i podaci prema [4]

Kondenzator je u izvedbi s cijevima u plaštu, cijevi su od bakra te je orebrenje utisnuto na glatke cijevi.



Slika 7. Shematski prikaz kondenzatora s cijevima u plaštu

Proračun dimenzija kondenzatora je izveden prema ulaznim parametrima za predviđene uvjete rada:

- učin: $\Phi_{k+} = 4,058$ kW
- ulazna temperatura vode: $t_{w1} = 31$ °C
- izlazna temperatura vode: $t_{w2} = 33$ °C
- temperatura kondenzacije: $t_c = 38$ °C

Iskustveno odabrane početne vrijednosti konstrukcije za daljnji proračun:

- orebrenje je utisnuto na glatke cijevi vanjskog promjera: $d_e = 18 \text{ mm}$
- vanjski promjer cijevi (s orebrenjem): $d_t = 20,8 \text{ mm}$
- unutarnji promjer cijevi: $d_i = 13 \text{ mm}$
- debljina stjenke cijevi: $\delta_1 = 2,5 \text{ mm}$
- srednji promjer cijevi: $d_m = 15,5 \text{ mm}$
- korak između cijevi: $s = 23 \text{ mm}$
- pretpostavljeni promjer plašta: $D = 120 \text{ mm}$
- gustoću toplinskog toka pretpostavljamo (na temelju iteracije): $q_e = 2302,612 \text{ W/m}^2$
- pretpostavljamo odnos unutarnje i vanjske površine [prema jednadžbi (101)]: $A_e / A_i = 3,632$

Vanjska površina:

$$A_e = \Phi_{k+} / q_e = 4058 / 2302,612 = 1,762 \text{ m}^2 \quad (72)$$

Unutarnja površina:

$$A_i = A_e / 3,632 = 1,762 / 3,632 = 0,4851 \text{ m}^2 \quad (73)$$

Približni broj cijevi koji se može smjestiti unutar plašta:

$$n_t = 0,75 \cdot \left[\left(\frac{D}{s} \right)^2 - 1 \right] + 1 = 0,75 \cdot \left[\left(\frac{120}{23} \right)^2 - 1 \right] + 1 \approx 20 \quad (74)$$

Konačan broj cijevi:

$$n_t = 18$$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{ov} = A_i / (\pi \cdot d_i) = 0,4851 / (\pi \cdot 0,013) = 11,878 \text{ m} \quad (75)$$

Aktivna duljina kondenzatora:

$$L = L_{ov}/n_t = 11,878/18 = 0,66 \text{ m} \quad (76)$$

Logaritamska razlika temperature:

$$\Delta t_m = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\ln \frac{t_c - t_{w1}}{t_c - t_{w2}}} = \frac{33 - 31}{\ln \frac{38 - 31}{38 - 33}} = 5,944 \text{ °C} \quad (77)$$

Srednja vrijednost temperature vode:

$$t_{wm} = t_c - \Delta t_m = 38 - 5,944 = 32,06 \text{ °C} \quad (78)$$

Termodinamička svojstva vode srednje temperature $t_{ws} = 32,06 \text{ °C}$ [5]:

- specifični toplinski kapacitet vode: $c_w = 4,1796 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

- gustoća vode: $\rho_w = 995,006 \text{ kg/m}^3$

- toplinska vodljivost: $\lambda_w = 0,618632 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

- dinamička viskoznost: $\mu_w = 7,66138 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

- kinematička viskoznost: $\nu_w = 7,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Protok vode:

$$\dot{m}_w = \frac{\Phi_{k+}}{c_w \cdot (t_{w2} - t_{w1})} = \frac{4,058}{4,1796 \cdot (33 - 31)} = 0,485 \text{ kg/s} \quad (79)$$

Broj prolaza vode:

$$n_p = 2$$

Broj cijevi u jednom prolazu:

$$n_{t1} = n_t/n_p = 18/2 = 9 \quad (80)$$

Brzina vode u cijevima:

$$w = \frac{\dot{m}_w}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot n_{t1} \cdot \rho_w} = \frac{0,485}{\frac{\pi \cdot 0,013^2}{4} \cdot 9 \cdot 995,006} = 0,408 \text{ m/s} \quad (81)$$

4.4.1. Koeficijent prijelaza topline u cijevima (na strani vode)

Pojednostavljeni izraz za koeficijent prijelaza topline (izveden prema Mac Adamsovoj metodi):

$$\alpha_w = f_w \cdot B_w \cdot \frac{w^{0,8}}{d_i^{0,2}} \quad (82)$$

- gdje se B_w sastoji od termodinamičkih svojstva vode:

$$B_w = 0,023 \cdot \rho^{0,8} \cdot c^{0,4} \cdot \lambda^{0,6} \cdot \mu^{-0,4} \quad (83)$$

$$B_w = 0,023 \cdot 995,006^{0,8} \cdot 4179,6^{0,4} \cdot 0,618632^{0,6} \cdot (7,66138 \cdot 10^{-4})^{-0,4} = 2135,89$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu_w} = \frac{0,408 \cdot 0,013}{7,7 \cdot 10^{-7}} = 6888,312 \quad (84)$$

Korekcijski faktor f_w ovisan o Re :

- kako je $Re < 10000$:

$$f_w = -0,0101183 \cdot \left(\frac{Re}{1000}\right)^2 + 0,18978 \cdot \left(\frac{Re}{1000}\right) + 0,106247 \quad (85)$$

$$f_w = -0,0101183 \cdot \left(\frac{6888,312}{1000}\right)^2 + 0,18978 \cdot \left(\frac{6888,312}{1000}\right) + 0,106247 = 0,933$$

Prema jednadžbi (82) koeficijent prijelaza topline je:

$$\alpha_w = 0,933 \cdot 2135,89 \cdot \frac{0,408^{0,8}}{0,013^{0,2}} = 2318,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Toplinska vodljivost bakra:

$$\lambda_1 = 370 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Toplinska otpornost materijala cijevi svedena na srednji promjer cijevi:

$$R_1 = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}\right) \cdot \left(\frac{d_i}{d_m}\right) = \frac{0,0025}{370} \cdot \frac{13}{15,5} = 5,667 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (86)$$

Toplinska otpornost zbog naslage kamenca (debljina naslage 0,4 mm, $\lambda_2 = 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$):

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,0004}{2} = 0,0002 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (87)$$

Ukupna toplinska otpornost na vodenoj strani:

$$\sum R_i = R_1 + R_2 = 5,667 \cdot 10^{-6} + 0,0002 = 2,057 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (88)$$

Gustoća toplinskog toka s vodene strane:

$$q_i = \frac{t_z - t_{wm}}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum R_i} = \frac{t_z - 32,06}{\frac{1}{2318,46} + 2,057 \cdot 10^{-4}} = 1569,807 \cdot (t_z - 32,06) \quad (89)$$

- gdje je t_z temperatura stjenke cijevi

Gustoća toplinskog toka svedena na vanjsku površinu:

$$q_e = (A_i/A_e) \cdot q_i = (1/3,632) \cdot 1569,807 \cdot (t_z - 32,06) = 432,216 \cdot (t_z - 32,06) \quad (90)$$

4.4.2. Koeficijent prijelaza topline u plaštu (na strani radne tvari)

Termodinamička svojstva vrele kapljevine radne tvari R404A pri temperaturi kondenzacije $t_c = 38 \text{ }^\circ\text{C}$:

- gustoća radne tvari: $\rho_{RT} = 975,448 \text{ kg/m}^3$
- toplinska vodljivost: $\lambda_{RT} = 0,06176 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- dinamička viskoznost: $\mu_{RT} = 1,03846 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- toplota isparavanja: $r_{RT} = 122,77 \text{ kJ/kg}$

Koeficijent prijelaza topline:

$$\alpha_R = 0,725 \cdot B \cdot d_e^{-0,25} \cdot f^{-1/6} \cdot \Psi_c \cdot (t_c - t_z)^{-0,25} \quad (91)$$

- gdje se B sastoji od termodinamičkih svojstva vrele kapljevine radne tvari:

$$B = \left(\frac{g \cdot r_{RT} \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\mu} \right)^{0,25} = \left(\frac{9,81 \cdot 122,77 \cdot 10^3 \cdot 975,448^2 \cdot 0,06176^3}{1,03846 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,25} = 1269,8 \quad (92)$$

Približan srednji broj cijevi u jednom vertikalnom redu:

$$f = \frac{0,9 \cdot D}{1,732 \cdot s} = \frac{0,9 \cdot 0,12}{1,732 \cdot 0,023} \approx 3 \quad (93)$$

Koeficijent Ψ_c koji uključuje kondenzaciju na orebrenim cijevima:

$$\Psi_c = 1,3 \cdot \frac{A_{v1}}{A_{e1}} \cdot E^{0,75} \cdot \left(\frac{d_b}{h_r} \right)^{0,25} + \frac{A_{h1}}{A_{e1}} \quad (94)$$

Potrebni konstrukcijski parametri orebrenja:

- $d_e = 18 \text{ mm}$; $d_t = 20,8 \text{ mm}$; $d_i = 13 \text{ mm}$; $s = 23 \text{ mm}$; $s_f = 2 \text{ mm}$; $\alpha = 35 \text{ }^\circ$; $d_b = 16,5 \text{ mm}$;

$x_b = 0,6 \text{ mm}$

Vertikalni dijelovi cijevne površine (po metru):

$$A_{v1} = \pi \cdot \frac{(d_t^2 - d_b^2)}{(2 \cdot s_f \cdot \cos \frac{\alpha}{2})} = \pi \cdot \frac{(0,0208^2 - 0,0165^2)}{(2 \cdot 0,002 \cdot \cos \frac{35}{2})} = 0,132 \text{ m}^2/\text{m} \quad (95)$$

Horizontalni dijelovi cijevne površine (po metru):

$$A_{h1} = \pi \cdot \frac{(d_t \cdot x_t + d_b \cdot x_b)}{s_f} \quad (96)$$

$$x_t = s_f - x_b - 2 \cdot h_f \cdot \tan(\alpha/2) \quad (97)$$

Visina orebrenja:

$$h_f = \frac{d_t - d_b}{2} = \frac{20,8 - 16,5}{2} = 2,15 \text{ mm} \quad (98)$$

- prema jednadžbi (97) i (96):

$$x_t = 2 - 0,6 - 2 \cdot 2,15 \cdot \tan(35/2) = 0,044 \text{ mm}$$

$$A_{h1} = \pi \cdot \frac{(0,0208 \cdot 0,000044 + 0,0165 \cdot 0,0006)}{0,002} = 0,0169 \text{ m}^2/\text{m}$$

Ukupna površina po jednom metru:

$$A_{e1} = A_{v1} + A_{h1} = 0,132 + 0,0169 = 0,1489 \text{ m}^2/\text{m} \quad (99)$$

- sada se može izračunati odnos vanjske i unutarnje površine:

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = \pi \cdot 0,013 = 0,041 \text{ m}^2 \quad (100)$$

$$\frac{A_e}{A_i} = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = \frac{0,1489}{0,041} = 3,632 \quad (101)$$

Relativna visina orebrenja:

$$h_r = \pi \cdot \frac{(d_t^2 - d_b^2)}{4 \cdot d_t} = \pi \cdot \frac{(0,0208^2 - 0,0165^2)}{4 \cdot 0,0208} = 0,006056 \text{ m} \quad (102)$$

Prema jednadžbi (94) i $E \approx 1$ za niska orebrenja:

$$\Psi_c = 1,3 \cdot \frac{0,132}{0,1489} \cdot 1^{0,75} \cdot \left(\frac{0,0165}{0,006056} \right)^{0,25} + \frac{0,0169}{0,1489} = 1,594$$

Prema jednadžbi (91):

$$\begin{aligned} \alpha_R &= 0,725 \cdot 1269,8 \cdot 0,018^{-0,25} \cdot 3^{-1/6} \cdot 1,594 \cdot (38 - t_z)^{-0,25} \\ \alpha_R &= 3335,979 \cdot (38 - t_z)^{-0,25} \end{aligned} \quad (103)$$

Toplinska otpornost zbog stvaranja naslaga na strani rashladne tvari:

$$R_i = 0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Gustoća toplinskog toka izražena na strani radne tvari:

$$q_e = \alpha_R \cdot (38 - t_z) = 3335,979 \cdot (38 - t_z)^{0,75} \quad (104)$$

- izjednačavanjem jednadžbi (90) i (104) dobivamo:

$$432,216 \cdot (t_z - 32,06) = 3335,979 \cdot (38 - t_z)^{0,75}$$

- iteracijom dobivamo:

$$t_z = 37,39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_e = 2302,612 \text{ W/m}^2$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari je prema jednadžbi (103):

$$\alpha_R = 3335,979 \cdot (38 - 37,39)^{-0,25} = 3774,773 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na vanjski promjer cijevi:

$$k_e = q_e / \Delta t_m = 2302,612 / 5,944 = 387,38 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (105)$$

Pad tlaka na strani vode:

$$\Delta p = \left(\xi \cdot \frac{L}{d_i} + \zeta_{\text{in}} + 1 + \frac{\zeta_{\text{in}} + 1}{n_p} \right) \cdot n_p \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (106)$$

- koeficijent lokalnih gubitaka uzimamo $\zeta_{\text{in}} = 0,5$

- faktor trenja:

$$\xi = 0,3164 / Re^{0,25} = 0,3164 / 6888,312^{0,25} = 0,0347 \quad (107)$$

$$\Delta p = \left(0,0347 \cdot \frac{0,66}{0,013} + 0,5 + 1 + \frac{0,5 + 1}{2} \right) \cdot 2 \cdot \frac{995,006 \cdot 0,408^2}{2} = 664,47 \text{ Pa}$$

Konačne dimenzije kondenzatora s cijevima u plaštu:

- promjer plašta: $D = 120 \text{ mm}$

- aktivna duljina: $L = 660 \text{ mm}$

4.5. Proračun cjevovoda

Proračun cjevovoda vršimo posebno rashladnu vodu te za minus i plus režim.

Brzine strujanja radne tvari R404A u cijevima odabiremo iz skripte „Hlađenje i dizalice topline“ str. 120, Tab.6.1. [3]

Tablica 3. Preporučljive brzine strujanja freona

Radna tvar	Usisni vod	Tlačni vod	Kapljevinski vod
Freoni	8-12	10-15	0,4-1,2

- prema odabranima brzinama strujanja za pojedine vodove proračunavamo:

Volumenski protok radne tvari R404A:

$$q_{V404A} = \frac{q_{mR404A}}{\rho_{mR404A}} \quad (108)$$

Poprečni presjek cijevi:

$$A = \frac{q_{V404A}}{w} \quad (109)$$

Promjer cjevovoda:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (110)$$

4.5.1. Voda za hlađenje kondenzatora

- odabrana brzina vode u cijevima je $w_w = 1$ m/s

Tablica 4. Odabir dimenzija cjevovoda za rashladnu vodu [6]

Temperatura [°C]	Maseni protok [kg/s]	Gustoća vode [kg/m ³]	Volumni protok vode [m ³ /s]	Poprečni presjek [m ²]	Promjer cjevovoda [mm]	Odabrane dimenzije cjevovoda [mm]
32,06	1,337	995,006	0,0013437	0,0013437	41,36	54 x 2

4.5.2. Plus režim

Tablica 5. Odabir dimenzija cjevovoda za plus režim [6]

Vod	Usisni	Tlačni	Kapljevinski
Odabrana brzina strujanja [m/s]	10	12,5	0,8
Temperatura [°C]	2	47,1	35
Gustoća RT [kg/m³]	26,853	86,685	992,162
Volumni protok RT [m³/s]	0,0010837	0,0003357	$2,933 \cdot 10^{-5}$
Poprečni presjek [m²]	0,00010837	$2,6856 \cdot 10^{-5}$	$3,666 \cdot 10^{-5}$
Promjer cjevovoda [mm]	11,75	5,85	6,83
Odabrane dimenzije cjevovoda [mm]	15 x 1	10 x 1	10 x 1

4.5.3. Minus režim

Usisni vodovi iz isparivača se nakon izlaska iz komora spajaju u jedan usisni vod kojim se radna tvar dobavlja u kompresor, a kapljevinski vod kojim se dovodi radna tvar u komore se prije ulaska u komore grana na pojedine isparivače.

- dimenzije cjevovoda odabrane iz [6]

Tablica 6. Odabir dimenzija cjevovoda za minus režim [6]

Vod	Usisni	Tlačni	Kapljevinski
Odabrana brzina strujanja [m/s]	10	12,5	0,8
Temperatura [°C]	-28	52,04	35
Gustoća RT [kg/m³]	9,149	83,196	992,162
Volumni protok RT [m³/s]	0,005345	0,00058777	$4,9286 \cdot 10^{-5}$
Poprečni presjek [m²]	0,0005345	$4,70216 \cdot 10^{-5}$	$6,16075 \cdot 10^{-5}$
Promjer cjevovoda [mm]	26,087	7,738	8,86
Odabrane dimenzije cjevovoda [mm]	28 x 1	10 x 1	12 x 1

5. ODABIR KOMPONENTI RASHLADNOG SUSTAVA ZA UGRADNJU

Sustav sadrži dvije kondenzacijske jedinice, jednu za plus i jednu za minus režim te tri isparivača. Kondenzacijske jedinice se nalaze u strojarnici te se sastoje od stapnog kompresora, sakupljača radne tvari, kondenzatora s cijevima u plaštu te ostalih elemenata.

5.1. Odabir kompresora i kondenzatora

Odabir kompresora i kondenzatora izveden je pomoću programa tvrtke Bitzer.

Tablica 7. Odabir kompresora

Režim rada	Plus režim	Minus režim
Izračunata potrebna snaga kompresora [kW]	0,679	2,292
Snaga odabranog kompresora [kW]	1,2	3,49
Komercijalni naziv	2JES-07Y-40s	4DES-5Y-40S

Tablica 8. Odabir kondenzatora

Režim rada	Plus režim	Minus režim
Izračunati potrebni učin kondenzatora [kW]	4,058	7,119
Temperatura kondenzacije [°C]	38	38
Učin odabranog kondenzatora [kW]	4,34	7,6
Komercijalni naziv	K073H	K123H

5.2. Odabir isparivača

Odabir isparivača izveden je pomoću programa GPC tvrtke Güntner

Tablica 9. Odabir isparivača

Režim rada	Plus režim	Minus režim	
Komora za hlađenje	Voće i povrće	Smrznuta riba	Smrznuto meso
Izračunati potrebni učin isparivača [kW]	3,379	2,39	2,437
Temperatura isparavanja [°C]	-3	-33	-33
Učin odabranog isparivača [kW]	3,4	2,4	2,4
Komercijalni naziv	GHF 040.20/14-ANW50.E	S-GHF 0.31.2F/14-ANW50.E	S-GHF 0.31.2F/14-ANW50.E

Odabir pumpe za rashladnu vodu vrši se kada je poznata ukupna duljina i način postavljanja cijevi za rashladnu vodu ovisno o prostoru broda, tada se računa pad tlaka za krug slatke vode koji povezuje kondenzatore s pločastim izmjenjivačem slatka voda/morska voda te na temelju pada tlaka i protoka prikazanog u 4.5.1. vršimo odabir pumpe.

Pumpu na strani morske vode također je potrebno naknadno odabrati nakon utvrđivanja stvarnih pozicija opreme unutar broda.

Pločasti izmjenjivač slatka voda/morska voda je rastavljivi, može se postaviti model tvrtke Tranter – GL13. Pločasti izmjenjivač mora biti u mogućnosti prenijeti toplinsku energiju s kondenzatora na morsku vodu, dakle u ukupnom iznosu učin pločastog izmjenjivača mora biti 12 kW.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju konstrukcijskih parametara rashladnih komora te pretpostavljenom načinu korištenja izvršen je proračun rashladnog opterećenja za svaku komoru. Sukladno dobivenim opterećenjima svake komore izvršeno je dimenzioniranje elemenata i izbor opreme rashladnog sustava za dva odvojena dijela, plus i minus režim. Iparivači su smješteni u rashladne komore a kondenzacijske jedinice zajedno sa svom potrebnom regulacijskom i sigurnosnom opremom smještene su strojarnicu koja je propisno ventilirana. Kondenzatori su hlađeni slatkom vodom, a kao toplinski ponor koristi se morska voda putem pločastog izmjenjivača slatka voda/morska voda koji je smješten kod oplata broda. Oba dijela sustava su u potpunosti automatizirana te su osigurana od nepredviđenih radnih uvjeta.

PRILOZI

CD-R disk

Shema spajanja i regulacije

Dispozicijski crtež

LITERATURA

- [1] V.Soldo: Projektiranje rashladnih sustava, FSB
- [2] T. Ćurko, M. Malinovec: Radne tvari u tehnici hlađenja, FSB
- [3] T. Ćurko, V. Soldo, M. Grozdek: Hlađenje i dizalice topline, FSB, Zagreb 2013.
- [4] R. Ciconkov: Refrigeration solved examples, Skopje 2001.
- [5] B. Halasz, A. Galović, I. Boras: Toplinske tablice, FSB, Zagreb 2010.
- [6] B. Kraut: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1982.
- V. Baršun – diplomski rad: <http://www.fsb.unizg.hr/library/fileopen.php?id=2087>