Rashladne komore za hlađenje ribe

Stošić, Jure

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:183678

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Jure Stošić

Zagreb, 2015. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

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

Zagreb, 2015. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Vladimiru Soldi na pokazanom strpljenju i stručnoj pomoći pri izradi rada i odabiru literature.

Zahvaljujem se nekolicini prijatelja koji su mi uljepšali i olakšali studiranje.

Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji, naročito svojim roditeljima na ukazanom povjerenju, strpljenju i moralnoj podršci.

Jure Stošić

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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jure STOŠIĆ** Mat. br.: 0035187434

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Rashladne komore za hlađenje ribe**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Fish cold stores**

Opis zadatka:

Za potrebe hlađenja prostora za skladištenje svježe i smrznute ribe potrebno je projektirati amonijačno rashladno postrojenje. Sustav se sastoji od četiri rashladne komore. Postrojenje se nalazi na području grada Benkovca.

Rashladni prostori definirani su kako slijedi:
- tri komore za smrznutu ribu temperature hlađenja -20 °C, kapacitet svake komore 150.000 kg,
- tunel za zamrzavanje ribe kapaciteta 12.000 kg.

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 optočnom vodom.

Rad treba sadržavati:
1. Posebnosti rashladnih postrojenja za hlađenje ribe.
2. Proračun rashladnih kapaciteta pojedinih prostora.
3. Proračun komponenti rashladnog uređaja.
4. Shemu spajanja i automatske regulacije.
5. Dispozicijski crtež strojarnice.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4 . ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Dr. sc. Vladimir Soldo, izv. prof

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

POPIS SLIKA II
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE III
POPIS OZNAKA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1.UVOD 1
1.1 Posebnosti rashladnih postrojenja za hlađenje ribe 1
2. PRORAČUN RASHLADNOG UČINA HLADIONICE 10
2.1. Transmisijski gubitci 10
2.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda 18
2.3. Rashladno opterećenje zbog infiltracije zraka 19
2.4. Unutrašnje toplinsko opterećenje 21
3. PRORAČUN RASHLADNOG UČINA TUNELA ZA ZAMRZAVANJE 24
3.1. Transmisijski gubitci 24
3.2.Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda 31
4. PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA (R404A) 34
5. PRORAČUN KONDENZATORA (R404A) 38
6. PRORAČUN ISPARIVAČA (R404A) 46
7. PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA (R717) 57
8. PRORAČUN KONDENZATORA (R717) 60
9. PRORAČUN ISPARIVAČA (R717) 67
10. PRORAČUN CJEVOVODA 78
11.SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME (R404A) 84
12.SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME (R717) 87
ZAKLJUČAK 90
PRILOZI 92

POPIS SLIKA

Slika 1. Nosiva konstrukcija s vanjske strane 2
Slika 2. Nosiva konstrukcija s unutarnje strane 3
Slika 3. Neujednačena distribucija zraka u rashladnoj komori s prisilnim strujanjem zraka 4
Slika 4. Rashladna komora s prisilnim strujanjem zraka i razmakom između paleta i stropa .. 4
Slika 5. Rashladna jedinica izvan glavng prostora rashladne komore 5
Slika 6. Prikaz montažne rashladne komore u presjeku 5
Slika 7. Tlocrt hlađenih prostorija 10
Slika 8. Transmisijski gubitci „HLADIONICE 1“ kroz zidove, strop, pod i vrata 11
Slika 9. Slojevi stijenke zida 11
Slika 10.Slojevi poda 14
Slika 11. Tlocrt hlađenih prostorija 24
Slika 12. Transmisijski gubitci „TUNELA ZA ZAMRZAVANJE 1“ kroz zidove, strop, pod i vrata 25
Slika 13. Slojevi stijenke zida 25
Slika 14. Slojevi poda 27
Slika 15. Shema rashladnog uređaja (R404A) 34
Slika 16. h-x dijagram za određivanje temperature vlažnog termometra 34
Slika 17. T-s dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R404A 35
Slika 18. logp-h dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R404A 36
Slika 19. Kondenzator R404A 38
Slika 20. θ-A dijagram kondenzatora R404A 38
Slika 21. Dimenzije kondenzatora R404A 45
Slika 22. Isparivač R404A 46
Slika 23. θ-A dijagram isparivača R404A 46
Slika 24. Prikaz konstrukcijskih parametara R404A 47
Slika 25. Dimenzije isparivača R404A 56
Slika 26. Shema rashladnog uređaja (R717) 57
Slika 27. logp-h dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R717 58
Slika 28. Kondenzator (R717) 60
Slika 29. θ-A dijagram kondenzatora (R717) 60
Slika 30. Dimenzije kondenzatora (R717) 66
Slika 31. Isparivač (R717) 67
Slika 32. θ-A dijagram isparivača 67
Slika 33. Prikaz konstrukcijskih parametara 68
Slika 34. Dimenzije isparivača (R717) 77

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

0035187434-001	Shema spajanja i automatske regulacije
0035187434-002	Shema spajanja i automatske regulacije
0035187434-003	Dispozicijski crtež strojarnice
0035187434-003	Dispozicijski crtež strojarnice

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ	W	Toplinski tok
A	m^2	Površina plohe
Θ	°C	Temperatura
U	$W/(m^2K)$	Koeficijent prolaza topline
I	h^{-1}	Broj izmjena zraka
ρ	kg/m^3	Gustoća
c	J/(kgK)	Specifični toplinski kapacitet
h	kJ/kg	Entalpija
ϕ	%	Relativna vlažnost zraka
s	kJ/(kgK)	Entropija
q_m	kg/s	Maseni protok
P	W	Električna snaga
w	m/s	Brzina
q	W/m^2	Gustoća toplinskog toka
k	$W/(m^2K)$	Koeficijent prolaza topline
p	Pa	Tlak
δ	m	Debljina stjenke cijevi
λ	W/(mK)	Koeficijent toplinske provodnosti
τ	h	Vrijeme
μ	Pa s	Dinamički viskoznost
ν	m^2/s	Kinematčka viskoznost
ξ	[-]	Faktor trenja
Ψ_c	[-]	Koeficijent

SAŽETAK

Tunel za duboko zamrzavanje ribe je važan element u proizvodnji ribljih prerađevina. Riba se zamrzava velikom brzinom uslijed intenzivnog strujanja zraka i niskih temperatura na isparivaču, a vrijeme trajanja smrzavanja je sat po toni. U projektiranom tunelu za zamrzavanje temperatura isparavanja radne tvari iznosi -42°C. Riba koja ulazi u tunel je prethodno ohlađena prilikom transporta na temperaturu 1°C. Ovakav način tretiranja ribe, tzv. „šok smrzavanje“ osigurava visoku kakvoću ribljih prerađevina zbog formiranja malih kristala koji ne probijaju opne tkiva. Uvjeti u tunelu se osiguravaju pomoću dva isparivača ukupnog učina 98 kW. Korištena radna tvar je amonijak, a ovako niske temperature isparavanja osiguravaju se dvostupanjskom kompresijom i dvostupanjskim prigušenjem. Nakon što se postupak smrzavanja završi, riba se transportira u rashladne komore. Rashladne komore su bitne za očuvanje postignute kvalitete uslijed prethodnih procesa. Temperatura isparavanja radne tvari u komorama za zamrzavanje je -32°C. Uvjeti u komorama osigurani su pomoću dva isparivača ukupnog učina 36 kW. Radna tvar je R404A. U uvodnom djelu rada ukratko su opisane izvedbe rashladnih komora, načini smrzavanja i skladištenja te utjecajni faktori na kvalitetu ribe. Također je napravljen proračun učinka hladionica i tunela za zamrzavanje i tehnički proračun komponenti obaju sustava. Na kraju su prikazane sheme spajanja i automatske regulacije te dispozicijski crtež strojarnice za oba sustava.

Ključne riječi: rashladne komore, tunel za zamrzavanje, toplinsko opterećenje

SUMMARY

Deep freezing tunnel is very important elemement in fishery production. The fish is frozen rapidly due to intense air flow and low temperatures on the evaporator. The duration of freezing is an hour per tonne. The projected evaporation temperature of the refrigerant in deep freezing tunnel is -42°C. The fish that is entering the tunnel is previously cooled during transport to the temperature of 1°C. This way of handling the fish, called. "shock freezing" ensures high quality of fishery products due to the formation of small crystals that do not harm the membrane of tissue. Tunnel conditions are provided with two evaporators at total output of 98 kW. Used refrigerant is ammonia, and thus low evaporation temperature is ensured with two-stage compression and two-stage damping. After the freezing process is complete, the fish is transported to the cold stores. Cold stores are important for the conservation of the quality achieved in the previous process. Evaporation temperature of refrigerant in freezers is -32 ° C. Conditions in stores are ensured with two evaporators at total output of 36 kW. Refrigerant is R404A. In the introduction are summarized types of cold stores, freezing and storage methods and the influencing factors on the quality of the fish. Also is made estimation of cooling load for cold stores and deep freezing tunnel and estimation of technical components for both systems. Finally are presented schemes of connection and automatic control and disposition drawing of engine room for both systems

Key words: cold stores, deep freezing tunnel,heat load

1.UVOD

1.1 Posebnosti rashladnih postrojenja za hlađenje ribe

Uporaba leda

Uslijed djelovanja bakterija i enzima riba gubi na kvaliteti. Pravilnim odabirom temperature skladištenja značajno usporavamo nepovoljno djelovanje bakterija i enzima te sprječavamo kvarenje i krvarenje ribe. Niske temperature su naročito dobre za spriječavanje rasta psihrofilnih bakterija koje su prvenstveno odgovorne za kvarenje nemasne ribe. Led za smrzavanje ribe mora održavati temperaturu oko točke smrzavanja ribe. Dodavanjem soli u vodu za pripravu leda, temperatura smrzavanja leda se snizuje. Adekvatna uporaba leda i pridržavanje sanitarnih propisa osigurava visoku kvalitetu i svježinu ribe od njenog dostavljanja u pogon za preradu, preko postupaka obrade do samog skladištenja. Bez obzira na to je li dostavljena riba visoke kvalitete, ako neki od uvjeta nisu zadovoljeni dolazi do brzog kvarenja ribe.

Postrojenja na kopnu

-Oblik i veličine

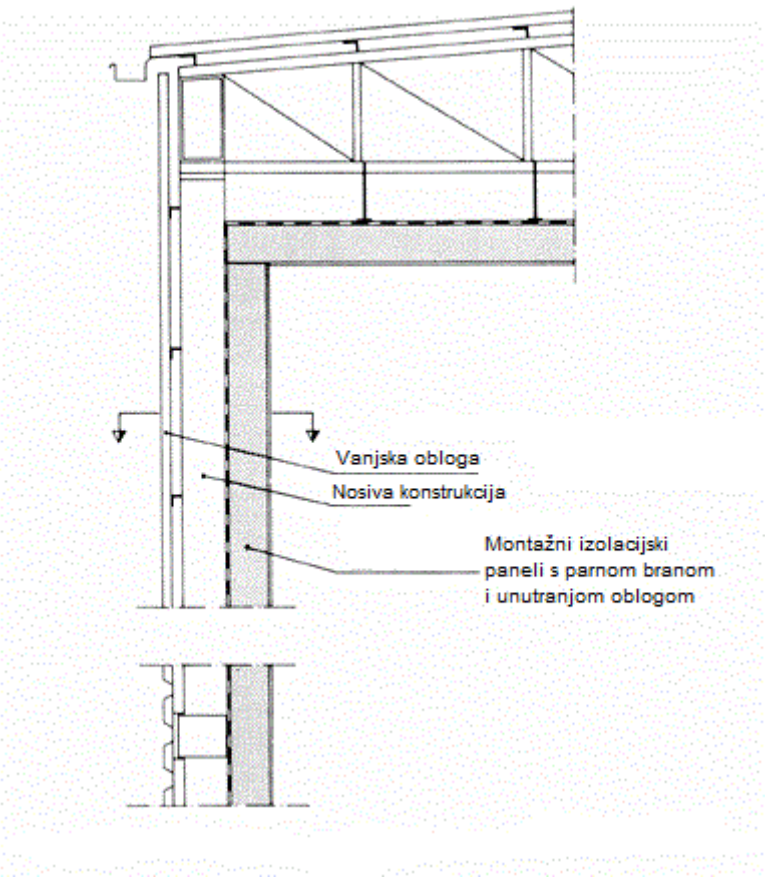
Rashladna postrojenja se gledano na konstrukciju mogu podijeliti na prizemna i višekatna. Dugo vremena najprikladniji oblik je bio oblik kocke za koju je omjer površine i volumena najmanji. Osim toga troškovi zemljišta na kojem je smješteno postrojenje je također jedan od bitnijih čimbenika, pogotovo ako se nalazi u urbanoj sredini. To je rezultiralo postrojenjima na više katova koja imaju brojne mane, skupi temelji, masivni zidovi. Takva se danas grade samo u pretrpanim ili skupim lukama i najčešće nemaju više od dva kata. Prizemna rashladna postrojenja se mogu jednostavno iskonstruirati kako bi se zadovoljili zahtjevi za rukovanjem i smještajem opreme. Konstrukcija zidova i stropova može biti lakše izvedbe. Glavni nedostatak je zauzimanje relativno velike površine i velik omjer površina i volumena. Većina europskih i američkih postrojenja izgrađenih u zadnjih 20 godina su prizemna.

-Općeniti raspored

Prizemna postrojenja imaju relativno jednostavan raspored. Ovisno o veličini mogu imati jednu prostoriju ili mogu biti podijeljena u više prostorija. Većina je uzdignuta iznad tla sa posebnim tovarnim rampama. Visina rampi je određena prema visini najčešće korištenih vozila. Strojarnice bi bilo najbolje smjestiti što bliže rashladnoj opremi, ali to stvara problem prilikom proširenja pogona. Strojarnice se najčešće smještaju na mjesta na krajevima postrojenja za koja se pretpostavlja da neće predstavljati problem u slučaju proširenja pogona. Alternativa je također smještaj strojarnice odvojeno od kompleksa rashladnog postrojenja. Tuneli za zamrzavanje se raspoređuju na način da su ulazna vrata tunela i utovarna platforma direktno povezani ili da se nalaze u blizini komora za smrznute proizvode kako bi se smanjili toplinski gubitci.

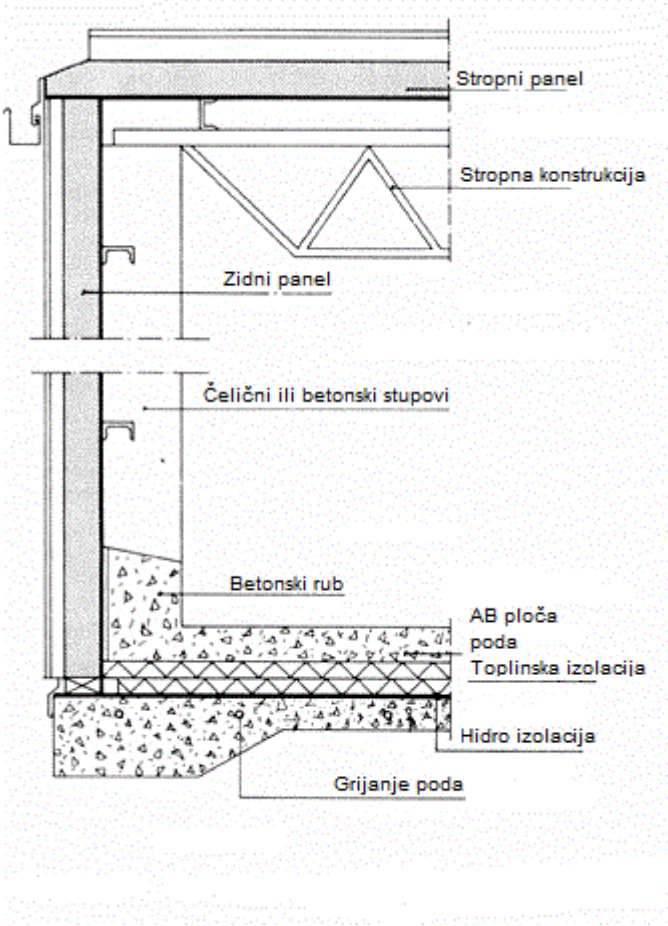
-Konstrukcijske metode

Velika ili srednje velika prizemna moderna postrojenja su većinom motorizirana korištenjem viličara i dizalica za slaganje, dok kod manjih postrojenja to nije slučaj. Rashladna postrojenja su nekad bila građena kao obične građevine gdje se koriste konvencionalni građevinski materijali, poput cigle, betona ili betonske sekcije ispunjene parnim branama i izolacijom. Moderni izolacijski materijali, posebno poliuretan koji se koristi u izvedbi panela koji su primjereni za sve veličine rashladnih postrojenja od 20 m^3 do 250 000 m^3. Izolacijski paneli su tvornički proizvode s parnom branom i unutarnjim oblogama što znatno smanjuje vrijeme montaže. Postoje dva osnovna principa za izgradnju rashladnih postrojenja panelima. U jednom slučaju nosiva konstrukcija se nalazi s vanjske strane, a zidna izolacija s oblogom se nalazi unutar nosivih stupova i izolacija stropa visi s vanjske konstrukcije kao što je prikazano na Slici 1. 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. Dekorativne vanjske obloge su obješene na vanjskoj strani konstrukcije. Krovna izolacija je izvedena kao spušteni strop. Strop paneli su u osnovi isti kao i zidni paneli, ponekad znaju biti opremljeni drvenim okvirima.



Slika 1. Nosiva konstrukcija s vanjske strane

Zidni paneli su fiksirani za konstrukciju s posebnim vijcima. Stropni paneli su obješeni za vanjsku krovnu konstrukciju s posebnim šipkama. Po pitanju stropnih panela posebnu brigu treba voditi o mjestima gdje šipke prolaze kroz parnu branu. U drugom slučaju prikazanom na Slici 2. nosiva konstrukcija je smještena u hlađenom prostoru. Paneli korišteni u ovom slučaju su isti kao i u prethodnom samo u ovom slučaju parna brana ima estetsku funkciju i funkciju zaštite od vremenskih uvjeta. Zadnje otkriće su paneli s rebrastim profilima od aluminija na vanjskoj strani ispunjeni poliuretanskom izolacijskom pjenom i nisko profilnim krutim aluminijem na unutarnjoj strani. Oni su uglavnom većih dimenzija i postavljaju se uz pomoć malih mobilnih dizalica.

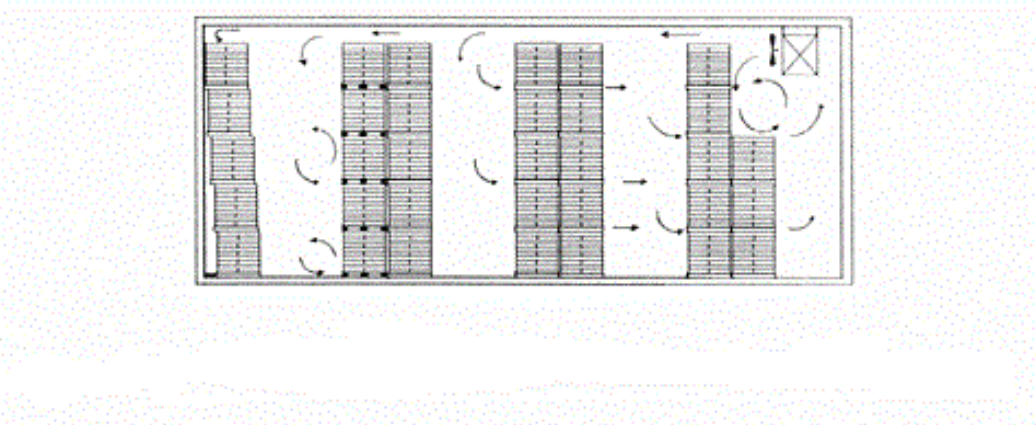


Slika 2. Nosiva konstrukcija s unutarnje strane

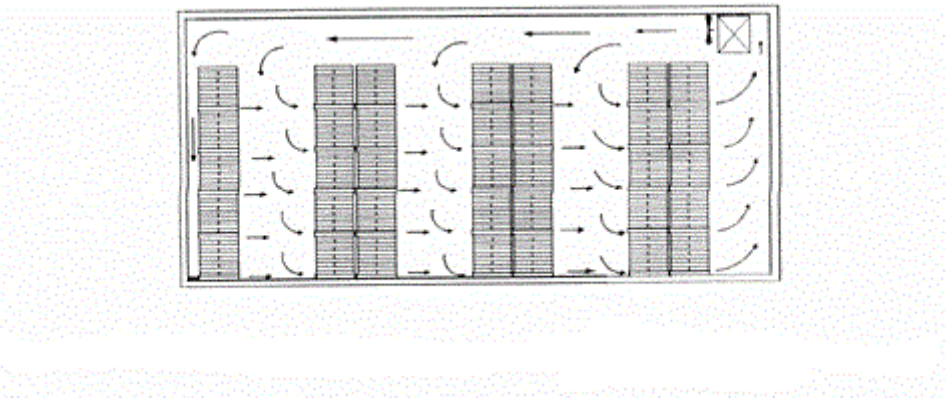
-Vrste rashladnih komora

Komore s rashladnim jedinicama. Najraširenija metoda hlađenja rashladnih komora je uz pomoć rashladnih jedinica s ventilatorima konstruiranima tako da osiguravaju dobru cirkulaciju zraka. Ove vrste rashladnih uređaja su najjeftinije za ugradnju,

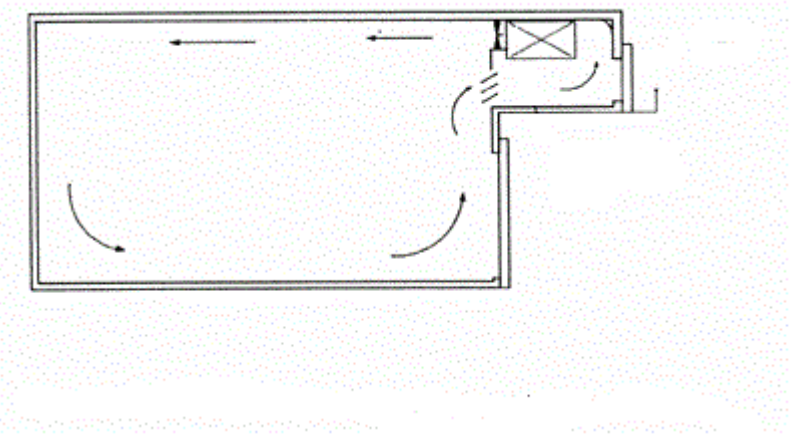
sadržavaju relativno malu količinu radne tvari, mogu se vrlo brzo odmrznuti bez previše utjecaja na uvjete u komori i ne zahtijevaju posebne izvedbe konstrukcija za postavljanje. Glavni nedostatak ovakvog načina hlađenja je neujednačena distribucija zraka kroz komoru. To dovodi do loših uvjeta za skladištenje gdje je strujanje zraka previsoko ili prenisko (Slika 3). Postavljanjem rashladne jedinice uz strop (Slika 4.) ili postavljanjem rashladne jedinice izvan komore (Slika 5.) i postavljanjem paleta na način da se osigura razmak između stropa i palete, može se postići ujednačeno strujanje zraka.



Slika 3. Neujednačena distribucija zraka u rashladnoj komori s prisilnim strujanjem zraka



Slika 4. Rashladna komora s prisilnim strujanjem zraka i razmakom između paleta i stropa

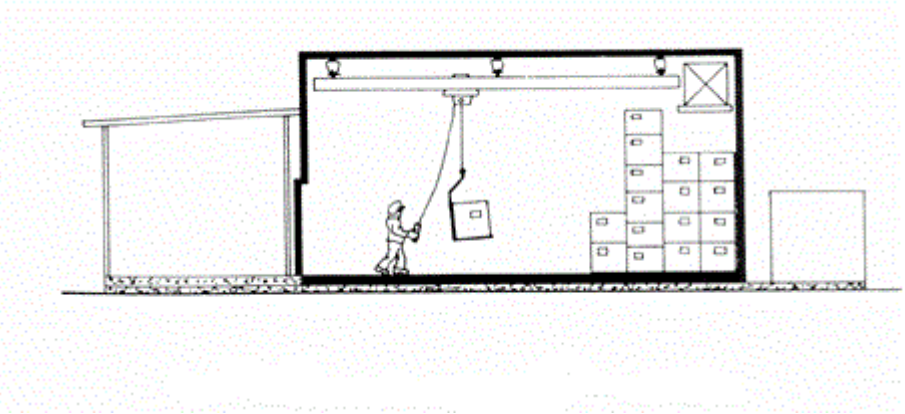


Slika 5. Rashladna jedinica izvan glavng prostora rashladne komore

Veći broj manjih rashladnih jedinica je bolji od jedne velike rashladne jedinice iz više razloga. Više rashladnih jedinica daje sigurnost u slučaju otkazivanja neke od jedinica. Projektna temperatura u hladionici se može održavati bez potrebe za pogonom svih rashladnih jedinica, pod pretpostavkom da nema dodatnih visokih rashladnih opterećenja od strane proizvoda i da se komora ne otvara prečesto.

-Montažne rashladne komore

Osim montažnih panela i ostalih montažnih elemenata na rashladnim komorama, postoje i montažne rashladne komore. Montažne rashladne komore su opremljene zidnim i stropnim panelima, tovarnom rampom i rashladnim elementima. Jedino je potrebno napraviti betonsku ploču na koju će se postaviti rashladna komora. Prikaz montažne klima komore u presjeku sa stropnom dizalicom Slika 6.



Slika 6. Prikaz montažne rashladne komore u presjeku

-Distribucija hladnog zraka

Zrak u hladnjačama prenosi toplinu konvekcijom. Konvekcija može biti prirodna, kad se zrak giba uslijed razlike u gustoći ili prisilna, kad je strujanje zraka uzrokovano ventilatorom. Hlađenje se provodi pomoću dva osnovna tipa isparivača, isparivači s prirodnim strujanjem zraka i s prisilnim strujanjem zraka. Prednosti isparivača s prirodnim strujanjem su održavanje visoke razine relativne vlažnosti i niske brzine strujanja. Ove prednosti poništavaju nedostatci kao što su otežano odmrzavanje, koje bi ujedno bilo i otežano izvesti. Nadalje, nisu namijenjena za slučajeve kad imamo visoka toplinska opterećenja od proizvoda**.** Danas se oni rijetko koriste. Isparivači s prisilnim strujanjem zraka mogu biti postavljeni unutar same komore ili u neki vanjski odjeljak gdje se kroz dobavni kanal uz pomoć ventilatora distribuira zrak. Uobičajeni smještaj isparivača za veće komore je unutar komore, dok je za manje uobičajeni vanjski smještaj. Prisilno nastrujavani zrak omogućuje veće rashladne kapacitete zbog velikih koeficijenata prijelaza topline. Isparivači s prisilnim strujanjem zraka su uglavnom manjih dimenzija i na sebi imaju ventilator te se lako smještaju u komoru. Prednosti ovih rashladnih jedinica su mali instalacijski troškovi i jednostavno održavanje.

Metode smrzavanja

-Hladionice s intenzivnim strujanjem zraka

Hladionice s intenzivnim strujanjem zraka za hlađenje ribljih proizvoda su uglavnom manje prostorije ili tuneli u kojima ventilatori distribuiraju preko isparivača po proizvodima hladan zrak te dolazi do smrzavanja proizvoda koji se nalaze na policama ili na raznim postoljima. Statički tlak u ovim prostorijama je prilično velik, a prosječna brzina strujanja zraka se kreće od 2.5 m/s do 7.5 m/s. Brzine strujanja zraka između 2.5 m/s i 5 m/s ostvaruju najekonomičnije hlađenje. Niže brzine strujanja usporavaju proces smrzavanja, dok veće brzine strujanja zraka značajno povećavaju pogonske troškove. Neki pogoni za duboko smrzavanje imaju transportnu traku koja kontinuirano transportira ribu kroz tunel ili prostoriju, ovisno o izvedbi.

Postoji nekoliko izvedbi ovih hladnjača:

-jednoprolazne

-više prolazne

-pomične trake

-spiralne izvedbe

Vrsta izvedbe ovisi o vrsti i količini proizvoda, dostupnom prostoru za smještaj opreme, investicijskim i pogonskim troškovima hladionice. Konvejeri u hladionicama za duboko smrzavanje se koriste za smrzavanje ribe prije pakiranja.

-Pločasto smrzavanje

Kod pločastog smrzavanja radna tvar prolazi kroz povezane kanale u horizontalnim pomičnim pločama, koje su vertikalno složene u izoliranim prostorijama. Pločasti hladnjak ima široku primjenu u smrzavanju ribljih proizvoda u potrošačkim ili osnovnim paketima od 2 i 5 kg. Da bi riba bila smrznuta na ovakav način moramo ju adekvatno složiti kako bi smanjili zrakom ispunjen prostor. Riba složena u pakete slaže se na police hladnjaka. Pločasti hladnjaci omogućuju brzo smrzavanje pakiranih ribljih proizvoda. Vrijeme smrzavanja i energija potrebna za smrzavanje zapakiranih ribljih štapića su veći nego kod smrzavanja ribljih fileta zbog otpora zraka prijenosu topline unutra paketa.

-Zamrzivanje uranjanjem

Uranjanje u hladnu slanu vodu bila je jedna od prvih metoda za brzo smrzavanje ribljih proizvoda. Mnogobrojni strojevi za direktno uranjanje konstruirani su za cijelu ili filetiranu ribu. Ovi strojevi su bili neprikladni za zapakirane riblje proizvode, koji ujedno čine najveći dio proizvodnje smrznutih ribljih proizvoda, te su zamijenjeni drugim metodama poput hlađenjem zrakom, kontaktnim hlađenjem ili njihovom kombinacijom.

-Kontaktni hladnjaci

Riba se smješta na pokretnu traku od nehrđajućeg čelika koja se polako giba kroz tunel, gdje se smrzava ne samo u struji zraka nego i direktnim kontaktom trake konvejera i ploče kroz koju struji tanak sloj glikola. Osim glikola kroz ploče može strujiti amonijak. Ovakva tehnika smrzavanja proizvoda omogućuje minimalnu razliku temperature između proizvoda i radne tvari.

Skladištenje smrznute ribe

Riblji proizvodi mogu pretrpjeti nepovoljne promjene okusa, mirisa, izgleda i teksture za vrijeme skladištenja. Ove promjene su uzrokovane kaliranjem ribe, oksidacijom ulja ili pigmenata i aktivnošću enzima. Obujam ovih promjena ovisi o:

-vrsti ribe

-postojanosti uvjeta u hladionici (temperatura, vlažnost)

-kvaliteti materijala za pakiranje

-Uvjeti skladištenja

Temperatura. Gubitak kvalitete smrznute ribe prilikom skladištenja prvenstveno ovisi o temperaturi i periodu skladištenja. Riba skladištena pri temperaturi od -29°C ima rok trajanja od preko godinu dana. Preporučena temperatura skladištenja prema kanadskim standardima iznosi -26°C ili niže, dok japanski standardi zahtijevaju -30°C. IIR predlaže temperaturu skladištenja od -18°C za nemasnu ribu, a za masnu -24°C. Za skladištenje nemasne ribe na period duži od godine dana preporučuje se temperatura od -30°C. Skladištenje pri temperaturi iznad -23°C, bez obzira radi li se o skladištenju na kratko vrijeme, uzrokuje brz pad kvalitete proizvoda. Stalno održavanje temperature skladištenja ispod -26°C smanjuje oksidaciju, dehidraciju i enzimatske promjene,a samim time produljuje rok trajanja proizvoda. Izračunato je da su ukupni proizvodni troškovi rashladnih komora pri −30°C za samo 4% veći nego u slučaju proizvodnje pri −20°C, iako će pogonski troškovi biti viši s povećanjem dotičnog postotka.

Proizvod	**Rok trajanja u mjesecima**		
	- 18°C	**- 24°C**	**- 30°C**
Masna riba (glazirana)	5	9	> 12
Nemasna riba (fileti)	9	12	24
Iverak	10	18	> 24

Tablica 1. Rok trajanja ribljih proizvoda

Vlažnost. Visoka relativna vlažnost u hladionicama smanjuje dehidraciju proizvoda. Relativna vlažnost zraka u hlađenoj prostoriji je direktno uvjetovana s temperaturnom razlikom između temperature isparivača i temperature zraka u hladionici. Velika temperaturna razlika smanjuje relativnu vlažnost i ubrzava proces kaliranja, dok je u slučaju manjih temperaturnih razlika suprotno. Relativna vlažnost u hladionicama s proizvodima je 10 do 20% viša od praznih hladionica zbog konstantnog ishlapljivanja vlage iz proizvoda.

-Pakiranje i glaziranje

Adekvatno pakiranje ribljih proizvoda jako je bitno u sprječavanju procesa kaliranja i opadanja kvalitete. Postupak glaziranja može se izvesti uranjanjem ribe u vodu ili prskanjem vode po ribi s ciljem stvaranja glazure. Glazura djeluje kao zaštitni premaz koji sprječava dva glavna uzroka kvarenja proizvoda: dehidracija i oksidacija. Dehidracija je spriječena jer glazura onemogućuje da vlaga napusti proizvod, dok je oksidacija spriječena jer ne postoji direktan kontakt između proizvoda i zraka.

-Faktori koji ograničavaju rok trajanja

Proteinske promjene. Riblji proteini postaju trajno promijenjeni tijekom smrzavanja i hladnog skladištenja, brzina pri kojoj se odvija ova denaturacija prvenstveno ovisi o temperaturi. Pri temperaturama ne puno nižim od temperature smrzavanja, na primjer −2°C, ove promjene se odvijaju jako brzo. Čak i na temperaturama od −10°C ove promjene su tako brze da mogu uzrokovati kvarenje ribe koja je na početku bila visoke kvalitete u svega nekoliko tjedana. Ovi procesi se mogu usporiti osiguravanjem što nižih temperatura u hladionici.

Promjene masti. Masna riba se može nepoželjno promijeniti za vrijeme hladnog skladištenja, ali se može zaštiti glaziranjem ili adekvatnim pakiranjem u vakuumirane plastične vrećice.

Promjene boje. Kvaliteta ribe se najčešće procjenjuje na temelju izgleda i promjene boje mogu uzrokovati degradaciju ribe. Promjene u tijelu ribe koje pridonose promjeni boje također mogu biti usporene nižim temperaturama.

Dehidracijske promjene. Dehidracija proizvoda sigurno je jedna od najvećih briga proizvođača i količina isušivanja proizvoda može biti povezana s brojnim faktorima u konstrukciji hladnjače i proizvodnji. Kad riba dehidrira u hladionici njena površina postane suha, spužvasta i tamna. S vremenom ove promjene prodiru sve dublje i dublje. Ove promjene su nepoželjne jer riba gubi na masi. Kaliranje također ubrzava proces denaturacije proteina i oksidaciju kod masnih riba.

Rok trajanja ribljih proizvoda može se produžiti korištenjem sljedećih postupaka:

- Za postupak smrzavanja odabirati samo visoko kvalitetnu ribu

- Korištenje materijala za pakiranje koji su nepropusni za vlagu i paru, te uska pakiranja priljubljena za proizvod

- Smrzavanje ribe odmah nakon postupka obrade ili pakiranja

- Glaziranje smrznute ribe prije pakiranja

- Stavljanje ribe u hladionicu odmah nakon smrzavanja i glaziranja ako je potrebno

- Skladištenje ribe pri -26°C ili niže

- Obnavljanje glazure po potrebi

2. PRORAČUN RASHLADNOG UČINA HLADIONICE

2.1. Transmisijski gubitci

Osjetna toplina, odnosno toplinski tok dobiven kroz zidove, vrata, pod i strop

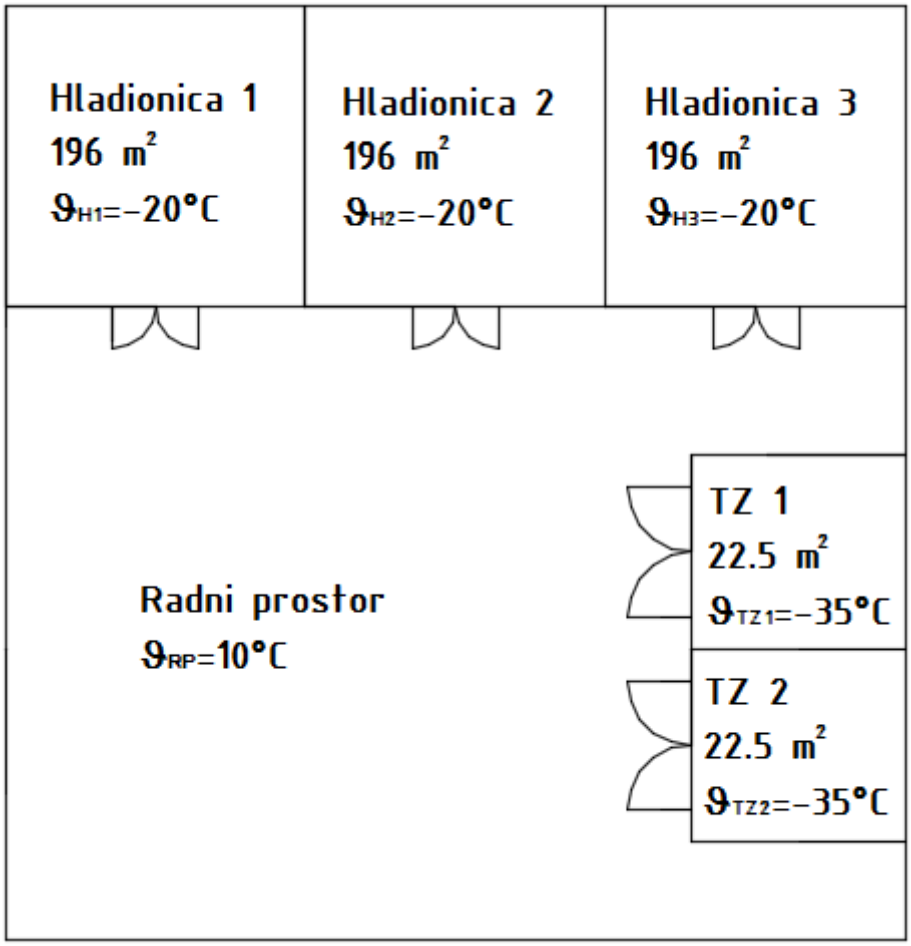
$$\emptyset_{tr} = k \cdot A \cdot \Delta\theta$$

$\emptyset_{tr}$ (kW) - toplinski tok

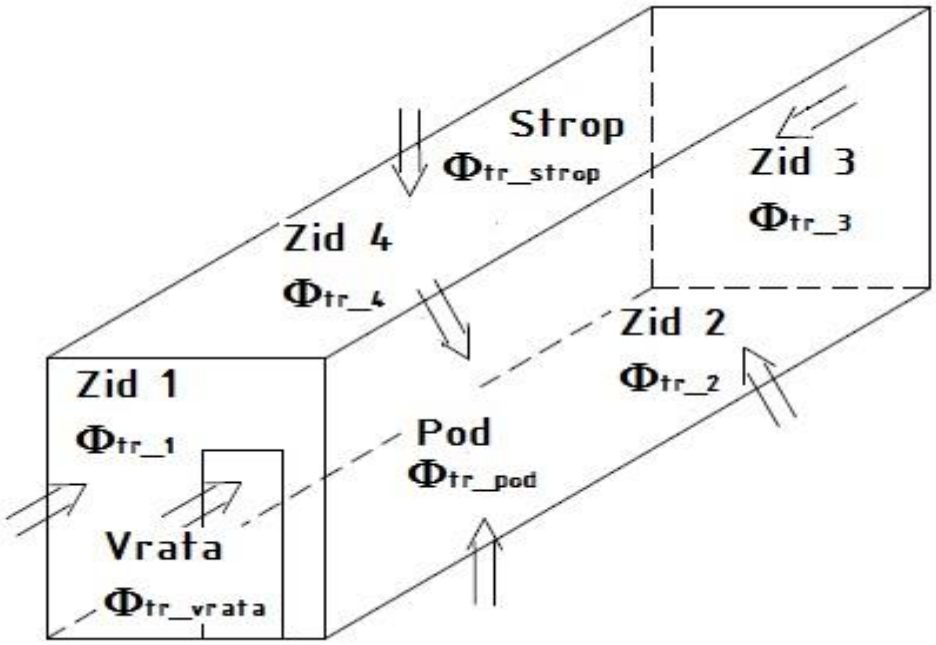
k $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ - ukupni koeficijent prolaza topline

A (m^2) - vanjska površina izolacijskih panela

$\Delta\theta$ $(^{\circ}C)$ - razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora



Slika 7. Tlocrt hlađenih prostorija



Slika 8. Transmisijski gubitci „HLADIONICE 1“ kroz zidove, strop, pod i vrata

Ukupni koeficijent prolaza topline zida,vrata, poda i stropa računa se prema izrazu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}}$$



Slika 9. Slojevi stijenke zida

x (m) - debljina zida, stropa ili poda

λ $\left(\frac{W}{m\cdot K}\right)$ - koeficijent toplinske vodljivosti izolacijskih panela

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

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

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

$\alpha_o = 18$ $\left(\frac{W}{m^2\cdot K}\right)$ - za srednji intenzitet vjetra

ZIDOVI

$\lambda_1 = 50$ $\left(\frac{W}{m\cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\lambda_2 = 0.024$ $\left(\frac{W}{m\cdot K}\right)$ - ekspandirani poliuretan

$\lambda_3 = 50$ $\left(\frac{W}{m\cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$x_{1zid} = 0.0005$ (m)

$x_{2zid} = 0.140$ (m)

$x_{3zid} = 0.0005$ (m)

$$k_{zid} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1zid}}{\lambda_1} + \frac{x_{2zid}}{\lambda_2} + \frac{x_{3zid}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.140}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{zid} = 0.168\ \frac{W}{m^2\cdot K}$$

STROP

$x_{1strop} = 0.0005 \ (m)$

$x_{2strop} = 0.200 \ (m)$

$x_{3strop} = 0.0005 \ (m)$

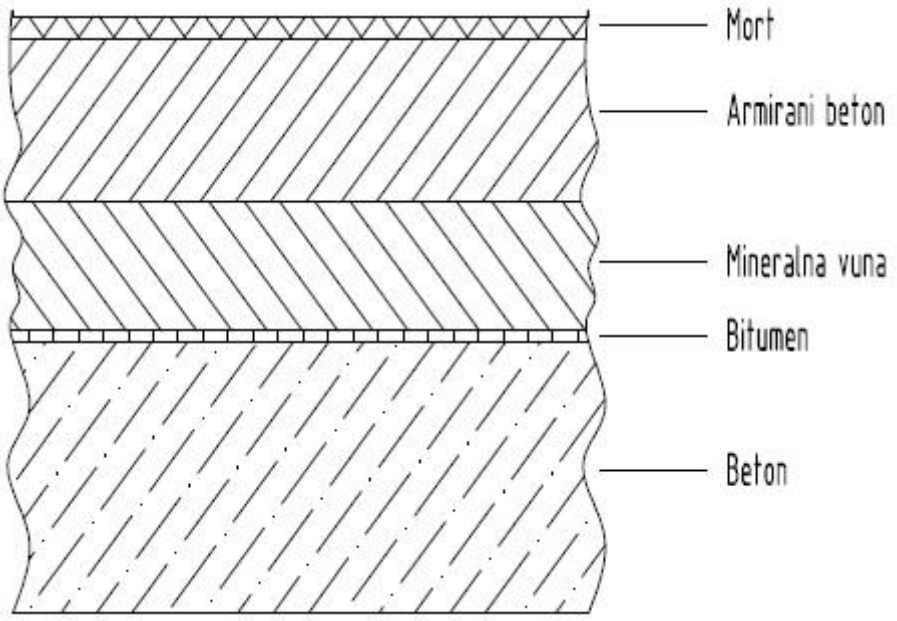
$$k_{strop} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1strop}}{\lambda_1} + \frac{x_{2strop}}{\lambda_2} + \frac{x_{3strop}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.200}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{strop} = 0.1185 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

POD

- konstrukcija poda mora biti čvrsta kako bi izdržala težinu proizvoda i viličara

beton	$\lambda_b = 1.29 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_b = 0.250 \ (m)$
bitumen	$\lambda_{bi} = 0.71 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{bi} = 0.010 \ (m)$
mineralna vuna	$\lambda_{mv} = 0.036 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{mv} = 2 \cdot 0.120 = 0.240 \ (m)$
armirani beton	$\lambda_{ab} = 1.369 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{ab} = 0.150 \ (m)$
mort	$\lambda_m = 0.072 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_m = 0.020 \ (m)$



Slika 10.Slojevi poda

$$k_{pod} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_m}{\lambda_m} + \frac{x_{ab}}{\lambda_{ab}} + \frac{x_{mv}}{\lambda_{mv}} + \frac{x_{bit}}{\lambda_{bit}}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.02}{0.72} + \frac{0.15}{1.396} + \frac{0.24}{0.036} + \frac{0.01}{0.71} + \frac{0.25}{1.29}}$$

$$k_{pod} = 0.1417 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

VRATA

$\lambda_1 = 50 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\lambda_{2vrata} = 0.024 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - ekspandirani poliuretan

$\lambda_3 = 50 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\alpha_o = 11 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - za slabi intenzitet vjetra

$x_{1vrata} = 0.0005 \ (m)$

$x_{2vrata} = 0.100 \ (m)$

$x_{3vrata} = 0.0005 \ (m)$

$$k_{vrata} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1vrata}}{\lambda_1} + \frac{x_{2vrata}}{\lambda_{2vrata}} + \frac{x_{3vrata}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.100}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{11}}$$

$$k_{vrata} = 0.232 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

HLADIONICA 1

ZID 1

L = 14 (m)

v = 9 (m)

$A_1 = (L \cdot v) - A_{vrata} = 14 \cdot 9 = 126 - 5 = 121\ m^2$

T_o = 283 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_1 = T_0 - T_i = 283 - 253 = 30\ K$

k_{zid} = 0.168 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr1} = k \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 = 0.168 \cdot 121 \cdot 30 = 611\ W$

ZID 2

h = 14 (m)

v = 9 (m)

$A_2 = h \cdot v = 14 \cdot 9 = 126\ m^2$

T_o = 253 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_2 = T_0 - T_i = 253 - 253 = 0\ K$

k_{zid} = 0.168 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr2} = k \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 = 0.168 \cdot 126 \cdot 0 = 0\ W$

ZID 3

L = 14 (m)

v = 9 (m)

$A_3 = L \cdot v = 14 \cdot 9 = 126\ m^2$

T_o = 308 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_3 = T_0 - T_i = 308 - 253 = 55\ K$

k_{zid} = 0.168 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr3} = k \cdot A_3 \cdot \Delta T_3 = 0.168 \cdot 126 \cdot 55 = 1166.458\ W$

ZID 4

h = 14 (m)

v = 9 (m)

$A_2 = h \cdot v = 14 \cdot 9 = 126\ m^2$

T_o = 308 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_4 = (T_0 - T_i) + 3\ K = (308 - 253) + 3 = 58\ K$ - prema skripti „ Projektiranje rashladnih postrojenja“

k_{zid} = 0.168 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr4} = k \cdot A_4 \cdot \Delta T_4 = 0.168 \cdot 126 \cdot 58 = 1230.083\ W$

STROP

L = 14 (m)

h = 14 (m)

$A_{strop} = L \cdot h = 14 \cdot 14 = 196\, m^2$

T_o = 308 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_{strop} = (T_0 - T_i) + 5\, K = (308 - 253) + 5 = 60\, K$ - prema skripti „ Projektiranje rashladnih postrojenja“

k_{strop} = 0.1185 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr_strop} = k_{strop} \cdot A_{strop} \cdot \Delta T_{strop} = 0.1185 \cdot 196 \cdot 60 = 1393.560\, W$

POD

L = 14 (m)

h = 14 (m)

$A_{pod} = L \cdot h = 14 \cdot 14 = 196\, m^2$

T_{zemlje} = 288 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_{pod} = T_{zemlje} - T_i = 288 - 253 = 35\, K$

k_{pod} = 0.1417 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr_pod} = k_{pod} \cdot A_{pod} \cdot \Delta T_{zemlje} = 0.1417 \cdot 196 \cdot 35 = 972.062\, W$

VRATA

L = 2 (m)

v = 2.5 (m)

$A_{vrata} = L \cdot v = 2 \cdot 2.5 = 5\, m^2$

T_o = 283 (K)

T_i = 253 (K)

$\Delta T_{vrata} = T_0 - T_i = 283 - 253 = 30\, K$

$k_{vrata} = 0.232 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$$\emptyset_{tr_vrata} = k \cdot A_{vrata} \cdot \Delta T_{vrata} = 0.234 \cdot 5 \cdot 30 = 35.100\ W$$

Ukupni transmisijski gubitci

$$\emptyset_{tr_ukH1} = \emptyset_{tr1} + \emptyset_{tr2} + \emptyset_{tr3} + \emptyset_{tr4} + \emptyset_{tr_strop} + \emptyset_{tr_pod} + \emptyset_{tr_vrata}$$

$$\emptyset_{tr_ukH1} = 477.345 + 911.295 + 961.002 + 1393.56 + 972.062 + 35.1 = 5408.263\ W$$

2.2. Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda (prema ASHRAE Handbook)

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

Q_{hlR}, Q_{zR}, Q_{poR} (kJ) - odvedena toplina od proizvoda

$m_R = 48\ 000$ kg - masa ribe

$c_{p2R} = 1.72 \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ - specifični toplinski kapacitet ribe ispod temperature zamrzavanja

h_z - latentna toplina zamrzavanja ribe

$T_1 = 255$ K - početna temperatura ribe

$T_z = 258$ K - temperatura zamrzavanja ribe

$T_o = 253$ K - krajnja temperatura hlađenja ispod točke zamrzavanja

Odvedena toplina za pothlađivanje proizvoda od točke smrzavanja do temperature skladištenja duboko smrznute ribe

$$Q_{poR} = m_R \cdot c_{p2R} \cdot (T_z - T_o) = 48000 \cdot 1.72 \cdot (258 - 253) = 412800\ kJ$$

Rashladni kapacitet (učinak) potreban za hlađenje, zamrzavanje i pothlađivanje proizvoda se računa na sljedeći način:

$$\emptyset_r = \frac{Q_{poR}}{3600 \cdot \tau} = \frac{412800}{3600 \cdot 6} = 19110\ W$$

$\emptyset_r$ - toplinsko opterećenje od ribe

$\tau = 6h$ - vrijeme hlađenja i zamrzavanja proizvoda

Toplinsko opterećenje od pakiranja (kutije, palete)

$$\emptyset_{pak} = \frac{m_p \cdot c_{pp} \cdot (T_1 - T_0)}{3600 \cdot \tau} = \frac{1920 \cdot 1.34 \cdot (255 - 253)}{3600 \cdot 6} = 595.110\ W$$

$c_{pp} = 1.34\ \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ - specifični toplinski kapacitet pakiranja

$m_{pp} = 0.04 \cdot m_R = 1920\ \text{kg}$ - masa ribe (2-5% mase ribe)

2.3. Rashladno opterećenje zbog infiltracije zraka

Infiltracija zbog izmjene zraka

Izmijenjeni toplinski tok uslijed infiltracije zraka:

$$\emptyset_t = \emptyset \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E)$$

$\emptyset_t$ (kW) - srednji toplinski tok za 24h ili za neki drugi vremenski period

$\emptyset$ (kW) - senzibilno ili latentno rashladno opterećenje za maksimalni protok

D_t - faktor otvaranja vrata

D_f = 0.8 - faktor protoka kroz vrata

E = 0.95 - učinkovitost zaštitnog sustava na vratima

Izmijenjeni toplinski tok za potpuno postignut protok prema Gosney i Olama

$$\emptyset = 0.221 \cdot A_v \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \cdot \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0.5} \cdot (g \cdot H)^{0.5} \cdot F_m$$

$\emptyset$ (kW) - senzibilno i latentno rashladno opterećenje

A_v = 5 m^2 - površina vrata

h_i $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ - entalpija infiltriranog zraka

h_r $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ - entalpija hlađenog zraka

ρ_r = 1.328 $\frac{kg}{m^3}$ - gustoća infiltriranog zraka

ρ_i = 1.228 $\frac{kg}{m^3}$ - gustoća hlađenog zraka

g = 9.81 $\frac{m}{s^2}$ - gravitacijska konstanta

H = 2.5 m - visina vrata

F_m - faktor gustoće

c_{pz} = 1.005 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ - specifični toplinski kapacitet zraka

$h_i = c_{pz} \cdot T_{ok}$ = 21.5 $\frac{kJ}{kg}$ (RV = 70% ; T_{ok} = 283 K)

$h_r = c_{pz} \cdot T_r$ = - 6 $\frac{kJ}{kg}$ (RV = 95% ; T_r = 253 K)

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_r}{\rho_i}\right)^{\frac{1}{3}}}\right]^{1.5} = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{1.328}{1.228}\right)^{\frac{1}{3}}}\right]^{1.5} = 0.98$$

$$\emptyset = 0.221 \cdot A_v \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \cdot \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0.5} \cdot (g \cdot H)^{0.5} \cdot F_m$$

$$\emptyset = 0.221 \cdot 5 \cdot (21.5 + 6) \cdot 1.328 \cdot \left(1 - \frac{1.228}{1.328}\right)^{0.5} \cdot (9.81 \cdot 2.5)^{0.5} \cdot 0.98 = 53743.283\ W$$

Za periodičko, nepravilno i konstantno otvaranje, samo ili u kombinaciji, faktor otvaranja vrata se može izračunati pomoću:

$$D_t = \frac{P \cdot \theta_p + \theta_0}{\theta_d} = \frac{60 \cdot 15 + 60 \cdot 45}{3600 \cdot 16} = 0.0625$$

P = 60 - broj prolaza na vratima

θ_p = 15 $\frac{s}{prolaz}$ - vrijeme otvaranja/zatvaranja vrata

θ_0 = 45 min - vrijeme otvorenosti vrata

θ_d = 16 h - dnevni (ili drugi) vremenski period

$$\emptyset_t = \emptyset \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) = 53.743 \cdot 0.0625 \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.95) = 134.201\ W$$

Infiltracija zbog direktnog strujanja kroz vrata

Dobivena toplina infiltracije zraka zbog direktnog pritjecanja može se izračunati:

$$\emptyset_{t_} = w \cdot A_z \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \cdot D_t = 1.2 \cdot 0.07 \cdot (21.5 + 6) \cdot 1.328 \cdot 0.0625 = 191.703\ W$$

w = 1.2 $\frac{m}{s}$ - prosječna brzina zraka

A_z = 0.07 m^2 - otvorena površina

$$\emptyset_{inf} = \emptyset_t + \emptyset_{t_} = 134.201 + 191.703 = 325.904\ W$$

2.4. Unutrašnje toplinsko opterećenje

Toplinsko opterećenje od rasvjete

A_{pod} = 196 m^2 - površina poda

τ = 2 hr - broj uključenosti rasvjete po danu

q_a = 10 $\frac{W}{m^2}$ - intenzitet rasvjete (snaga električne rasvjete po 1 m^2 površine poda)

$$\emptyset_{rasvj} = \frac{A_{pod} \cdot \tau \cdot q_a}{24hr} = \frac{196 \cdot 2 \cdot 10}{24} = 163.302\ W$$

Toplinsko opterećenje od ljudi

Utjecaj ljudi se dodaje toplinskom opterećenju i to opterećenje ovisi o temperaturi u hlađenom prostoru, vrsti rada koji obavljaju, odjeći i veličini osobe.

q_p = 390 W - ekvivalentna toplina osoba za temperaturu hlađenog prostora 253 K.

n_p = 2 - broj ljudi

$\tau_$ = 1.5 h - vrijeme provedeno u hlađenom prostoru

$$\emptyset_{lj} = \frac{q_p \cdot n_p \cdot \tau_}{24hr} = \frac{390 \cdot 2 \cdot 1.5}{24} = 48.75\ W$$

Toplinsko opterećenje od viličara

$\emptyset_{EM_pog}$ = 6.9 kW - snaga elektromotora za pogon viličara

$\emptyset_{EM_pod}$ = 10 kW - snaga elektromotora za podizanje tereta

τ = 1.5 h - vrijeme uključenosti viličara

$n_{viličar}$ = 2 - broj viličara

c = 0.7 - faktor pretvorbe

$$\emptyset_{viličar} = \sum \emptyset_{EM_} \cdot \frac{\tau}{24hr} \cdot n_{viličar} \cdot c = 16.9 \cdot \frac{1.5}{24} \cdot 2 \cdot 0.7 = 1478.703\ W$$

Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača

$$\emptyset_{EM} = 0.08 \cdot \left(\emptyset_{tr_ukH1} + \emptyset_r + \emptyset_{pak} + \emptyset_{inf} + \emptyset_{rasvj} + \emptyset_{lj} + \emptyset_{viličar}\right)$$

$$\emptyset_{EM} = 0.08 \cdot (4237.919 + 19110 + 595.110 + 325.904 + 163.302 + 48.75 + 1478.703)$$

$$\emptyset_{EM} = 1995.333W$$

UKUPNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE

Proračun opterećenja se radi kako bi se izračunale dovoljne dimenzije opreme potrebne za hlađenje i kako bi se procijenili troškovi rada.

Faktor sigurnosti

Faktor sigurnosti se primjenjuje u proračunu kako bi se uskladile nejednolikosti između projektnih i radnih uvjeta.

$f_s = 1.1$

Proračun vršnog opterećenja

Proračun vršnog opterećenja pretpostavlja da će se maksimalno opterećenje svih pojedinih opterećenja pojaviti u jednom trenutku što predstavlja najgori slučaj.

Izraz za ukupno korigirano rashladno opterećenje glasi:

$$\emptyset_i = \emptyset_{tr} + \emptyset_r + \emptyset_{pak} + \emptyset_d + \emptyset_{inf} + \emptyset_{rasvj} + \emptyset_{lj} + \emptyset_{EM}$$

$$\emptyset_{es} = f_s \cdot \emptyset_i = 1.1 \cdot 26936.992 = 29630.691\ W$$

Obično vrijeme rada kompresora je manje od 24 sata. Taj internirajući režim rada se mora uzeti u obzir:

τ_k= 20 hr - rashladni uređaji velikih kapaciteta

$$\emptyset_{eH1} = \emptyset_{es} \cdot \frac{24hr}{\tau_k} = 29630.691 \cdot \frac{24}{20} = 35556.829\ W = 35.557\ kW$$

HLADIONICA 2

$$\emptyset_{tr_ukH2} = \emptyset_{tr_ukH1} - \emptyset_{tr4} = 5408.263 - 1230.083 = 4187.18\ W$$

$$\emptyset_{eH2} = 34186.825\ W = 34.187\ kW$$

HLADIONICA 3

$$\emptyset_{tr_ukH1} = \emptyset_{tr_ukH3}$$

$$\emptyset_{eH1} = \emptyset_{eH3}$$

3. PRORAČUN RASHLADNOG UČINA TUNELA ZA ZAMRZAVANJE

3.1. Transmisijski gubitci

Osjetna toplina, odnosno toplinski tok dobiven kroz zidove, vrata, pod i strop

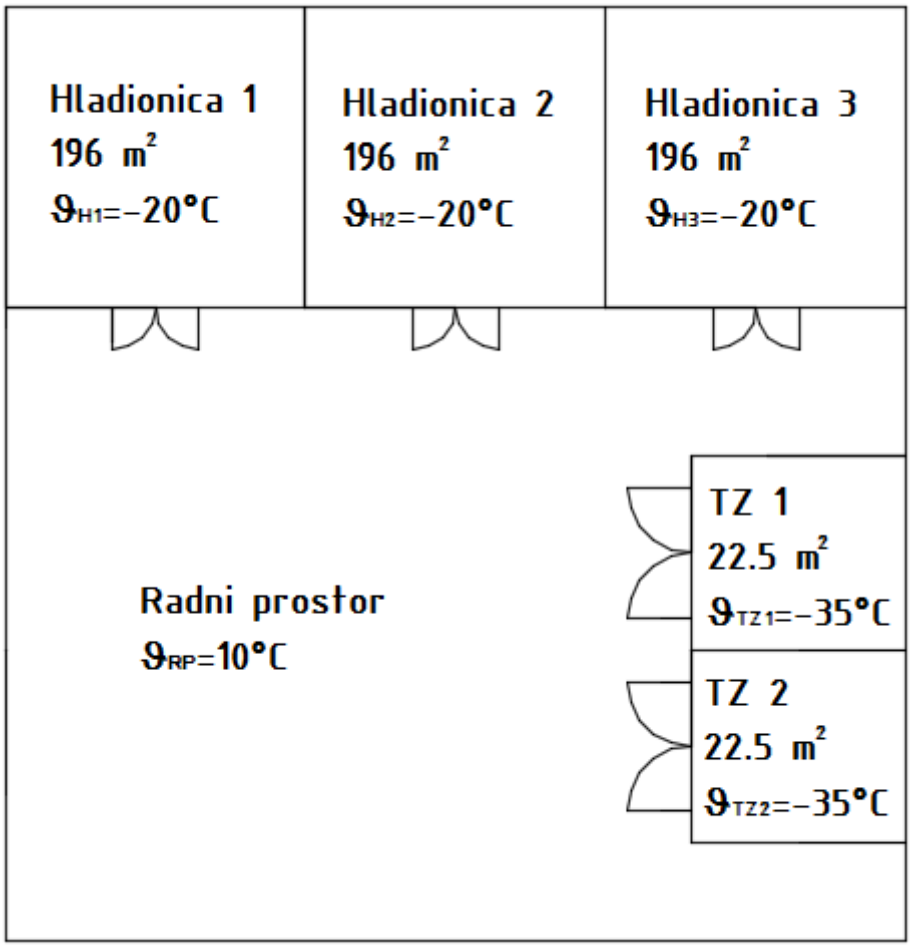
$$\emptyset_{tr} = k \cdot A \cdot \Delta\theta$$

$\emptyset_{tr}$ (kW) - toplinski tok

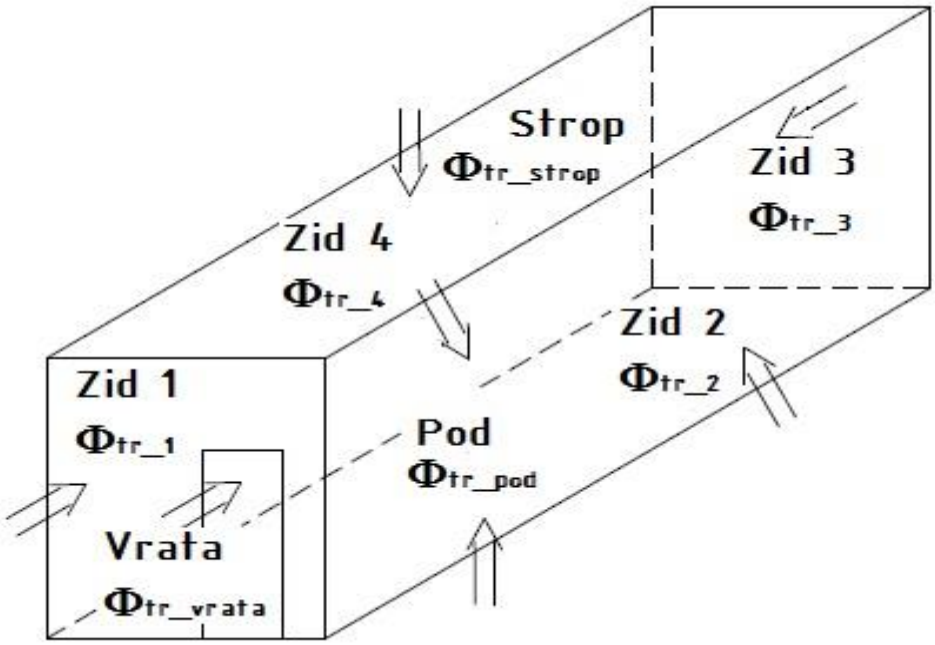
k $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ - ukupni koeficijent prolaza topline

A (m^2) - vanjska površina izolacijskih panela

$\Delta\theta$ $(^{\circ}C)$ - razlika između vanjske temperature zraka i temperature hlađenog prostora



Slika 11. Tlocrt hlađenih prostorija



slika 12. Transmisijski gubitci „TUNELA ZA ZAMRZAVANJE 1“ kroz zidove, strop, pod i vrata

Ukupni koeficijent prolaza topline zida,vrata, poda i stropa računa se prema izrazu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}}$$



Slika 13. Slojevi stijenke zida

x (m) - debljina zida, stropa ili poda

λ $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - koeficijent toplinske vodljivosti izolacijskih panela

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

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

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

$\alpha_o = 18$ $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ - za srednji intenzitet vjetra

ZIDOVI

$\lambda_1 = 50$ $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\lambda_2 = 0.18$ $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - ekspandirani poliuretan

$\lambda_3 = 50$ $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$x_{1zid} = 0.0005$ (m)

$x_{2zid} = 0.180$ (m)

$x_{3zid} = 0.0005$ (m)

$$k_{zid} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1zid}}{\lambda_1} + \frac{x_{2zid}}{\lambda_2} + \frac{x_{3zid}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.18}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{zid} = 0.1315 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

STROP

$x_{1strop} = 0.0005$ (m)

$x_{2strop} = 0.180$ (m)

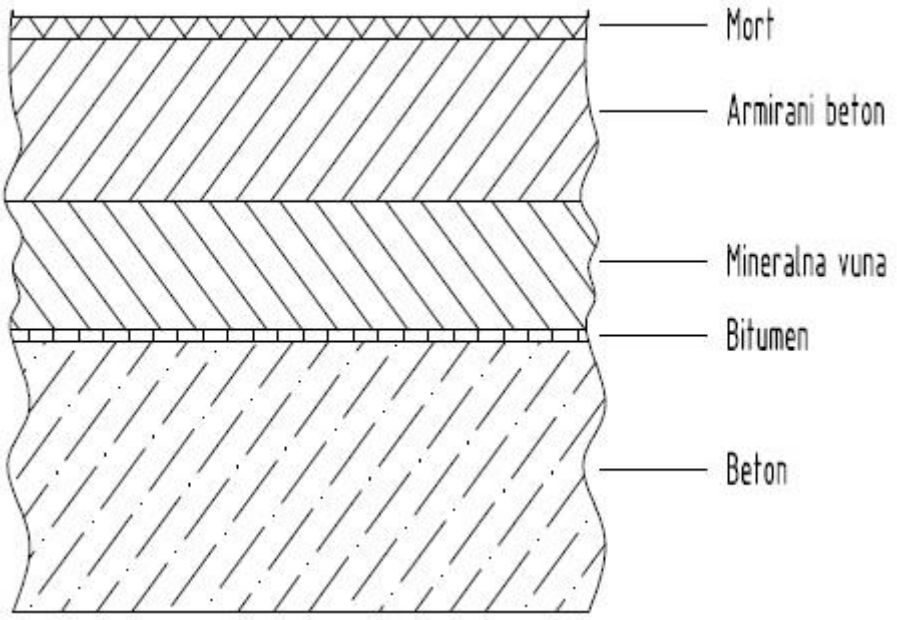
$x_{3strop} = 0.0005$ (m)

$$k_{strop} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1strop}}{\lambda_1} + \frac{x_{2strop}}{\lambda_2} + \frac{x_{3strop}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.180}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{18}}$$

$$k_{strop} = 0.1315 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

POD

beton	$\lambda_b = 1.29 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_b = 0.250 \ (m)$
bitumen	$\lambda_{bi} = 0.71 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{bi} = 0.010 \ (m)$
mineralna vuna	$\lambda_{mv} = 0.036 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{mv} = 2 \cdot 0.120 = 0.240 \ (m)$
armirani beton	$\lambda_{ab} = 1.369 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_{ab} = 0.150 \ (m)$
mort	$\lambda_m = 0.072 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$x_m = 0.020 \ (m)$



Slika 14. Slojevi poda

$$k_{pod} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_m}{\lambda_m} + \frac{x_{ab}}{\lambda_{ab}} + \frac{x_{mv}}{\lambda_{mv}} + \frac{x_{bit}}{\lambda_{bit}}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.02}{0.72} + \frac{0.15}{1.396} + \frac{0.24}{0.036} + \frac{0.01}{0.71} + \frac{0.25}{1.29}}$$

$$k_{pod} = 0.1417 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

VRATA

$\lambda_1 = 50 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\lambda_{2vrata} = 0.024 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - ekspandirani poliuretan

$\lambda_3 = 50 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - pocinčani lim

$\alpha_o = 11 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ - za slabi intenzitet vjetra

$x_{1vrata} = 0.0005 \ (m)$

$x_{2vrata} = 0.140 \ (m)$

$x_{3vrata} = 0.0005 \ (m)$

$$k_{vrata} = \frac{1}{\frac{1}{\propto_i} + \frac{x_{1vrata}}{\lambda_1} + \frac{x_{2vrata}}{\lambda_{2vrata}} + \frac{x_{3vrata}}{\lambda_3} + \frac{1}{\propto_o}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.140}{0.024} + \frac{0.0005}{50} + \frac{1}{11}}$$

$$k_{vrata} = 0.167 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

TUNEL ZA SMRZAVANJE 1

ZID 1

$L = 5 \ (m)$

$v = 4 \ (m)$

$A_1 = (L \cdot v) - A_{vrata} = 20 - 11 = 9 \ m^2$

$T_o = 283 \ (K)$

$T_i = 238 \ (K)$

$\Delta T_1 = T_0 - T_i = 283 - 238 = 45 \ K$

$k_{zid} = 0.1315 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr1} = k \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 = 0.1315 \cdot 9 \cdot 45 = 53.258W$

ZID 2

$h = 4.5 \ (m)$

$v = 4 \ (m)$

$A_2 = h \cdot v = 4.5 \cdot 4 = 18 \, m^2$

$T_o = 238 \ (K)$

$T_i = 238 \ (K)$

$\Delta T_2 = T_0 - T_i = 238 - 238 = 0 \, K$

$k_{zid} = 0.1315 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr2} = k \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 = 0.135 \cdot 18 \cdot 0 = 0 \, W$

ZID 3

$L = 5 \ (m)$

$v = 4 \ (m)$

$A_3 = L \cdot v = 5 \cdot 4 = 20 \, m^2$

$T_o = 308 \ (K)$

$T_i = 238 \ (K)$

$\Delta T_3 = T_0 - T_i = 308 - 238 = 70 \, K$

$k_{zid} = 0.1315 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr3} = k \cdot A_3 \cdot \Delta T_3 = 0.1315 \cdot 20 \cdot 70 = 184.1 \, W$

ZID 4

h = 4.5 (m)

v = 4 (m)

$A_2 = h \cdot v = 4.5 \cdot 4 = 18\ m^2$

T_o = 283 (K)

T_i = 238 (K)

$\Delta T_4 = T_0 - T_i = 283 - 238 = 45\ K$

k_{zid} = 0.1315 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr4} = k \cdot A_4 \cdot \Delta T_4 = 0.1315 \cdot 18 \cdot 45 = 106.520\ W$

STROP

L = 5 (m)

h = 4.5 (m)

$A_{strop} = L \cdot h = 5 \cdot 4.5 = 22.5\ m^2$

T_o = 283 (K)

T_i = 238 (K)

$\Delta T_{strop} = T_0 - T_i = 283 - 238 = 45\ K$

k_{strop} = 0.1315 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr_strop} = k_{strop} \cdot A_{strop} \cdot \Delta T_{strop} = 0.1185 \cdot 22.5 \cdot 45 = 133.144\ W$

POD

- konstrukcija poda mora biti čvrsta kako bi izdržala težinu proizvoda i viličara

L = 5 (m)

h = 4.5 (m)

$A_{pod} = L \cdot h = 5 \cdot 4.5 = 22.5\ m^2$

T_{zemlje} = 288 (K)

T_i = 238 (K)

$\Delta T_{pod} = T_{zemlje} - T_i = 288 - 238 = 50\ K$

$k_{pod} = 0.1417\ \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr_pod} = k_{pod} \cdot A_{pod} \cdot \Delta T_{zemlje} = 0.1417 \cdot 22.5 \cdot 50 = 159.413\ W$

VRATA

$L = 4.4\ \ (m)$

$v = 2.5\ \ (m)$

$A_{vrata} = L \cdot v = 4.4 \cdot 2.5 = 11\ m^2$

$T_o = 283\ \ (K)$

$T_i = 238\ (K)$

$\Delta T_{vrata} = T_0 - T_i = 283 - 238 = 45\ K$

$k_{vrata} = 0.167\ \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$\emptyset_{tr_vrata} = k \cdot A_{vrata} \cdot \Delta T_{vrata} = 0.167 \cdot 11 \cdot 45 = 82.665\ W$

Ukupni transmisijski gubitci

$\emptyset_{tr_ukTZ1} = \emptyset_{tr1} + \emptyset_{tr2} + \emptyset_{tr3} + \emptyset_{tr4} + \emptyset_{tr_strop} + \emptyset_{tr_pod} + \emptyset_{tr_vrata}$

$\emptyset_{tr_ukTZ1} = 53.258 + 184.1 + 106.52 + 133.144 + 159.413 + 82.665 = 719.123\ W$

3.2.Toplinsko opterećenje od hlađenih proizvoda
(prema ASHRAE Handbook)

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

Q_{hlR}, Q_{zR}, Q_{poR} (kJ) - odvedena toplina od proizvoda

$m_R = 12\ 000$ kg - masa ribe

$c_{p1R} = 3.3\ \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ - specifični toplinski kapacitet ribe iznad temperature zamrzavanja

$c_{p2R} = 1.72 \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ - specifični toplinski kapacitet ribe ispod temperature zamrzavanja

h_z - latentna toplina zamrzavanja ribe

$T_1 = 277\ K$ - početna temperatura ribe

$T_z = 270.78\ K$ - temperatura zamrzavanja ribe

$T_o = 253\ K$ - krajnja temperatura hlađenja ispod točke zamrzavanja

1) Odvedena toplina za hlađenje ribe od početne temperature do temperature točke zamrzavanja

$$Q_{hlR} = m_R \cdot c_{p1R} \cdot (T_1 - T_z) = 12000 \cdot 3.3 \cdot (277 - 270.78) = 246\ 312\ kJ$$

2) Odvedena toplina za smrzavanje ribe

$$Q_{zR} = m_R \cdot h_R = 12000 \cdot 250 = 3 \cdot 10^6\ kJ$$

3) Odvedena toplina za pothlađivanje ribe od točke smrzavanja do temperature skladištenja duboko smrznute ribe

$$Q_{poR} = m_R \cdot c_{p2R} \cdot (T_z - T_o) = 12000 \cdot 1.74 \cdot (270.78 - 253) = 371\ 246.4\ kJ$$

Rashladni kapacitet (učinak) potreban za hlađenje, zamrzavanje i pothlađivanje proizvoda se računa na sljedeći način:

$$\emptyset_r = \frac{Q_{hlR} + Q_{zR} + Q_{poR}}{3600 \cdot \tau} = \frac{246312 + 3 \cdot 10^6 + 371246.4}{3600 \cdot 12} = 83.74\ kW$$

$\emptyset_r$ - toplinsko opterećenje od ribe

$\tau = 12h$ - vrijeme hlađenja i zamrzavanja proizvoda

Rashladno opterećenje zbog infiltracije zraka

Infiltracija zbog izmjene zraka se zanemaruje

3.3. Unutrašnje toplinsko opterećenje

Toplinsko opterećenje od elektromotora isparivača

$$\emptyset_{EM} = 0.1 \cdot \left(\emptyset_{tr} + \emptyset_r + \emptyset_{pak} + \emptyset_d + \emptyset_{inf} + \emptyset_{rasvj} + \emptyset_{lj}\right) = 0.1 \cdot (719.1 + 83740)$$

$$\emptyset_{EM} = 8449\ W = 8.449\ kW$$

UKUPNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE

Proračun opterećenja se radi kako bi se izračunale dovoljne dimenzije opreme potrebne za hlađenje i kako bi se procijenili troškovi rada.

Faktor sigurnosti

Faktor sigurnosti se primjenjuje u proračunu kako bi se uskladile nejednolikosti između projektnih i radnih uvjeta.

$f_s = 1.1$

Proračun vršnog opterećenja

Proračun vršnog opterećenja pretpostavlja da će se maksimalno opterećenje svih pojedinih opterećenja pojaviti u jednom trenutku što predstavlja najgori slučaj.

Izraz za ukupno korigirano rashladno opterećenje glasi:

$$\emptyset_i = \emptyset_{tr} + \emptyset_r + \emptyset_{pak} + \emptyset_d + \emptyset_{inf} + \emptyset_{rasvj} + \emptyset_{lj} + \emptyset_{EM} = 0.7191 + 83.74 + 8.449$$

$$\emptyset_i = 92942\ W = 92.942\ kW$$

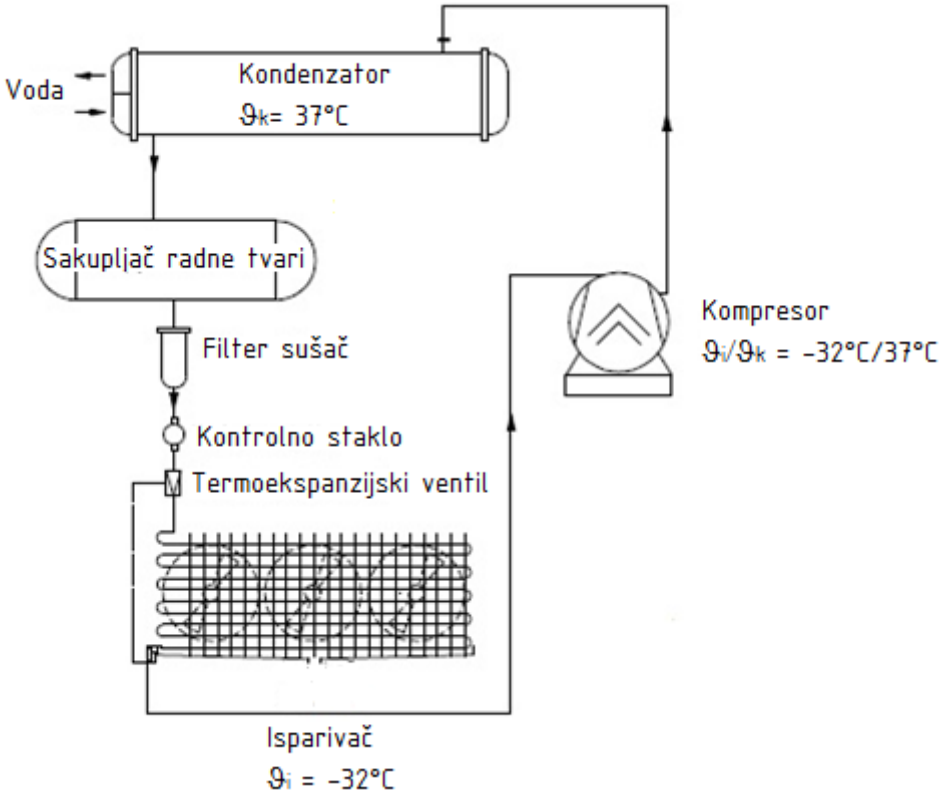
$$\emptyset_{es} = f_s \cdot \emptyset_i = 1.1 \cdot 92.942 = 102236\ W\ = 102.236\ kW$$

Obično vrijeme rada kompresora je manje od 24 sata. Taj internirajući režim rada se mora uzeti u obzir:

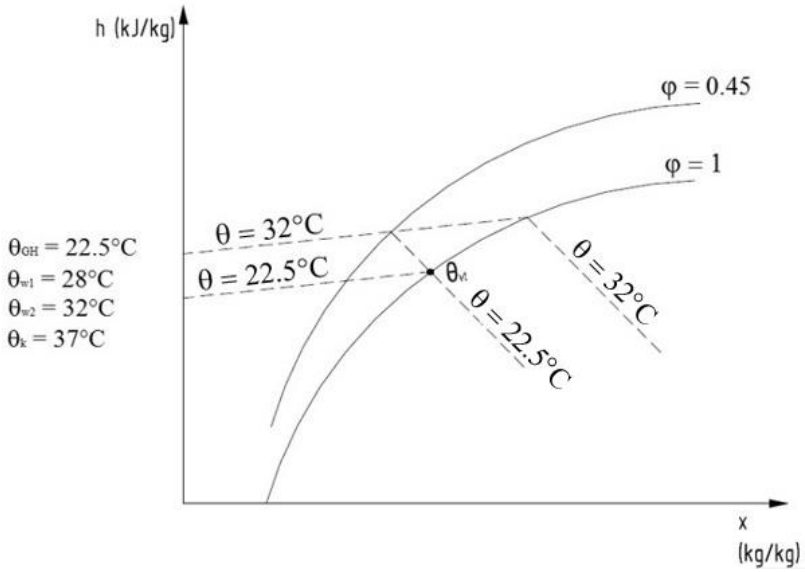
τ_k= 20 hr - rashladni uređaji velikih kapaciteta

$$\emptyset_{eTZ1} = \emptyset_{es} \cdot 0.8 \cdot \frac{24hr}{\tau_k} = 102236 \cdot 0.8 \cdot \frac{24}{20} = 98\,146.242\ W = 98.146\ kW$$

4. PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA (R404A)



Slika 15. Shema rashladnog uređaja (R404A)



Slika 16. h-x dijagram za određivanje temperature vlažnog termometra

$p_1 = 1.8188\ bar \quad T_1 = 243\ K \quad h_1 = 349.55\ \frac{kJ}{kg} \quad s_1 = 1.637\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$p_2 = 16.9039\ bar \quad T_2 = 322\ K \quad h_2 = 395.35\ \frac{kJ}{kg} \quad s_2 = 1.698\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

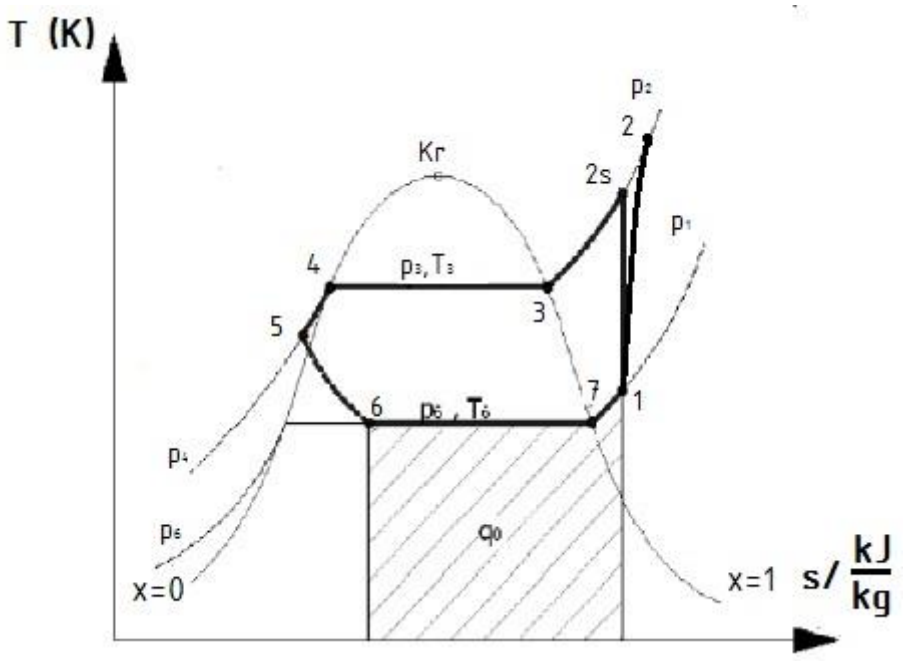
$p_3 = 16.9039\ bar \quad T_3 = 310\ K \quad h_3 = 379.78\ \frac{kJ}{kg}$

$p_4 = 16.9039\ bar \quad T_4 = 310\ K \quad h_4 = 255.08\ \frac{kJ}{kg}$

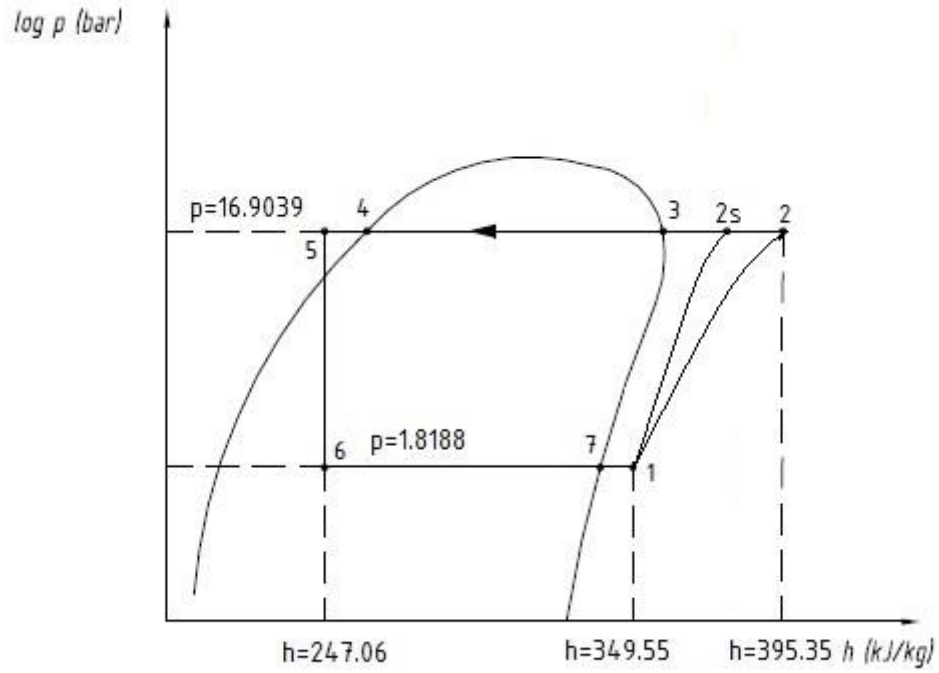
$p_5 = 16.9039\ bar \quad T_5 = 305\ K \quad h_5 = 247.06\ \frac{kJ}{kg}$

$p_6 = 1.8188\ bar \quad T_6 = 241\ K \quad h_6 = 274.06\ \frac{kJ}{kg}$

$p_7 = 1.8188\ bar \quad T_7 = 241\ K \quad h_7 = 347.72\ \frac{kJ}{kg}$



Slika 17. T-s dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R404A



Slika 18. logp-h dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R404A

$Q_{e1} = 35.557\ kW$ - kapacitet isparivača u 1. komori

$Q_{e2} = 34.187\ kW$ - kapacitet isparivača u 2. komori

$Q_{e3} = 35.557\ kW$ - kapacitet isparivača u 3. komori

$T_{e1} = 241\ K$ - temperatura isparavanja u 1. komori

$T_{e2} = 241\ K$ - temperatura isparavanja u 2. komori

$T_{e3} = 241\ K$ - temperatura isparavanja u 3. komori

R404A - radna tvar

Specifični rashladni učin isparivača 1, 2 i 3:

$$q_{e1} = h_1 - h_6 = 349.55 - 247.06 = 102.49\ \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{e2} = h_1 - h_6 = q_{e1}$$

$$q_{e3} = h_1 - h_6 = q_{e1}$$

Protočna masa radne tvari:

$$q_{m1} = \frac{Q_{e1}}{q_{e1}} = \frac{35.557}{102.49} = 0.347\ \frac{kg}{s}$$

$$q_{m2} = \frac{Q_{e2}}{q_{e2}} = \frac{34.187}{102.49} = 0.334\ \frac{kg}{s}$$

$$q_{m3} = \frac{Q_{e3}}{q_{e3}} = q_{m1}$$

Specifični rad i snaga kompresora:

$$w = h_2 - h_1 = 395.35 - 349.55 = 45.8\ \frac{kJ}{kg}$$

$$P_{komp} = \frac{(q_{m1} + q_{m2} + q_{m3}) \cdot w}{\eta_{komp}} = \frac{(0.347 + 0.334 + 0.347) \cdot 45.8}{0.7} = 47.08\ kW$$

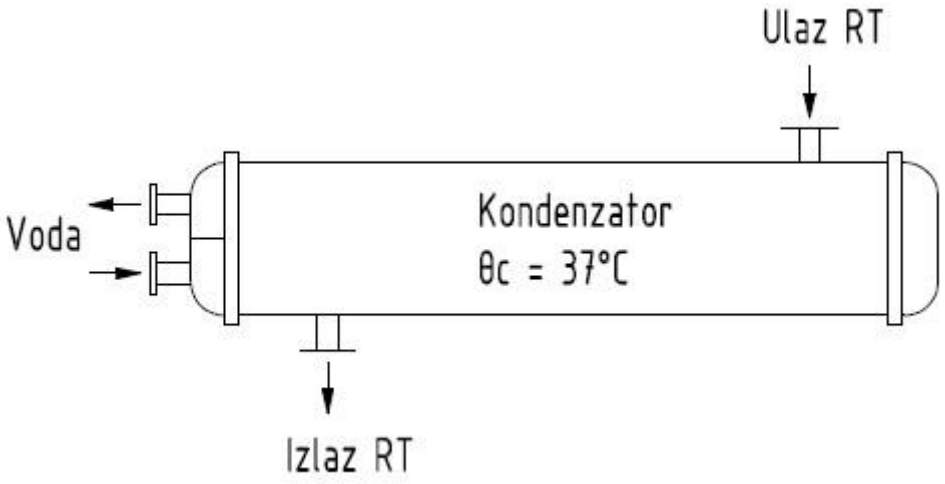
Faktor hlađenja:

$$COP = \frac{Q_{e1} + Q_{e2} + Q_{e3}}{P} = \frac{35.557 + 34.187 + 35.557}{47.08} = 2.24$$

Toplinska bilanca sustava:

$$\emptyset_{kond} = \sum \emptyset_{isp} + P_{komp} = 35.557 + 34.187 + 35.557 + 3 \cdot 47.8 = 248.7\ kW$$

5. PRORAČUN KONDENZATORA (R404A)



Slika 19. Kondenzator R404A

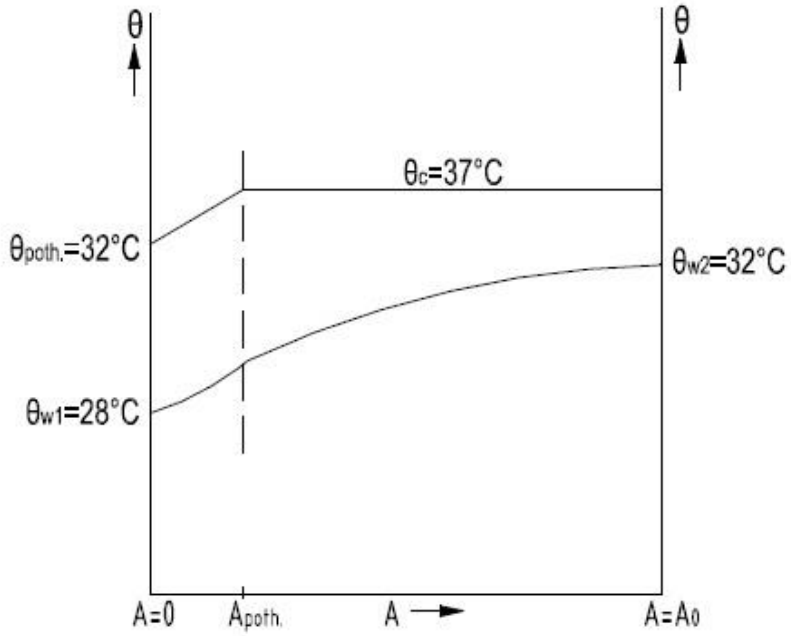
Q_c = 250 kW - kapacitet kondenzatora

T_{w1} = 301 K - temperatura vode na ulazu

T_{w2} = 305 K - temperatura vode na izlazu

T_c = 310 K - temperatura kondenzacije

R404A - radna tvar



Slika 20. θ-A dijagram kondenzatora R404A

Proračunava se: koeficijent prolaza topline, izmjenjivačka površina, dimenzije i pad tlaka vode.

Na početku se pretpostavi specifični toplinski tok na vanjskoj površini:

$q_e = 4\,585\ \frac{W}{m^2}$

Izmjenjivačka površina:

$$A_e = \frac{Q_c}{q_e} = \frac{250}{4.858} = 54.527\ m^2$$

Dimenzije plašta:

$D = 300\ \mathrm{mm}$ - promjer plašta

Bakrene cijevi su orebrene:

$d_e = 18\ \mathrm{mm}$ - vanjski promjer cijevi

$d_t = 20.8\ \mathrm{mm}$ - vanjski promjer na vrhu rebra

$d_i = 13.3\ \mathrm{mm}$ - unutarnji promjer cijevi

$s = 23\ \mathrm{mm}$ - razmak između cijevi

Unutrašnja izmjenjivačka površina:

$$A_i = \frac{A_e}{3.45} = \frac{54.527}{3.45} = 15.805\ m^2$$

U križnom djelu s ovim promjerom cijevi se može približno odrediti broj cijevi:

$$n_t = 0.75 \cdot \left[\left(\frac{D}{s}\right)^2 - 1\right] + 1 = 0.75 \cdot \left[\left(\frac{0.3}{0.23}\right)^2 - 1\right] + 1 = 134.72$$

Konačni broj cijevi:

$n_t = 128$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{ov} = \frac{A_i}{\pi \cdot d_i} = \frac{15.805}{\pi \cdot 0.0133} = 378.251\ m$$

Duljina (aktivna) kondenzatora:

$$L = \frac{L_{ov}}{n_t} = \frac{378.251}{128} = 2.955\ m$$

Protočna masa vode:

$c_w = 4180.3\ \frac{J}{kg \cdot K}$

$$m_w = \frac{Q_c}{c_w \cdot (T_{w2} - T_{w1})} = \frac{250}{4.1803 \cdot (305 - 300)} = 11.961\ \frac{kg}{s}$$

Broj prolaza vode:

$n_p = 4$

Broj cijevi u jednom prolazu:

$$n_{t1} = \frac{n_t}{n_p} = \frac{128}{4} = 32$$

Brzina vode u cijevima:

$\rho_w = 995.62\ \frac{kg}{m^3}$

$$w = \frac{m_w}{\frac{\pi \cdot {d_i}^2}{4} \cdot n_{t1} \cdot \rho_w} = \frac{11.961}{\frac{\pi \cdot 0.0133^2}{4} \cdot 32 \cdot 995.62} = 2.693\ \frac{m}{s}$$

Logaritamska temperaturna razlika:

$$\Delta T_m = \frac{(T_c - T_{w1}) - (T_c - T_{w2})}{ln\left(\frac{T_c - T_{w1}}{T_c - T_{w2}}\right)} = \frac{(310 - 300) - (310 - 305)}{\ln\left(\frac{310 - 300}{310 - 305}\right)} = 7.213\ K$$

Termodinamičke karakteristike vode:

$T_{wm} = T_c - \Delta T_m = 310 - 7.213 = 302.79\ K$

ρ= 995.62 $\frac{kg}{m^3}$ - gustoća vode

c = 4 180.3 $\frac{J}{kg \cdot K}$ - specifični toplinski kapacitet

λ = 0.6155 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - toplinska vodljivost

η = 797.35·10^{-4} Pa·s - dinamička viskoznost

ν = 8.009·10^{-7} $\frac{m^2}{s}$ - kinematička viskoznost

$B_w = 0.023 \cdot \rho^{0.8} \cdot c^{0.4} \cdot \lambda^{0.6} \cdot \eta^{-0.4}$

$B_w = 0.023 \cdot 995.62^{0.8} \cdot 4180.3^{0.4} \cdot 0.6155^{0.6} \cdot 8.009 \cdot 10^{-7^{-0.4}} = 2096.83$

Reynoldsov broj:

$Re = w \cdot \frac{d_i}{\nu} = \frac{2.693 \cdot 0.0133}{8.009 \cdot 10^{-7}} = 44\ 723$

Zbog $Re >$ 10000 vrijedi: $f_w = 1$

Pojednostavljena jednadžba za koeficjent prijelaza topline:

$\propto_w = f_w \cdot B_w \cdot \frac{w^{0.8}}{{d_i}^{0.2}} 1 \cdot 2096.83 \cdot \frac{2.293^{0.8}}{0.0133^{0.2}} = 10\ 989.63\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Faktori toplinskog otpora:

Toplinski otpor kroz cijevnu stijenku:

δ_1 =2 mm λ_1 = 370 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$d_m = \frac{d_e + d_i}{2} = \frac{18 + 13.3}{2} = 15.65$ mm

$R_1 = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}\right) \cdot \left(\frac{d_i}{d_m}\right) = \frac{0.002}{370} \cdot \frac{0.0133}{0.01565} = 4.594 \cdot 10^{-6}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

Toplinski otpor kroz vapnenac:

δ_2 =0.4 mm $\lambda_2 = 2\ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$$R_2 = \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2}\right) = \frac{0.0004}{20} = 2 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Ukupni toplinski otpor:

$$R_i = R_1 + R_2 = 4.594 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-4} = 2.04594 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Specifični toplinski tok na strani vode:

$$q_i = \frac{T_z + T_{wm}}{\frac{1}{\propto_w} + R_i}$$

$$q_i = 3\,383.075 \cdot (T_z - T_{wm})$$

Specifični toplinski tok na vanjskoj površini:

$$q_e = \frac{A_i}{A_e} \cdot q_i$$

$$q_{e1} = 980.601 \cdot (T_z - 302.79)$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari:

$$\propto_R = 0.725 \cdot B \cdot {d_e}^{-0.25} \cdot f^{\frac{1}{6}} \cdot \psi_c \cdot (T_c - T_Z)^{-0.25}$$

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

h_c = 255 080 $\frac{J}{kg}$ ρ= 983.2 $\frac{kg}{m^3}$ ν = 0.0623 $\frac{m^2}{s}$ η = 106.11·10^{-6} Pa·s

$$B = \left(\frac{g \cdot h_c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\eta}\right)^{0.25} = \left(\frac{9.81 \cdot 255080 \cdot 983.2^2 \cdot 0.0623^3}{106.11 \cdot 10^{-6}}\right)^{0.25} = 1\,532.27\ \frac{m^{0.25} \cdot kg}{K^{0.75} \cdot s^3}$$

Približan broj cijevi u redu:

$$f = 0.9 \cdot \frac{D}{1.732 \cdot s} = 0.9 \cdot \frac{0.3}{1.732 \cdot 0.023} = 6.8 \approx 7$$

Koeficjent koji uključuje kondenzaciju na orebrenim cijevima:

$$\psi_c = 1.3 \cdot \frac{A_{v1}}{A_{e1}} \cdot E^{0.75} \cdot \left(\frac{d_b}{h_r}\right)^{0.25} + \frac{A_{h1}}{A_{e1}}$$

Površina cijevi po vertikali:

$d_b = 16.5\ \text{mm}$ $s_f = 2\ \text{mm}$ $\alpha = 35^\circ$

$$A_{v1} = \pi \cdot \frac{\left({d_t}^2 - {d_b}^2\right)}{\left(2 \cdot s_f \cdot cos\left(\frac{\propto}{2}\right)\right)} = \pi \cdot \frac{(0.0208^2 - 0.0165^2)}{\left(2 \cdot 0.002 \cdot cos\left(\frac{35}{2}\right)\right)} = 0.131\ \frac{m^2}{m}$$

Površina cijevi po horizontali:

$$h_f = \frac{d_t - d_b}{2} = \frac{20.8 - 16.5}{2} = 2.15\ mm$$

$X_b = 0.6\ \text{mm}$

$$x_t = s_f - x_b - 2 \cdot h_f \cdot \tan\frac{\propto}{2} = 2 - 0.6 - 2 \cdot 2.15 \cdot \tan(17.5°) = 0.044\ mm$$

$$A_{h1} = \pi \cdot \frac{(d_t \cdot x_t + d_b \cdot x_b)}{s_f} = \pi \cdot \frac{0.0208 \cdot 0.000044 + 0.0165 \cdot 0.0006}{0.002} = 0.0169\ \frac{m^2}{m}$$

Ukupna površina po dužnom metru:

$$A_{e1} = A_{v1} + A_{h1} = 0.131 + 0.0169 = 0.1479\ \frac{m^2}{m}$$

Relativna visina rebra:

$$h_r = \pi \cdot \frac{\left({d_t}^2 - {d_b}^2\right)}{4 \cdot d_t} = \pi \cdot \frac{(0.0208^2 - 0.0165^2)}{4 \cdot 0.0208} = 0.006053\ m$$

E = 1 - efikasnost rebra za malu visinu

$$\psi_c = 1.3 \cdot \frac{A_{v1}}{A_{e1}} \cdot E^{0.75} \cdot \left(\frac{d_b}{h_r}\right)^{0.25} + \frac{A_{h1}}{A_{e1}} = 1.3 \cdot \frac{0.131}{0.1479} \cdot 1^{0.75} \cdot \left(\frac{0.0165}{0.006053}\right)^{0.25} + \frac{0.0169}{0.1479}$$

$$\psi_c = 1.594$$

Sada se može izračunati omjer vanjske i unutarnje izmjenjivačke površine:

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = \pi \cdot 0.0133 = 0.0418 \ \frac{m^2}{m}$$

$$\frac{A_e}{A_i} = 3.449$$

(površine su približno jednake $\frac{A_e}{A_i}$ = 3.45)

Koeficijent prijelaza topline se sada može jednostavnije napisati:

$$\propto_R = 0.725 \cdot B \cdot {d_e}^{-0.25} \cdot f^{\frac{1}{6}} \cdot \psi_c \cdot (T_c - T_Z)^{-0.25}$$

$$\propto_R = 0.725 \cdot 1\,532.27 \cdot 0.018^{-0.25} \cdot 7^{\frac{1}{6}} \cdot 1.594 \cdot (310 - T_Z)^{-0.25}$$

$$\propto_R = 3\,495.375 \cdot (T_c - T_Z)^{-0.25}$$

Specifični toplinski tok na strani radne tvari:

$$q_{e2} = \propto_R \cdot (310 - T_z)$$

pa onda slijedi:

$$q_{e2} = 3\,495.375 \cdot (310 - T_z)^{0.75}$$

$$q_{e1} = q_{e2}\ solve \rightarrow T_z$$

$T_z = 308.24$ K

$$q_i = \frac{T_z + T_{wm}}{\frac{1}{\propto_w} + R_i} = \frac{308.24 - 302.79}{\frac{1}{7426.43} + 2.0459 \cdot 10^{-4}} = 16\,055.586 \ \frac{W}{m^2}$$

$$q_e = \frac{A_i}{A_e} \cdot q_i = \frac{1}{3.501} \cdot 16055.586 = 4\,586 \ \frac{W}{m^2}$$

Koeficijent prolaza topline za vanjsku površinu:

$$k_e = \frac{q_e}{\Delta T_m} = \frac{4586}{7.213} = 635.796 \ \frac{W}{m \cdot K}$$

Pad tlaka vode:

$\xi_{in} = 0.5$

Faktor trenja:

$$\xi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} = \frac{0.3164}{27400^{0.25}} = 0.0246$$

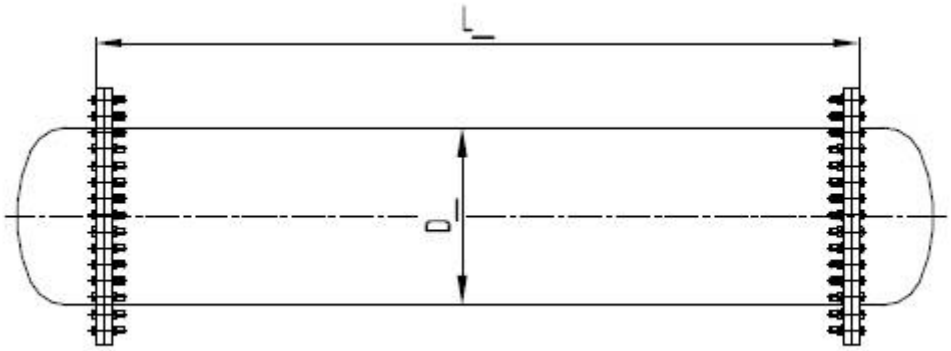
$$\Delta p = \left(\xi \cdot \frac{L}{d_i} + \frac{1.5}{n_p} + 1.5\right) \cdot n_p \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = \left(0.0246 \cdot \frac{1.863}{0.0133} + \frac{1.5}{4} + 1.5\right) \cdot 4 \cdot \frac{995.62 \cdot 1.65^2}{2}$$

$$\Delta p = 28\,845.13\ Pa$$

Dimenzije kondenzatora:

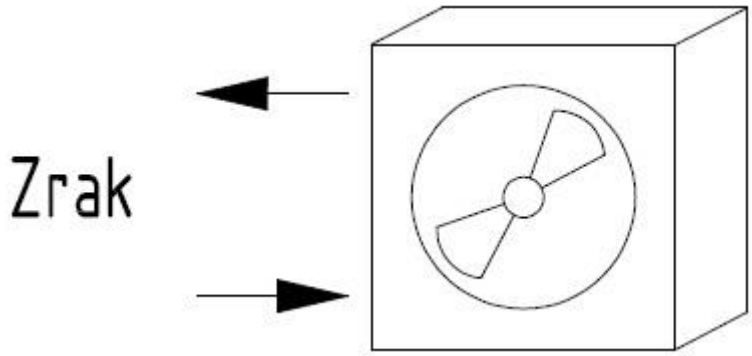
L_= 2.955 m

D_ = 0.300 m



Slika 21. Dimenzije kondenzatora R404A

6. PRORAČUN ISPARIVAČA (R404A)



Slika 22. Isparivač R404A

Q_e = 18 kW - kapacitet isparivača

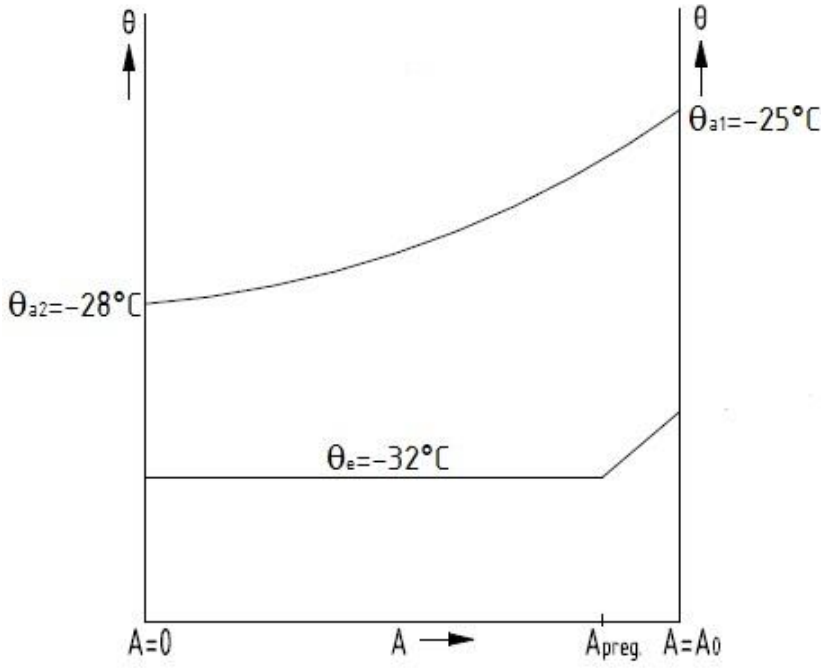
T_{a1} = 248 K - ulazna temperatura zraka

T_{a2} = 245 K - izlazna temperatura zraka

T_e = 241 K - temperatura isparavanja

T_c = 310 K - temperatura kondenzacije

R404A - radna tvar



Slika 23. θ-A dijagram isparivača R404A

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

Konstrukcijski parametri:

$d_e = 18\ mm$ - vanjski promjer cijevi (bakrene)

$d_i = 16\ mm$ - unutarnji promjer cijevi (bakrene)

$s_1 = 50\ mm$ - vertikalni razmak između cijevi

$s_2 = 32\ mm$ - horizontalni razmak između cijevi

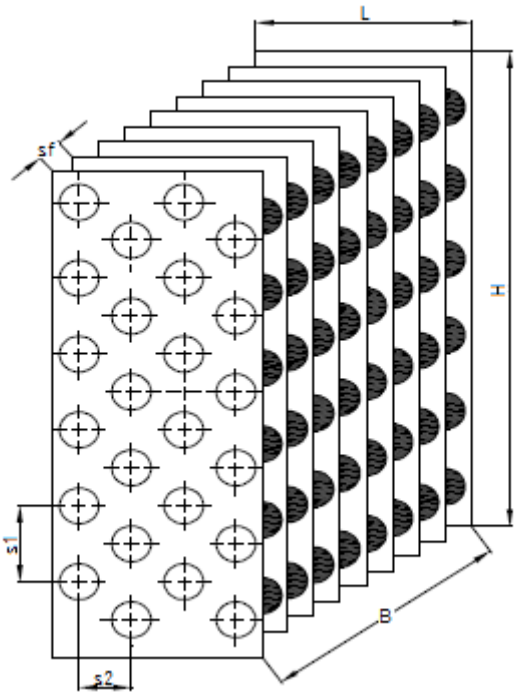
$s_f = 10\ mm$ - razmak između rebara (aluminijskih)

$f_t = 0.5\ mm$ - debljina rebara

$i_r = 7$ - broj redova

$i_t = 22$ - broj cijevi u redu

$i_{in} = 11$ - broj ulaznih cijevi (krugova)



Slika 24. Prikaz konstrukcijskih parametara R404A

Proračun potrebne površine za duljinu cijevi od 1 m.

Površina na vanjskoj strani cijevi između rebara:

$$A_{mt} = \pi \cdot d_e \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = \pi \cdot 0.018 \cdot \left(1 - \frac{0.0005}{0.01}\right) = 0.0537 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina rebara:

$$A_f = 2 \cdot \frac{\left(s_1 \cdot s_2 - \pi \cdot \frac{d_e^2}{4}\right)}{s_f} = 2 \cdot \frac{\left(0.05 \cdot 0.032 - \pi \cdot \frac{0.018^2}{4}\right)}{0.01} = 0.269 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina na vanjskoj strani cijevi za prijelaz topline za 1 m cijevi:

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0.0537 + 0.269 = 0.323 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina na unutarnjoj strani cijevi za prijelaz topline za 1 m cijevi:

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = \pi \cdot 0.016 = 0.0565 \ \frac{m^2}{m}$$

Omjer vanjske i unutrašnje površine za izmjenu topline:

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = \frac{0.323}{0.0565} = 5.712$$

Visina izmjenjivača topline:

$$H = i_t \cdot s_1 = 22 \cdot 0.05 = 1.1 \ m$$

Dubina izmjenjivača topline:

$$L = i_r s_2 = 7 \cdot 0.032 = 0.224 \ m$$

Prosječna logaritamska temperaturna razlika:

$$\Delta T_m = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{\ln\left(\frac{T_{a1} - T_e}{T_{a2} - T_e}\right)} = \frac{248 - 245}{\ln\left(\frac{248 - 241}{245 - 241}\right)} = 5.361 \ K$$

Prosječna temperatura zraka:

$T_{am} = T_e + \Delta T_m = 241 + 5.361 = 246.361\ K$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka T_{am}:

ρ_a= 1.4039 $\frac{kg}{m^3}$ c_a = 1004.3 $\frac{J}{kg \cdot K}$ λ_a = 0.022134 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

Kod izmjene topline na strani zraka mora se uzeti u obzir vlažnost zraka. Kod toplinske ravnoteže nužno je znati vrijednost entalpije zraka.

Na bazi temperature i relativne vlažnosti ulaznog zraka mogu se uzeti entalpija i udio vlažnosti:

za φ = 85 % i T = 248 K

h_1 = - 24 000 $\frac{J}{kg}$ x_1 = 0.65 $\frac{g}{kg}$

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

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari:

h'_e = 247 060 $\frac{J}{kg}$ - entalpija radne tvari na ulazu u isparivač

h''_e = 349 368 $\frac{J}{kg}$ - entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača

Protočna masa radne tvari:

$$m = \frac{Q_e}{h''_e - h'_e} = \frac{18}{349.368 - 247.06} = 0.176\ \frac{kg}{s}$$

Brzina radne tvari u cijevima:

$$G = \frac{m}{\frac{(i_{in} \cdot \pi \cdot d_i^2)}{4}} = \frac{0.176}{\frac{11 \cdot \pi \cdot 0.016^2}{4}} = 69.16\ \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari se proračunava prema:

C = 0.1844 - stranica 126. „Ciconkov“

q_i = 1210 $\frac{W}{m^2}$ - specifični toplinski tok s obzirom na unutarnju površinu cijevi

$$\propto_R = C \cdot \frac{G^{0.1} \cdot q_i^{0.7}}{d_i^{0.5}} = 0.1844 \cdot \frac{69.16^{0.1} \cdot 975^{0.7}}{0.016^2} = 280.34 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Slijedi faktor na zračnoj strani:

$R_0 = 0.0002 \ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

Toplinski otpor materijala cijevi:

$$\delta_t = \frac{d_e - d_i}{2} = \frac{18 - 16}{2}$$

$\delta_t = 1 \ \text{mm}$ - debljina stijenke cijevi

$\lambda_t = 370 \ \frac{W}{m \cdot K}$ - toplinska vodljivost materijala (bakra)

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = \frac{1}{370} = 2.703 \cdot 10^{-6} \ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Specifični toplinski tok s obzirom na unutrašnju površinu:

$$q_i = \frac{T_{si} - T_e}{\frac{1}{\propto_R} + R_i}$$

T_{si} - temperatura cijevne stijenke na unutrašnjoj strani

$R_i = 0$

Nužno je izračunati prosječnu temperaturu na vanjskoj stijenki cijevi koja se odredi pomoću formule za toplinski tok:

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2}$$

$d_m = 0.017 \ \text{mm}$

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

pa iz te formule slijedi:

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

$$T_s = 241 + \left(\frac{1}{280.34} + 2.703 \cdot 10^{-6} + \frac{0.016}{0.017} + 0.0002 \cdot \frac{1}{5.771}\right) \cdot 1210 = 244.51 \ K$$

Temperatura T_s je temperatura zasićenog zraka. To znači da je za relativnu vlažnost $\varphi_s = 85\ \%$:

$h_s = -\ 28\ 000\ \frac{J}{kg}$ $x_s = 0.25\ \frac{g}{kg}$

Prema činjenici da je $x_s < x_1$, dolazi do prijelaza mase sa zraka na vanjsku površinu.

Karakteristike izlaznog zraka:

$$x_2 = x_1 - (x_1 - x_s) \cdot \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_s} = 0.65 - (0.65 - 0.25) \cdot \frac{248 - 245}{248 - 244.51} = 0.26\ \frac{g}{kg}$$

$r_0 = 2\ 501\ 000\ \frac{J}{kg}$ - toplina isparavanja vode

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

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

$$h_2 = c_{pu} \cdot T_{a2} + x_2 \cdot \left(r_o + c_{pd} \cdot T_{a2}\right) = 1.005 \cdot 245 + 0.26 \cdot (2501 + 1.863 \cdot 245)$$

$$h_2 = -27.5\ \frac{kJ}{kg}$$

Površina za prijelaz topline:

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = \frac{18}{1.210} = 14.876\ m^2$$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{OV} = \frac{A_i}{A_{i1}} = \frac{14.876}{0.0565} = 318.58\ m$$

Duljina cijevi u jednom redu:

$$L_1 = \frac{L_{OV}}{i_r} = \frac{318.58}{7} = 45.51\ m$$

Širina izmjenjivača:

$$B = \frac{L_1}{i_t} = \frac{45.51}{22} = 2.1\ m$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

Protočna masa zraka:

$$m_a = \frac{Q_e}{h_1 - h_2} = \frac{18}{-24 + 27.5} = 5.143\ \frac{kg}{s}$$

Protočni volumen zraka:

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_a} = \frac{5.143}{1.4039} = 3.663\ \frac{m^3}{s}$$

Najmanja površina na križnom dijelu (između cijevi i rebara) gdje prolazi zrak:

$$A_Z = L_1 \cdot \frac{s_1 - d_e}{1 - \frac{f_t}{s_f}} = 45.51 \cdot \frac{0.05 - 0.018}{1 - \frac{0.0005}{0.01}} = 1.533\ m^2$$

Brzina na najmanjem poprečnom presjeku:

$$w = \frac{V_a}{A_Z} = \frac{3.663}{1.533} = 2.39\ \frac{m}{s}$$

Nusseltov broj:

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

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

Ekvivalentni promjer:

$$d_{ekv} = \frac{2 \cdot (s_1 - d_e) \cdot (s_f - f_t)}{(s_1 - d_e + s_f - f_t)} = \frac{2 \cdot (0.05 - 0.018) \cdot (0.01 - 0.0005)}{(0.05 - 0.018 + 0.01 - 0.0005)} = 0.0147\ m$$

$$n = 0.45 + 0.0066 \cdot \frac{L}{d_{ekv}} = 0.45 + 0.0066 \cdot \frac{0.224}{0.0147} = 0.551$$

$$m = -0.28 + 0.08 \cdot \frac{Re}{1000} = -0.28 + 0.08 \cdot \frac{3432.43}{1000} = -0.00541$$

C_{1A} = 0.0935 - stranica 147. "Ciconkov"

$$C_{1B} = 1.36 - 0.24 \cdot \frac{Re}{1000} = 1.36 - 0.24 \cdot \frac{3432.43}{1000} = 0.536$$

$$C_1 = C_{1A} \cdot C_{1B} = 0.0935 + 0.536 = 0.629$$

$$Nu = C_1 \cdot Re^{0.551} \cdot \left(\frac{L}{d_{ekv}}\right)^{-0.00541} = 0.629 \cdot 3432.43^{0.551} \cdot \left(\frac{0.224}{0.0147}\right)^{-0.00541} = 55$$

Reynoldsov broj:

$$Re = w \cdot \frac{s_f}{\upsilon_a} = 2.39 \cdot \frac{0.01}{6.963 \cdot 10^{-6}} = 3\,432.43$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\propto_{a1} = Nu \cdot \frac{\lambda}{s_f} = 50 \cdot \frac{0.022134}{0.01} = 121.74 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\propto_a = 1.1 \cdot \propto_{a1} = 1.1 \cdot 334.21 = 131.92 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Kako je $x_1 > x_2$, vanjska površina je vlažna. U tom slučaju prijelaz topline je intenzivniji te se koeficijent prijelaza topline množi sa koeficijentom ξ_w.

$$\xi_w = 1 + 2500 \cdot \frac{x_1 - x_s}{T_{a1} - T_s} = 1 + 2500 \cdot \frac{0.65 - 0.25}{248 - 244.51} = 1.326$$

$$\propto_{aw} = \propto_a \cdot \xi_w = 367.63 \cdot 1.326 = 177.57 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prijelaza topline u odnosu na unutarnji promjer cijevi:

$$\propto_{ai} = \propto_{aw} \cdot \frac{\left(A_f \cdot E \cdot C_k + A_{mt}\right)}{A_{i1}}$$

C_k = 0.99 - koeficijent otpora na kontaktu između cijevi i rebra

Korisnost rebra:

$$E = \frac{\tanh\left(m_f \cdot h_f\right)}{m_f \cdot h_f}$$

$\lambda_f = 209\ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - toplinska vodljivost materijala (aluminija)

$$m_f = \sqrt{\frac{2 \cdot \propto_{aw}}{f_t \cdot \lambda_f}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 177.57}{0.0005 \cdot 209}} = 58.296\ \frac{1}{m}$$

$$h_f = 0.5 \cdot d_e \cdot (\rho_f - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(\rho_f))$$

Prema dogovoru, za šahovski raspored cijevi $s_1/2 < s_2$:

$A_f = s_1 = 0.05$ m

$$B_f = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2} = \sqrt{\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 + 0.032^2} = 0.041\ m$$

$$\rho_f = 1.27 \cdot \left(\frac{B_f}{d_e}\right) \cdot \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0.3} = 1.27 \cdot \frac{0.041}{0.018} \cdot \sqrt{\frac{0.50}{0.041} - 0.3} = 2.497\ \frac{kg}{m^3}$$

$$h_f = 0.5 \cdot d_e \cdot (\rho_f - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(\rho_f))$$

$$h_f = 0.5 \cdot 0.018 \cdot (2.497 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln 2.497) = 0.0178\ m$$

$$E = \frac{\tanh(m_f \cdot h_f)}{m_f \cdot h_f} = \frac{\tan(58.296 \cdot 0.0178)}{58.296 \cdot 0.0178} = 0.749$$

Na kraju je koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\propto_{ai} = \propto_{aw} \cdot \frac{(A_f \cdot E \cdot C_k + A_{mt})}{A_{i1}} = 177.57 \cdot \frac{0.449 \cdot 0.749 \cdot 0.99 + 0.0537}{0.0565}$$

$$\propto_{ai} = 1215.14\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prolaza topline za unutrašnju površinu:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\propto_{ai}} + R_o \cdot \frac{1}{\beta} + R_t \cdot \frac{d_i}{d_m} + \frac{1}{\propto_R}}$$

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{1215.14} + 0.0002 \cdot \frac{1}{5.712} + 2.703 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0.016}{0.017} + \frac{1}{280.34}} = 225.856\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Specifični toplinski tok:

$$q_i = k_i \cdot \Delta T_m = 225.856 \cdot 5.361 = 1210.81 \ \frac{W}{m^2}$$

Konačna vrijednost unutarnje površine:

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = \frac{18}{1.211} = 14.866 \ m^2$$

Ukupni koeficijent prolaza topline za vanjsku površinu:

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = \frac{225.856}{5.712} = 39.541 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Vanjska površina:

$$A_e = A_i \cdot \beta = 18.51 \cdot 5.712 = 105.73 \ m^2$$

Brzina zraka:

$$w_f = \frac{V_a}{B \cdot H} = \frac{3.663}{2.1 \cdot 1.1} = 1.586 \ \frac{m}{s}$$

Pad tlaka zraka:

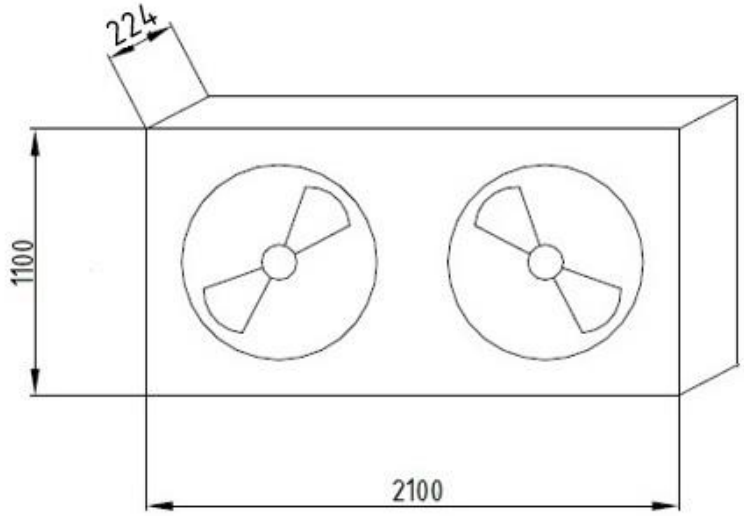
Jednadžba za šahovski raspored cijevi:

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

$$\Delta p = 0.233 \cdot 7 \cdot \left(\frac{0.032}{0.01 - 0.0005}\right)^{0.42} \cdot (2.39 \cdot 1.4039)^{1.8} = 24.01 \ Pa$$

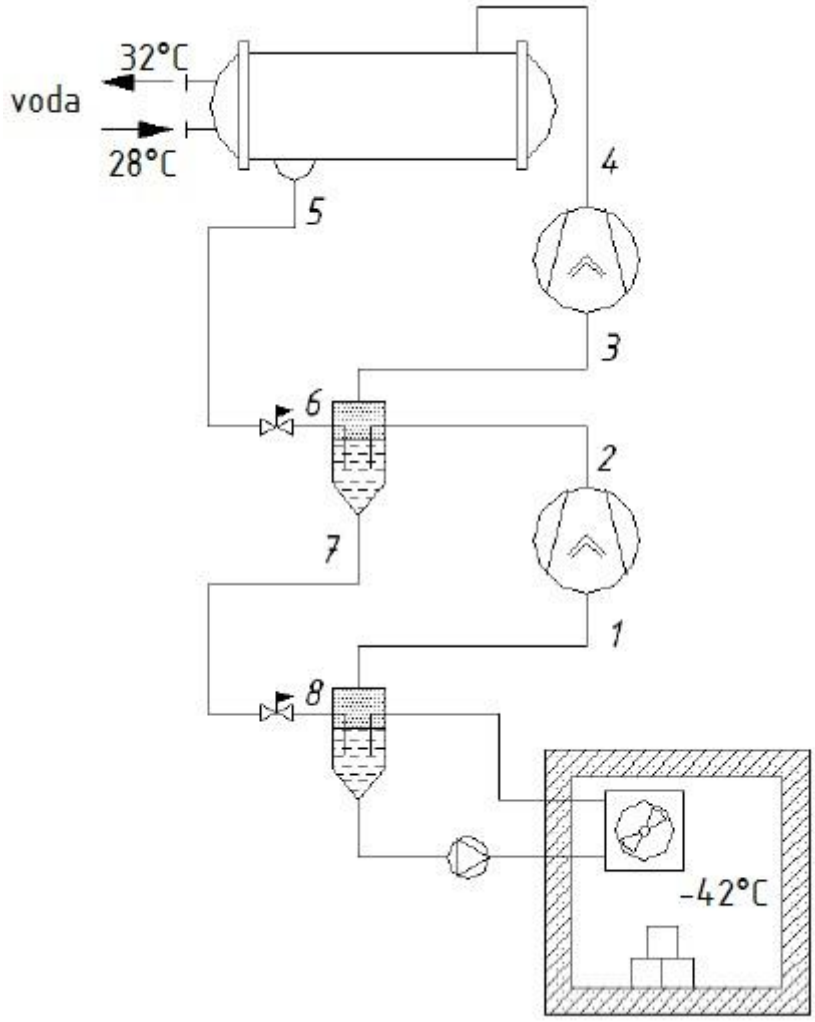
Dimenzije isparivača:

B = 2.1 m H = 1.1 m L = 0.224 m



Slika 25. Dimenzije isparivača R404A

7. PRORAČUN KRUŽNOG PROCESA (R717)



Slika 26. Shema rashladnog uređaja (R717)

$$p_1 = 0.643\ bar \qquad T_1 = 231\ K \qquad h_1 = 1324.0\ \frac{kJ}{kg} \qquad s_1 = 3.840\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$p_2 = 14.30\ bar \qquad T_2 = 399\ K \qquad h_2 = 1651.0\ \frac{kJ}{kg} \qquad s_2 = 3.290\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

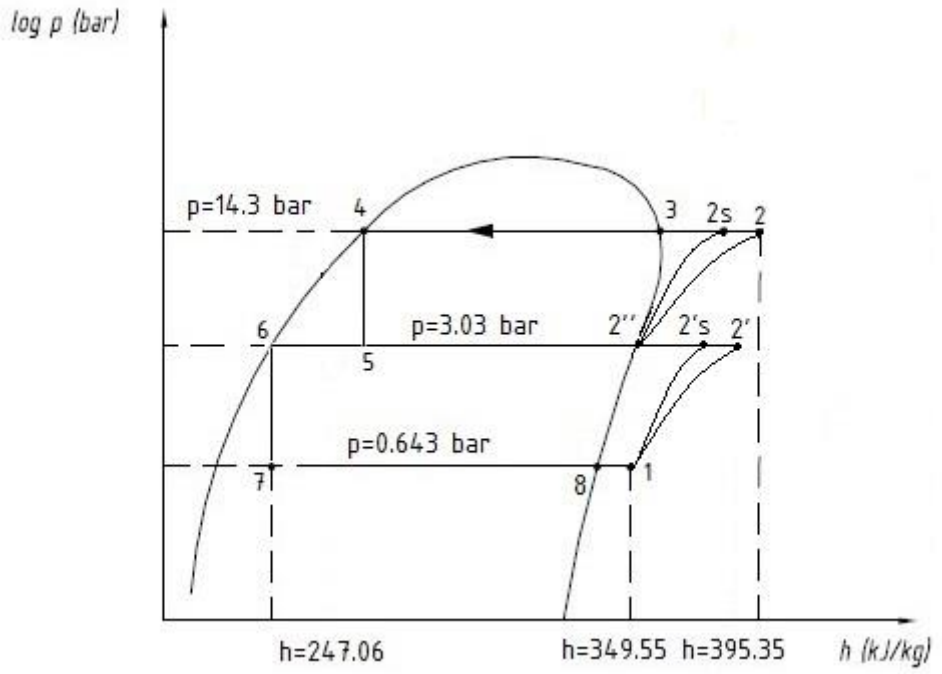
$$p_3 = 14.30\ bar \qquad T_3 = 310\ K \qquad h_3 = 1397.5\ \frac{kJ}{kg}$$

$$p_4 = 14.30\ bar \qquad T_4 = 310\ K \qquad h_4 = 298.00\ \frac{kJ}{kg}$$

$$p_7 = 0.643\ bar \qquad T_7 = 231\ K \qquad h_7 = 79.700\ \frac{kJ}{kg}$$

$$p_8 = 0.643\ bar \qquad T_8 = 231\ K \qquad h_8 = 1324.0\ \frac{kJ}{kg}$$

$$p_m = 3.03\ bar \qquad T_m = 264\ K \qquad h_m = 79.700\ \frac{kJ}{kg}$$



Slika 27. logp-h dijagram rashladnog kružnog procesa za radnu tvar R717

$Q_{e1} = 98\ kW$ - kapacitet isparivača u 1. komori

$Q_{e2} = 98\ kW$ - kapacitet isparivača u 2. komori

$T_{e1} = 231\ K$ - temperatura isparavanja u 1. komori

$T_{e2} = 231\ K$ - temperatura isparavanja u 2. komori

R717 - radna tvar

Specifični rashladni učin isparivača 1 i 2:

$$q_{e1} = h_8 - h_7 = 1324 - 79.7 = 1244.3\ \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{e2} = h_1 - h_6 = q_{e1}$$

Protočna masa radne tvari:

$$q_{m1} = \frac{Q_{e1}}{q_{e1}} = \frac{98}{1244.3} = 0.079\ \frac{kg}{s} = q_{m2}$$

$$q_{m_{uk}} = q_{m1} + q_{m2} = 2 \cdot 0.079 = 0.158\ \frac{kg}{s}$$

Dvostupanjska kompresija:

Specifični rad i snaga kompresora:

1.Stupanj

$$w_1 = h_{2'} - h_1 = 1528 - 1324 = 204\ \frac{kJ}{kg}$$

2.Stupanj

$$w_2 = h_{2''} - h_1 = 1651 - 1370 = 281\ \frac{kJ}{kg}$$

$$P_{komp} = \frac{(q_{m1} + q_{m2}) \cdot (w_1 + w_2)}{\eta_{komp}} = \frac{(0.079 + 0.079) \cdot (204 + 281)}{0.95} = 81\ kW$$

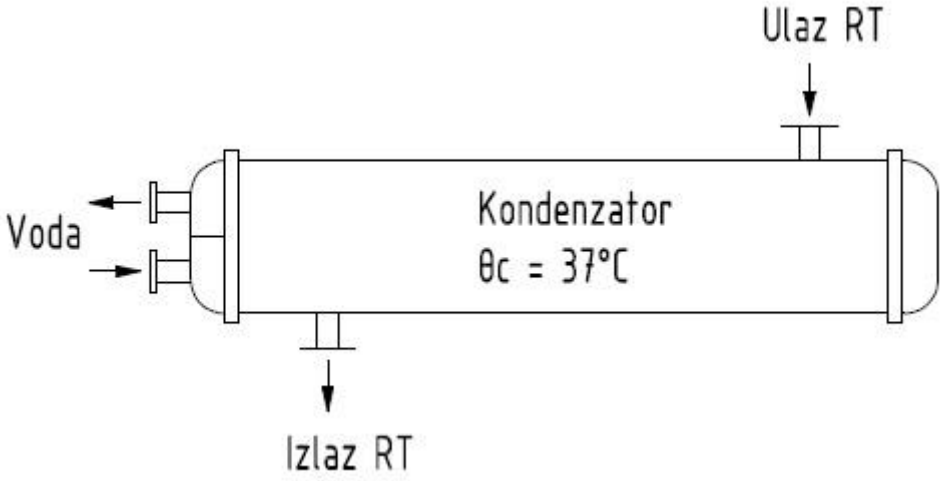
Faktor hlađenja:

$$COP = \frac{Q_{e1} + Q_{e2}}{P} = \frac{98 + 98}{81} = 2.419$$

Toplinska bilanca sustava:

$$\emptyset_{kond} = \sum \emptyset_{isp} + 2 \cdot P_{komp} = 98 + 98 + 3 \cdot 81 = 405\ kW$$

8. PRORAČUN KONDENZATORA (R717)



Slika 28. Kondenzator (R717)

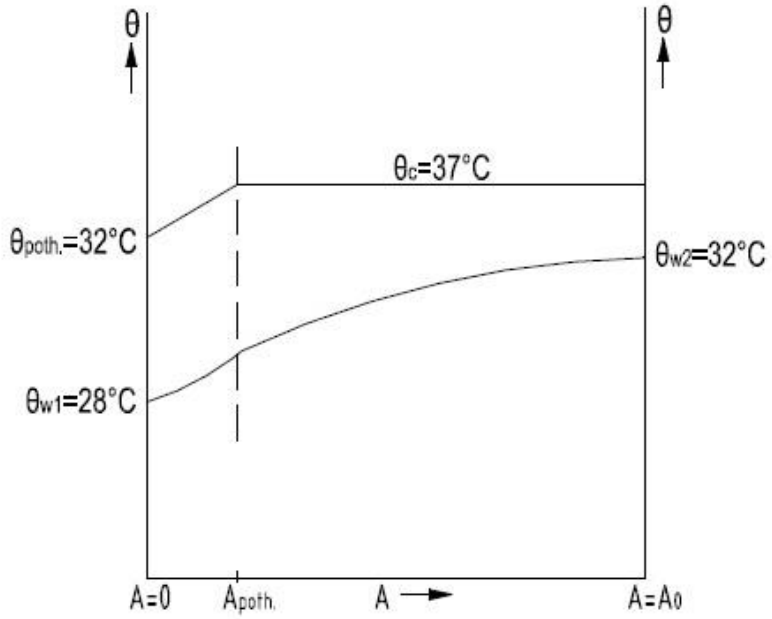
Q_c = 405 kW - kapacitet kondenzatora

T_{w1} = 301 K - temperatura vode na ulazu

T_{w2} = 305 K - temperatura vode na izlazu

T_c = 310 K - temperatura kondenzacije

R717 - radna tvar



Slika 29. θ-A dijagram kondenzatora (R717)

Proračunava se: koeficijent prolaza topline, izmjenjivačka površina, dimenzije i pad tlaka vode.

Na početku se pretpostavi specifični toplinski tok na vanjskoj površini:

$q_e = 7\ 225\ \frac{W}{m^2}$

Izmjenjivačka površina:

$$A_e = \frac{Q_c}{q_e} = \frac{405}{7.225} = 56.06\ m^2$$

Dimenzije plašta:

$D = 600\ mm$ - promjer plašta

Čelične cijevi:

$d_e = 25\ mm$ - vanjski promjer cijevi

$d_i = 20\ mm$ - unutarnji promjer cijevi

$s = 35\ mm$ - razmak između cijevi

U križnom djelu s ovim promjerom cijevi se može približno odrediti broj cijevi:

$$n_t = 0.75 \cdot \left[\left(\frac{D}{s}\right)^2 - 1\right] + 1 = 0.75 \cdot \left[\left(\frac{0.6}{0.35}\right)^2 - 1\right] + 1 = 220.6$$

Konačni broj cijevi:

$n_t = 204$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{ov} = \frac{A_e}{\pi \cdot d_e} = \frac{56.06}{\pi \cdot 0.025} = 713.72\ m$$

Duljina (aktivna) kondenzatora:

$$L = \frac{L_{ov}}{n_t} = \frac{713.72}{204} = 3.499\ m$$

Protočna masa vode:

$c_w = 4\ 180.3\ \frac{J}{kg \cdot K}$

$$m_w = \frac{Q_c}{c_w \cdot (T_{w2} - T_{w1})} = \frac{405}{4.1803 \cdot (305 - 300)} = 19.378\ \frac{kg}{s}$$

Broj prolaza vode:

$n_p = 6$

Broj cijevi u jednom prolazu:

$$n_{t1} = \frac{n_t}{n_p} = \frac{204}{6} = 34$$

Brzina vode u cijevima:

$\rho_w = 995.62\ \frac{kg}{m^3}$

$$w = \frac{m_w}{\frac{\pi \cdot {d_i}^2}{4} \cdot n_{t1} \cdot \rho_w} = \frac{19.378}{\frac{\pi \cdot 0.02^2}{4} \cdot 34 \cdot 995.62} = 1.828\ \frac{m}{s}$$

Logaritamska temperaturna razlika:

$$\Delta T_m = \frac{(T_c - T_{w1}) - (T_c - T_{w2})}{ln\left(\frac{T_c - T_{w1}}{T_c - T_{w2}}\right)} = \frac{(310 - 300) - (310 - 305)}{\ln\left(\frac{310 - 300}{310 - 305}\right)} = 7.213\ K$$

Termodinamičke karakteristike vode:

$T_{wm} = T_c - \Delta T_m = 310 - 7.213 = 302.79\ K$

ρ= 995.62 $\frac{kg}{m^3}$ - gustoća vode

c = 4 180.3 $\frac{J}{kg \cdot K}$ - specifični toplinski kapacitet

λ = 0.6155 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - toplinska vodljivost

η = 797.35·10^{-4} Pa·s - dinamička viskoznost

ν = 8.009·10^{-7} $\frac{m^2}{s}$ - kinematička viskoznost

$B_w = 0.023 \cdot \rho^{0.8} \cdot c^{0.4} \cdot \lambda^{0.6} \cdot \eta^{-0.4}$

$B_w = 0.023 \cdot 995.62^{0.8} \cdot 4180.3^{0.4} \cdot 0.6155^{0.6} \cdot 8.009 \cdot 10^{-7^{-0.4}} = 2096.83$

Reynoldsov broj:

$Re = w \cdot \frac{d_i}{\nu} = \frac{1.828 \cdot 0.02}{8.009 \cdot 10^{-7}} = 40\ 481$

Zbog $Re >$ 10000 vrijedi: $f_w = 1$

Pojednostavljena jednadžba za koeficijent prijelaza topline:

$\propto_w = f_w \cdot B_w \cdot \frac{w^{0.8}}{{d_i}^{0.2}} = 1 \cdot 2096.83 \cdot \frac{1.828^{0.8}}{0.02^{0.2}} = 6\ 761.55\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Faktori toplinskog otpora:

Toplinski otpor kroz cijevnu stijenku:

δ_1 =2 mm λ_1 = 50 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$d_m = \frac{d_e + d_i}{2} = \frac{25 + 20}{2} = 22.5\ \text{mm}$

$R_1 = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}\right) \cdot \left(\frac{d_i}{d_m}\right) = \frac{0.002}{50} \cdot \frac{0.02}{0.0225} = 44 \cdot 10^{-6}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

Toplinski otpor kroz vapnenac:

δ_2 =0.5 mm $\lambda_2 = 2\ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$$R_2 = \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2}\right) = \frac{0.0004}{20} = 2.5 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Toplinski otpor kroz hrđu:

$$R_3 = 2.5 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Ukupni toplinski otpor:

$$R_i = R_1 + R_2 + R_3 = 44 \cdot 10^{-6} + 2.5 \cdot 10^{-4} + 2.5 \cdot 10^{-4} = 5.44 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Specifični toplinski tok na strani vode:

$$q_i = \frac{T_z + T_{wm}}{\frac{1}{\propto_w} + R_i}$$

$$q_i = 1\,445.31 \cdot (T_z - T_{wm})$$

Specifični toplinski tok na vanjskoj površini:

$$q_e = \frac{A_i}{A_e} \cdot q_i$$

$$q_{e1} = 4\,986.305 \cdot (T_z - 302.79)$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari:

$$\propto_R = 0.725 \cdot B \cdot {d_e}^{-0.25} \cdot f^{\frac{1}{6}} \cdot \psi_c \cdot (T_c - T_Z)^{-0.25}$$

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

h_c = 298 000 $\frac{J}{kg}$ ρ= 583.9 $\frac{kg}{m^3}$ λ = 0.4949 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ η = 1.302·10^{-4} Pa·s

$$B = \left(\frac{g \cdot h_c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\eta}\right)^{0.25} = \left(\frac{9.81 \cdot 298000 \cdot 583.9^2 \cdot 0.4949^3}{1.302 \cdot 10^{-4}}\right)^{0.25} = 7\,660\ \frac{m^{0.25} \cdot kg}{K^{0.75} \cdot s^3}$$

Približan broj cijevi u redu:

$$f = 0.9 \cdot \frac{D}{1.732 \cdot s} = 0.9 \cdot \frac{0.6}{1.732 \cdot 0.035} \approx 8$$

Koeficijent prijelaza topline se sada može jednostavnije napisati:

$\psi_c = 1$ - za cijevi u ravnini

$$\propto_R = 0.725 \cdot B \cdot {d_e}^{-0.25} \cdot f^{\frac{1}{6}} \cdot \psi_c \cdot (T_c - T_Z)^{-0.25}$$

$$\propto_R = 0.725 \cdot 7\,660 \cdot 0.025^{-0.25} \cdot 8^{\frac{1}{6}} \cdot 1 \cdot (310 - T_Z)^{-0.25}$$

$$\propto_R = 9\,870 \cdot (310 - T_Z)^{-0.25}$$

Specifični toplinski tok na strani radne tvari:

$q_{e2} = \propto_R \cdot (310 - T_z)$

pa onda slijedi:

$q_{e2} = 9\,870 \cdot (310 - T_z)^{0.75}$

$q_{e1} = q_{e2}\ solve \rightarrow\ T_z$

$T_z = 307.58$ K

$$q_{e2} = 9\,870 \cdot (310 - T_z)^{0.75} = 9870 \cdot (310 - 307.58)^{0.75} = 7\,225.283\ \frac{W}{m^2}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari:

$$\propto_R = 9\,870 \cdot (310 - 309.34)^{-0.25} = 10\,950.43\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ukupni koeficijent prolaza topline:

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{\propto_R} + R_e + \left(\sum R_i + \frac{1}{\propto_w}\right) \cdot \frac{A_e}{A_i}} = \frac{1}{\frac{1}{10950.43} + 0 + \left(5.44 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5481.4}\right) \cdot \frac{25}{20}}$$

$$k_e = 1000.3\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pad tlaka vode:

$\xi_{in} = 0.5$

Faktor trenja:

$$\xi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} = \frac{0.3164}{31\,139^{0.25}} = 0.0238$$

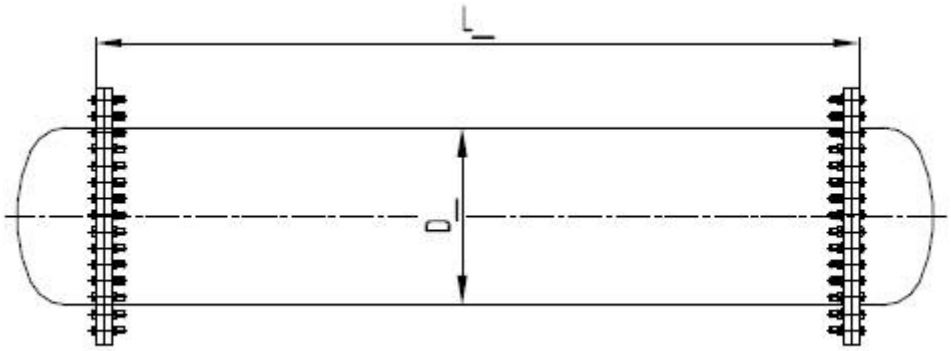
$$\Delta p = \left(\xi \cdot \frac{L}{d_i} + \frac{1.5}{n_p} + 1.5\right) \cdot n_p \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = \left(0.0238 \cdot \frac{2.38}{0.02} + \frac{1.5}{6} + 1.5\right) \cdot 4 \cdot \frac{995.62 \cdot 1.25^2}{2}$$

$$\Delta p = 21\,384.98\ Pa$$

Dimenzije kondenzatora:

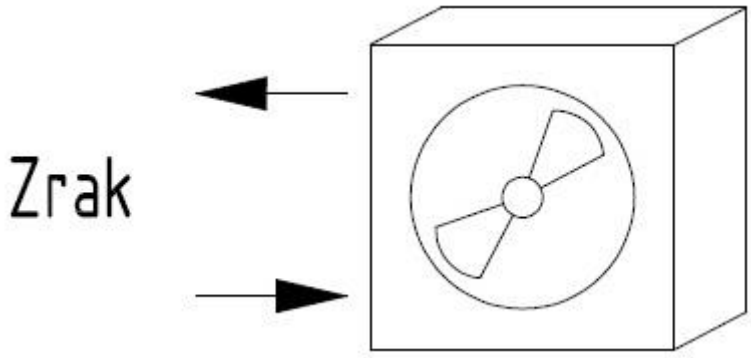
L_= 3.49 m

D_ = 0.600 m



Slika 30. Dimenzije kondenzatora (R717)

9. PRORAČUN ISPARIVAČA (R717)



Slika 31. Isparivač (R717)

Q_e = 49.5 kW - kapacitet isparivača

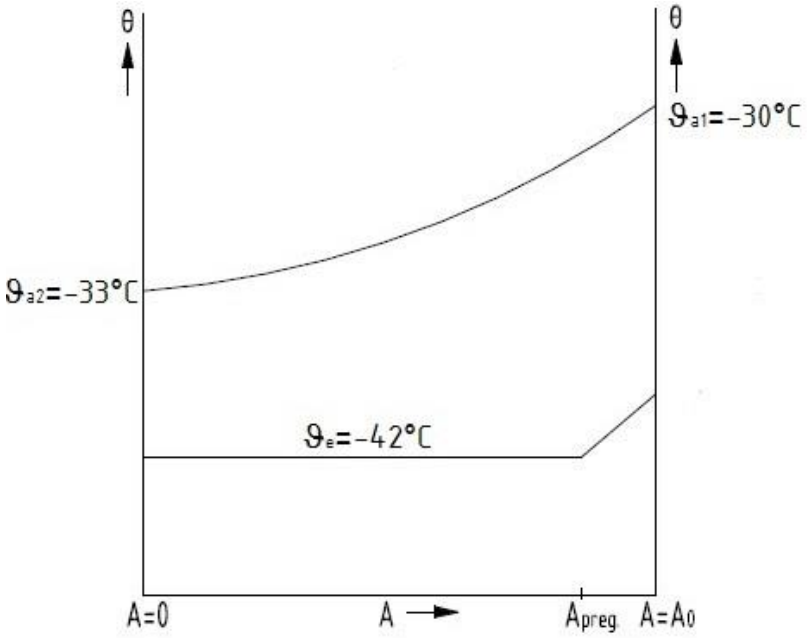
T_{a1} = 243 K - ulazna temperatura zraka

T_{a2} = 240 K - izlazna temperatura zraka

T_e = 231 K - temperatura isparavanja

T_c = 310 K - temperatura kondenzacije

R717 - radna tvar



Slika 32. θ-A dijagram isparivača

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

Konstrukcijski parametri:

$d_e = 26.9\ mm$ - vanjski promjer cijevi (čelične)

$d_i = 22.3\ mm$ - unutarnji promjer cijevi (čelične)

$s_1 = 67\ mm$ - vertikalni razmak između cijevi

$s_2 = 58\ mm$ - horizontalni razmak između cijevi

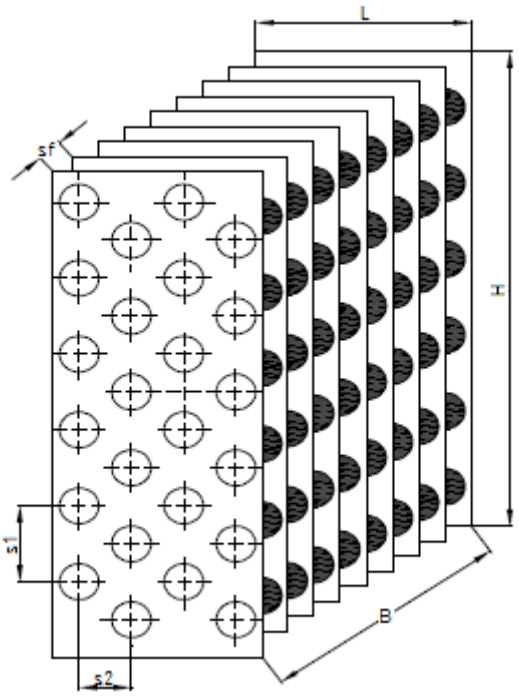
$s_f = 13\ mm$ - razmak između rebara (čelična)

$f_t = 0.5\ mm$ - debljina rebara

$i_r = 4$ - broj redova

$i_t = 20$ - broj cijevi u redu

$i_{in} = 10$ - broj ulaznih cijevi (krugova)



Slika 33. Prikaz konstrukcijskih parametara

Proračun potrebne površine za duljinu cijevi od 1 m.

Površina na vanjskoj strani cijevi između rebara:

$$A_{mt} = \pi \cdot d_e \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = \pi \cdot 0.0269 \cdot \left(1 - \frac{0.0005}{0.013}\right) = 0.0813 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina rebara:

$$A_f = 2 \cdot \frac{\left(s_1 \cdot s_2 - \pi \cdot \frac{d_e^2}{4}\right)}{s_f} = 2 \cdot \frac{\left(0.067 \cdot 0.058 - \pi \cdot \frac{0.0269^2}{4}\right)}{0.013} = 0.5104 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina na vanjskoj strani cijevi za prijelaz topline za 1 m cijevi:

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0.0813 + 0.5104 = 0.59167 \ \frac{m^2}{m}$$

Površina na unutarnjoj strani cijevi za prijelaz topline za 1 m cijevi:

$$A_{i1} = \pi \cdot d_i = \pi \cdot 0.0223 = 0.07 \ \frac{m^2}{m}$$

Omjer vanjske i unutrašnje površine za izmjenu topline:

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = \frac{0.592}{0.07} = 8.45$$

Visina izmjenjivača topline:

$$H = i_t \cdot s_1 = 20 \cdot 0.067 = 1.34 \ m$$

Dubina izmjenjivača topline:

$$L = i_r s_2 = 4 \cdot 0.058 = 0.232 \ m$$

Prosječna logaritamska temperaturna razlika:

$$\Delta T_m = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{\ln\left(\frac{T_{a1} - T_e}{T_{a2} - T_e}\right)} = \frac{243 - 240}{\ln\left(\frac{243 - 231}{240 - 231}\right)} = 10.428 \ K$$

Prosječna temperatura zraka:

$T_{am} = T_e + \Delta T_m = 231 + 10.428 = 241.428\ K$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka T_{am}:

ρ_a= 1.468 $\frac{kg}{m^3}$ $c_a = 1005\ \frac{J}{kg \cdot K}$ λ_a = 0.027068 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

Kod izmjene topline na strani zraka mora se uzeti u obzir vlažnost zraka. Kod toplinske ravnoteže nužno je znati vrijednost entalpije zraka.

Na bazi temperature i relativne vlažnosti ulaznog zraka mogu se uzeti entalpija i udio vlažnosti:

h_1 = - 31 230 $\frac{J}{kg}$ x_1 = 0.1833 $\frac{g}{kg}$

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

h'_e = 79 700 $\frac{J}{kg}$ - entalpija radne tvari na ulazu u isparivač

h''_e = 1 324 000 $\frac{J}{kg}$ - entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača

Protočna masa radne tvari:

$$m_{R1} = \frac{Q_e}{h''_e - h'_e} = \frac{18}{1\,324 - 79.7} = 0.0796\ \frac{kg}{s}$$

$$m_R = 8 \cdot m_{R1} = 8 \cdot 0.0796 = 0.6368\ \frac{kg}{s}$$

Termodinamičke karakteristike radne tvari:

ρ_R = 692.57 $\frac{kg}{m^3}$ $c_R = 4\,432\ \frac{J}{kg \cdot K}$ λ_R = 0.55 $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ ν_R = 4.160 · 10^{-7} Pa·s

Volumenski protok radne tvari:

$$V_R = \frac{m_R}{\rho_R} = \frac{0.6368}{692.57} = 9.195 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$$

Brzina radne tvari u cijevima:

$$w_R = \frac{V_R}{\frac{(i_{in} \cdot \pi \cdot d_i^2)}{4}} = \frac{9.195 \cdot 10^{-4}}{\frac{10 \cdot \pi \cdot 0.0223^2}{4}} = 0.235 \frac{m}{s}$$

Koeficijent prijelaza topline u cijevima se proračunava prema:

$$\propto_R = \propto_{R1} \cdot \left[1 + \left(\frac{\propto_{R2}}{\propto_{R1}}\right)^{1.5}\right]^{\frac{2}{3}} = \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\propto_{R1} = B_R \cdot \frac{w^{0.8}}{d_i^{0.2}} = 2254.93 \cdot \frac{0.235^{0.8}}{0.0223^{0.2}} = 1\,516.87 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$B_R = 0.023 \cdot \rho^{0.8} \cdot c^{0.4} \cdot \lambda^{0.6} \cdot \eta^{-0.4} = 0.023 \cdot 692.57^{0.8} \cdot 4432^{0.4} \cdot 0.55^{0.6} \cdot 2.881 \cdot 10^{-7^{-0.4}}$$

$$B_R = 2254.93$$

$$\propto_{R2} = 2.2 \cdot p_e^{0.21} \cdot q_i^{0.7} = 2.2 \cdot 0.65424^{0.21} \cdot 1620^{0.7} = 336.505 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$q_i = 1620 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ - pretpostavljeni specifični toplinski tok

$$\propto_R = 1516.87 \cdot \left[1 + \left(\frac{336.505}{1516.87}\right)^{1.5}\right]^{\frac{2}{3}} = 1\,620.773 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Toplinski otpor materijala cijevi:

$$\delta_t = \frac{d_e - d_i}{2} = \frac{26.9 - 22.3}{2}$$

$\delta_t = 2.3$ mm - debljina stijenke cijevi

$\lambda_t = 45 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ - toplinska vodljivost materijala (čelik)

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = \frac{0.0023}{45} = 5.111 \cdot 10^{-5} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_0 = 0.001$$

Nužno je izračunati prosječu temperaturu na vanjskoj stijenki cijevi koja se odredi pomoću formule za toplinski tok:

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2}$$

$d_m = 0.0246\ \text{mm}$

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

pa iz te formule slijedi:

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

$$T_s = 231 + \left(\frac{1}{1620.773} + 5.111 \cdot 10^{-5} + \frac{0.0223}{0.0246} + 0.001 \cdot \frac{1}{8.45}\right) \cdot 1620 = 232.173\ K$$

Temperatura T_s je temperatura zasićenog zraka. To znači da je za relativnu vlažnost $\varphi_s = 100\ \%$:

$h_s = -40\ 000\ \frac{J}{kg}$ $x_s = 0.082\ \frac{g}{kg}$

Prema činjenici da je $x_s < x_1$, dolazi do prijelaza mase sa zraka na vanjsku površinu.

Karakteristike izlaznog zraka:

$$x_2 = x_1 - (x_1 - x_s) \cdot \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_s} = 0.1833 - (0.1833 - 0.082) \cdot \frac{243 - 240}{243 - 232.173}$$

$$x_2 = 0.155\ \frac{g}{kg}$$

$r_0 = 2\ 501\ 000\ \frac{J}{kg}$ - toplina isparavanja vode

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

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

$$h_2 = c_{pu} \cdot T_{a2} + x_2 \cdot (r_o + c_{pd} \cdot T_{a2})$$

$$h_2 = 1.005 \cdot (-33) + 0.000155 \cdot (2501 + 1.863 \cdot (-33))$$

$$h_2 = -32.787\ \frac{kJ}{kg}$$

Površina za prijelaz topline:

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = \frac{49.5}{3.563} = 13.893\ m^2$$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{OV} = \frac{A_i}{A_{i1}} = \frac{13.893}{0.07} = 198.468\ m$$

Duljina cijevi u jednom redu:

$$L_1 = \frac{L_{OV}}{i_r} = \frac{198.468}{4} = 49.62\ m$$

Širina izmjenjivača:

$$B = \frac{L_1}{i_t} = \frac{49.62}{20} = 2.48\ m$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

Protočna masa zraka:

$$m_a = \frac{Q_e}{h_1 - h_2} = \frac{45.9}{-31.23 + 32.787} = 29.482\ \frac{kg}{s}$$

Protočni volumen zraka:

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_a} = \frac{29.482}{1.468} = 20.083\ \frac{m^3}{s}$$

Najmanja površina na križnom dijelu (između cijevi i rebara) gdje prolazi zrak:

$$A_Z = L_1 \cdot \frac{s_1 - d_e}{1 - \frac{f_t}{s_f}} = 49.62 \cdot \frac{0.067 - 0.0269}{1 - \frac{0.0005}{0.013}} = 2.069\ m^2$$

Brzina na najmanjem poprečnom presjeku:

$$w = \frac{V_a}{A_Z} = \frac{20.083}{2.069} = 9.7056\ \frac{m}{s}$$

Nusseltov broj:

$$Nu = C_{_} \cdot C_r \cdot C_s \cdot \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0.14} \cdot Re^n$$

Ova jednadžba vrijedi za d_e > 16 mm; s_f/d_e = 0.483 > 0.35;

$C_{_}$ = 0.23 n = 0.65 - stranica 154. “Ciconkov”

C_r = 0.99 - stranica 154. “Ciconkov”

$$C_s = \left(\frac{s_1 - d_e}{s_{2d} - d_e}\right)^{0.2} = \left(\frac{67 - 26.9}{66.98 - 26.9}\right)^{0.2} = 1$$

$$s_{2d} = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2} = \sqrt{\left(\frac{67}{2}\right)^2 + 58^2} = 66.98\, mm$$

Reynoldsov broj:

$$Re = w \cdot \frac{s_f}{\upsilon_a} = 9.7056 \cdot \frac{0.013}{1.0681 \cdot 10^{-5}} = 5470.71$$

Visina rebra:

$$h = \frac{s_1 - d_e}{2} = \frac{67 - 26.9}{2} = 20.02\, mm$$

$$Nu = C_{_} \cdot C_r \cdot C_s \cdot \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0.14} \cdot Re^n$$

$$Nu = 0.23 \cdot 0.99 \cdot 1 \cdot \left(\frac{26.9}{13}\right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{20.02}{13}\right)^{-0.14} \cdot 10935.774^{0.65}$$

$$Nu = 61.07$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\propto_a = Nu \cdot \frac{\lambda_a}{s_f} = 61.07 \cdot \frac{0.027068}{0.013} = 127.157\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Kako je $x_1 > x_2$, vanjska površina je vlažna. U tom slučaju prijelaz topline je intenzivniji te se koeficijent prijelaza topline množi sa koeficijentom ξ_w.

$$\xi_w = 1 + 2500 \cdot \frac{x_1 - x_s}{T_{a1} - T_s} = 1 + 2500 \cdot \frac{0.0001833 - 0.000082}{243 - 232.173} = 1.0234$$

$$\propto_{aw} = \propto_a \cdot \xi_w = 127.157 \cdot 1.0234 = 130.131 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prijelaza topline u odnosu na unutarnji promjer cijevi:

$$\propto_{ai} = \propto_{aw} \cdot \frac{\left(A_f \cdot E \cdot C_k + A_{mt}\right)}{A_{i1}}$$

$C_k = 0.98$ - koeficijent otpora na kontaktu između cijevi i rebra

Korisnost rebra:

$$E = \frac{\tanh\left(m_f \cdot h_f\right)}{m_f \cdot h_f}$$

$\lambda_f = 45 \ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ - toplinska vodljivost materijala (čelik)

$$m_f = \sqrt{\frac{2 \cdot \propto_{aw}}{f_t \cdot \lambda_f}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 102.571}{0.0005 \cdot 45}} = 95.4852 \ \frac{1}{m}$$

$$h_f = 0.5 \cdot d_e \cdot \left(\rho_f - 1\right) \cdot \left(1 + 0.35 \cdot \ln\left(\rho_f\right)\right)$$

Prema dogovoru, za šahovski raspored cijevi $s_1/2 < s_2$:

$A_f = s_1 = 0.067$ m

$$B_f = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2} = \sqrt{\left(\frac{0.067}{2}\right)^2 + 0.058^2} = 0.066998 \, m$$

$$\rho_f = 1.27 \cdot \left(\frac{B_f}{d_e}\right) \cdot \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0.3} = 1.27 \cdot \frac{0.067}{0.0269} \cdot \sqrt{\frac{0.067}{0.067} - 0.3} = 2.646 \ \frac{kg}{m^3}$$

$$h_f = 0.5 \cdot d_e \cdot \left(\rho_f - 1\right) \cdot \left(1 + 0.35 \cdot \ln\left(\rho_f\right)\right)$$

$$h_f = 0.5 \cdot 0.067 \cdot (2.646 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln 2.646) = 0.02968 \, m$$

$$E = \frac{\tanh\left(m_f \cdot h_f\right)}{m_f \cdot h_f} = \frac{\tan(95.4852 \cdot 0.02968)}{95.4852 \cdot 0.02968} = 0.33971$$

Na kraju je koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$\propto_{ai} = \propto_{aw} \cdot \frac{\left(A_f \cdot E \cdot C_k + A_{mt}\right)}{A_{i1}} = 130.131 \cdot \frac{0.5104 \cdot 0.33971 \cdot 0.98 + 0.0813}{0.0701}$$

$$\propto_{ai} = 466.357 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prolaza topline za unutrašnju površinu:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\propto_{ai}} + R_o \cdot \frac{1}{\beta} + R_t \cdot \frac{d_i}{d_m} + \frac{1}{\propto_R}}$$

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{466.357} + 0.001 \cdot \frac{1}{8.445} + 5.11 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0.0223}{0.0246} + \frac{1}{1620.773}} = 341.763 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Specifični toplinski tok:

$$q_i = k_i \cdot \Delta T_m = 341.763 \cdot 10.428 = 3\,563.15 \ \frac{W}{m^2}$$

Ukupni koeficijent prolaza topline za vanjsku površinu:

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = \frac{341.763}{8.445} = 40.469 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Vanjska površina:

$$A_e = A_i \cdot \beta = 13.893 \cdot 8.445 = 117.326 \ m^2$$

Brzina zraka:

$$w_f = \frac{V_a}{B \cdot H} = \frac{20.083}{2.68 \cdot 1.34} = 5.592 \ \frac{m}{s}$$

Pad tlaka zraka:

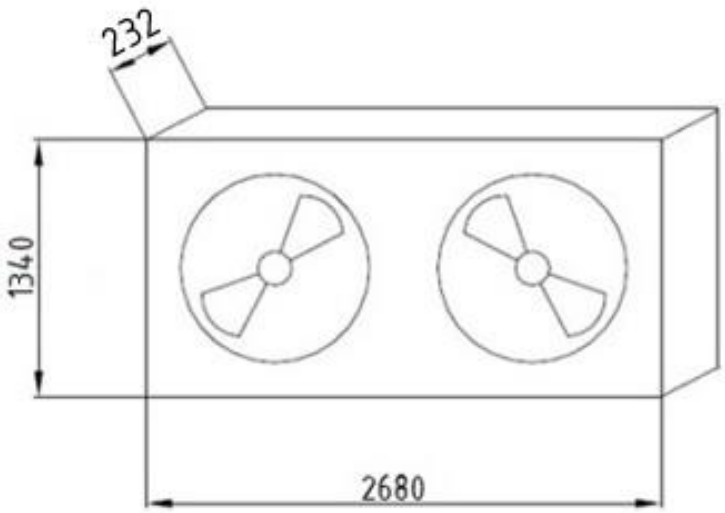
Jednadžba za šahovski raspored cijevi:

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

$$\Delta p = 0.233 \cdot 8 \cdot \left(\frac{0.058}{0.013 - 0.0005}\right)^{0.42} \cdot (5.344 \cdot 1.395)^{1.8} = 306.769\ Pa$$

Dimenzije isparivača:

B = 2.48 m H = 1.34 m L = 0.232 m



Slika 34. Dimenzije isparivača (R717)

10. PRORAČUN CJEVOVODA

Proračun cjevovoda se vrši da bi se odredili potrebni promjeri cijevi:

Radna tvar: R404A

q_m = 1.028 $\frac{kg}{s}$ - protočna masa

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

ρ_u = 10.655 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u usisnom vodu

ρ_t = 76.923 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u tlačnom vodu

ρ_k = 1010.2 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u kapljevinskom vodu

Usisni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vu} = \frac{q_m}{\rho_u} = \frac{1.028}{10.655} = 0.0965\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_u = \frac{q_{vu}}{w_u} = \frac{0.0965}{12} = 8.04 \cdot 10^{-3}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot A_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.04 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0.1012\ m = 101.2\ mm$$

(odabrano DN100)

Tlačni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vt} = \frac{q_m}{\rho_t} = \frac{1.028}{76.923} = 0.0134\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_t = \frac{q_{vt}}{w_t} = \frac{0.0134}{15} = 8.909 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.909 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0.03368\ m = 33.68\ mm$$

(odabrano DN32)

Kapljevinski vod:

Protočni volumen:

$$q_{vk} = \frac{q_m}{\rho_k} = \frac{1.028}{1010.2} = 0.001018\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_k = \frac{q_{vk}}{w_k} = \frac{0.001018}{0.8} = 1.272 \cdot 10^{-3}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot A_k}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.04 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0.04024\ m = 40.24\ mm$$

(odabrano Cu42x1.5)

Radna tvar: R717

q_m = 0.158 $\frac{kg}{s}$ - protočna masa

w_u =15 $\frac{m}{s}$ - preporučena brzina u usisnom vodu

w_t =20 $\frac{m}{s}$ - preporučena brzina u tlačnom vodu

w_k =0.9 $\frac{m}{s}$ - preporučena brzina u kapljevinskom vodu

ρ_{u1} = 0.5811 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u usisnom vodu (-42°C)

ρ_{t1} = 7.749 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u tlačnom vodu (126°C)

ρ_{k1} = 692.57 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u kapljevinskom vodu (32°C)

ρ_{u2} = 2.4961 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u usisnom vodu (-9°C)

ρ_{t2} = 1.883 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u tlačnom vodu (53°C)

ρ_{k2} = 650.75 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari u kapljevinskom vodu (-9°C)

ρ_{ii} = 125 $\frac{kg}{m^3}$ - gutoća radne tvari na izlazu iz isparivača (-42°C)

Niskotlačni usisni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vu1} = \frac{q_m}{\rho_{u1}} = \frac{0.158}{0.5881} = 0.2687 \ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{u1} = \frac{q_{vu1}}{w_u} = \frac{0.2687}{15} = 0.0179 \ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{u1} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{u1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0179}{\pi}} = 0.15101 \ m = 151.01 \ mm$$

(odabrano DN150)

Visokotlačni usisni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vu2} = \frac{q_m}{\rho_{u2}} = \frac{0.158}{2.4961} = 0.0633\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{u2} = \frac{q_{vu2}}{w_u} = \frac{0.0633}{15} = 0.00422\ \ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{u2} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{u2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00422}{\pi}} = 0.0185\ m = 18.5\ mm$$

(odabrano DN15)

Niskotlačni tlačni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vt1} = \frac{q_m}{\rho_{t1}} = \frac{0.158}{7.749} = 0.0204\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{t1} = \frac{q_{vt1}}{w_t} = \frac{0.0204}{20} = 1.019 \cdot 10^{-3}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{t1} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.019 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0.03603\ m = 36.03\ mm$$

(odabrano DN32)

Visokotlačni tlačni vod:

Protočni volumen:

$$q_{vt2} = \frac{q_m}{\rho_{t2}} = \frac{0.158}{1.883} = 0.084\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{t2} = \frac{q_{vt2}}{w_t} = \frac{0.084}{20} = 4.203 \cdot 10^{-3}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{t2} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{t2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4.203 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0.0732\ m = 73.2\ mm$$

(odabrano DN65)

Niskotlačni kapljevinski vod:

Protočni volumen:

$$q_{vk1} = \frac{q_m}{\rho_{k1}} = \frac{0.158}{692.57} = 0.0002281\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{k1} = \frac{q_{vk1}}{w_k} = \frac{0.0002281}{0.9} = 2.535 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{k1} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{k1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.535 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0.01798\ m = 17.98\ \ mm$$

(odabrano DN15)

Visokotlačni kapljevinski vod:

Protočni volumen:

$$q_{vk2} = \frac{q_m}{\rho_{k2}} = \frac{0.158}{692.57} = 0.0002428\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{k2} = \frac{q_{vk2}}{w_k} = \frac{0.0002281}{0.9} = 2.698 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{k2} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{k2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.698 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0.01850\ m = 18.50\ \ mm$$

(odabrano DN15.)

Povratni vod od isparivača:

Protočni volumen:

$$q_{vii} = \frac{q_m}{\rho_{ii}} = \frac{0.158}{125} = 0.001264\ \frac{m^3}{s}$$

Poprečni presjek:

$$A_{kii} = \frac{q_{vii}}{w_{ii}} = \frac{0.001264}{10} = 1.264 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

Promjer cijevi:

$$d_{ii} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ii}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.264 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0.0126\ m = 12.6\ \ mm$$

(odabrano DN15.)

11.SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME (R404A)

1. *Kompresor*: otvoreni stapni kompresor za R404A

- rashladnog učina: $\Phi_0 = 36.95\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k= -35ºC/ 38 ºC
- snaga: $P = 21.80\ kW$
- kao proizvod: Bitzer; tip: 4FE-28Y-40P

kom: 3

2. *Isparivač*: za hlađenje zraka

- rashladni učin: $\Phi_0 = 18\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k= -35 ºC/ 37 ºC
- ϑ_{hl} = -20°C

kom: 1

3. *Kondenzator*: s cijevima u plaštu

- učin: $\Phi_k = 25\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k= -35 ºC/ 37 ºC

kom: 1

4. *Sakupljač radne tvari*

- volumen: 473 l
- kao proizvod: Bitzer; tip: FS4752

kom: 1

5. *Elektronski ekspanzijski ventil*

- kao proizvod: Danfoss; tip: ETS 6-30

kom: 6

6. *Filter nečistoća*

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 25-250

kom: 3

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 40-250

kom: 1

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 50-250

kom: 3

7. *Rashladni toranj*

- rashladnog učina: $\Phi_k = 250\ kW$
- $\vartheta_{w1}/\vartheta_{w2}$= 28 ºC/ 32 ºC

8. *Odvajač ulja*

- volumen: 220 l
- kao proizvod Bitzer; tip: OA 1854A

kom: 1

9. *Zaporni ventili*

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 50

kom: 5

- kao proizvod: Danfoss; tip: GBC 22s

kom: 6

- kao proizvod: Danfoss; tip: GBC 35s

kom: 1

- kao proizvod: Danfoss; tip: GBC 42s

kom: 3

10. *Elektromagnetni ventil*

- kao proizvod: Danfoss; tip: EVRA 40

kom: 6

11. *Nepovratni ventili*

- kao proizvod: Danfoss; tip: NRV 22

kom: 3

12. *Presostat niskog tlaka*

- kao proizvod: Danfoss; tip: RT313

kom: 1

13. *Presostat visokog tlaka*

- kao proizvod: Danfoss; tip: RT32W

kom: 1

14. *Pretvarač tlaka*

- kao proizvod: Danfoss; tip: MBS 1224

kom: 1

15. *Upravljački sklop*

- kao proizvod: Danfoss; tip: AK PC 730

kom: 1

16. *Sigurnosni ventil*

- kao proizvod: Danfoss; tip: BSV 8 208

kom: 1

17. *Cijevi*: čelične i bakrene

- DN 40 9 m
- DN 50 12 m
- DN 65 3 m
- DN 100 25 m
- Cu ϕ15 x 1 6 m
- Cu ϕ35 x 1.5 7m
- Cu ϕ42 x 1.5 12 m

18. *Izolacija*

- kao proizvod Armaflex; tip: AF-3-114 25 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-3-076 3 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-3-060 6 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-4-042 9 m

kom: 1

12.SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME (R717)

1. *Kompresor*: otvoreni vijčani kompresor za R717

- rashladnog učina: $\Phi_0 = 89.9\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k= -42 ºC/ -9 ºC
- snaga: $P = 75\ kW$
- kao proizvod: Bitzer; tip: OSNA 8571-K

kom: 3

- rashladnog učina: $\Phi_0 = 73 kW$
- ϑ_i/ϑ_k = -9 ºC/ 37 ºC
- snaga: $P = 37\ kW$
- kao proizvod: Bitzer; tip: OSKA 5361-K

kom: 3

2. *Isparivač*: za hlađenje zraka

- rashladni učin: $\Phi_0 = 49.5\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k = -42 ºC/ 37 ºC
- ϑ_{hl} = -35°C

kom: 1

3. *Kondenzator*: s cijevima u plaštu

- učin: $\Phi_k = 405\ kW$
- ϑ_i/ϑ_k = -35 ºC/ 37 ºC

kom: 1

4. *Sakupljač radne tvari*

- volumen: 665 l
- kao proizvod: Bitzer; tip: F202HA

kom: 1

5. *Filter nečistoća*

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 10-100

kom: 3

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 20-100

kom: 3

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 40-500

kom: 6

- kao proizvod Danfoss; tip: FIA 80-150

kom: 3

6. *Rashladni toranj*

- rashladnog učina: $\Phi_k = 405\ kW$
- $\vartheta_{w1}/\vartheta_{w2}$= 28 °C/ 32 °C

7. *Odvajač ulja*

- volumen: 228 l
- kao proizvod Bitzer; tip: OA 9011(A)

kom: 1

8. *Zaporni ventili*

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 10

kom: 3

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 15

kom: 5

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 20

kom: 3

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 40

kom: 3

- kao proizvod: Danfoss; tip: SVA 80

kom: 5

9. *Elektromagnetni ventil*

- kao proizvod: Danfoss; tip: EVRAT 15

kom: 3

- kao proizvod: Danfoss; tip: ICS 50

kom: 3

10. *Nepovratni ventili*

- kao proizvod: Danfoss; tip: CHV 15

kom: 1

- kao proizvod: Danfoss; tip: CHV 20

kom: 3

- kao proizvod: Danfoss; tip: CHV 40

kom: 3

11. ***Presostat niskog tlaka***

- kao proizvod: Danfoss; tip: KP1A

kom: 2

12. ***Presostat visokog tlaka***

- kao proizvod: Danfoss; tip: KP7ABS

kom: 2

13. ***Pretvarač tlaka***

- kao proizvod: Danfoss; tip: AKS 32

kom: 2

14. ***Upravljački sklop***

- kao proizvod: Danfoss; tip: AK PS 730

kom: 2

15. ***Sigurnosni ventil***

- kao proizvod: Danfoss; tip: BSV 321

kom: 1

- kao proizvod: Danfoss; tip: BSV 316

kom: 1

16. ***Cijevi***: čelične

- DN 10 3 m
- DN 15 15 m
- DN 20 3 m
- DN 32 7 m
- DN 40 2 m
- DN 65 5 m
- DN 100 2 m
- DN 150 3 m

17. ***Izolacija***

- kao proizvod Armaflex; tip: AF-4-160 3 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-4-114 2m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-4-089 1.5 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-3-040 7 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-5-022 15 m
- kao proizvod Armaflex; tip: AF-4-018 3 m

kom: 1

ZAKLJUČAK

Cilj ovog zadatka je bio projektiranje rashladnog postrojenja za duboko smrzavanje i skladištenje ribe. Zahtijevani uvjeti u postrojenju su osigurani pomoću dva odvojena sustava, amonijačni i freonski. Amonijačni sustav je namijenjen za duboko smrzavanje u tunelu, dok je freonski (R404A) namijenjen za održavanje zahtijevanih parametara u komorama za smrznutu ribu. U uvodnom djelu rada ukratko su opisane izvedbe rashladnih komora, načini smrzavanja i skladištenja te utjecajni faktori na kvalitetu ribe.Nakon toga slijedi proračun kondenzatora i isparivača za freonski sustav, proračun kondenzatora i isparivača za amonijačni sustav. Navedeni proračuni su provedeni prema „Ciconkovu“. Na kraju se nalazi proračun cjevovoda te specifikacija materijala i opreme obaju sustava.

LITERATURA

[1] Soldo V, Ćurko T.: *Podloge za predavanje Hlađenje i dizalice topline*, Zagreb, 2011.

[2] ASHRAE, *Systems and Equipment*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2000.

[3] Ciconkov R.: *Refrigeration solved examples*, Skopje, 2001.

[4] Kraut, B.: *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga Zagreb, 2001.

[5] Ćurko T.: *Radne tvari u tehnici hlađenja*, Zagreb, 2000.

[6] Halasz B, Galović A, Boras I.: *Toplinske tablice*, Zagreb, 2007.

[7] V. Soldo: Podloge za predavanje *Projektiranje rashladnih sustava*

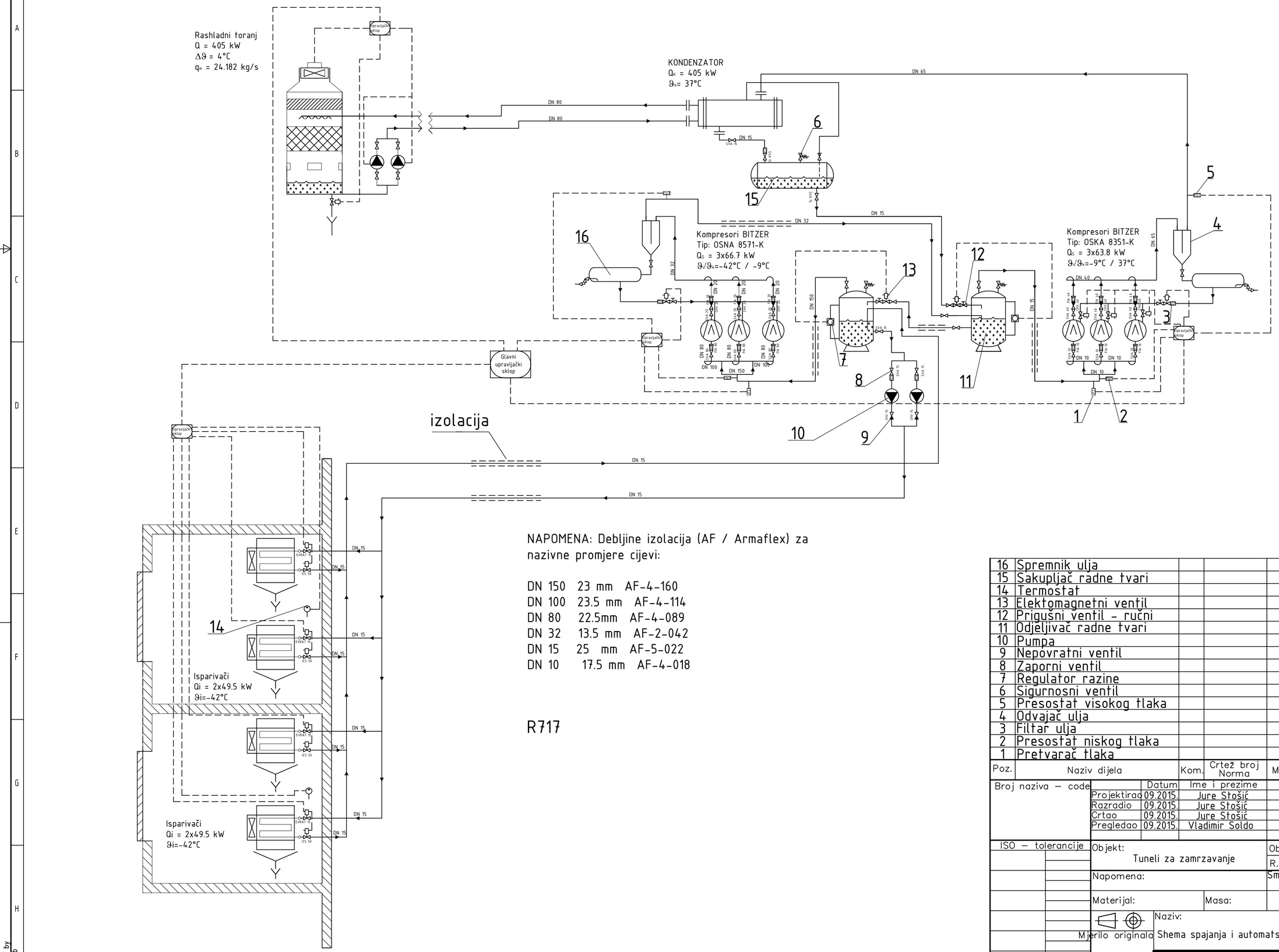
[8] http://www.fao.org/docrep/003/v3630e/v3630e08.htm

[9] http://products.danfoss.com/all-products/

[10] https://www.bitzer.de

PRILOZI

I. CD-R disc
II. Shema spajanja i automatske regulacije komora za smrznutu ribu
III. Shema spajanja i automatske regulacije tunela za zamrzavanje
IV. Dispozicijski crtež strojarnice komora za smrznutu ribu
V. Dispozicijski crtež strojarnice tunela za zamrzavanje



NAPOMENA: Debljine izolacija (AF / Armaflex) za nazivne promjere cijevi:

DN 150 23 mm AF-4-160
DN 100 23.5 mm AF-4-114
DN 80 22.5mm AF-4-089
DN 32 13.5 mm AF-2-042
DN 15 25 mm AF-5-022
DN 10 17.5 mm AF-4-018

R717

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvo?ač	Masa
16	Spremnik ulja				Bitzer	
15	Sakupljač radne tvari				Bitzer	
14	Termostat				Danfoss	
13	Elektomagnetni ventil				Danfoss	
12	Prigušni ventil - ručni				Danfoss	
11	Odjeljivač radne tvari				Danfoss	
10	Pumpa					
9	Nepovratni ventil				Danfoss	
8	Zaporni ventil				Danfoss	
7	Regulator razine				Danfoss	
6	Sigurnosni ventil				Danfoss	
5	Presostat visokog tlaka				Danfoss	
4	Odvajač ulja				Bitzer	
3	Filtar ulja				Danfoss	
2	Presostat niskog tlaka				Danfoss	
1	Pretvarač tlaka				Danfoss	

Broj naziva – code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao	09.2015.	Jure Stošić	
	Razradio	09.2015.	Jure Stošić	
	Crtao	09.2015.	Jure Stošić	
	Pregledao	09.2015.	Vladimir Soldo	

FSB Zagreb

ISO – tolerancije

Objekt: Tuneli za zamrzavanje

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Smjer: Procesno-energetski

Kopija

Materijal:

Masa:

ZAVRŠNI RAD

Mjerilo originala

Naziv: Shema spajanja i automatske regulacije

Pozicija

Format: A2

Listova: 4

Crtež broj: 0035187434-001

List: 1

Design by CADLab

Rashladni toranj
Q = 250 kW
$\Delta\vartheta$ = 4°C
q_m = 14.927 kg/s

Kondenzator
Q_k = 250 kW
ϑ_k= 37°C

nazivne promjere cijevi:

DN 100 18.5 mm AF-3-114
DN 65 17.5 mm AF-3-076
DN 50 17 mm AF-3-060
DN 40 20.5 mm AF-4-040
Cu 42x1.5 20.5 mm AF-4-042

Upravljački sklop
Glavni upravljački sklop
DN 50
DN 65
DN 100
Cu 42x1.5
Cu 35x1.5
Cu 22x1
Cu 15x1
FIA 50
FIA 25
GBC 42s
GBC 22s
NRV 22
SVA 50
ETS 6
EVRA 40

Kompresori BITZER
Tip: 4FE-28Y-40P
Q_s=3x36.90 kW
ϑ_i/ϑ_k=-35°C/37°C

Isparivači
Qi = 2x18 kW
ϑ_i=-35°C

R404A

18	Filter nečistoća				Danfoss	
17	Sigurnosni ventil				Danfoss	
16	Zaporni ventil				Danfoss	
15	Sakupljač radne tvari				Bitzer	
14	Termostat				Danfoss	
13	Elektomagnetni ventil				Danfoss	
12	Termoekspanzijski ventil				Danfoss	
11	Pumpa					
10	Kontrolno staklo				Danfoss	
9	Filtar sušač				Danfoss	
8	Spremnik ulja				Bitzer	
7	Ventil s plovkom				Danfoss	
6	Nepovratni ventil				Danfoss	
5	Ventil diferencijalnog tlaka				Danfoss	
4	Presostat visokog tlaka				Danfoss	
3	Odvajač ulja				Bitzer	
2	Presostat niskog tlaka				Danfoss	
1	Pretvarač tlaka				Danfoss	

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvo?ač	Masa

Broj naziva – code

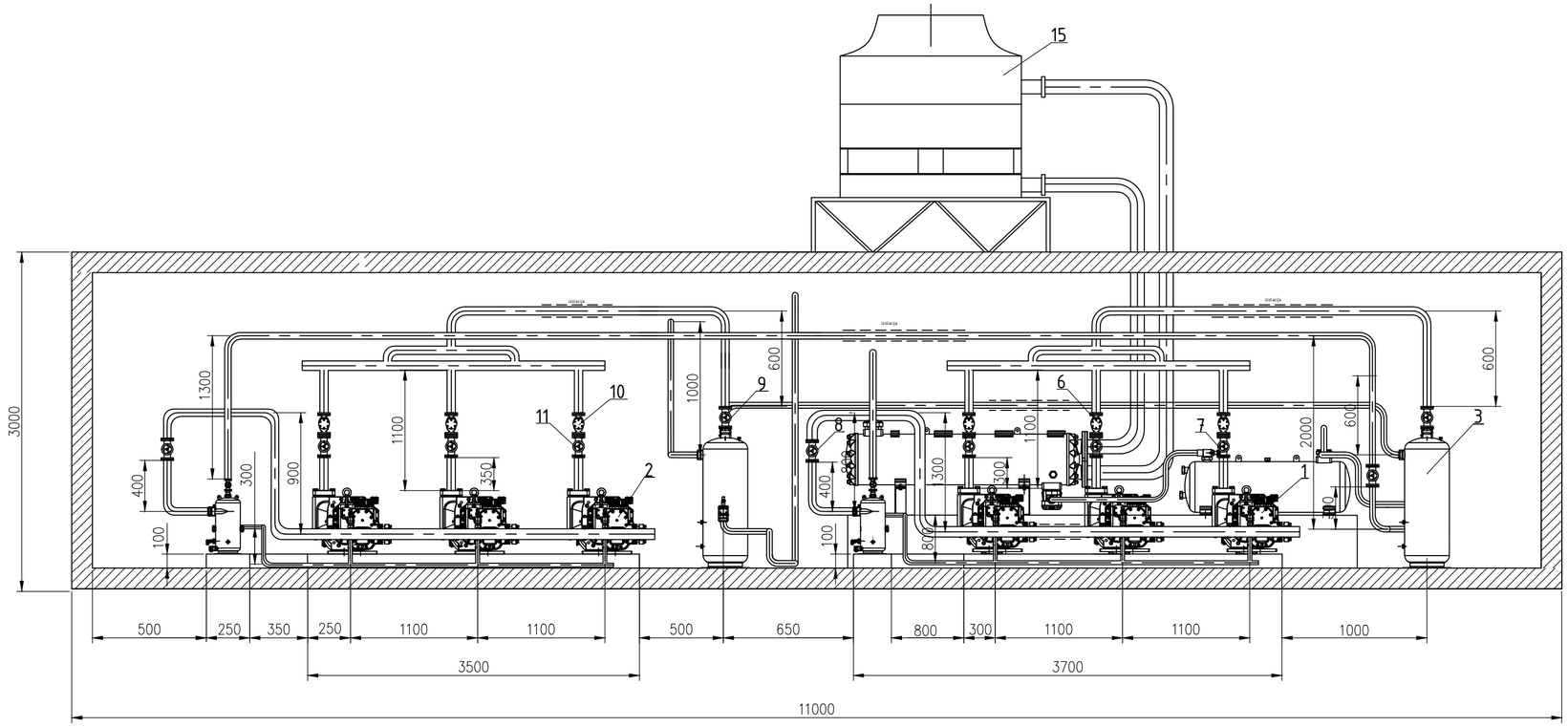
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	09.2015.	Jure Stošić	
Razradio	09.2015.	Jure Stošić	
Crtao	09.2015.	Jure Stošić	
Pregledao	09.2015.	Vladimir Soldo	

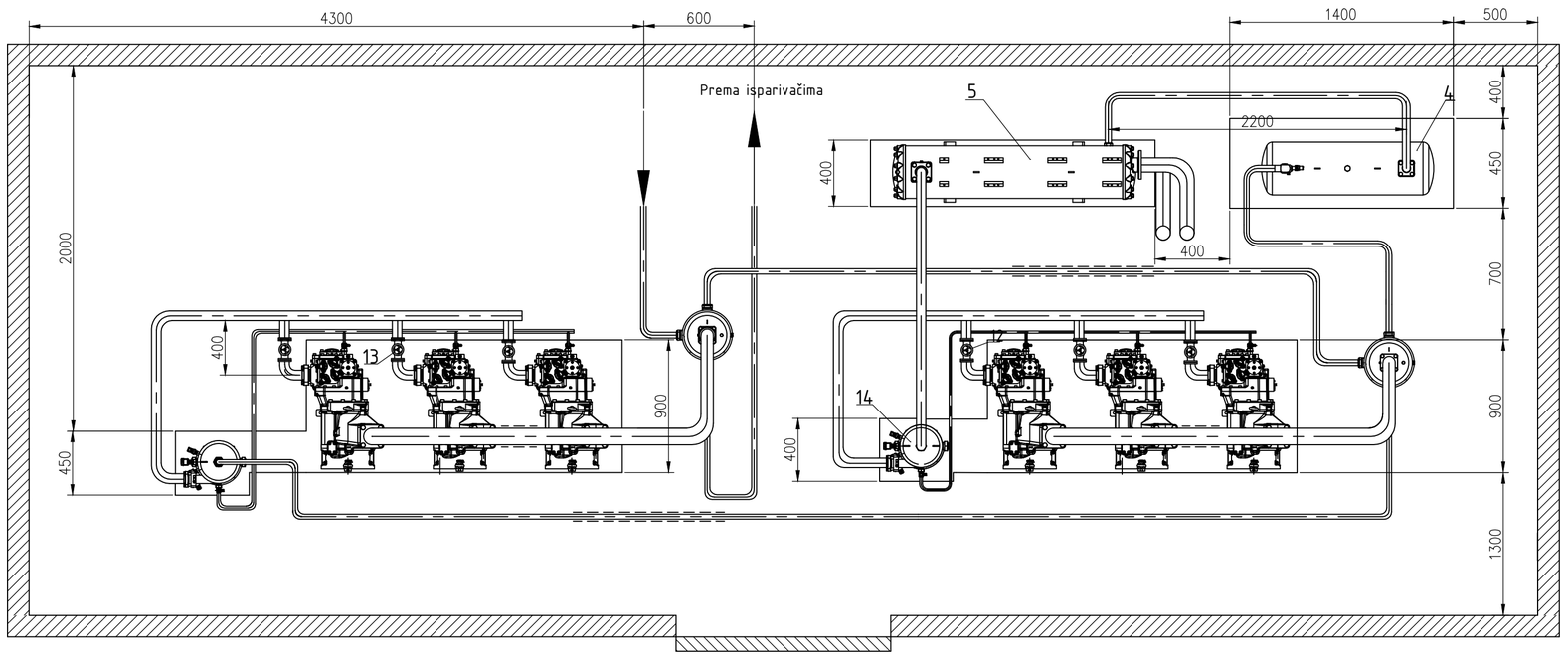
FSB Zagreb

ISO – tolerancije

Objekt: Komore za smrznutu ribu
Objekt broj:
R. N. broj:
Napomena:
Smjer: Procesno-energetski
Kopija
Materijal:
Masa:
ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala
Naziv: Shema spajanja i automatske regulacije
Pozicija:
Format: A2
Listova: 4
Crtež broj: 0035187434-002
List: 2

Design by CADLab





15	Rashladni toranj	1				
14	Odvajač ulja	2	OA 9011(A)		Bitzer	
13	Zaporni ventil	3	SVA 40		Danfoss	
12	Zaporni ventil	3	SVA 20		Danfoss	
11	Zaporni ventil	3	SVA 80			
10	Filter nečistoća	3	FIA 80-150		Danfoss	
9	Zaporni ventil		SVA 150		Danfoss	
8	Zaporni ventil		SVA 15		Danfoss	
7	Zaporni ventil	3	SVA 40		Danfoss	
6	Filter nečistoća	3	FIA 40-500		Danfoss	
5	Kondenzator	1			Bitzer	
4	Sakupljač radne tvari	1			Bitzer	
3	Odvajač radne tvari	2			Bitzer	
2	Vijčani kompresor	3	OSNA 8571-K		Bitzer	
1	Vijčani kompresor	3	OSKA 5361-K		Bitzer	

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvo?ač	Masa

Broj naziva – code

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	09.2015.	Jure Stošić	
Razradio	09.2015.	Jure Stošić	
Crtao	09.2015.	Jure Stošić	
Pregledao	09.2015.	Vladimir Soldo	

FSB Zagreb

ISO – tolerancije

Objekt: Strojarnica tunela za zamrzavanje

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Smjer: Procesno-energetski

Kopija

Materijal:

Masa:

ZAVRŠNI RAD

Mjerilo originala

Naziv: Dispozicijski crtež strojarnice

Pozicija:

Format: A2

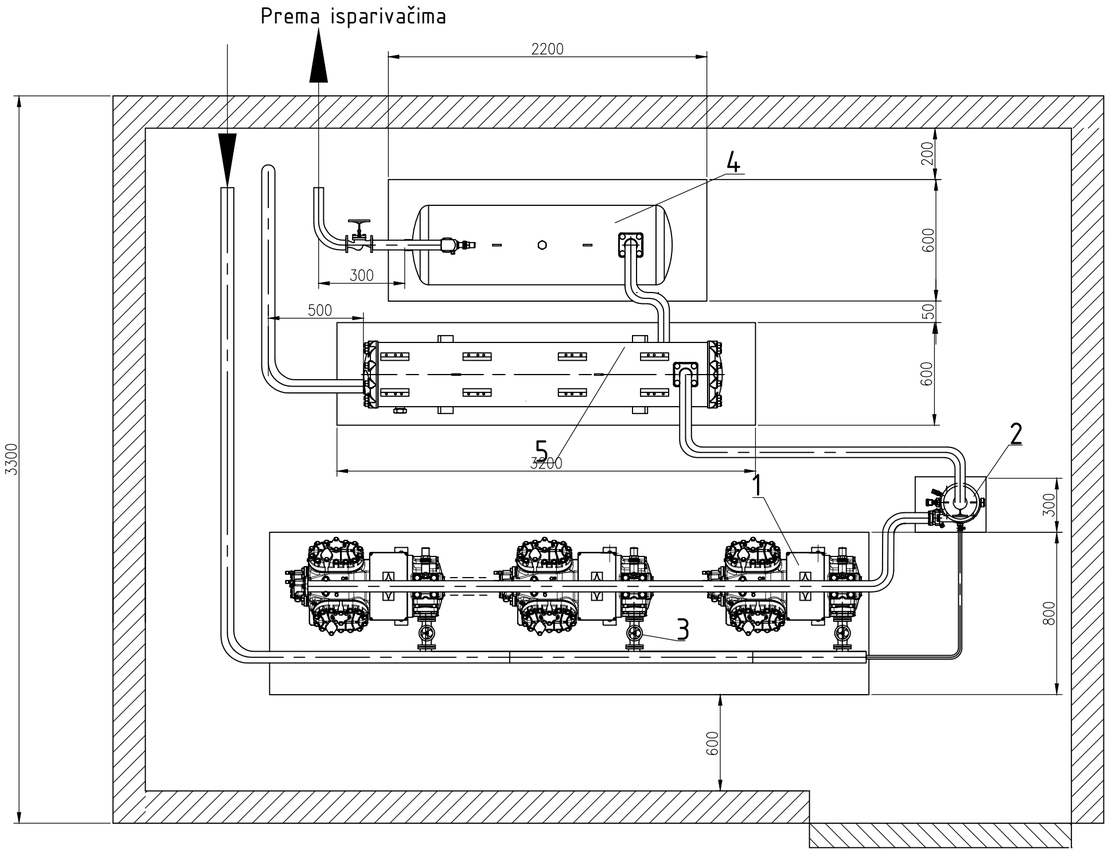
Listova: 4

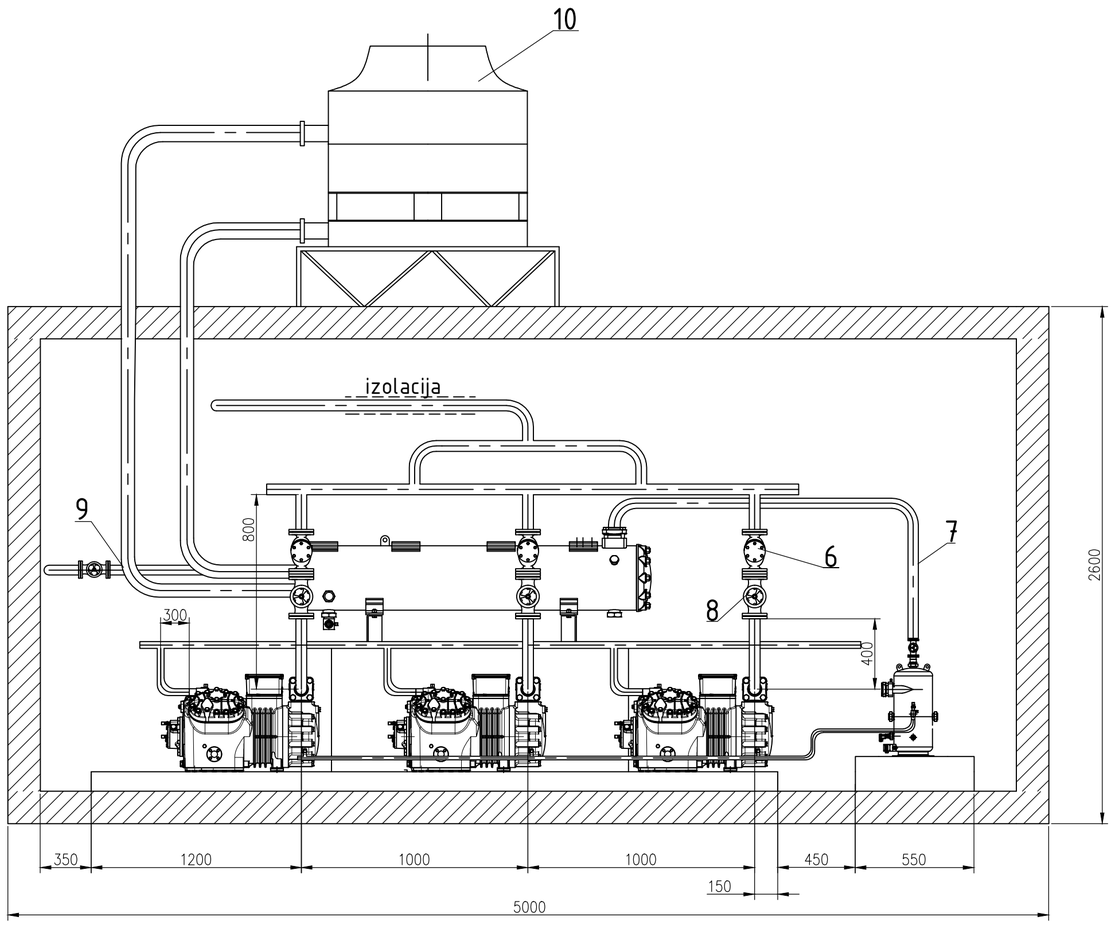
Crtež broj: 0035187434-003

List: 3

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Design by CADLab





Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvo?ač	Masa
10	Rashladni toranj	1				
9	Zaporni ventil	1	GBC 42S		Danfoss	
8	Zaporni ventil	1	SVA 50		Danfoss	
7	Zaporni ventil	3	GBC 35S		Danfoss	
6	Filter nečistoća	3	FIA 50-500		Danfoss	
5	Kondenzator	1			Bitzer	
4	Sakupljač radne tvari	1	FS 4752		Bitzer	
3	Zaporni ventil	3	SVA 50		Danfoss	
2	Odvajač ulja	1	OA 1854A		Bitzer	
1	Stapni kompresor	3	4FE-28Y-40P		Bitzer	

Broj naziva – code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao	09.2015.	Jure Stošić		
	Razradio	09.2015.	Jure Stošić		
	Crtao	09.2015.	Jure Stošić		
	Pregledao	09.2015.	Vladimir Soldo		

ISO – tolerancije	Objekt: Strojarnica komora za smrznutu ribu	Objekt broj:
		R. N. broj:
	Napomena:	Smjer: Procesno-energetski / Kopija
	Materijal: / Masa:	ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala	Naziv: Dispozicijski crtež strojarnice	Pozicija: / Format: A2 / Listova: 4
	Crtež broj: 0035187434-004	List: 4

Design by CADLab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100