

# Proračun tunela za zamrzavanje ribe

---

**Marin, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*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:235:685263>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Luka Marin**

Zagreb, 2018. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo, dipl.ing.

Student:

Luka Marin

Zagreb, 2018. godina



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Luka MARIN

Mat. br.: 0035197037

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

Rashladni tuneli za zamrzavanje ribe

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

Cooling tunnels for fish freezing

Opis zadatka:

U radu je potrebno projektirati složeno rashladno postrojenje za zamrzavanje ribe (srdele, inćuni) na temperaturu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sustav se sastoji od tri tunela s intezivnim hlađenjem kapaciteta  $3 \times 8.000$  kg. Postrojenje se nalazi na području grada Trilja.

Rashladne komore i uređaje treba projektirati za slobodan i nesmetan rad zaposlenika u skladu s higijenskim i tehnološkim uvjetima, primjenjujući važeće norme, standarde i pravilnike. Kondenzator je hlađen okolišnjim zrakom. Pregrijane pare radne tvari koriste se za zagrijavanje 2000 litara vode na temperaturu  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Radnu tvar odabrati prema suvremenim smjericama za zaštitu okoliša.

Rad treba sadržavati:

1. Proračun dinamičkih parametara procesa pri hlađenju i zamrzavanju ribe.
2. Proračun rekuperatora pregrijanih para radne tvari za zagrijavanje vode.
3. Termodinamički proračun isparivača i kondenzatora.
4. Shemu spajanja i automatske regulacije.
5. Dispozicijski crtež strojarne.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

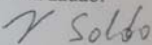
Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

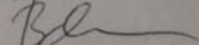
Predvideni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam rad napravio samostalno, koristeći stečena značenja tokom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Vladimiru Soldi na pomoći ne samo na završnom radu i nastavi tokom godine nego i pomoći pri ostvarivanju upisa na diplomski studij u inozemstvu.

Svojoj obitelji se zahvaljujem na podršci tokom studija.

Prijateljima se zahvaljujem na svom vremenu provedenom skupa bez kojeg bi ovaj studij imao manje smisla.

## Sadržaj

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	ii
POPIS SLIKA .....	iii
SAŽETAK.....	v
SUMMARY .....	vi
UVOD .....	1
Obrada proizvoda prije zamrzavanja.....	1
Predhlađenje .....	2
Zamrzavanje .....	2
Vrste strujanja i glavne značajke tunela .....	3
Konstrukcija hladionica.....	5
Izolacija hladionice .....	6
PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA TUNELA .....	8
Transmisijski gubitci .....	8
Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda.....	17
PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA ( R449a ) .....	19
ODABIR KOMPRESORA .....	23
PRORAČUN KONDENZATORA .....	26
PRORAČUN ISPARIVAČA ( R449a ) .....	36
TERMODINAMIČKI PRORAČUN REKUPERATORA .....	47
PRORAČUN CJEVOVODA .....	53
SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME.....	56
ZAKLJUČAK .....	58
LITERATURA.....	59

## POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

0035197197 – 001	Dispozicijski crtež strojarnice
0035197037 – 002	Shema spajanja kruga

## POPIS SLIKA

Slika 1: . Prikaz sporog i brzog procesa zamrzavanja .....	2
Slika 2 Primjer loše distribucije zraka po hladionici .....	3
Slika 3 Primjer tunela za zamrzavanje sa pregradom za bolje strujanje .....	4
Slika 4 Nosiva konstrukcija s vanjske strane hladionice .....	5
Slika 5 Sastavni dijelovi panela .....	6
Slika 6 Tlocrt tunela za zamrzavanje .....	8
Slika 7 Presjek poda hladionice .....	10
Slika 8 Učin i COP kompresora za vrijeme trajanja ciklusa, NRL4-90-300Y.....	23
Slika 9 Temperature isparavanja , robe i tlak isparavanja za vrijeme trajanja ciklusa, NRL4-60 .....	24
Slika 10 Učin i COP kompresora za vrijeme trajanja ciklusa , NRL4-60-210Y.....	25
Slika 11 Shema kruga sustava .....	19
Slika 12 T,s dijagram ciklusa .....	20
Slika 13 log p, h dijagram ciklusa.....	21
Slika 14 Kondenzator R449a.....	26
Slika 15 $\Theta$ ,A dijagram kondenzatora .....	27
Slika 16 Dimenzije kondenzatora .....	35
Slika 17 Isparivač radna tvar – zrak .....	36
Slika 18 Konstrukcijski parametri isparivača .....	37
Slika 19 Dimenzije isparivača .....	46



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\Phi$	W	Toplinski tok
A	m <sup>2</sup>	Površina plohe
$\vartheta$	°C	Temperatura
k	W/ m <sup>2</sup> K	Koeficijent prolaza topline
$\rho$	kg / m <sup>3</sup>	Gustoća
c	J / kgK	Specifični toplinski kapacitet
h	kJ/kg	Entalpija
s	kJ / kg	Entropija
q <sub>m</sub>	kg / s	Maseni protok
P	W	Snaga
w	m/s	Brzina
q	W / m <sup>2</sup>	Gustoća toplinskog toka
p	Pa	Tlak
x	m	Debljina stijenki
$\lambda$	W / mK	Koeficijent toplinske vodljivosti
$\tau$	h	Vrijeme
$\eta$	Pa s	Dinamička viskoznost
$\alpha$	W / m <sup>2</sup> K	Koeficijent prijelaza topline
$\nu$	m <sup>2</sup> / s	Kinematička viskoznost
$\Psi_c$	1	Koeficijent orebrenja

## SAŽETAK

Tuneli za duboko zamrzavanje koriste se prvenstveno u prehrambenoj industriji za brzo zamrzavanje hrane. Tim postupkom se održava maksimalna kakvoća hrane nakon odležavanja. Prilikom “šok smrzavanja” se voda u proizvodu smrzava puno više inicijalnih kristala leda i tako se ne pojavljuju veliki kristali leda koji probijaju opnu stanice u proizvodu. Sami postupak provodi se pri niskim temperaturama isparavanja kako bi se ubrzalo smrzavanje. Ovakve metode se najčešće susreću u većim pogonima gdje je potrebno smrznuti i nekoliko desetaka tona robe u jednoj šarži. Za takve uvjete, za naš slučaj, je potreban isparivač ukupnog učina 80 kW po jednoj hladionici. Sustav je složen sa 3 vijčana kompresora, 1 za svaku hladionicu i vodom hlađenim kondenzatorom za sva 3 sustava. Kako bi sustav bio efikasniji isto tako je praćena dinamika temperature u tunelu i po tome podešavana temperatura isparavanja za maksimalni učin kompresora i isparivača. Korištena radna tvar je R449A ( Opteon XP40 ), koja je napravljena na bazi HFO i HFC radnih tvari. U radu su također obrađeni proračuni isparivača i kondenzatora i na kraju prikazan dispozicijski crtež i shema spajanja.

## SUMMARY

Deep freezing tunnels are used primarily in the food industry for quick freezing of food. This process maintains maximum food quality after defrosting. In a "freezing shock", the product's water freezes with a lot more initial ice crystals, so no large ice crystals that break down the cells membrane in the product appear. The procedure itself is carried out with extremely low evaporation temperatures to accelerate freezing. Such methods are most commonly found in larger plants where several tens of tons of goods in one batch need to be frozen. For such conditions, in our case, a vaporizer requires a total output of 80 kW per one refrigerator. The system is made up of 3 screw compressors, 1 for each freezer and a water-cooled condenser. In order to make the system more efficient, the temperature dynamics in the tunnel were monitored and the evaporation temperature adjusted accordingly for maximum compressor and evaporator performance. The working substance used is R449A (Opteon XP40), based on HFO and HFC groups of working substances. In this paper the evaporator and condenser calculations are also processed, and finally the disposition drawing and the coupling scheme are shown.

# UVOD

## Principi hlađenja i čuvanja hrane

Glavni razlozi hlađenja robe u hladionicama i skladištenja na nižim temperaturama su produljenje vijeka trajanja proizvoda i očuvanje kvalitete. Na nižim temperaturama se usporavaju kemijske reakcije koje uzrokuju propadanje proizvoda. Niske temperature su naročito dobre za sprječavanje rasta psihrofilnih bakterija koje su prvenstveno odgovorne za kvarenje nemasne ribe. Za različite proizvode imamo različite uvjete čuvanja. Dok neki proizvode trpe intenzivna zamrzavanja bez značajnog gubitka na kvaliteti, neki se uopće ne smiju dovesti do temperature zamrzavanja jer dolazi do promjene teksture prilikom idućeg odmrzavanja ili jednostavno nema potrebe za hlađenjem proizvoda jer on sam po prirodi ima veliku trajnost na nešto nižim temperaturama od sobne. Takav je slučaj sa rajčicama, krumpirom i subtropskim voćem, koje se skladište ili prevoze na temperaturama od 10 °C do 15 °C. Važno je napomenuti da ekonomski aspekt procesa hlađenja i skladištenja je itekako bitan, pošto na velike količine robe potrebna energija za rad sustava postaje jedan od većih troškova postrojenja. Zato su sve temperature navedene kao minimalne preporučene po standardima.

Roba	Temperatura ( °C )	Rel. vlažnost ( % )	Životni vijek
Jaja	-1 ... 0	80...85	5...6 mj
Smrznuto voće	-23 ... -18	85...90	6...12 mj
Govedina, svježa	-1 ... 1	85...90	1...4 tj
Perad, smrznuta	-30 ... -10	85...90	3 ... 12 mj
Govedina, smrznuta	-23 ... -18	90...95	9 ... 12 mj
Salata, zelena	0 ... 1	90 ... 95	1 ... 2 tj

Tablica 1. Uvjeti skladištenja nekih od proizvoda

## Obrada proizvoda prije zamrzavanja

Hlađenje i zamrzavanje robe ne može nikako poboljšati kvalitetu robe nego najviše što može je očuvanje što sličnije kvalitete robe kada je ušla u proces zamrzavanja. Zato je potrebno smanjiti trajanje perioda od ubiranja kvarljive robe do samog zamrzavanja kako bi roba sa što većom kvalitetom ušla u proces. Čistoća robe je bitan faktor u očuvanju kvalitete te se stoga čisti od prljavštine ili zemlje. Neka roba može imati prirodne nametnike ili površinska oštećenja koji se odstranjuju parama sumpor-dioksida.

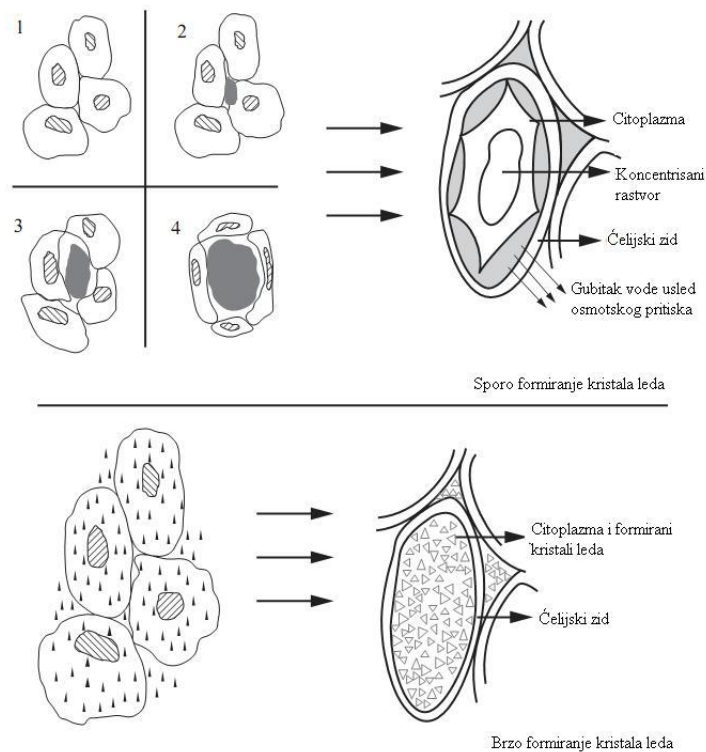
## Predhlađenje

Za neke proizvode poput mesa i peradi je bitno da ne dođe do kondenzacije vlage. To se naravno odnosi na već ohlađenu robu koja se može naći u blizine tople robe sa koje vlaga hlapi. Iz tih se razloga roba osjetljiva na vlagu može podvrgnut postupku predhlađenja gdje se temperatura robe postepeno snižava, sve kako temperatura same površine proizvoda ne bude previsoka kada se bude skladištila. To je nekad moguće samo uz upotrebu rashladnog sustava ali nekad se hlađenjem robe na okolišnoj temperaturi po noći može postići isti učinak. Isto tako, spuštanjem temperature robe od srednje dnevne do srednje noćne ( 10 – 12 °C ) se mogu i prepoloviti troškovi hlađenja. Tipičan primjer su jabuke koje se ostave preko noći vani. Riba i ostala vlažna roba se prilikom hvatanja odmah pakira sa ledom kako bi se izbjeglo sušenje površine i gubitka svježine.

## Zamrzavanje

Jedino se zamrzava roba koja ima ekonomsku opravdivost da isplati troškove hlađenja i skladištenja. U stanicama proizvoda koje smrzavamo se nalaze vodene otopine šećera, soli i ostalih tvari koje mijenjaju temperaturu zamrzavanja.

Prilikom samog procesa kristalizacije vodene otopine, dolazi do stvaranja inicijalnih kristala vode, tzv. zrna kristalizacije. Ovisno o intenzitetu zamrzavanja dolazi do pojave više ili manje zrna. Ako robu zamrzavamo sporije ta zrna postaju prevelika i može doći do probijanja stanične opne. To se ne smije nikako dopustiti kod voća i povrća.



Slika 1: . Prikaz sporog i brzog procesa zamrzavanja

Prilikom probijanja stanične opne dolazi do sušenja robe što je direktan gubitak mase, a zbog toga i vrijednosti proizvoda. Puno se pažnje, stoga, obraća na relativnu vlažnost u prostoru kako ne bi došlo do prevelikog gubitka vlage.

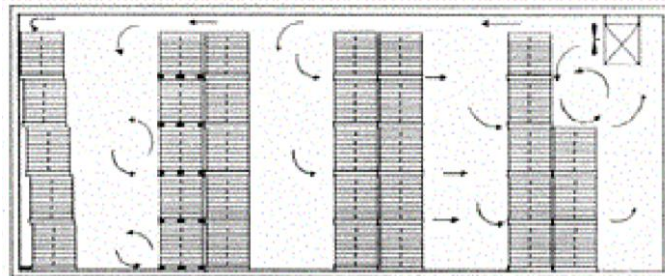
Radi strogih uvjeta hlađenja se konstruiraju sustavi koji su u mogućnosti isporučiti dovoljno rashladnog učinka na efektivan način. Takvi uređaji se zovu tuneli za zamrzavanje .

Postoje 2 glavne izvedbe ovakvih hladionica:

- punjenje na šarže
- pomične trake

Hladionice sa punjenjem na šarže su konstruirane kao prostorije sa pregradama za poticanje strujanja zraka u jednom smjeru gdje se poslaže roba u optimalnom rasporedu i zatvore vrata. Sustavi sa pomičnim trakama su visokoefektivni uređaji, ali ograničeni su veličinom proizvoda koje mogu zamrzavati. Unatoč tome, savršeno funkcioniraju sa sitnom robom kao bobičasto voće i sitna riba gdje se procesom fluidizacije maksimalno pospješi prijenos topline sa robe na zrak u hladionici. Mogu biti izvedeni kao linijske pomične trake, višeprolazne trake ili spiralne trake za ekonomičnije gospodarenje prostorom.

### Vrste strujanja i glavne značajke tunela



Slika 2 Primjer loše distribucije zraka po hladionici

Ispravnim postavljanjem isparivača i eventualnim dodatkom pregrada ili zavjesa može se povećati ekonomičnost sustava pošto je najveći toplinski otpor onaj između zraka i površine robe. Pravilnim odabirom dobivamo ravnomjerno strujanje zraka u svim dijelovima hladionice, a isto tako ujednačene brzine strujanja po prostoru.

Razlikujemo 3 vrste hladionica prema načinu strujanja:

- hladionice sa prirodnim strujanjem
- hladionice sa prisilnim strujanjem
- hladionice sa vrlo intenzivnim strujanjem

Hladionice sa prirodnim strujanjem su malo posebnije jer nemaju nikakav način prisiljavanja konvekcije nego samo razlikama temperatura, efektom uzgona, dolazi do izmjene topline između isparivača i robe. Takva postrojenja se koriste gdje je bitno spriječiti gubitak vlage, npr. kod robe koja se sprema na dulje periode. Brzine sušenja se kreću između 0.5 do 3 °C/h.

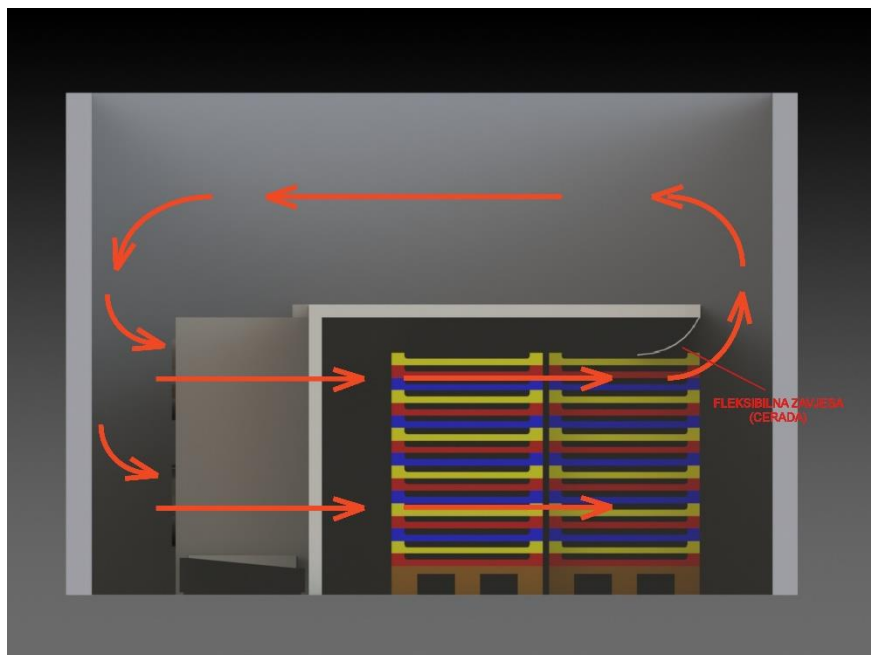
Hladionice sa prisilnim strujanjem mogu biti i obične hladnjače koje održavaju jednoliku temperaturu po prostoru i ventiliraju robu. Njih karakterizira brzina hlađenja robe od 2 do 6 °C/h.

### Hladionice s vrlo intenzivnim strujanjem

Konstruiraju se specifično za određenu vrstu robe, isto tako često i određenu količinu i vrijeme zamrzavanja da zadovolji pogon koji opslužuje. Detaljno planiranje i procijene kapaciteta pogona je bitan dio izrade tunela za zamrzavanje

Brzina strujanja zraka ovakvih hladionica se kreće od 0,7 do 3 m/s kroz prostor hladionice i 3 do 10 m/s naletne brzine kroz isparivač. Odvajanjem prostora pregradama postižemo veće brzine i efektivniji prijelaz topline.

Temperatura robe se snižava od 10 do 50 °C/h a period smrzavanja može trajati od 3 minute do 2 sata za sustave sa pokretnom trakom do 6 do 24 sata za sustave sa šaržnim punjenjem.

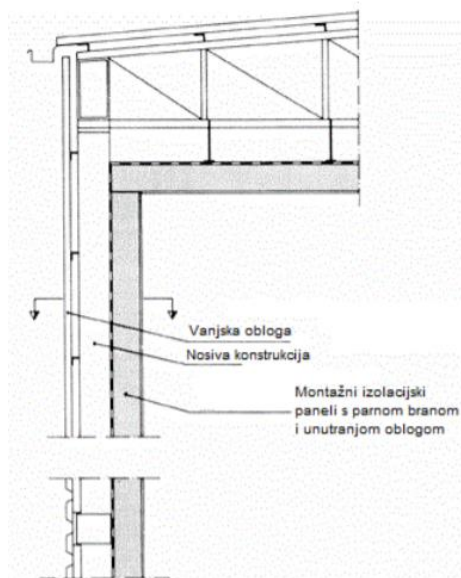


Slika 3 Primjer tunela za zamrzavanje sa pregradom za bolje strujanje

## Konstrukcija hladionica

Uporabom poliuretanskih izolacijskih panela postaje ekonomski isplativo hladiti prostore veličine i do 250 000 m<sup>3</sup>. Potrebno je dakle da hladionica bude napravljena na način da može podnijeti svoju težinu ali isto tako i temperaturne dilatacije materijala usljed razlika temperatura.

Postoje dva osnovna pristupa izgradnje hladionica. Jedan je da se nosiva konstrukcija nalazi s vanjske strane, a panelna izolacija se nalazi unutar nosivih. Korišteni paneli kod ovih konstrukcija su od poliuretana ili polistirena s ili bez okvira. Izrađeni su kao sendvič paneli, jedna strana služi kao parna brana i izgrađena je od lakog galvaniziranog čeličnog lima dok je druga strana napravljena plastikom premazanog galvaniziranog ili aluminijskog lima. Za sve spojeve gdje nosive šipke prolaze kroz parnu branu panela potrebno je dodatno zaštititi spoj kako nebi došlo do kondenzacije vlage.



Slika 4 Nosiva konstrukcija s vanjske strane hladionice

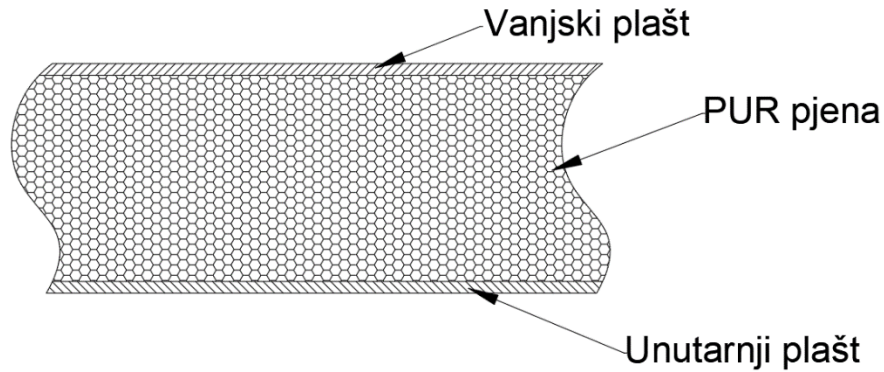
Druga izvedba je obrnutog izgleda gdje je nosiva konstrukcija sa unutarnje strane hladionice, u hlađenom prostoru. Uloge izolacije i nosive konstrukcije su iste, samo što radi estetskih razloga se opredjeljuje na ovu varijantu. Efektivan prostor se radi nosive konstrukcije unutar hlađenog prostora gubi.



## Izolacija hladionice

### Izolacijski paneli

Sastoje se od 3 dijela: vanjski plašt, unutarnji plašt i izolacijska jezgra



Slika 5 Sastavni dijelovi panela

Jezgra je proizvedena od čvrste poliuretan pjene sa zatvorenim stanicama, ekspanđirana bez CFC i HCFC.

Radi svoje homogene konstrukcije dobro hermetički zatvaraju prostor. Mogu se brtviti na 4 različita načina te se mogu naručiti s atestom protupožarnosti. Postoje izvedbe za vanjsku primjenu sa UV zaštitom i antikondenzacionom trakom.

Postoje određeni zahtjevi postavljeni na panele:

- Srednja vrijednost koeficijenta prolaska topline do  $U = 0,138 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$
- Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$
- Gustoća  $40 (+5) \text{ kg/m}^3$
- 95% zatvorenog staničja
- Vatropročinjani pokrov s obje strane panela  $S 320 \text{ GD}+275 \text{ g Zn/m}^2$ , prema DIN EN 10 147, antikorozivna zaštita pokrova panela, prema DIN 55 928
- Klasa gorivosti panela B1, prema DIN 4102

## Pod hladionice

Pod hladionice prije svega treba moći podnijeti veliku težinu tereta koji ga može opteretiti, npr. viljuškari. Isto tako, koeficijent prijelaza topline s zemljom je puno veći nego sa ambijentalnim zrakom tako da većina transmisijskih dobitaka hladionice dolazi baš preko poda. Stoga je potrebno negdje u konstrukciju poda ubaciti neki izolacijski materijal, koji je obično mekan i nije predviđen za opterećenje. Nadalje, kondenzacija vlage unutar samog poda bi uzrokovala velike građevinske štete. Radi toga se stavlja i parna brana kako bi se spriječila kondenzacija. Puno je zahtjeva i posebnosti izrade poda hladionice

Temelj cijele hladionice se izlije 200 do 250 mm ispod kote poda. Na njega se nanese polietilenska parna brana da spriječi prodor vlage. Na to se stavlja poseban izolacijski panel sa 2 čvrste stijene, koje mogu imati i plastične trake za sprječavanje urušavanja uslijed opterećenja.

Kasnije se izlije betonski pod u pločama ne većim od 10 m<sup>2</sup> da bi omogućile suženje materijala radi temperaturne dilatacije.

# PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA TUNELA

## Transmisijski gubitci

Osjetna toplina dobivena kroz zidove, pod i strop tunela

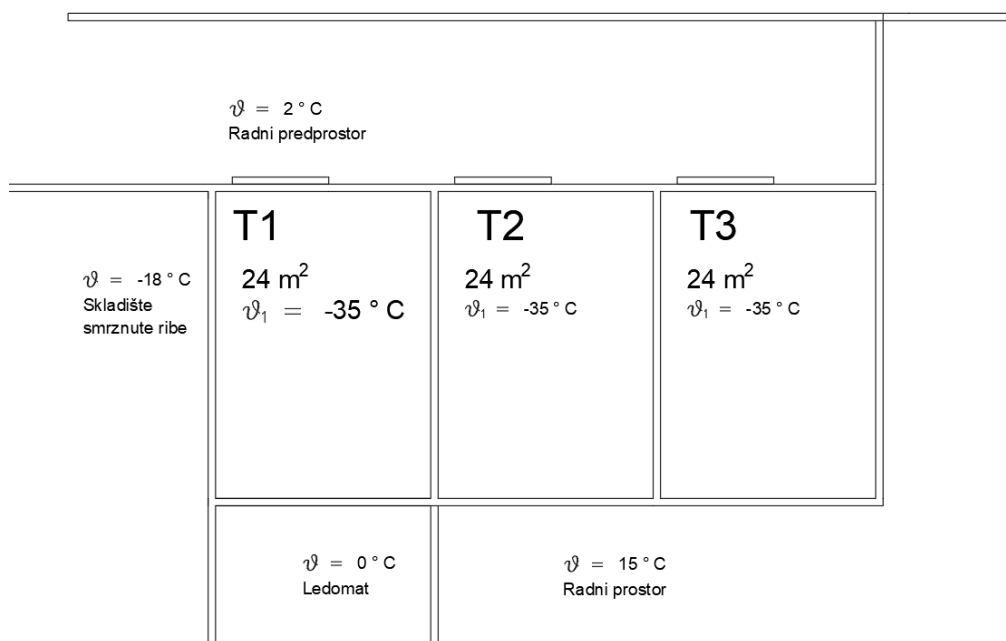
$$\varphi_{tr} = k \cdot A \cdot \Delta t$$

$\varphi_{tr}$  (W) - toplinski tok

$k$  ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ) - koeficijent prolaza topline

$A$  (m<sup>2</sup>) - vanjska površina izolacijskih panela

$\Delta t$  (K) - temperaturna razlika



Slika 6 Tlocrt tunela za zamrzavanje

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$x$  (m) - debljina zida, stropa ili poda

$\lambda$  ( $\frac{W}{m \cdot K}$ ) - Koeficijent toplinske vodljivosti izolacijskih panela

$\alpha_i = \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline

$\alpha_0 = \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$  - vanjski koeficijent prijelaza topline

$\alpha_i = 30 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  - za jaki intezitet puhanja

$\alpha_0 = 18 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  - za srednji intezitet puhanja

## ZIDOVI

$\lambda_1 = 50 \frac{W}{m \cdot K}$  - pocinčani lim

$\lambda_2 = 0,024 \frac{W}{m \cdot K}$  - ekspanzirani poliuretan

$\lambda_3 = 50 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  - pocinčani lim

$$x_{1,zid} = 0,0005 \text{ m}$$

$$x_{2,zid} = 0,18 \text{ m}$$

$$x_{3,zid} = 0,0005 \text{ m}$$

$$k_{ZID} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_{1ZID}}{\lambda_1} + \frac{x_{2ZID}}{\lambda_2} + \frac{x_{3ZID}}{\lambda_B} + \frac{1}{\alpha_0}} = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,19}{0,024} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{ZID} = 0,1235 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

## STROP

$$x_{1STROP} = 0,0005 \text{ m}$$

$$x_{2STROP} = 0,19 \text{ m}$$

$$x_{3STROP} = 0,0005 \text{ m}$$

$$k_{STROP} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_{1STROP}}{\lambda_1} + \frac{x_{2STROP}}{\lambda_2} + \frac{x_{3STROP}}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_o}} = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,19}{0,024} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{STROP} = 0,1235 \frac{w}{m^2 \cdot K}$$

POD

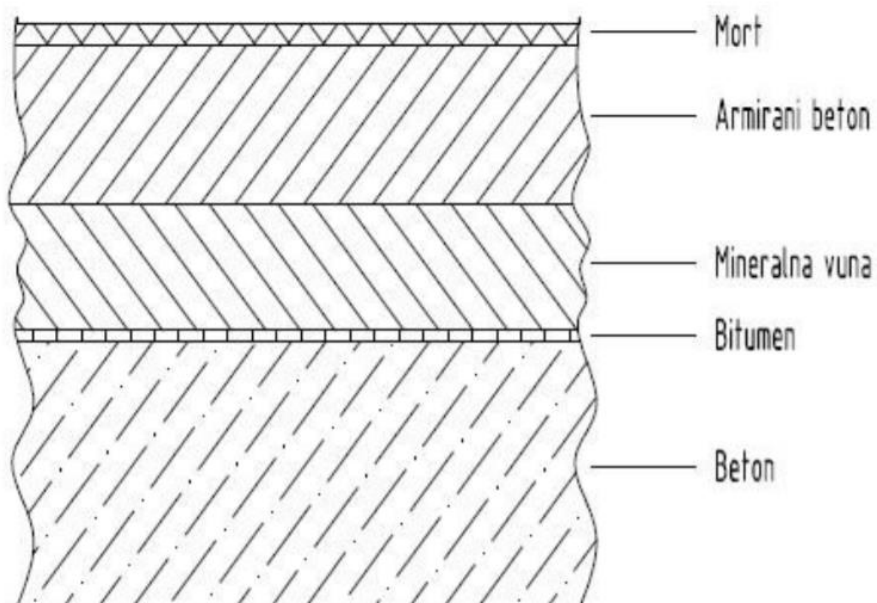
beton	$\lambda_b = 1,29 \frac{w}{m^2 \cdot K}$	$x_b = 0,25 \text{ m}$
-------	------------------------------------------	------------------------

bitumen	$\lambda_{bi} = 0,71 \frac{w}{m^2 \cdot K}$	$x_{bi} = 0,01 \text{ m}$
---------	---------------------------------------------	---------------------------

mineralna vuna	$\lambda_{mv} = 0,036 \frac{w}{m^2 \cdot K}$	$x_{mv} = 0,02 \text{ m}$
----------------	----------------------------------------------	---------------------------

armirani beton	$\lambda_{ab} = 1,369 \frac{w}{m^2 \cdot K}$	$x_{ab} = 0,1 \text{ m}$
----------------	----------------------------------------------	--------------------------

mort	$\lambda_m = 0,072 \frac{w}{m^2 \cdot K}$	$x_m = 0,02 \text{ m}$
------	-------------------------------------------	------------------------



Slika 7 Presjek poda hladionice

$$k_{\text{POD}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_m}{\lambda_m} + \frac{x_{ab}}{\lambda_{ab}} + \frac{x_{mv}}{\lambda_{mv}} + \frac{x_{bi}}{\lambda_{bi}} + \frac{x_b}{\lambda_b}} = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{0,02}{0,72} + \frac{0,15}{1,369} + \frac{0,24}{0,036} + \frac{0,01}{0,71} + \frac{0,25}{1,29}}$$

$$k_{\text{POD}} = 1,1159 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

## VRATA

$$\lambda_1 = 50 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{- pocinčani lim} \quad x_{1\text{vrata}} = 0,0005 \text{ m}$$

$$\lambda_{2\text{vrata}} = 0,024 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{- ekspandirani poliuretan} \quad x_{2\text{vrata}} = 0,119 \text{ m}$$

$$\lambda_3 = 50 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{- pocinčani lim} \quad x_{3\text{vrata}} = 0,0005 \text{ m}$$

$$\alpha_0 = 9,5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{- slab intezitet vjetra}$$

$$k_{\text{VRATA}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_{1\text{vrata}}}{\lambda_1} + \frac{x_{2\text{vrata}}}{\lambda_{2\text{vrata}}} + \frac{x_{3\text{vrata}}}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_0}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,0005}{50} + \frac{0,119}{0,025} + \frac{0,0005}{50} + \frac{1}{9,5}}$$

$$k_{\text{VRATA}} = 0,204 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

## TUNEL ZA ZAMRZAVANJE 1

### ZID 1

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 17 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr1}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 17 = 51 \text{ W}$$

### ZID 2

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 35 \text{ K}$$

$$\Phi_{tr2} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 16 \cdot 35 = 69 \text{ W}$$

ZID 3

$$\begin{aligned} h &= 4 \text{ m} \\ l &= 6 \text{ m} \\ A &= 24 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 20 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\Phi_{tr3} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 20 = 60 \text{ W}$$

ZID 4

$$\begin{aligned} h &= 4 \text{ m} \\ l &= 4 \text{ m} \\ A &= 16 \text{ m}^2 - 5 \text{ m}^2 = 11 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 33 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\Phi_{tr4} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 11 \cdot 33 = 45 \text{ W}$$

VRATA

$$\begin{aligned} h &= 2,5 \text{ m} \\ l &= 2 \text{ m} \\ A &= 5 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 33 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\Phi_{VRATA} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 5 \cdot 33 = 34 \text{ W}$$

PLAFON

$$\begin{aligned} w &= 4 \text{ m} \\ l &= 6 \text{ m} \\ A &= 24 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 70 \text{ K} \\ k &= 0,1235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

$$\Phi_{PLAFON} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 70 = 208 \text{ W}$$

POD

$$\begin{aligned} w &= 4 \text{ m} \\ l &= 6 \text{ m} \\ A &= 24 \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 50 \text{ K} \end{aligned}$$

$$k = 1,1159 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 1,1159 \cdot 24 \cdot 50 = 1339 \text{ W}$$

## UKUPNI TRANSMISIJSKI GUBICI TUNELA 1

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = \Phi_{\text{POD}} + \Phi_{\text{PLAFON}} + \Phi_{\text{VRATA}} + \Phi_{\text{tr4}} + \Phi_{\text{tr3}} + \Phi_{\text{tr2}} + \Phi_{\text{tr1}}$$

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = 1867 \text{ W} \approx 2000 \text{ W}$$

## TUNEL ZA ZAMRZAVANJE 2

### ZID 1

$$w = 6 \text{ m}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$k = 0,1235 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 50 = 148 \text{ W}$$

### ZID 2

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 35 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr2}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 16 \cdot 35 = 98 \text{ W}$$

### ZID 3

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 20 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr3}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 20 = 148 \text{ W}$$



#### ZID 4

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ m}^2 - 5 \text{ m}^2 = 11 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 37 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr4}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 11 \cdot 37 = 50 \text{ W}$$

#### VRATA

$$w = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 37 \text{ K}$$

$$k = 0,204 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,204 \cdot 5 \cdot 37 = 38 \text{ W}$$

#### POD

$$w = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$k = 1,591 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 1,1159 \cdot 24 \cdot 50 = 1339 \text{ W}$$

#### PLAFON

$$w = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 70 \text{ K}$$

$$k = 0,1235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 70 = 208 \text{ W}$$

#### UKUPNI TRANSMISIJSKI GUBICI TUNELA 2

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = \Phi_{\text{POD}} + \Phi_{\text{PLAFON}} + \Phi_{\text{VRATA}} + \Phi_{\text{tr4}} + \Phi_{\text{tr3}} + \Phi_{\text{tr2}} + \Phi_{\text{tr1}}$$

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = 2029 \text{ W} \approx 2500 \text{ W}$$

## TUNEL ZA ZAMRZAVANJE 3

### ZID 1

$$w = 6 \text{ m}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$A = 64 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$k = 0,1235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 64 \cdot 50 = 148 \text{ W}$$

### ZID 2

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 35 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr2}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 16 \cdot 35 = 100 \text{ W}$$

### ZID 3

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr3}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 50 = 148 \text{ W}$$

### ZID 4

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ m}^2 - 5 \text{ m}^2 = 11 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 33 \text{ K}$$

$$\Phi_{\text{tr4}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 11 \cdot 33 = 45 \text{ W}$$

### VRATA

$$w = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 33 \text{ K}$$

$$k = 0,204 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,204 \cdot 5 \cdot 33 = 38 \text{ W}$$

POD

$$w = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$k = 1,591 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 1,1159 \cdot 24 \cdot 50 = 1339 \text{ W}$$

PLAFON

$$w = 4 \text{ m}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$A = 24 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 70 \text{ K}$$

$$k = 0,1235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Phi_{\text{POD}} = k \cdot A \cdot \Delta T = 0,1235 \cdot 24 \cdot 70 = 208 \text{ W}$$

UKUPNI TRANSMISIJSKI GUBICI TUNELA 2

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = \Phi_{\text{POD}} + \Phi_{\text{PLAFON}} + \Phi_{\text{VRATA}} + \Phi_{\text{tr4}} + \Phi_{\text{tr3}} + \Phi_{\text{tr2}} + \Phi_{\text{tr1}}$$

$$\Phi_{\text{tr\_ukTZ1}} = 2026 \text{ W} \approx 2500 \text{ W}$$

Za daljnje proračune uzima se jedinstvena vrijednost transmisijskih gubitaka za sva tri tunela od 2500 W . Uzeta je veća vrijednost da bi se nadoknadila eventualna nepoklapanja između realne i projektne situacije.

## Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda

Kod hladionica za zamrzavanje ribe, ovo je dominantno toplinsko opterećenje hladionice. Čini ga toplinsko opterećenje robe unesene u hladionicu.

$\Phi_{\text{hlR}}, \Phi_{\text{zR}}, \Phi_{\text{poR}}$  (kJ) - odvedena toplina od proizvoda

$m_R = 8000$  kg - masa ribe

$c_{p1R} = 3,05$  ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) - specifični toplinski kapacitet ribe prije smrzavanja

$c_{p2R} = 1,58$  ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) - specifični toplinski kapacitet ribe poslije smrzavanja

$h_z = 214,3$  ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) - toplina smrzavanja

$T_1 = 275,15$  K - ulazna temperatura robe

$T_2 = 253,15$  K - izlazna temperatura robe

$T_z = 271,35$  K - temperatura smrzavanja

$\tau = 8$  h - trajanje ciklusa hlađenja

$$\Phi_r = \Phi_{\text{hlR}} + \Phi_{\text{zR}} + \Phi_{\text{poR}} \quad (\text{kW})$$

$$\Phi_{\text{hl1}} = \frac{c_{p1} \cdot \Delta t \cdot m_R}{\tau \cdot 3600} = \frac{3,05 \cdot 3,8 \cdot 8000}{8 \cdot 3600} = 3,22 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{zR}} = \frac{m_R \cdot h_k}{\tau \cdot 3600} = \frac{8000 \cdot 214,3}{8 \cdot 3600} = 59,53 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{hl2}} = \frac{c_{p2} \cdot \Delta t \cdot m_R}{\tau \cdot 3600} = \frac{1,58 \cdot 18,2 \cdot 8000}{8 \cdot 3600} = 7,98 \text{ kW}$$

$$\Phi_r = 3,22 + 59,53 + 7,98 = 70,73 \quad (\text{kW})$$

### 3.3. TOPLINSKO OPTEREĆENJE OD VENTILATORA ISPARIVAČA

Ventilator radi gubitaka u radu zagrijava struju zraka

$$\Phi_{\text{vent}} = 0,1(\Phi_R + \Phi_{\text{tr\_ukT1}}) = 0,1(2,5 + 70,73)$$

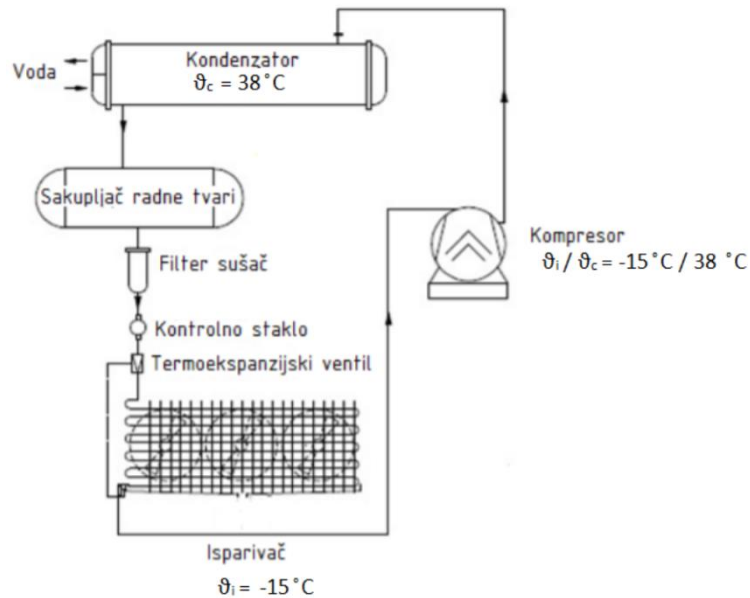
$$\Phi_{\text{vent}} = 7,4 \text{ kW}$$

### UKUPNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE TUNELA ZA ZAMRZAVANJE

$$\Phi_{eTZ1} = \Phi_{\text{vent}} + \Phi_R + \Phi_{\text{tr\_ukT1}} = 7,4 + 70,73 + 2,5$$

$$\Phi_{eTZ1} = 80,6 \text{ kW}$$

## PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA ( R449a )



Slika 8 Shema kruga sustava

$$\eta_{is} = 0,6689$$

- izentropski stupanj djelovanja kompresora  
( od proizvođača )

$$h_{2s} = 437,8 \text{ kJ / kg}$$

- entalpija pregrianih para RT pri izentropskoj  
kompresiji

Izraz za izentropski stupanj djelovanja

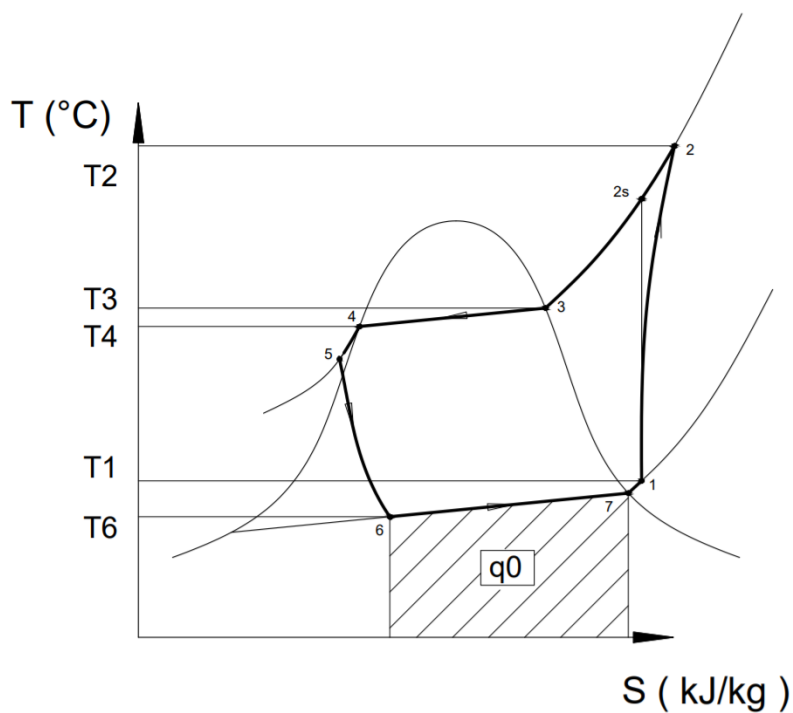
$$\eta_{is} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Iz toga izračunamo  $h_2$  :

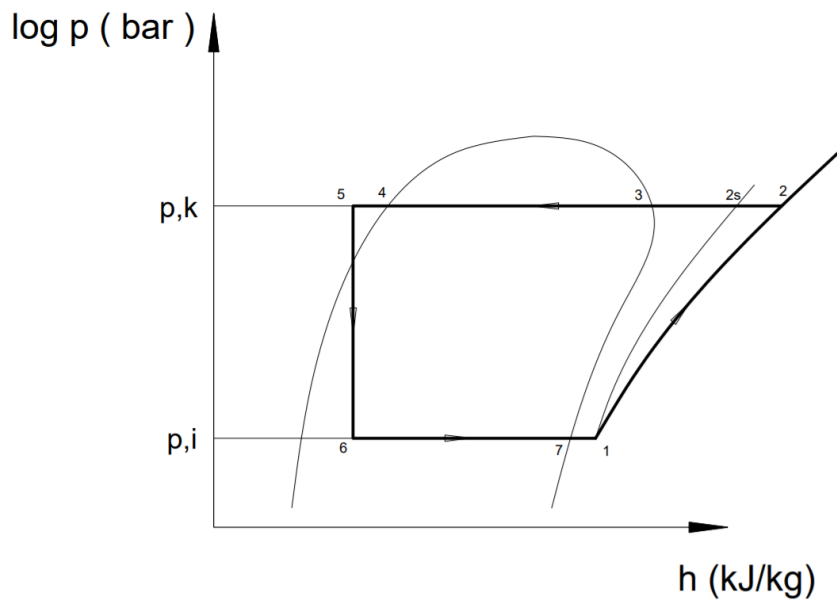
$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta} = 395,1 + \frac{437,8 - 395,1}{0,6689} = 458,93 \text{ kJ/kg}$$

te se mogu definirat stanja radne tvari

$p_1 = 2,98 \text{ bar}$	$T_1 = 263,15 \text{ K}$	$h_1 = 395,1 \text{ kJ/kg}$	$s_1 = 1,769 \text{ kJ/kg}$
$p_2 = 17,00 \text{ bar}$	$T_2 = 353,55 \text{ K}$	$h_2 = 458,93 \text{ kJ/kg}$	$s_2 = 1,832 \text{ kJ/kg}$
$p_3 = 17,00 \text{ bar}$	$T_3 = 313,65 \text{ K}$	$h_3 = 412,8 \text{ kJ/kg}$	
$p_4 = 17,00 \text{ bar}$	$T_4 = 309,45 \text{ K}$	$h_4 = 254,1 \text{ kJ/kg}$	
$p_5 = 17,00 \text{ bar}$	$T_5 = 304,15 \text{ K}$	$h_5 = 246,1 \text{ kJ/kg}$	
$p_6 = 2,98 \text{ bar}$	$T_6 = 254,47 \text{ K}$	$h_6 = 246,1 \text{ kJ/kg}$	
$p_7 = 2,98 \text{ bar}$	$T_7 = 258,15 \text{ K}$	$h_7 = 383,59 \text{ kJ/kg}$	



Slika 9 T,s dijagram ciklusa



Slika 10 log p, h dijagram ciklusa

Radi male razlike u kapacitetima potrebnim za hlađenje tunela, odabrano je jedinstvena vrijednost potrebnog kapaciteta isparivača za sva 3.

$Q_e = 99,32 \text{ kW}$  - kapacitet isparivača

$T_e = 258,15 \text{ K}$  - temperatura isparavanja

R449a - radna tvar

Specifični rashladni učin u najkritičnijem trenutku hlađenja

$$q_e = h_1 - h_6 = 395,1 - 246,1 = 149 \text{ kJ/kg}$$

Specifični rad kompresora

$$w = h_2 - h_1 = 458,93 - 395,1 \text{ kJ/kg} = 63,83 \text{ kJ/kg}$$

Specifični učin kondenzatora

$$q_k = h_5 - h_2 = 246,1 - 458,93 \text{ kJ/kg} = 212,8 \text{ kJ/kg}$$



Protočna masa po tunelu

$$q_m = \frac{Q_e}{q_e} = \frac{99,32 \text{ kW}}{149 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,6666 \text{ kg/s}$$

Snaga kompresora

$$P_{\text{komp}} = q_m \cdot w = 63,83 \cdot 0,6666 = 42,55 \text{ kW}$$

Učin kondenzatora

$$\Phi_{\text{kond}} = q_m \cdot q_k = 0,6666 \cdot 212,8 = 141,85 \text{ kW}$$

Faktor hlađenja

$$\text{COP} = \frac{Q_e}{P_{\text{komp}}} = \frac{99,32}{42,55} = 2,33$$

## ODABIR KOMPRESORA

Potrebno je odabrati kompresor koji bi zadovoljavao izračunate kapacitete tunela za zamrzavanje. Za ovu primjenu odlučeno je da će se pratiti dinamika temperature u hladionici i po njoj podešavati temperaturu isparavanja. Time se maksimalno iskorištava radna karakteristika kompresora koji može isporučivati više rashladnog učinka od nazivnog pri višim temperaturama isparavanja. Tim načinom regulacije primjetno smanjujemo potrebnu jačinu kompresora.

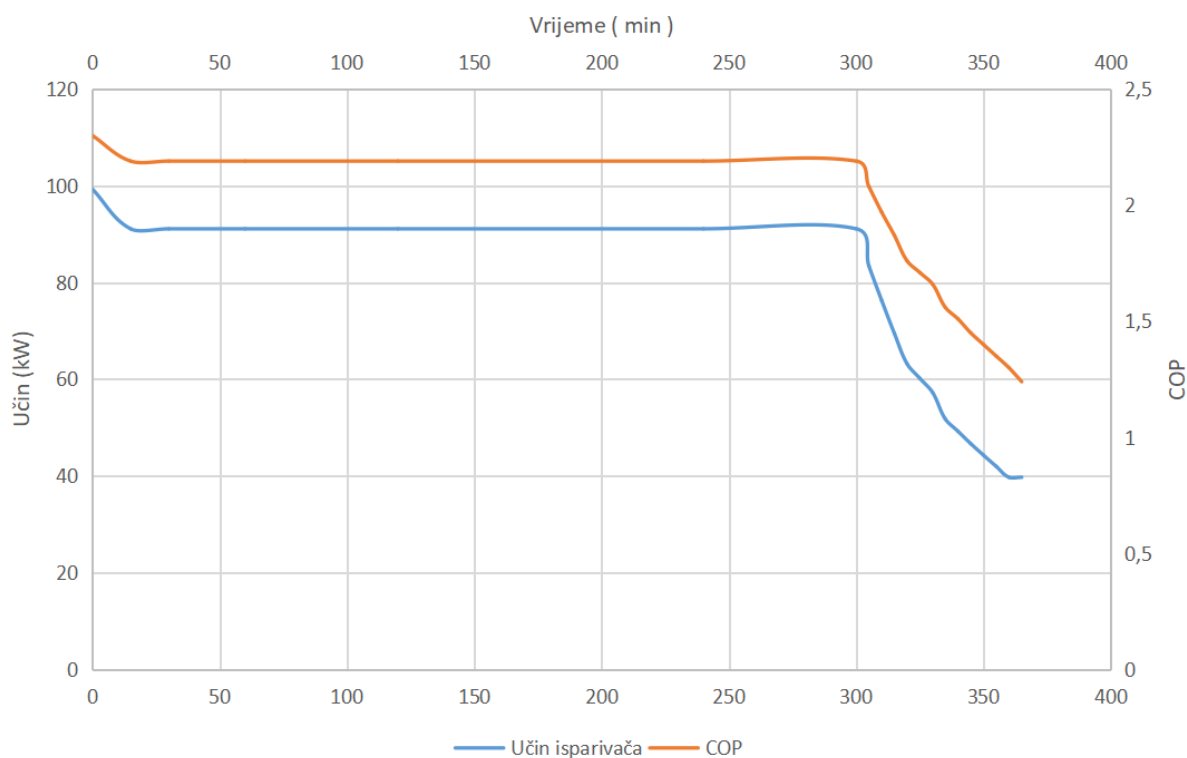
Za analizu odabira kompresora se izračuna ukupna količina topline koju trebamo odvest od robe u hladionici.

$$Q_{uk} = \Phi_r \cdot \tau$$

$$Q_{uk} = 70,73 \cdot 8 \cdot 3600$$

$$Q_{uk} = 2037168 \text{ kJ}$$

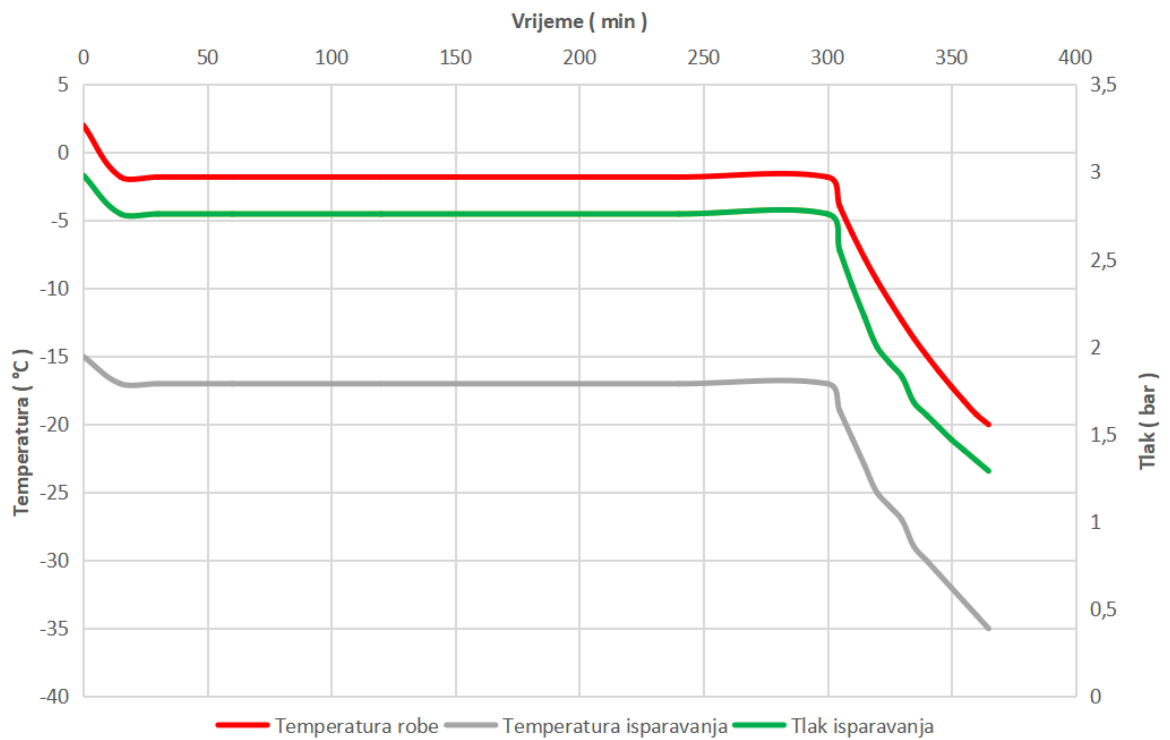
U analizi vijčanog kompresora proizvođača Frascold, tip NRL4-90Y-300Y dobiveni su podaci o teoretskom trajanju ciklusa hlađenja.



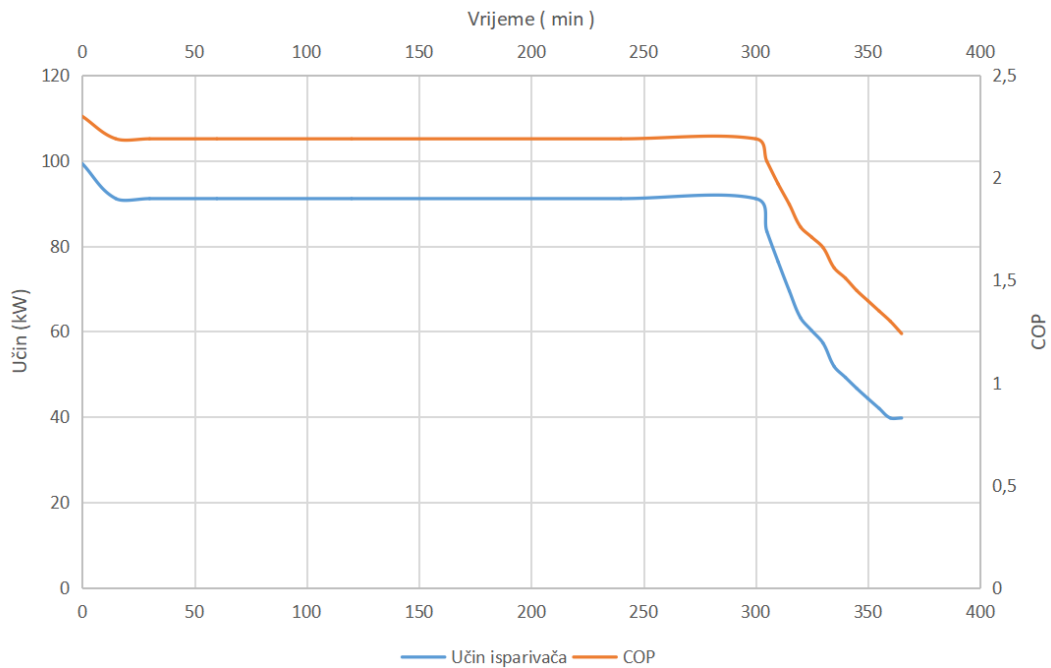
Slika 11 Učin i COP kompresora za vrijeme trajanja ciklusa, NRL4-90-300Y

Odmah je vidljivo da taj kompresor, sa realnom karakteristikom učina uspije ohladiti robu za 365 min (  $\approx 6$  h ), po čemu ispada da je ovaj kompresor predimenzioniran za ovakvu primjenu.

Idući kompresor podvrgnut istoj analizi pokazao je karakteristiku učina koja bi bolje zadovoljavala potrebe pogona. Odabirom manjeg kompresora smanjujemo investicijske troškove ali i troškove održavanja sustava.



Slika 12 Temperature isparavanja , robe i tlak isparavanja za vrijeme trajanja ciklusa, NRL4-60



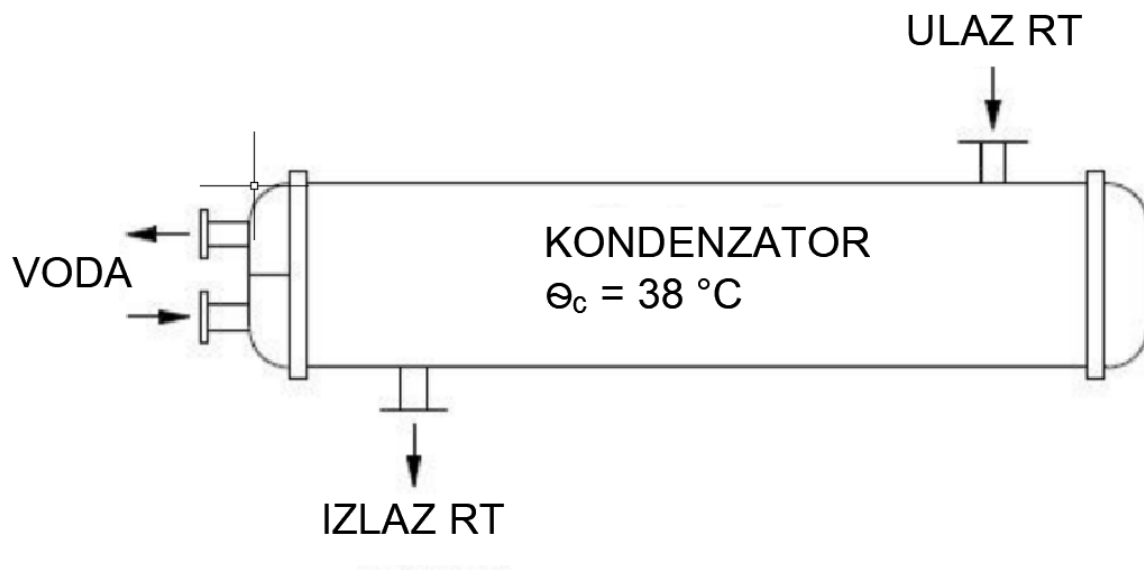
Slika 13 Učín i COP kompresora za vrijeme trajanja ciklusa , NRL4-60-210Y

Iako su vrijednosti COP-a za dva kompresora otprilike iste, jedini presudni faktor za odabir je cijena samog kompresora.

Osim toga, zbog jako čestog nepoklapanja projektnih uvjeta sa realnim obično se uzima veći kompresor od onog izračunatog proračunom toplinskog opterećenja. Razlog tomu je što se često desi da radnici u pogonu prepune tunel, ili loše rasporede robu po tunelu pa zrak ne struji dobro i stoga ne dođe do izmjene topline. Iz tog razloga se, iako je vrijeme trajanja ciklusa 8h, opredijelilo na kompresor koji ohladi robu za 6 h.

Iako su tuneli za zamrzavanje sofisticirani, snažni uređaji, svejedno se cijeli proces zasniva na strujanju zraka oko robe, a radi svoje kompleksnosti ne postoji drugi način nego se metodom pokušaj-pogreška gleda hoće li sustav isporučiti planirano. To često zahtjeva naknadne montaže pregrada i zavjesa za usmjeravanje struje zraka preko robe.

## PRORAČUN KONDENZATORA



Slika 14 Kondenzator R449a

$$Q_c = 3 \cdot Q_{\text{kond}} = 3 \cdot 141,85 = 425,55 \text{ kW} \approx 435 \text{ kW}$$

- kapacitet kondenzatora

$$T_{w1} = 303,15 \text{ K}$$

- temperatura vode na ulazu

$$T_{w2} = 307,15 \text{ K}$$

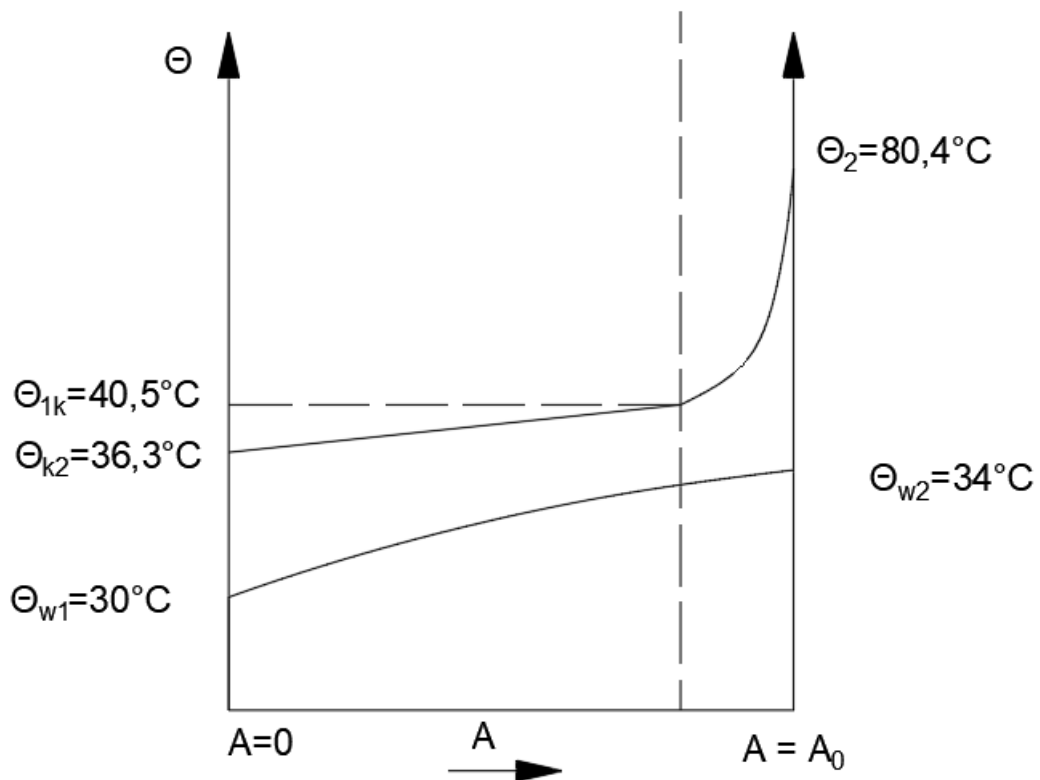
- temperatura vode na izlazu

$$T_{c, \text{sr}} = 311,15 \text{ K} \quad T_{c1} = 313,65 \text{ K} \quad T_{c2} = 309,45 \text{ K}$$

- temperature kondenzacije

$$q_m = 2,00 \text{ kg/s}$$

- protočna masa RT



Slika 15  $\Theta, A$  dijagram kondenzatora

Računa se: koeficijent prijelaza topline, izmjenjivačka površina, dimenzije i pad tlaka na strani vode.

$$q_{\text{lat}} = 166700 \text{ J/kg}$$

$$q_{\text{sup}} = 46130 \text{ J/kg}$$

$$Q_{\text{lat}} = q_{\text{lat}} \cdot q_m = 2 \cdot 166700 = 333400 \text{ W} \approx 340\,000 \text{ W}$$

$$Q_{\text{sup}} = q_{\text{sup}} \cdot q_m = 2 \cdot 46130 = 92260 \approx 95000 \text{ W}$$

## KONSTRUKCIJSKI PARAMETRI

$D = 400 \text{ mm}$	- promjer plašta izmjenjivača
$d_e = 18 \text{ mm}$	- ekvivalentni vanjski promjer
$d_i = 16 \text{ mm}$	- unutarnji promjer cijevi
$s = 23 \text{ mm}$	- razmak među cijevima
$A_e/A_i = 2,942$	- omjer vanjske i unutarnje površine
$n_t = 244$	- broj cijevi u izmjenjivaču
$n_p = 4$	- broj prolaza vode
$n_{t1} = 56$	- broj cijevi po prolazu

## PARAMETRI VODE

Fizikalna svojstva vode za srednju temperaturu vode, 32 °C

$$\rho_w = 995,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_w = 0,6146 \text{ W/mK}$$

$$c_{pw} = 4175 \text{ J/kgK}$$

$$\eta_w = 0,00077335 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\nu_w = 7,77158 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Maseni protok vode

$$q_{mw} = \frac{Q_c}{c_{pw} \cdot \lambda_w \cdot (t_{w1} - t_{w2})} = \frac{435000}{4175 \cdot (34 - 30)} = 26,047 \text{ kg/s}$$

Brzina vode u cijevima

$$w_w = \frac{q_{mw} \cdot 4}{\frac{d_i^2 \cdot \pi}{4} \cdot n_{t1} \cdot \rho_w} = 2,326 \text{ m/s}$$

Temperatura vode na izlazu zone 1

$$T_{wm} = T_{w1} + \frac{Q_{lat}}{q_{mw} \cdot c_{pw}} = 30 + \frac{340\,000}{4175 \cdot 26,048} = 33,126 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Koeficijent prijelaza topline na strani vode**

$$Re = \frac{w_w d_i}{\nu_w} = \frac{2,326 \cdot 0,016}{7,77158 \cdot 10^{-7}} = 47887$$

$f_w = 1$  , za  $Re \geq 10000$

$$B_w = 0,023 \cdot c_{pw}^{0,8} \cdot \rho_w^{0,4} \cdot \lambda_w^{0,6} \cdot \eta_w^{-0,4} = 0,023 \cdot 995,1^{0,8} \cdot 4175^{0,4} \cdot 0,6164^{0,6} \cdot (7,77158 \cdot 10^{-7})^{-0,4}$$

$$B_w = 2118,79$$

$$\alpha_w = f_w \cdot B_w \cdot \frac{w^{0,8}}{d_j^{0,2}} = 1 \cdot 2118,79 \cdot \frac{0,326^{0,8}}{0,016^{0,2}} = 9518 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Faktori toplinskog otpora

Toplinski otpor kroz cijevnu stjenku

$$\delta_1 = 2 \text{ mm} \quad \lambda_1 = 370 \text{ W/mK}$$

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2} = \frac{0,018 + 0,016}{2} = 0,017 \text{ m}$$

$$R_1 = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}\right) \cdot \left(\frac{d_i}{d_m}\right) = \left(\frac{2}{370}\right) \cdot \left(\frac{16}{17}\right) = 4,594 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Toplinski otpor kroz kamenac

$$\delta_2 = 0,4 \text{ mm} \quad \lambda_1 = 2 \text{ W/mK}$$

$$R_2 = \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2}\right) = \left(\frac{0,4}{2}\right) = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Ukupni toplinski otpor

$$R_i = R_1 + R_2 = 0,0002045 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$



Srednja logaritamska razlika temperatura zone 1

$$\Delta t_m = \frac{(t_{c,sr}-t_{w1})-(t_{c,sr}-t_{wm})}{\ln \frac{t_{c,sr}-t_{w1}}{t_{c,sr}-t_{wm}}} = \frac{(38-30)-(38-33,126)}{\ln \left( \frac{38-30}{38-33,126} \right)} = 6,8227 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Specifični tok na strani vode

$$q_i = \frac{t_z - t_{wm}}{\frac{1}{\alpha_w} + \Sigma R_i} = \frac{t_z - 33,126}{\frac{1}{4397} + 0,002045} = 3220 \cdot (t_z - 31,55)$$

Specifični tok na strani vode izražen preko vanjske površine

$$q_e = (A_1/A_2) \cdot q_i$$

$$q_e = 1/3,513 \cdot 3220 \cdot (t_z - 31,55)$$

$$q_e = 916,8 \cdot (t_z - 31,55)$$

**Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari**

$$\alpha_R = 0,725 \cdot B \cdot d_e^{-0,25} \cdot f^{-1/6} \cdot \psi_c \cdot (T_{c,sr} - T_z)^{-0,25}$$

Koeficijent B se računa pomoću termodinamičkih svojstava radne tvari u kapljevitoj fazi za temperaturu kondenzacije:

$$\rho_w = 1034,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_w = 0,07397 \text{ W/mK}$$

$$h_c = 164000 \text{ J/kg}$$

$$\eta_w = 0,00018614 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$v_w = 1,80 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$$

$$B = \left( \frac{g \cdot h_c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\eta} \right)^{0,25} = \left( \frac{9,80665 \cdot 164000 \cdot 1034,1^2 \cdot 0,07397^3}{0,00018614} \right)^{0,25}$$

$$B = 1390,6$$

$$f_w = 0,9 \cdot D / (1,732 \cdot s) = 0,9 \cdot 0,4 / (1,732 \cdot 0,023) = 9,03 \approx 9$$

Koeficijent koji uključuje kondenzaciju na orebrenju

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

$$d_b = 16,5 \text{ mm} \quad s_f = 2 \text{ mm} \quad \alpha = 35^\circ$$

$$A_v = \pi \cdot \frac{d_t^2 - d_b^2}{2 \cdot s_f \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \pi \cdot \frac{0,0208^2 - 0,0165^2}{2 \cdot 0,002 \cdot \cos\frac{35}{2}} = 0,131 \frac{m^2}{m}$$

Površina cijevi po horizontali

$$h_f = \frac{d_t + d_b}{2} = 2,15 \text{ mm}$$

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

$$x_t = s_f - x_b - 2 \cdot h_f \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = 2 - 2 \cdot 2,15 \cdot \tan 17,5^\circ = 0,044 \text{ mm}$$

$$A_{h1} = \pi \cdot \frac{d_1 \cdot x_t + d_b \cdot x_j}{s_R} = \pi \cdot \frac{0,0208 \cdot 0,000044 + 0,0165 \cdot 0,0006}{0,002} = 0,0169 \frac{m^2}{m}$$

Ukupna površina po dužnom metru

$$A_{e1} = A_{v1} + A_{h1} = 0,0169 + 0,131 = 0,1479 \frac{m^2}{m}$$

Relativna visina rebra

$$h_f = \pi \cdot \frac{d_t^2 - d_b^2}{4 \cdot d_t} = \pi \cdot \frac{0,0208^2 - 0,0165^2}{4 \cdot 0,0208}$$

$E = 1$  - efektivnost rebra za malu visinu rebra

$$\psi_c = 1,3 \cdot \frac{A_{v1}}{A_{e1}} \cdot E^{0,75} \cdot \left(\frac{d_b}{h_r}\right)^{0,25} + \frac{A_{h1}}{A_{e1}} = 1,594$$

Omjer vanjske i unutarnje površine se sada može izračunati

$$A_e / A_i = A_{e1} / A_i = 0,1479 / (\pi \cdot d_i) = 0,1479 / 0,050265 = 2,94$$

Koeficijent prijelaza topline se sada može izračunati

$$\alpha_R = 0,725 \cdot B \cdot d_e^{-0,25} \cdot f^{-1/6} \cdot \psi_c \cdot (T_{c,sr} - T_z)^{-0,25}$$

$$\alpha_R = 0,725 \cdot 1390,6 \cdot 0,018^{-0,25} \cdot 13^{-1/6} \cdot 1,594 \cdot (38 - T_z)^{-0,25}$$

$$\alpha_R = 3042 (38 - T_z)^{-0,25}$$

Specifični toplinski tok na strani radne tvari, izražen preko  $\alpha_R$

$$q_e = \alpha_R \cdot (T_{c,sr} - T_z)^{0,75}$$

$$q_e = 3042 (38 - T_z)^{0,75}$$

Iz dvije jednadžbe za specifični toplinski tok na strani radne tvari izračunamo  $T_z$

$$T_z = 36,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tada slijedi

$$q_e = \alpha_R \cdot (T_{c,sr} - T_z)^{0,75}$$

$$q_e = 3042 (38 - 36,72)^{0,75}$$

$$q_{e1} = 4095 \frac{W}{m^2}$$

Ukupni koeficijent prolaza topline zone 1 za vanjsku površinu

$$k_{e1} = q_{e1} / \Delta t_m = \frac{4095}{6,8227} = 600,3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Potrebna površina izmjenjivača za zonu 1

$$A_{e1} = Q_{lat} / q_{e1} = 340000 / 4095 = 83,01 \text{ m}^2$$

## **ZONA 2**

Svojstva pregrijane pare se uzimaju za srednju vrijednost koja iznosi 60,45 °C

$$\rho_{sup} = 67,567 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{sup} = 0,018017 \text{ W/mK}$$

$$c_p = 1196,8 \text{ J/kgK}$$

$$H_{sup} = 0,0000143 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$v_{sup} = 2,109 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta t_m = \frac{(t_{sup} - t_{w2}) - (t_{c1} - t_{wm})}{\ln \frac{t_{sup} - t_{w2}}{t_{c1} - t_{wm}}} = \frac{(80,4 - 34) - (40,5 - 33,126)}{\ln \left( \frac{80,4 - 34}{40,5 - 33,126} \right)} = 21,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Koeficijent prijelaza topline u zoni 2 ovisi o brzini pregrijanih para koje struje oko cijevi izmjenjivača. Da bi izračunali brzinu potrebno je pretpostaviti ukupni koeficijent prijelaza topline za obje zone iz koje onda dobijemo površinu iza koje konačno dobijemo brzinu pare.

$$q_{e,tr} = 3530 \text{ W / m}^2$$

Ukupna površina izmjenjivača za obje zone tada je

$$A_e = Q_c / q_{e,tr} = 435000 / 3530 = 123,23 \text{ m}^2 ,$$

a unutarnja

$$A_i = A_e / 2,942 = 41,886 \text{ m}^2$$

Aktivna duljina izmjenjivača

$$L = \frac{A_i}{d_i \cdot n_t \cdot \pi} = \frac{41,886}{0,016 \cdot 3,14 \cdot 224} = 3,72 \text{ m}$$

$w_{sup}$  je brzina para među cijevima izmjenjivača. Broj cijevi se razlikuje od presjeka do presjeka kako se mičemo po visini aparata. Pošto je ulaz pregrijanih para na gornjem dijelu aparata, tada koristimo odgovarajući izraz za broj cijevi u gornjem dijelu.

$$n_{eqv} \approx 0,3 \cdot n_t^{0,5} = 0,3 \cdot 224^{0,5} = 4,49$$

Površina uzdužnog presjeka među cijevima

$$A_s = n_{eqv} \cdot (s_1 - d_e) \cdot L = 4,49 \cdot (0,023 - 0,016) = 0,0835 \text{ m}^2$$

Volumenski protok na toj površini iznosi

$$V_R = m_R / \rho_{sup} = 2 / 67,567 = 0,0296 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$w_{sup} = 0,3544 \text{ m / s}$$

Reynoldsov, Prandtlov i Nusseltov broj za takvo strujanje

$$Re = \frac{w_{sup} d_e}{\nu} = \frac{0,3544 \cdot 0,018}{2,109 \cdot 10^{-7}} = 30238$$

$$Pr = \frac{\eta_{sup} \cdot c_{sup}}{\lambda_{sup}} = \frac{0,0000143 \cdot 1196,8}{0,018017} = 0,94684$$

Nusseltov broj ima dva izraza za računanje, a odabiremo ih po vrijednosti Reynoldsovog broja

$$Nu = 0,40 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} = 0,4 \cdot 30238^{0,6} \cdot 0,94684^{0,36}$$

$$Nu = 191,36$$

Koeficijent prijelaza topline zone 2, vezan za vanjsku površinu, iznosi

$$\alpha_{sup} = \frac{\lambda_{sup} \cdot Nu}{d_e} = \frac{0,018017 \cdot 191,36}{0,018}$$

$$\alpha_{sup} = 191,54 \frac{W}{m^2}$$

Koeficijent prolaza topline zone 2, na vanjskoj površini

$$k_{e2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{sup}} + R_e + \left( \sum R_i + \frac{1}{\alpha_w} \right) \frac{A_e}{A_i}} = \frac{1}{\frac{1}{191,54} + 0 + \left( 0,0002054 + \frac{1}{9518} \right) \cdot 2,94}$$

$$k_{e2} = 163,02 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Specifični toplinski tok u zoni 2

$$q_{e2} = k_{e2} \cdot \Delta t_{m2} = 163,02 \cdot 21,21$$

$$q_{e2} = 3458 \frac{W}{m^2}$$

Površina izmjenjivača zone 2

$$A_{e2} = Q_{sup} / q_{e2} = 94000 / 3458$$

$$A_{e2} = 24,47 \text{ m}^2$$

Ukupna potrebna površina izmjenjivača za obje zone iznosi

$$A_{uk} = A_{e2} + A_{e1} = 24,47 + 83,01$$

$$A_{uk} = 110,49 \text{ m}^2$$

Aktivna duljina cijevi takvog izmjenjivača

$$L = \frac{A_{uk}}{A_i \cdot 2,94} = \frac{110,49}{11,258 \cdot 2,94} = 3,336 \text{ m}$$

Pada tlaka na strani vode

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

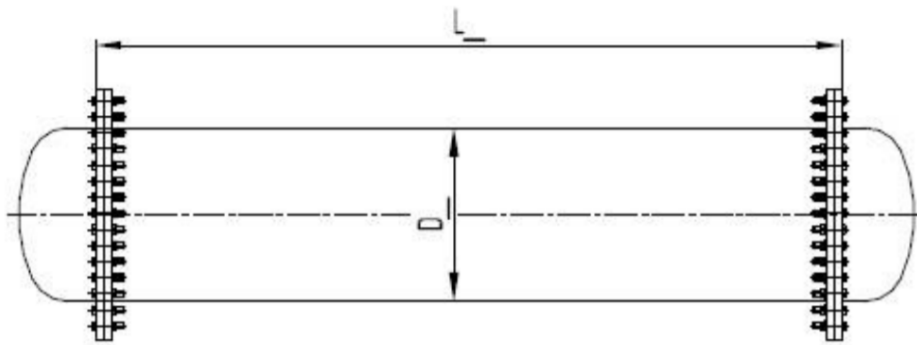
$\xi$  je linijski faktor otpora i računa se:

$$\xi = 0,3164 / \text{Re}^{0,25} = 0,3164 / 47887^{0,25} = 0,0214$$

$\xi_{in}$  je lokalni faktor otpora, u ovom slučaju za ulaz vode u cijevi izmjenjivača i iznosi približno 0,5.

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

$$\Delta p = \left( 0,02134 \cdot \frac{3,336}{0,016} + 0,5 + 1 + \frac{1,5}{4} \right) 4 \cdot \frac{995,1 \cdot 2,326^2}{2} = 68\,098 \text{ Pa} = 0,68098 \text{ bar}$$



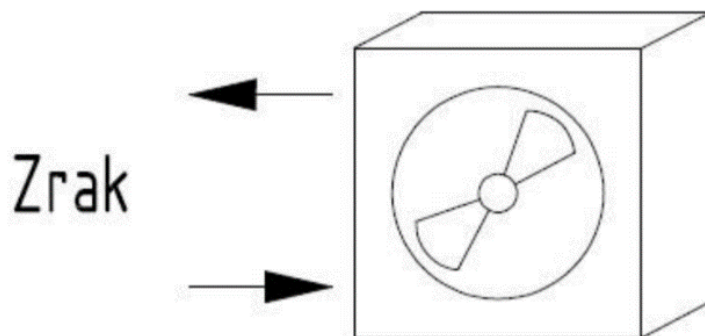
Slika 16 Dimenzije kondenzatora

### Dimenzije kondenzatora

$$L = 3,34 \text{ m}$$

$$D = 0,40 \text{ m}$$

## PRORAČUN ISPARIVAČA ( R449a )



Slika 17 Isparivač radna tvar – zrak

Kao projektno opterećenje je uzet početak procesa hlađenja, kada su učin isparivača i protok radne tvari najveći. Na početku procesa smrzavanja je temperatura isparavanja  $t_e = -15^\circ\text{C}$

$Q_e = 100\,000\text{ W}$	- učin isparivača
$T_{a1} = 268,15\text{ K}$	- ulazna temperatura zraka
$T_{a2} = 264,16\text{ K}$	- izlazna temperatura zraka
$T_e = 258,15\text{ K}$	- temperatura isparavanja
$T_c = 311,15\text{ K}$	- temperatura kondenzacije
R449a	- radna tvar

Proračunava se koeficijent prijelaza topline, površina prijelaza, dimenzije i pad tlaka zraka.

## Konstruktivski parametri

$$d_e = 12 \text{ mm}$$

- vanjski promjer cijevi (bakrene)

$$d_i = 10 \text{ mm}$$

- unutarnji promjer cijevi (bakrene)

$$s_1 = 32 \text{ mm}$$

- vertikalni razmak između cijevi

$$s_2 = 28 \text{ mm}$$

- horizontalni razmak između cijevi

$$s_f = 7 \text{ mm}$$

- razmak između rebara (aluminijских)

$$f_t = 0.5 \text{ mm}$$

- debljina rebara

$$i_r = 12$$

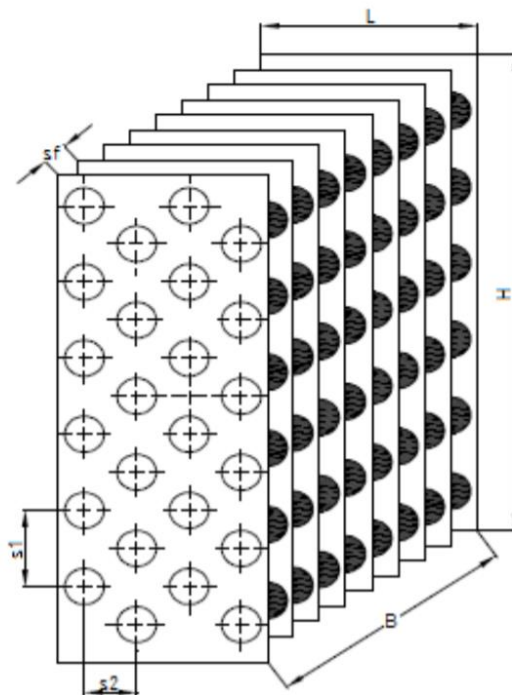
- broj redova

$$i_t = 72$$

- broj cijevi u redu

$$i_{in} = 36$$

- broj ulaznih cijevi (krugova)



Slika 18 Konstruktivski parametri isparivača



Proračun potrebne površine za duljinu cijevi od 1 m.

Površina na vanjskoj strani cijevi između rebara:

$$A_{mt} = \pi \cdot d_e \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = \pi \cdot 0,012 \cdot \left(1 - \frac{0,0005}{0,0042}\right)$$
$$A_{mt} = 0,035904 \text{ m}^2 / \text{m}$$

Površina rebara

$$A_f = 2 \cdot (s_1 \cdot s_2 - \pi \cdot d_e^2 / 4) / s_f = 2 \cdot (0,032 \cdot 0,028 - 3,1416 \cdot 0,012^2 / 4) / 0,007$$

$$A_f = 0,2237 \text{ m}^2 / \text{m}$$

Ukupna vanjska površina iznosi

$$A_{e1} = A_f + A_{mt} = 0,035904 + 0,2237 = 0,2596 \text{ m}^2 / \text{m}$$

Ukupna unutarnja površina orebrenog snopa

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = 3,1416 \cdot 0,01 = 0,031416 \text{ m}^2 / \text{m}$$

Omjer vanjske i unutarnje izmjenjivačke površine iznosi

$$\beta = A_{e1} / A_{i1} = 0,2596 / 0,031416 = 8,23$$

Već sada možemo izračunat visinu i dubinu isparivača

$$H = i_t \cdot s_1 = 72 \cdot 0,032 = 2,304 \text{ m}$$

$$L = i_r \cdot s_2 = 12 \cdot 0,028 = 0,336 \text{ m}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta t_m = \frac{(t_{a1} - t_{a2})}{\ln \frac{t_{a1} - t_e}{t_{a2} - t_e}} = \frac{-5 + 9}{\ln \left( \frac{268,15 - 258,15}{264,15 - 258,15} \right)} = 7,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka

$$t_{am} = t_e + \Delta t_m = 258,15 + 7,83 \text{ K}$$

$$t_{am} = -7,169 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Fizikalna svojstva suhog zraka se uzimaju za srednju temperaturu zraka

$$\rho_a = 1,3131 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_a = 0,02349 \text{ W/mK}$$

$$c_a = 1005 \text{ J/kgK}$$

$$v_a = 1,28391 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Potrebno je uzet u obzir vlažnost zraka u izračunu prijelaza topline. Isto tako, potrebno je poznavanje entalpija zraka prije i poslije, u kojem je vlaga faktor.

Entalpija zraka se računa s relativnom vlažnošću i temperaturom. Za našu hladionicu procijenjeno je da će na temperaturi zraka od  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  relativna vlažnost iznositi 80 %

Za takvo stanje, očitana ulazna entalpija zraka iznosi

$$h_1 = 0 \text{ kJ / kg} \quad x_1 = 2 \text{ g / kg}$$

Specifični volumen zraka

$$v_1 = \frac{T_1 \cdot R}{p_{amb}} \cdot (1 + 1,6078 \cdot x_1) = \frac{287,1 \cdot 268,15}{101325} \cdot (1 + 1,6078 \cdot 0,002)$$

$$v_1 = 0,77206519 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Entalpija izlaznog zraka je nepoznata. Ona ovisi o temperaturi na vanjskoj površini koja je temperatura zasićenog zraka.

**Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari**

$$m_R = \frac{Q_e}{h_{e2} - h_{e1}} = \frac{100000}{395,1 - 246,1} = 0,67114 \text{ kg / s}$$

Gustoća gibanja radne tvari u cijevima

$$G = \frac{m}{\frac{\pi \cdot i_{in} \cdot d_i^2}{4}} = \frac{0,67114}{\frac{\pi \cdot 36 \cdot 0,01}{4}} = 237,37 \text{ kg / m}^2 \text{ s}$$

Koeficijent prijelaza topline za isparavanje u cijevi se računa po izrazu

$$\alpha_R = C \cdot \frac{G^{0,1} \cdot d_i^{0,7}}{d_i^{0,5}}$$

$$C \text{ ( iz tablice str. 126. Ciconkov )} = 0,185$$

Procjenjujemo specifični toplinski tok s obzirom na unutarnju površinu

$$q_i = 1590 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

$$\alpha_R = C \cdot \frac{G^{0,1} \cdot q_i^{0,7}}{d_i^{0,5}} = 0,185 \cdot \frac{474,733^{0,1} \cdot 3000^{0,7}}{0,01^{0,5}} = 556,8 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Toplinski otpor materijala cijevi

$$\delta_t = \frac{d_e - d_i}{2} = \frac{0,012 - 0,01}{2} = 0,001$$

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

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = \frac{0,001}{370} = 2,7027 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K / W}$$

Toplinski otpor na zračnoj strani

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

Toplinski otpor na strani radne tvari

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

Specifični toplinski tok s obzirom na unutarnju površinu

$$q_i = \alpha_R \cdot (t_{si} - t_e)$$

gdje je  $t_{si}$  temperatura stijenke s unutarnje strane

Potrebno je izračunati temperaturu stijenke na vanjskoj strani cijevi

$$d_m = \frac{d_e - d_i}{2} = \frac{0,012 - 0,01}{2} = 0,011 \text{ m}$$

$$q_i = \frac{T_s - T_e}{\frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t + R_o + \frac{d_i}{d_m} + R_0 \cdot \frac{1}{\beta}}$$

Iz te formule sljedi da je  $T_s$

$$T_s = T_e + \left( \frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_0 \frac{1}{\beta} \right) \cdot q_i$$

$$T_s = 258,15 + \left( \frac{1}{930,7} + 0 + 2,703 \cdot 10^{-6} \frac{0,01}{0,011} + 0,0005 \frac{1}{13,01} \right) \cdot 1590$$

$$T_s = 261,11 \text{ K } (-12,04 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Temperatura  $T_s$  je temperatura zasićenog zraka. To znači da je za relativnu vlažnost od 100% (na stijenki radi kondenzacije je rel. vl. 100%) :

$$h_s = -8,2 \text{ kJ / kg} \quad x_s = 0,0015 \text{ kg / kg}$$

Pošto je  $x_s < x_1$ , dolazi do prijenosa mase na stijenku

Izračunamo izlazno stanje zraka

$$x_2 = x_1 - (x_1 - x_s) \cdot \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_s} = 2 - (2 - 1,5) \cdot (-5 + 9) / (-5 + 12,04)$$

$$x_2 = 1,716 \text{ g / kg}$$

$$r_0 = 2\,501\,000 \text{ J / kg} \quad - \text{ toplina isparavanja vode}$$

$$c_{pd} = 1863 \text{ J / kg} \cdot \text{K} \quad - \text{ specifični toplinski kapacitet pregrijane vodene pare}$$

$$c_{pu} = 1005 \text{ J / kg} \cdot \text{K} \quad - \text{ specifični toplinski kapacitet suhog uzduha}$$

$$h_2 = c_{pu} \cdot T_{a2} + x_2 \cdot (r_0 + c_{pd} \cdot T_{a2}) = 1.005 \cdot (-9) + 0.00172 \cdot (2501 + 1.863 \cdot (-9))$$

$$h_2 = -4,782 \text{ kJ / kg}$$

Površina za prijelaz topline:

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = \frac{100\,000}{3000} = 62,893 \text{ m}^2$$

Duljina cijevi takvog izmjenjivača

$$L_1 = \frac{A_i}{A_{i1}} = \frac{62,893}{0,031416} = 2001,94 \text{ m}$$

Širina takvog izmjenjivača iznosi

$$B = \frac{L_1}{i_t} = \frac{2001,94}{72} = 2,317 \text{ m}$$

## Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

Protočna masa za zadani učin isparivača

$$m_a = \frac{Q_e}{h_1 - h_2} = \frac{100}{0 + 4,78} = 20,91 \text{ kg / s}$$

Volumenski protok

$$V_a = m_a \cdot v_1 = 20,91 \cdot 0,77206519 = 16,146 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Sada računamo najmanju površinu kroz koju zrak struji ( između rebara i cijevi ). Ona se koristi kao referentna za računanje brzine strujanja za daljnje proračune.

$$A_z = L_1 \cdot \frac{s_1 - d_e}{1 - \frac{f_t}{s_f}} = 166,83 \cdot \frac{0,032 - 0,012}{1 - \frac{0,0005}{0,007}}$$

$$A_z = 3,098 \text{ m}^2$$

Brzina tada glasi :

$$w = V_a / A_z = 16,146 / 3,098 = 5,21 \text{ m/s}$$

Nusseltov broj

$$Nu = C_1 \cdot Re^n \cdot (L / d_{ekv})^m$$

Ova jednadžba vrijedi za  $Re = 500 - 10\,000$ ;  $d_e = 9 - 16 \text{ mm}$ ;  $t = 233 - 313 \text{ K}$ ;  $s_f/d_e = 0.18 - 0.35$ ;  $s_1/d_e = 2 - 5$

Za trokutasti raspored cijevi vrijedi da je koeficijent prijelaza topline veći za 10%

Nusseltov i Reynoldsov broj se računaju za ekvivalentni promjer  $d_{eqv}$

$$d_{eqv} = \frac{2 \cdot (s_1 - d_e) \cdot (s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = \frac{2 \cdot (0,032 - 0,012) \cdot (0,007 - 0,0005)}{0,032 - 0,012 + 0,007 - 0,0005}$$

$$d_{eqv} = 0,00981 \text{ m}$$

Bezdimenzijske značajke tada iznose

$$Re = w \cdot d_{eqv} / v_a = 5,211 \cdot 0,00981 / 1,28391 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 3982$$

$$n = 0,45 + 0,0066 \left( \frac{L}{d_{eqv}} \right) = 0,45 + 0,0066 \cdot \left( \frac{0,336}{0,009811} \right)$$

$$n = 0,6760$$

$$m = -0,28 + 0,08 \cdot \left( \frac{Re}{1000} \right) = -0,28 + 0,08 \cdot \left( \frac{3982}{1000} \right)$$

$$m = 0,03858$$

$$C_1 = C_{1A} \cdot C_{1B}$$

$C_{1A}$  ovisi o omjeru  $L / d_{eqv}$ , koji iznosi 35,87 :

$$C_{1A} = 0,106415$$

$$C_{1B} = 1,36 - 0,24 \cdot \left( \frac{Re}{1000} \right) = 1,36 - 0,24 \cdot \left( \frac{3982}{1000} \right)$$

$$C_{1B} = 0,40424$$

$$C_1 = C_{1A} \cdot C_{1B} = 0,29702 \cdot 0,40424 = 0,04302$$

$$Nu = C_1 \cdot Re^n \cdot (L / d_{ekv})^m = 0,031607 \cdot 3982^{0,6867} \cdot (0,336 / 0,00981)^{0,07433}$$

$$Nu = 13,386$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\alpha_a = Nu \cdot \frac{\lambda}{s_f} = 13,386 \cdot \frac{0,02349}{0,007}$$

$$\alpha_a = 32,05 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Za trokutasti raspored koeficijent je 10 % veći

$$\alpha_a = 32,05 \cdot 1,1 = 35,252 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Zbog kondenzacije vlage iz zraka na plohama isparivača koeficijent je još veći.  
On se korigira izrazom :

$$\alpha_{aw} = \xi_w \cdot \alpha_a$$

$$\xi_w = 1 + 2500 \cdot (x_1 - x_s) / (t_1 - t_s) = 1 + 2500 \cdot (0,002 - 0,0015) / (-5 + 12,04)$$

$$\xi_w = 1,17745$$

$$\alpha_{aw} = \xi_w \cdot \alpha_a = 1,18786 \cdot 35,252 = 41,508 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prijaza topline u odnosu na unutarnji promjer cijevi:

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} \cdot \frac{A_f \cdot C_k \cdot E + A_{mt}}{A_{i1}}$$

$C_k = 1,00$  - koeficijent otpora kontakta cijevi i rebra

$$m_f = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{aw}}{f_t \cdot \lambda_f}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 41,508}{0,0005 \cdot 209}} = 28,185 / m$$

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

$$h_f = 0,5 \cdot 0,0062247 \cdot (2,8397 - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln(2,8397))$$

$$h_f = 0,015071$$

Za šahovski raspored cijevi  $s_1/2 < s_2$  :

$$A_f = s_1 = 0,032 \text{ m}$$

$$B_f = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2} = \sqrt{\left(\frac{0,032}{2}\right)^2 + 0,028^2} = 0,03225 \text{ m}$$

$$\rho_f = 1,27 \cdot \left(\frac{B_f}{d_e}\right) \cdot \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0,3} = 1,27 \cdot \left(\frac{0,03225}{0,0062247}\right) \cdot \sqrt{\frac{0,032}{0,03225} - 0,3} = 2,8397$$

$$E = \frac{\tanh(m_f \cdot h_f)}{m_f \cdot h_f} = \frac{\tanh(35,191 \cdot 0,01507)}{35,191 \cdot 0,01507} \quad \text{- korisnost rebra}$$

$$E = 0,9157$$

Konačno možemo izračunat koeficijent prijelaza topline

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} \cdot \frac{A_f \cdot C_k \cdot E + A_{mt}}{A_{i1}}$$

$$\alpha_{ai} = 41,508 \cdot \frac{0,3728 \cdot 1 \cdot 0,9157 + 0,035904}{0,031416}$$

$$\alpha_{ai} = 326 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ukupni koeficijent prijelaza na unutarnjoj površini topline iznosi

$$k_{e2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_0 \frac{1}{\beta} + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} = \frac{1}{\frac{1}{326} + 0,0005 \cdot \frac{1}{13,01} + 0,0000027 \cdot \frac{0,01}{0,011} + 0 + \frac{1}{930,7}}$$

$$k_i = 203,14 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Specifični toplinski tok iznosi

$$q_i = k_i \cdot \Delta t_m = 203,14 \cdot 7,83 = 1590 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Potrebna unutarnja površina isparivača

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = \frac{100\,000}{3501} = 62,86 \text{ m}^2$$

Tada konačna širina glasi

$$B = 3,684 \cdot 1590 / 1590 = 2,316 \text{ m}$$

Brzina zraka

$$w_f = \frac{V_a}{B \cdot H} = \frac{16,145}{3,316 \cdot 2,304} = 2,113 \text{ m/s}$$



### Pad tlaka na strani zraka

Jednadžba za šahovski raspored cijevi:

$$\Delta p = 0.233 \cdot i_r \cdot \left( \frac{s_2}{s_f - f_t} \right)^{0.42} \cdot (w \cdot \rho_a)^{1.8}$$

$$\Delta p = 0.233 \cdot 12 \cdot \left( \frac{0.028}{0.007 - 0.0005} \right)^{0.42} \cdot (2,113 \cdot 1,3131)^{1.8}$$

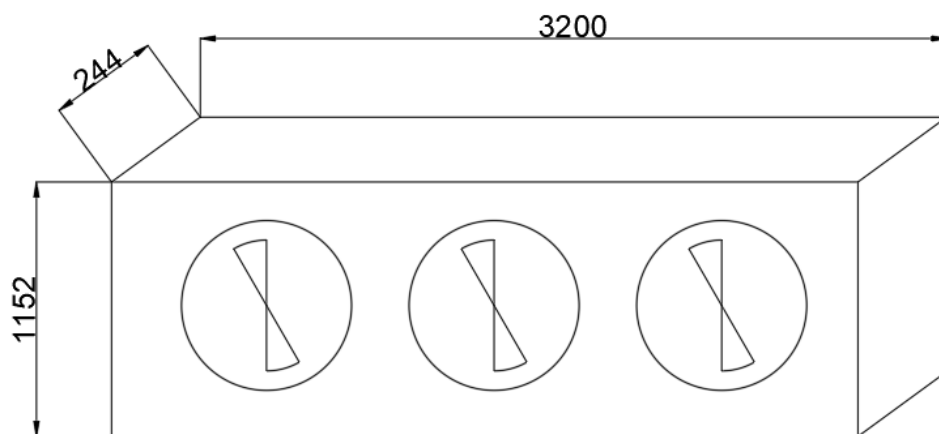
$$\Delta p = 32,409 \text{ Pa}$$

### Dimenzije isparivača:

$$B = 3,316 \text{ m}$$

$$H = 2,304 \text{ m}$$

$$L = 0,336 \text{ m}$$



Slika 19 Dimenzije isparivača

## TERMODINAMIČKI PRORAČUN REKUPERATORA

Maksimalan učin rekuperatora koje sustav može dati je određen stanjem i protokom pregrijanih para kroz sustav. Najkritičniji uvjeti za takav uređaj se dešavaju kada su temperature isparavanja najviše, jer je zbog toga protok tvari kroz rekuperator najveći. Također, većinu vremena rashladni sustav je podešen na temperaturu isparavanja  $-15^{\circ}\text{C}$  te se za to vrijeme zagrije većina projektne količine PTV-a. Protok radne tvari za koji se proračunava rekuperator je za najkritičniji trenutak, a to je kada sva 3 tunela za zamrzavanje rade u isto vrijeme. Pošto se ne smije dozvoliti pojava kondenzacije u rekuperatoru, potreban je sekundarni krug vode u kojem se temperatura vode u sekundarnom krugu preko troputnog ventila podešava da ne padne ispod temperature kondenzacije za zadani tlak kondenzacije. Tek onda se zagrijava PTV u spremniku.

$$\vartheta_i = -15^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{PP1} = 80,4^{\circ}\text{C} \quad \vartheta_{PP2} = 50^{\circ}\text{C} \quad \vartheta_{PPsr} = 65,2^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{PTV1} = 40^{\circ}\text{C} \quad \vartheta_{PTV2} = 50^{\circ}\text{C} \quad \vartheta_{PTVsr} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$q_{mRT} = 3 \cdot 0,6666 \text{ kg / s} \quad - \text{ protok radne tvari}$$

$$h_2 = 458,93 \text{ kJ / kg} \quad - \text{ ulazna entalpija RT u rekuperator}$$

$$h_3 = 421,57 \text{ kJ / kg} \quad - \text{ izlazna entalpija RT iz rekuperatora}$$

Iz podataka o protoku radne tvari i entalpiji izračunamo učin kojeg rekuperator mora moći isporučiti

$$\Phi_{rek} = q_{mRT} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$\Phi_{rek} = 3 \cdot 0,6666 \cdot (458,93 - 421,57)$$

$$\Phi_{rek} = 74,71 \text{ kW}$$

$$\Phi_{PTV} = \Phi_{rek} = 74,71 \text{ kW}$$

Svojstva vode, pri 45 °C

$$c_{pp} = 4200 \text{ J/kgK} \quad \rho_p = 958.4 \text{ kg/m}^3 \quad \eta_p = 278 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2 \quad \lambda_p = 0.682 \text{ W/mK}$$

Maksimalan protok vode kroz sustav

$$q_{mw} = \frac{\Phi_{rek}}{c_{pp} \cdot (\vartheta_{PTV2} - \vartheta_{PTV1})}$$

$$q_{mw} = \frac{74,71}{4,200 \cdot (50-40)}$$

$$q_{mw} = 1,778 \text{ kg/s}$$

Svojstva pregrijanih para, pri 65,2 °C

$$\rho_{sup} = 67,567 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{sup} = 0,018017 \text{ W/mK}$$

$$c_{sup} = 1196,8 \text{ J/kgK}$$

$$\eta_{sup} = 0,0000143 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$v_{sup} = 2,109 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

## KONSTRUKCIJSKI PARAMETRI

Cijevi:

$d_u = 18 \text{ mm}$	$d_v = 20 \text{ mm}$	- unutarnji i vanjski promjer cijevi
$s_1 = 25 \text{ mm}$	$s_2 = 25 \text{ mm}$	- razmaci cijevi u horizontalnom i vertikalnom smjeru
$\lambda_{Cu} = 358 \text{ W/mK}$		- toplinska vodljivost materijala cijevi ( Cu )
$t_s = s_1 / s_2 = 1$		- omjer hor. i ver. razmaka cijevi
$t_p = s_1 / d_v = 25 / 20 = 1,25$		- omjer udaljenosti i vanjskog promjera

Pretpostavljamo brzinu vode u cijevima da bi izračunali potreban broj cijevi

$$w_p = 0,5 \text{ m/s}$$

Iz toga izračunamo broj cijevi

$$n = \frac{4 \cdot m_p}{w_p \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot d_u^2} = \frac{4 \cdot 1,779}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 958,4 \cdot 0,018}$$

$$n = 14$$

$$n_p = 4 \quad \text{- broj prolaza}$$

$$n_c = 18 \quad \text{- odabran broj cijevi}$$

$$f_1 = 1,1 \quad \text{- pravokutni raspored cijevi}$$

promjer zamišljene kružnice koja opisuje snop cijevi:

$$OTL = \sqrt{f_1 \cdot n_c \cdot n_p \cdot s_1^2 + 0,022m \cdot n_c^{0,5} \cdot s_1} + d_v$$

$$OTL = 0,2478 \text{ m}$$

Pláš:

Uvjet za izbor plašta je da

$$D_u \geq OTL$$

Izabrana je bešavna cijev DN 250 x 6,3 mm

$$D_u = 254,4 \text{ mm}$$

$$D_v = 267 \text{ mm}$$

Sada pretpostavljamo specifični toplinski učinak rekuperatora:

$$q_e = 4000 \text{ W / m}^2$$

$$A_e = \frac{\Phi_{rek}}{q_e} \quad A_e = 18,6775 \text{ m}^2$$

$$A_e / A_i = 3 \quad \text{- omjer vanjske i unutarnje površine}$$

$$A_i = A_e / 3 = 6,685 \text{ m}^2$$

Duljina cijevi takvog izmjenjivača

$$L = \frac{A_i}{\pi \cdot d_u \cdot n_c \cdot n_p} = \frac{6,685}{\pi \cdot 0,018 \cdot 12 \cdot 2}$$

$$L = 1,641$$

ODABRANO: L = 1,7

Prijelaz topline na vanjskoj strani cijevi

$$n_{ekv} = 0,502 \cdot \pi^{0,5} \cdot n_c^{0,5} \cdot t_s^{0,5}$$

$$n_{ekv} = 3,7749$$

Ekvivalentna površina strujanja

$$A_s = n_{ekv} \cdot (s_1 - d_v) \cdot L$$

$$A_s = 0,0321 \text{ m}^2$$

$$q_{vRT} = \frac{m_{sup}}{\rho_{sup}} = \frac{2}{67,567} = 0,0296 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Tada brzina radne tvari među cijevima iznosi

$$w_{sup} = \frac{q_{vRT}}{A_s} = \frac{0,0296}{0,0321}$$

$$w_{sup} = 0,922 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj za RT

$$Re_{sup} = \frac{w_{sup} \cdot d_v \cdot \rho_{sup}}{\eta_{sup}} = 87128$$

Prandtlov broj za RT

$$Pr_{sup} = \frac{\eta_s \cdot c_{sup}}{\lambda_{sup}} = 0,9498$$

Nusseltov broj iznosi :

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} = 0,4 \cdot 87128^{0,6} \cdot 0,9498^{0,36}$$

$$Nu = 361.49$$

### Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani cijevi

$$\alpha_v = \frac{Nu_s \cdot \lambda_s}{d_v} = \frac{361,49 \cdot 0,018017}{0,02}$$

$$\alpha_v = 325,64 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

### Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani cijevi

#### Brzina vode u cijevima

$$w_p = \frac{4 \cdot m}{n_c \cdot d_u^2 \cdot \pi \cdot \rho_w} = 0,405 \text{ m/s}$$

#### Reynoldsov broj za strujanje vode

$$Re = \frac{w_p \cdot d_u \cdot \rho_w}{\eta_w} = \frac{0,405 \cdot 0,018 \cdot 958,54}{278 \cdot 10^{-6}} =$$

$$Re = 25135$$

#### Prandtllov broj za strujanje vode

$$Pr = \frac{\eta_w \cdot c_w}{d_u} = \frac{278 \cdot 10^{-6} \cdot 4200}{\lambda} = 1,712$$

#### Nussletov broj

$$Nu_p = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$Nu_p = 0,023 \cdot 31031^{0,8} \cdot 1,712^{0,4}$$

$$Nu_p = 94,49$$

### Koeficijent prijelaza topline na unutrašnjoj strani cijevi iznosi

$$\alpha_u = \frac{Nu_w \cdot \lambda_w}{d_u} = \frac{94,49 \cdot 0,682}{0,018}$$

$$\alpha_u = 3579 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

## Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{d_u}{2\lambda_c} \ln \frac{d_v + \frac{d_v}{\alpha_U}}{d_u}} = 295 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

## Potrebna površina za izmjenu topline

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_v = \vartheta_{su} - \vartheta_{pi} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\vartheta_m = \vartheta_{su} - \vartheta_{pi} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta\vartheta_1 - \Delta\vartheta_m}{\ln \frac{\Delta\vartheta_1}{\Delta\vartheta_m}} = 18,205 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_{e2} = \frac{Q_c}{k_v \cdot \Delta\vartheta} = \frac{92250}{180205 \cdot 295} = 23,911 \text{ m}^2$$

$$q_e = \frac{Q_c}{A_{e2}} = 3124 \frac{W}{m^2}$$

Takav uređaj će zagrijavati vodu u spremniku od 2000 L.

Vrijeme potrebno da zagrije vodu od 15 °C do 50 °C iznosi:

$$\tau_{ptv} = \frac{2000 \cdot 4,2 \cdot (50 - 15)}{92,25} = \frac{294\,000}{74,71} = 3935 \text{ s} \approx 66 \text{ min}$$

Nakon što se spremnik vode zagrije na traženu temperaturu, pregrijane pare se preusmjeravaju direktno prema kondenzatoru, gdje cijeli rashladni učinak preuzima kondenzator.

## PRORAČUN CJEVOVODA

Proračun se vrši da se odrede potrebni promjeri cjevovoda

**Radna tvar:** R449a

$q_m = 0,6666 \frac{kg}{s}$	- protok radne tvari kroz 1 isparivač
$w_u = 12 \frac{m}{s}$	- preporučena brzina u usisnom vodu
$w_t = 15 \frac{m}{s}$	- preporučena brzina u tlačnom vodu
$w_k = 0,8 \frac{m}{s}$	- preporučena brzina u kapljevinskom vodu
$\rho_u = 12,987 \frac{kg}{m^3}$	- gustoća radne tvari u usisnom vodu
$\rho_t = 59,880 \frac{kg}{m^3}$	- gustoća radne tvari u tlačnom vodu
$\rho_k = 1043,84 \frac{kg}{m^3}$	- gustoća radne tvari u kapljevinskom vodu

**Usisni vod:**

Protočni volumen:

$$q_{vu} = \frac{q_m}{\rho_u} = \frac{0,6666}{12,987} = 0,05133 \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_u = \frac{q_{vu}}{w_u} = \frac{0,05133}{12} = 4,2774 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot A_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,2774 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,07379 \text{ m} = 73,79 \text{ mm}$$

( odabrano DN 80 )



**Tlačni vod:**

$$q_{vt} = \frac{qm}{\rho_t} = \frac{0,6666}{59,880} = 0,01113 \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_t = \frac{q_{vt}}{w_t} = \frac{0,01113}{15} = 7,4215 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,4215 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,030739 \text{ m} = 30,74 \text{ mm}$$

( odabrano Cu 28x1.5 )

**Tlačni vod, ulaz u kondenzator:**

$$q_{vt} = \frac{qm}{\rho_t} = \frac{3 \cdot 0,6666}{59,880} = 0,033397 \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_t = \frac{q_{vt}}{w_t} = \frac{0,033397}{15} = 2,22645 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,22645 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,05324 \text{ m} = 53,24 \text{ mm}$$

( odabrano Cu 54x2 )

**Kapljevinski vod:**

Protočni volumen:

$$q_{vu} = \frac{3 \cdot qm}{\rho_u} = \frac{3 \cdot 0,6666}{1043,84} = 1,9158 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_u = \frac{q_{vu}}{w_u} = \frac{1,9158 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 2,3948 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot A_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,3948 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,05522 \text{ m} = 55,22 \text{ mm}$$

( odabrano Cu 64x2 )

## SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME

- 1. Kompresor:** vijčani kompresor za R449a
  - rashladnog učina  $\Phi_0 = 99,32 \text{ kW}$ ,  $\vartheta_i/\vartheta_k = -15 \text{ °C}/ 37 \text{ °C}$
  - snaga  $P = 44,74 \text{ kW}$
  - proizvodi: Frascold , tip: NRL2-60-210Ykom: 3
- 2. Iparivač:**
  - rashladnog učina  $\Phi_0 = 100 \text{ kW}$
  - $\vartheta_i = -15 \text{ °C}$kom: 3
- 3. Kondenzator:** s cijevima u plaštu
  - učin:  $\Phi_k = 435 \text{ kW}$
  - $\vartheta_k = 38 \text{ °C}$kom: 1
- 4. Sakupljač radne tvari**
- 5. Elektronski ekspanzijski ventil** kom: 6
  - kao proizvod: Danfoss; tip: ETS 6-30
- 6. Filter nečistoća**
  - kao proizvod Danfoss; tip: FIA 25-250kom: 6
- 7. Odvajač ulja**
  - volumen:
  - proizvodi:kom: 1
- 8. Zaporni ventil**
  - kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 50kom: 8
- 9. Elektromagnetski ventil**
  - proizvodi:kom: 3

## 10. Nepovratni ventil:

- kao proizvod: Danfoss; tip: NRV 22

kom: 3

## 11. Presostat niskog tlaka

- kao proizvod: Danfoss; tip: RT313

kom: 1

## 12. Presostat visokog tlaka

- kao proizvod: Danfoss; tip: RT32W

kom: 1

## 13. Pretvarač tlaka

- kao proizvod

kom: 1

## 14. Upravljački sklop

- kao proizvod

kom: 1

## 15. Sigurnosni ventil

- kao proizvod

kom: 3

## 16. Cijevi:

- DN 80                      32 m

- Cu 54x2                    3 m

- Cu 28x1.5                 3 m

## 17. Izolacija

- paneli, 200mm            proizvodi:

kol: 146 m<sup>2</sup>

- vrata, hladionička klizna    proizvodi:

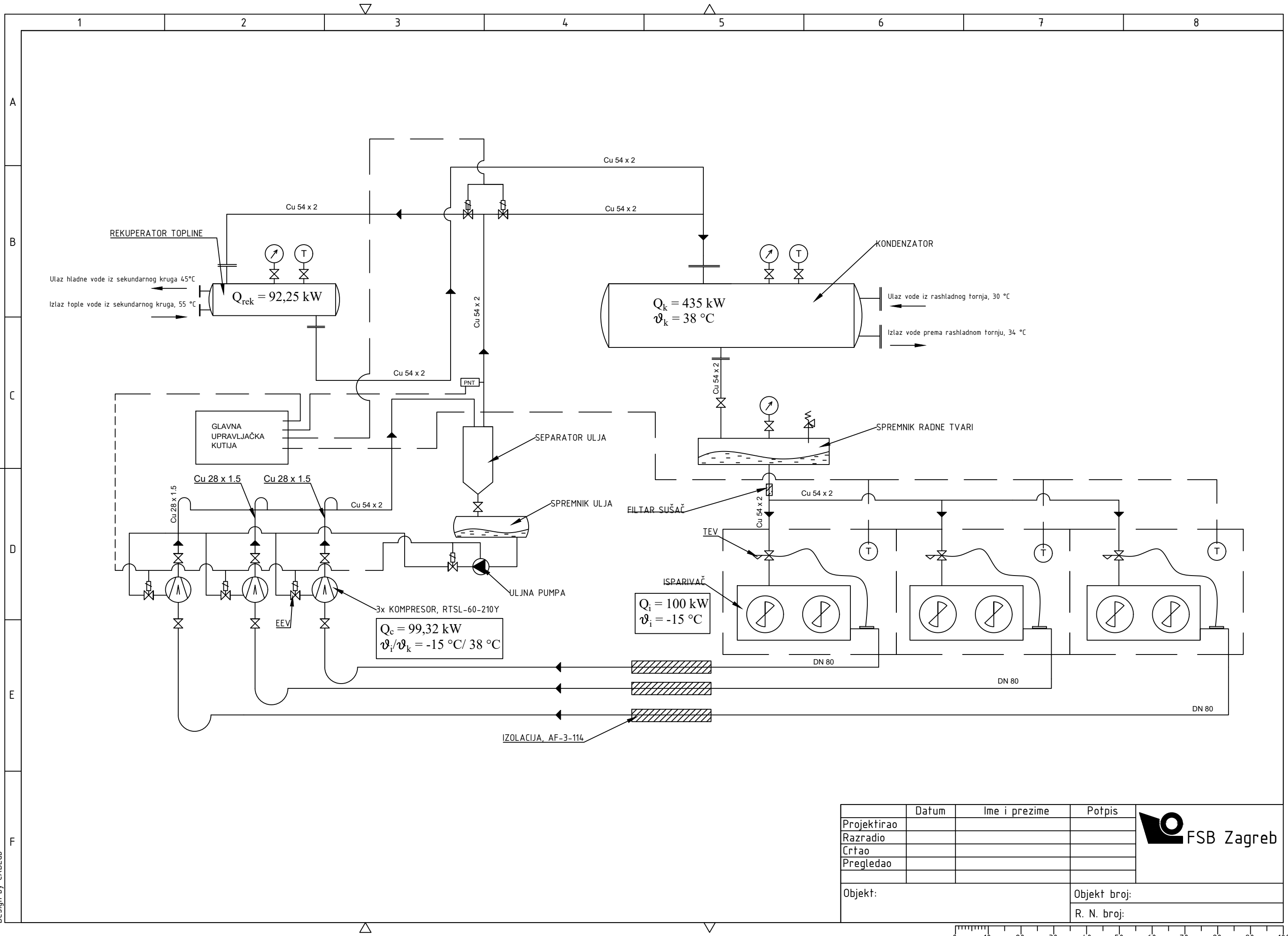
kom: 3

## ZAKLJUČAK

Cilj ovog zadatka je bio projektiranje rashladnog postrojenja za duboko smrzavanje ribe. Na početku rada su kratko opisane svrhe, ciljevi i metode smrzavanja i konstrukcije hladionica te metode izoliranja takvih prostora. Kao dio zadatka napravljeno je praćenje dinamike temperature i podešavanja po tome temperaturu isparavanja te iz tih podataka odabran optimalan kompresor. Nakon toga sljede proračuni komponenti sustava i dimenzioniranje istih, napravljeni po [2]. Odabrano je punjenje freonom R449a. Na kraju su navedene dodatne komponente potrebne za sustav i njihove količine.

## LITERATURA

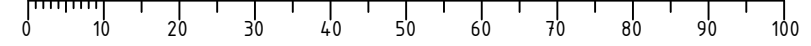
- [1] Soldo V, Ćurko T.: Podloge za predavanje Hlađenje i dizalice topline, Zagreb, 2011.
- [2] Ciconkov R.: Refrigeration solved examples, Skopje, 2001.
- [3] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2001.
- [4] Halasz B, Galović A, Boras I.: Toplinske tablice, Zagreb, 2007
- [5] V. Soldo: Podloge za predavanje Projektiranje rashladnih sustava
- [6] ASHRAE, Systems and Equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2000.
- [7] Programski paket Refrigerant Slider 4.1.0, Danfoss
- [8] Programski paket Frascold Selection Software 3 v1.9, 2014
- [9] [https://www.chemours.com/Refrigerants/en\\_US/products/Opteon/Stationary\\_Refrigeration/products/Opteon\\_XP40.html](https://www.chemours.com/Refrigerants/en_US/products/Opteon/Stationary_Refrigeration/products/Opteon_XP40.html)

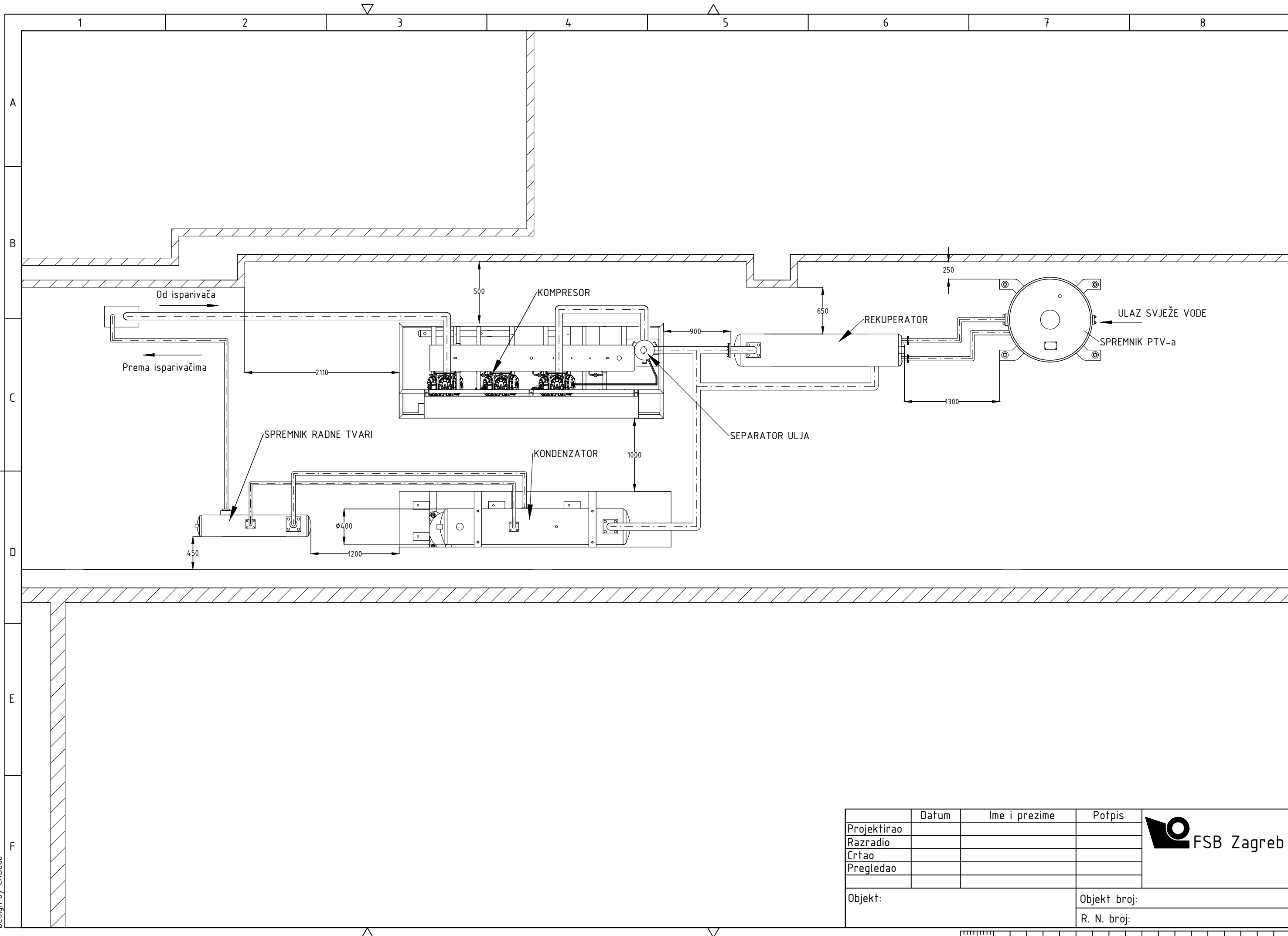


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao			
Razradio			
Crtao			
Pregledao			
Objekt:		Objekt broj:	
		R. N. broj:	



Design by CADLab





Design by CADLab

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao			
Razradio			
Crtao			
Pregledao			
Objekt:			Objekt broj:
			R. N. broj:

