

# Kondenzatori hladjeni optočnom vodom

---

**Đurak, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:674769>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-24**

*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## ZAVRŠNI RAD

Mentor:

**Doc.dr.sc. Vladimir Soldo**

**Tomislav Đurak**

Zagreb, 2009.

## **SAŽETAK**

Na većim rashladnim i klimatizacijskim sustavima čest je slučaj hlađenja kondenzatora vodom. Koriste se dvije izvedbe kondenzatora hlađenog optočnom vodom: rashladni toranj ili evaporativni kondenzator. U odnosu na zrakom hlađene kondenzatore ovi kondenzatori postižu nižu temperaturu kondenzacije, a time i manju potrošnju energije za pogon kompresora. Budući se za hlađenje kondenzatora koristi efekt ishlapljivanja dijela optočne vode u struji zraka, najveći utjecaj na učinkovitost rashladnog tornja i evaporativnog kondenzatora imaju temperatura i vlažnost zraka. Nedostatak optočnih kondenzatora je potreba za brižnom kemijskom pripremom vode i čišćenje punila tornja, odnosno orebrenih sekcija evaporativnog kondenzatora.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	8
1.1. Vrste i izvedbe.....	8
1.1.1. Rashladni tornjevi.....	8
1.1.2. Evaporativni kondenzatori.....	10
1.2. Princip rada.....	11
2. EVAPORATIVNI KONDENZATORI	
2.1. Općenito.....	14
2.2. Utjecaj temperature vlažnog termometra na kapacitet.....	14
2.3. Odabir evaporativnog kondenzatora.....	16
2.4. Regulacija kapaciteta evaporativnog kondenzatora.....	18
2.4.1. Regulacija kapaciteta promjenom protoka vode.....	18
2.4.2. Regulacija kapaciteta promjenom protoka zraka.....	18
2.5. Podhlađivanje radne tvari.....	19
2.6. Smještaj evaporativnog kondenzatora.....	20
2.7. Zimski uvjeti rada evaporativnog kondenzatora.....	21
2.8. Ocjevljenje visokotlačnog sakupljača radne tvari.....	23
2.9. Izjednačavanje tlaka.....	25
2.10. Gubici i priprema vode.....	27
2.11. Proračun evaporativnog kondenzatora.....	29
2.12. Proračun isparivača.....	45
2.13. Proračun cjevovoda.....	56
2.14. Specifikacija materijala i opreme.....	58
3. ZAKLJUČAK.....	59
4. LITERATURA.....	60
5. TEHNIČKI CRTEŽI	

## POPIS SLIKA I TABLICA

- Slika 1: Protusmjerni rashladni toranj s tlačnim strujanjem
- Slika 2: Križni rashladni toranj s induciranim strujanjem
- Slika 3: Evaporativni kondenzator s aksijalnim ventilatorom na izlazu
- Slika 4: Evaporativni kondenzator s centrifugalnim ventilatorom na ulazu
- Slika 5: Protusmjerni rashladni toranj s induciranim strujanjem
- Slika 6: Prikaz procesa hlađenja vode na rashladnom tornju u  $h,x$  – dijagramu
- Slika 7: Relativni kapacitet evaporativnog kondenzatora kao funkcija temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra
- Slika 8: I temperatura i temperaturna razlika između vlažnog termometra i kondenzacije utječu na relativni kapacitet
- Slika 9: Faktor kapaciteta kao funkcija temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra
- Slika 10: Utjecaj promjene protoka zraka na kapacitet odvođenja topline
- Slika 11: Podhlađivanje kapjlevite radne tvari dodatnom ocjevljenjem
- Slika 12.a: Nepoželjan smještaj uz zid
- Slika 12.b: Nepoželjan smještaj više kondenzatora
- Slika 12.c: Poželjan smještaj više kondenzatora
- Slika 13: Smještaj sabirne posude unutar građevine
- Slika 14: Prikaz relativnog kapaciteta suhog kondenzatora u usporedbi s ovlaženim
- Slika 15.a: Sakupljač radne tvari: -ulaz s gornje strane
- Slika 15.b: Sakupljač radne tvari: -ulaz s donje strane
- Slika 16: Pravilno ocjevljenje kondenzatora sa sakupljačem radne tvari
- Slika 17.a: Skupljanje cjevovoda - sakupljač s ulazom na vrhu
- Slika 17.b: Skupljanje cjevovoda - sakupljač s ulazom na dnu
- Slika 18: Pojednostavljena shema tokova vode na rashladnom tornju
- Slika 19: T-s dijagram rashladnog procesa
- Slika 20: Prikaz grafičkog rješenja - rješenje je sjecište krivulja
- Slika 21: Prikaz grafičkog rješenja - rješenje je sjecište krivulja
- Slika 22: Prikaz grafičkog rješenja tablica 4 i 5 - rješenje je sjecište krivulja

Tablica 1. Nominalni kapacitet evaporativnih kondenzatora

Tablica 2. Način postizanja optimalnog sastava recirkulacijske vode

Tablica 3: Pregled stanja u rashladnom procesu

Tablica 4: Prikaz rezultata grafičkog rješenja

Tablica 5: Prikaz rezultata jednadžbe

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

$\lambda$ - koeficijent toplinske vodljivosti;	[W/(mK)]
$v$ - specifični volumen;	[m <sup>3</sup> /kg]
$\rho$ - gustoća;	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$ - specifični toplinski kapacitet;	[J/(kgK)]
$\eta$ - dinamička žilavost;	[Ns/m <sup>2</sup> ]
$\nu$ - kinematička žilavost;	[m <sup>2</sup> /s]
$\alpha$ - koeficijent prijelaza topline;	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$A$ - površina;	[m <sup>2</sup> ]
$w$ - brzina;	[m/s]
$L$ - duljina;	[m]
$q_v$ - volumenski protok;	[m <sup>3</sup> /s]
$q_m$ - maseni protok;	[kg/s]
$Pr$ - Prandtlova značajka;	
$Re$ - Reynoldsova značajka;	
$Nu$ - Nusseltova značajka;	

## **IZJAVA STUDENTA**

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno. Zahvaljujem mentoru doc.dr.sc  
Vladimiru Soldi na strpljenju i pomoći pri izradi rada.



## **1. UVOD**

Najveći broj kondenzatora u praksi su zrakom hlađeni. Zrak je izuzetno pristupačan toplinski spremnik i ne zahtjeva veće ulaganje u održavanje kondenzatora. U odnosu na zrakom hlađene kondenzatore, vodom hlađeni kondenzatori postižu niže temperature kondenzacije i niže pogonske troškove. Najbolja učinkovitost postiže se s protočnim kondenzatorima hlađenim vodom. Međutim, nije uvijek moguće imati na raspolaganju dovoljnu količinu protočne vode i graditi rashladne sustave uz rijeke, jezera ili mora. Upravo iz navedenih razloga koriste se kondenzatori hlađeni optočnom vodom, bilo u izvedbi rashladnog tornja ili evaporativnog kondenzatora. Ovi kondenzatori zahtijevaju brižnu kemijsku pripremu vode i veća sredstva za održavanje sustava.

### **1.1. Vrste i izvedbe**

Koriste se dvije izvedbe kondenzatora hlađenog optočnom vodom:

- rashladni toranj + kondenzator
- evaporativni kondenzator

#### **1.1.1. Rashladni tornjevi**

Rashladni tornjevi spadaju u skupinu otvorenih recirkulirajućih sustava za odvođenje topline i najčešći u primjeni su:

1. Protusmjerni s induciranim strujanjem
2. Protusmjerni s tlačnim strujanjem
3. Križni s induciranim strujanjem

Kod rashladnih tornjeva izmjenjivačka površina je ispunjena tornja čija je uloga povećanje površine vode izložene struji zraka. Voda kod ovih sustava prvo u kondenzatoru s cijevima u plaštu ili pločastom kompaktnom kondenzatoru preuzima toplinu kondenzacije, a zatim se voda hladi na rashladnom tornju i ponovno vraća u kondenzator.

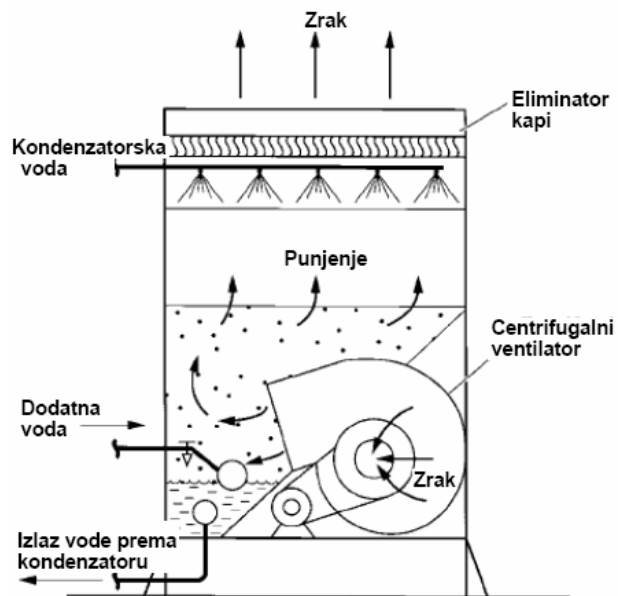
## Protusmjerni s induciranim strujanjem

Kod ove izvedbe rashladnog tornja aksijalni ventilator je smješten niz struju zraka i nalazi se na izlazu, pri vrhu uređaja (slika 5). Zrak ulazi pri dnu tornja i vertikalno struji kroz ispune tornja prema vrhu. Voda se preko sapnica raspršuje i vertikalno slijeva niz ispunu tornja. Na taj način se ostvaruje protusmjerno strujanje.

## Protusmjerni s tlačnim strujanjem

Glavna razlika ovog rashladnog tornja (slika 1) u odnosu na protusmjerni s induciranim strujanjem, je u smještaju ventilatora. U ovom slučaju ventilator (centrifugalni) nalazi se na dnu tornja gdje usisava, usmjerava i ispuhuje zrak kroz ispunu tornja.

Posljedica ovakvog smještaja ventilatora je smanjenja vibracija (zbog nižeg težišta), bolji efekt ishlapljivanja iz sabirne posude i nejednolika raspodjela strujanja zraka kroz ispunu.

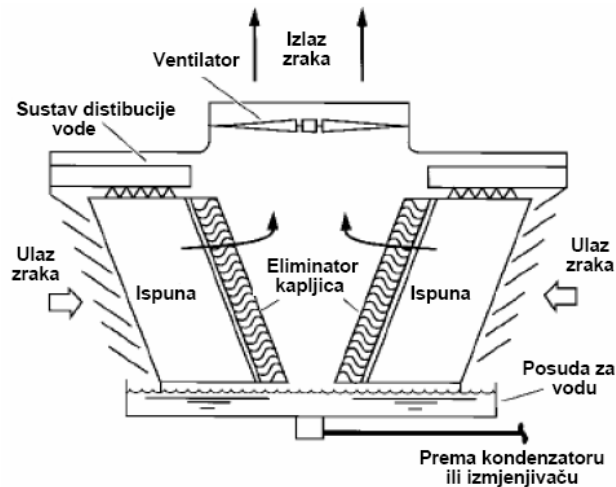


Slika 1. Protusmjerni rashladni toranj s tlačnim strujanjem

## Križni s induciranim strujanjem

Aksijalni ventilator je smješten na vrhu (izlazu) uređaja (slika 2). Zrak ulazi s bočne strane i vodoravno struji preko ispune i eliminatora kapljica. Raspršena voda se

vertikalno slijeva niz ispunu i ostvaruje križno strujanje s zrakom. Križni tornjevi s induciranim strujanjem imaju veću površinu za ulaz zraka i niže su izvedbe za razliku od protustrujnih tornjeva.



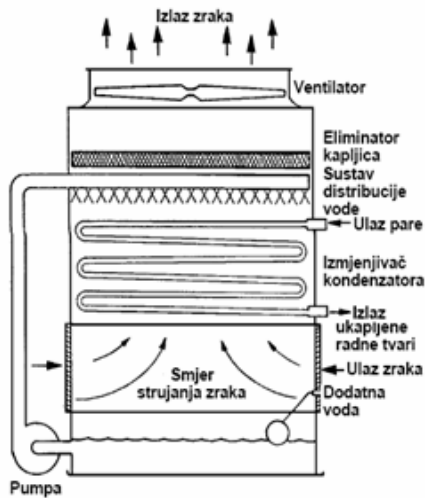
Slika 2. Križni rashladni toranj s induciranim strujanjem

### 1.1.2. Evaporativni kondenzatori

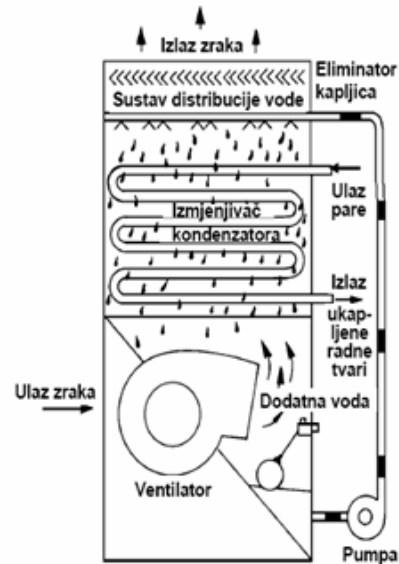
Evaporativni kondenzatori spadaju u skupinu zatvorenih recirkulirajućih sustava za odvođenje topline i najčešći u primjeni su:

1. Kondenzator s aksijalnim ventilatorom na izlazu (slika 3).
2. Kondenzator s centrifugalnim ventilatorom na ulazu (slika 4).

Kod evaporativnog kondenzatora izmjenjivačka površina je registar cijevi (orebrene cijevi) koji je s vanjske strane oplahivan vodom i nstrujavan zrakom, a unutar cijevi se odvija kondenzacija radne tvari. Rad i djelovanje evaporativnog kondenzatora je gotovo identičan radu i djelovanju rashladnog tornja. Glavna razlika je što voda kod evaporativnog kondenzatora oplahuje registar cijevi.



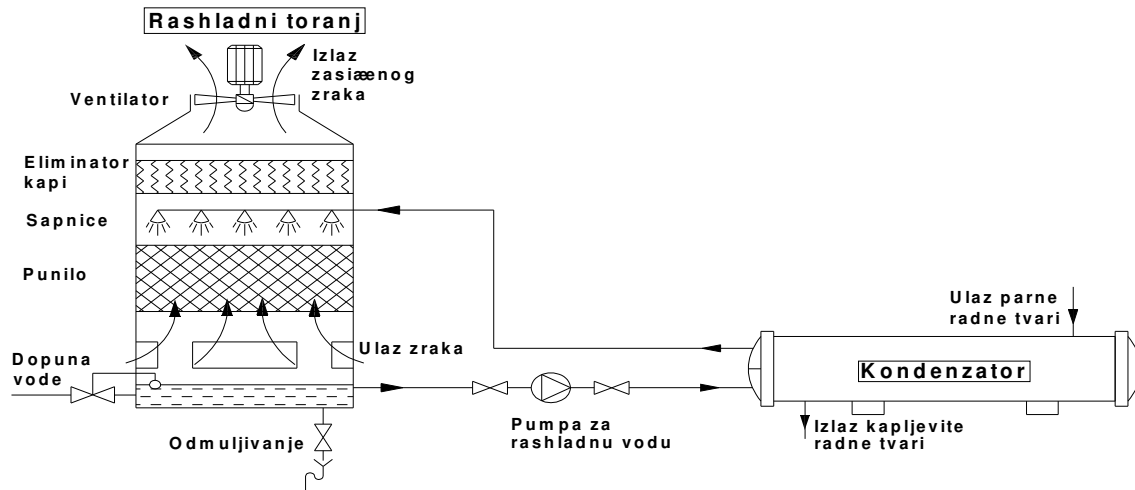
Slika 3. Evaporativni kondenzator s aksijalnim ventilatorom na izlazu



Slika 4. Evaporativni kondenzator s centrifugalnim ventilatorom na ulazu

## 1.2. Princip rada

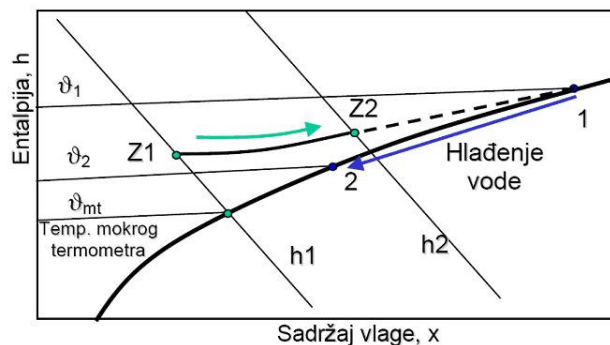
Voda koju je potrebno hladiti, raspršuje se pomoću sapnica na izmjenjivačkim površinama. Preko izmjenjivačke površine nastrojava zrak. Izmjena topline između vode i zraka manjim dijelom se odvija konvekcijom, a većim dijelom putem ishlapljivanja vode. Strujanje zraka može biti tlačno (radijalni ventilator na ulazu) ili inducirano (aksijalni ventilator na izlazu, slika 5). Radi sprječavanja odnošenja vode uslijed strujanja zraka postavlja se eliminator kapljica koji se nalazi iza izmjenjivačke površine. Struja zasićenog zraka izlazi pri vrhu tornja u okoliš.



Slika 5. Protusmjerni rashladni toranj s induciranim strujanjem

Ishlapljivanje vode na rashladnom tornju posljedica je razlike većeg parcijalnog tlaka vodene pare na površini vode, u odnosu na parcijalni tlak vodene pare u struji zraka podalje od površine vode. Osim prijenosa toplinske energije, pri ishlapljivanju javlja se i prijenos mase tj. u ovom slučaju prijenos vode. Intenzitet ishlapljivanja, a s time prijenos topline i mase, je veći što je razlika parcijalnih tlakova veća.

Teorijski se voda na rashladnom tornju može ohladiti do temperature granice hlađenja za pripadno stanje zraka. Realno je temperatura vode na izlazu iz rashladnog tornja za 3 do 4 °C viša od temperature granice hlađenja (temperature mokrog termometra, slika 6).



Slika 6. Prikaz procesa hlađenja vode na rashladnom tornju u h,x – dijagramu

Hlađena voda slijeva se niz izmjenjivačku površinu na kojoj dio vode ishlapljuje, a preostali veći dio se ohladi i sakuplja u sabirnoj posudi iz koje odlazi u kondenzator.

Kod evaporativnog kondenzatora izmjenjivačka površina je registar cijevi (orebrene cijevi) koji je s vanjske strane oplahivan vodom i nstrujavan zrakom, a unutar cijevi se odvija kondenzacija radne tvari. Rad i djelovanje evaporativnog kondenzatora je gotovo identičan radu i djelovanju rashladnog tornja. Glavna razlika je što voda kod evaporativnog kondenzatora oplahuje registar cijevi.

## **2. EVAPORATIVNI KONDENZATORI**

### **2.1. Općenito**

Evaporativni kondenzatori za hlađenje medija koriste kombinaciju, zrakom hlađenih kondenzatora i rashladnih tornjeva. Rashladni medij kondenzira u cijevima koje su oplahivane vodom i nasmužavane zrakom. Evaporativni kondenzatori imaju široku primjenu u rashladnoj industriji jer pružaju relativno niske temperature kondenzacije.

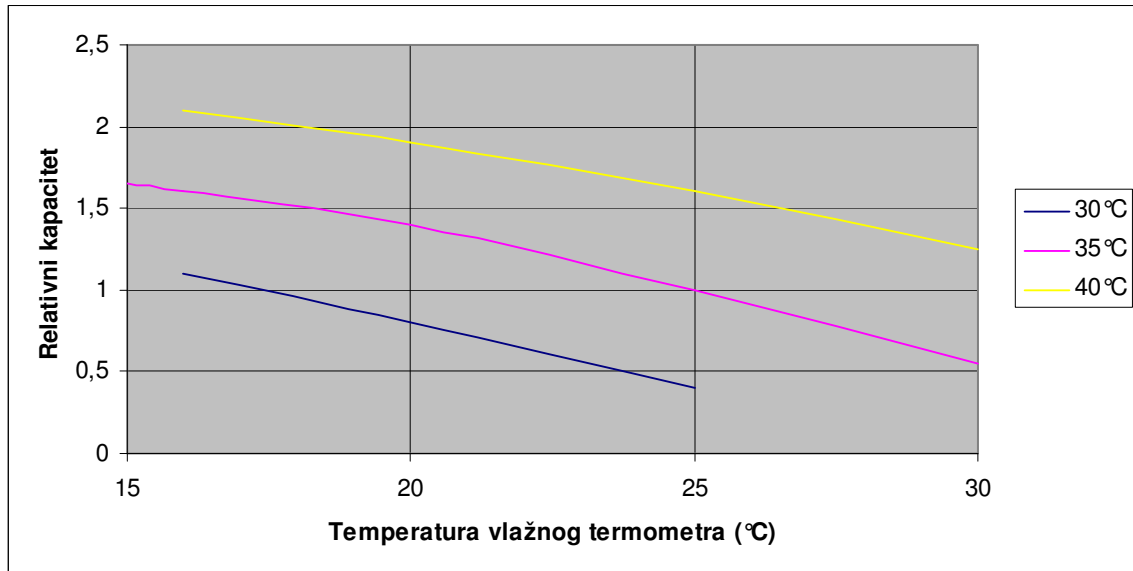
Većina evaporativnih kondenzatora koriste aksijalne ventilatore koji se nalaze na izlazu (slika 3), nego centrifugalne kondenzatore na ulazu (slika 4). Svi kondenzatori su opremljeni eliminatorom kapljica koji sprječava odnašanje vode strujom zraka i ispuštom (na dnu kondenzatora) koji služi za ispuštanje vode iz kondenzatora.

Prilikom projektiranja učinkovitosti evaporativnog kondenzatora potrebno je optimizirati niz faktora, uključujući promjer cijevi, duljinu cijevi, razmak između cijevi, protok rashladnog medija, protok zraka, oplahivanje vodom. Međutim vrlo važan faktor, na koji se nemožem utjecati, je temperatura vlažnog termometra.

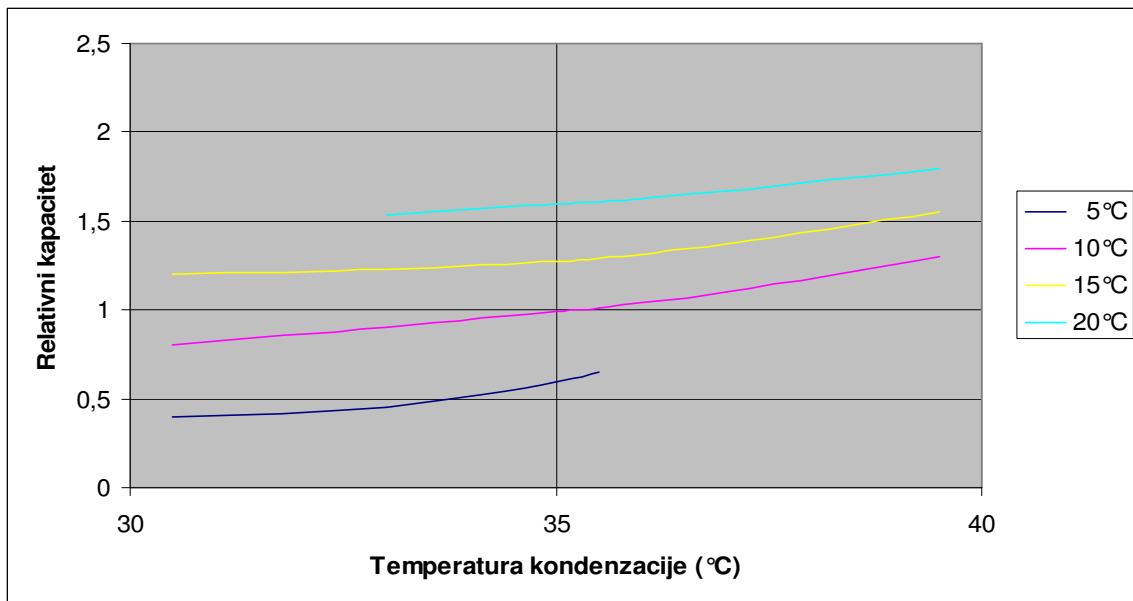
### **2.2. Utjecaj temperature vlažnog termometra na kapacitet**

Slika 7 prikazuje relativni kapacitet (kapacitet u odnosu na kapacitet evaporativnog kondenzatora koji radi s temperaturom kondenzacije od 35°C i temperaturom vlažnog termometra od 25°C) amonijačnog postrojenja koji se mijenja promjenom temperature vlažnog termometra i temperature kondenzacije. Slika pokazuje da relativni kapacitet raste uz konstantu temperaturu vlažnog termometra i povećanje temperature kondenzacije, odnosno relativni kapacitet raste uz konstantu temperaturu kondenzacije i smanjenje temperature vlažnog termometra. Slika 7 ukazuje na to da temperaturna razlika između temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra utječe na kapacitet, on nije proporcionalan razlici tih temperatura kao što je to slučaj kod zrakom hlađenih kondenzatora i vodom hlađenih kondenzatora. Za evaporativne kondenzatore, i temperatura i temperaturna razlika utječu na kapacitet (slika 8), što znači, evaporativni

kondenzator neće imati isti kapacitet pri istoj temperaturnoj razlici između temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra, odnosno, bit će manji ako je temperatura kondenzacije niža.



Slika 7. Relativni kapacitet evaporativnog kondenzatora kao funkcija temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra



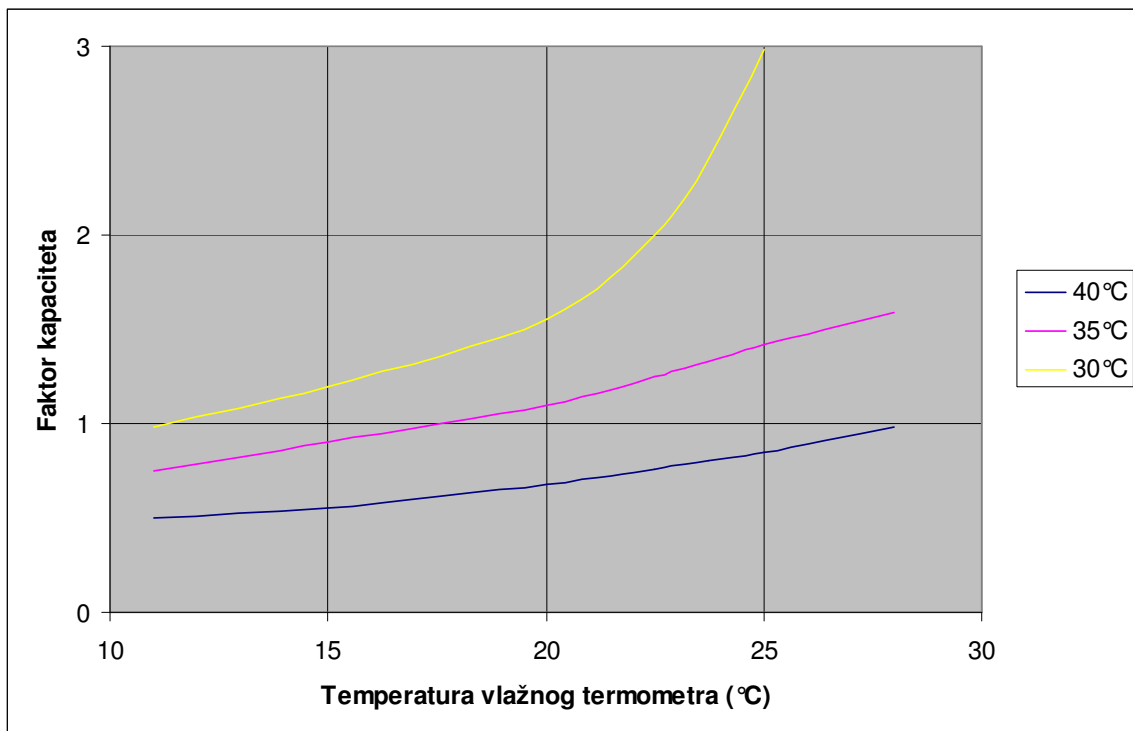
Slika 8. Temperatura i temperaturna razlika između vlažnog termometra i kondenzacije utječu na relativni kapacitet



### 2.3. Odabir evaporativnog kondenzatora

Kod odabira evaporativnog kondenzatora koriste se dvije metode. Jedna je metoda kondenzatorskog kapaciteta, a druga je metoda rashladnog kapaciteta. Metoda kondenzatorskog kapaciteta je uglavnom neposredna jer je vezana za stvarni prijenos topline na kondenzatoru. Metoda rashladnog kapaciteta je metoda koja se koristi za brz i jednostavan odabir evaporativnog kondenzatora.

Uz metodu kondenzatorskog kapaciteta vezane su dvije tablice, jedna tablica prikazuje faktor kapaciteta kao funkciju temperature kondenzacije i temperaturu vlažnog termometra, a druga tablica prikazuje nominalni kapacitet odvođenja topline za različite vrste kondenzatora. Većina proizvođača prikazuju faktor kapaciteta u tabličnom obliku. Faktor kapaciteta u katalozima i na slici 9 na prvi pogled izgleda suprotno od očekivanja, odnosno, očekuje se da on raste s padom temperature vlažnog termometra i povećanjem temperature kondenzacije. Tablica pokazuje suprotno, ali dosljednost ove metode može se dokazati primjerom.



Slika 9. Faktor kapaciteta kao funkcija temperature kondenzacije i temperature vlažnog termometra

MODEL	STUPANJ ODVOĐENJA TOPLINE	MODEL	STUPANJ ODVOĐENJA TOPLINE
A	452 kW	F	711 kW
B	517 kW	G	797 kW
C	561 kW	H	883 kW
D	603 kW	I	991 kW
E	646 kW	J	1077 kW

Tablica 1. Nominalni kapacitet evaporativnih kondenzatora

#### PRIMJER 1.

Zadatak: Koristeći tablicu 1 i sliku 9, potrebno je odabrati kondenzator za odvođenje 586 kW. Temperatura kondenzacije je 35°C, a temperatura vlažnog termometra 25°C.

Rješenje: Iz slike 5 može se očitati faktor kapaciteta 1,4 za zadane temperature i taj se faktor množi sa toplinom koju je potrebno odvoditi.

$$1,4 \times 586 = 820 \text{ kW}$$

S izračunatom vrijednosti u tablici 1 pronalazimo model kondenzatora koji nam odgovara, u ovom slučaju je to model H.

Ovaj primjer objašnjava ono što se na prvi pogled činilo nelogičnim. Kapacitet kondenzatora je najveći kod visokih temperatura kondenzacije i niskih temperatura vlažnog termometra, a slika 9 pokazuje suprotno. Svrha faktora kapaciteta je pomoć pri odabiru kondenzatora i on se množi sa toplinom koju je potrebno odvoditi. Na taj način, kada je faktor kapaciteta mali, potreban je i manji kondenzator, a faktor kapaciteta je mali kada je temperatura kondenzacije visoka i temperatura vlažnog termometra niska. Koristeći metodu rashladnog kapaciteta pojaviti će se drukčiji faktor kapaciteta i tablica nominalnih kapaciteta. Faktor kapaciteta vezan uz ovu metodu mora povezati temperaturu kondenzacije i temperaturu ishlapljivanja.

Metoda kondenzatorskog kapaciteta se koristi kod velikih kompleksnih sistema, a metoda rashladnog kapaciteta je samo za brzu procjenu veličine kondenzatora.

## **2.4. Regulacija kapaciteta evaporativnog kondenzatora**

U praksi se može dogoditi da rashladno postrojenje ne radi u punom pogon, te je stoga potrebno regulirati kapacitet kondenzatora i to na dva načina: regulacija kapaciteta promjenom protoka vode za raspršivanje i regulacija kapaciteta promjenom protoka zraka.

### **2.4.1. Regulacija kapaciteta promjenom protoka vode**

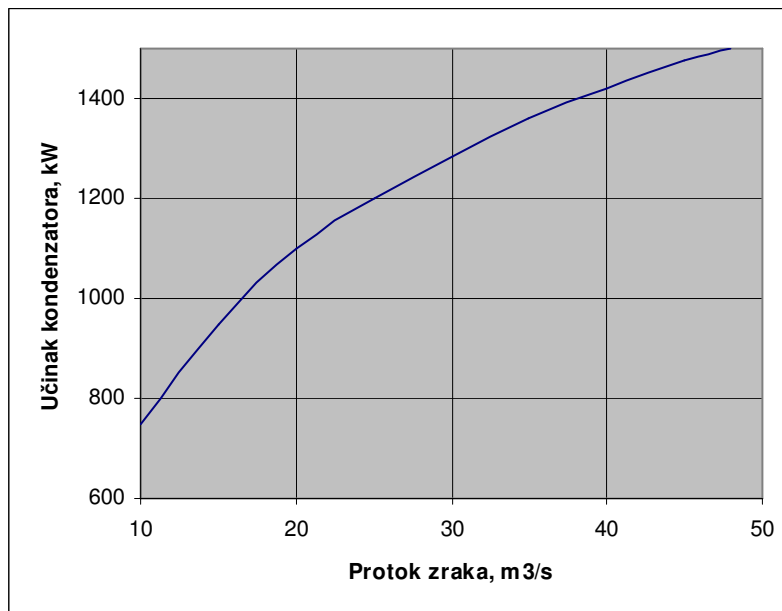
Reducirajući protok vode, prigušivanjem protoka pomoću ventila ili smanjujući brzinu motora pumpe, rezultirati će smanjenjem izmjene topline odnosno smanjenjem kapaciteta kondenzatora. Testovi su pokazali da ako protok vode smanjimo za 20%, kapacitet kondenzatora će pasti na 95% svojeg nazivnog kapaciteta. Daljnjim smanjenjem protoka vode pad kapaciteta je mnogo strmiji sve dok potpuno ne zatvorimo dotok vode kada je kapacitet kondenzatora jako mali. Ovaj način regulacije kapaciteta se ne preporučuje. Ako regulacija protoka vode nije dobra i previše smanjimo protok, može se desiti da dijelovi cijevi ostanu potpuno suhi, a kao posljedica se javlja ljuštenje cijevi. Ljuštenje cijevi je jedan od razloga zašto se ne koristi ovakav način regulacije, a drugi je često zaustavljanje i pokretanje pumpe za vodu koje ubrzava trošenje pumpe.

### **2.4.2. Regulacija kapaciteta promjenom protoka zraka**

Prilikom promjene protoka zraka, kapacitet kondenzatora eksponencijalno pada kao što je prikazano na slici 10. Načini na koji možemo regulirati protok zraka su:

- promjena frekvencije rada motora ventilatora
- dvobrzinski ventilator
- pomoćni motori
- prigušivač ventilatora
- obilaznim vodom
- isključivanjem pojedinih ventilatora (set ventilatora)

Frekventni pretvornik nam daje mogućnost najpreciznije regulacije, ali i najskuplje regulacije. Dvobrzinski ventilatori su dostupni u verzijama 1800/1200 °/min i 1800/900 °/min. Prva verzija zahtjeva skuplji motor, ali je pokretanje jeftinije, dok druga verzija ima jeftiniji motor ali skuplje pokretanje. Pomoćni motor je dodatni motor drukčije brzine od glavne i nalazi se s druge strane osovine. Tijekom rada samo je jedan uključen. Prigušivač ventilatora se rijetko koristi jer su njegovi pokretni dijelovi skloni kvaru. Česta je upotreba regulacije isključivanjem pojedinih ventilatora u setu ventilatora. Kondenzatori koji koriste takav način regulacije imaju pregrade između pregrada i svaka od tih sekcija ima svoj ventilator.

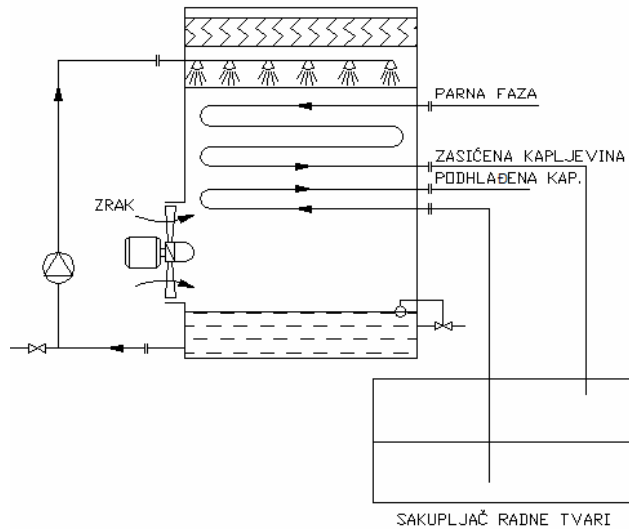


Slika 10. Utjecaj promjene protoka zraka na učinak kondenzatora

## 2.5. Podhlađivanje radne tvari

Nakon što radna tvar kondenzira često se želi pothladiti tekuću fazu radne tvari. Tekuća faza se može pothlađivati daljnjim strujanjem radne tvari u cijevima evaporativnog kondenzatora. Ovakav način pothlađivanja nije dobar jer oduzima površinu cijevi koja je potrebna za kondenzaciju, a za rezultat toga je temperatura kondenzacije koja je veća od potrebne. Pothlađena tekućina se odvodi u sakupljač radne tvari (slika 11) i u njemu se

zagrijava do zasićenog stanja, zbog toga što se u sakupljaču nalazi radna tvar u tekućem i plinovitom stanju. Pothlađenu kapljevину se zagrijava na način da para kondenzira i na taj način predaje toplinu tekućini. Da bi se proizvela pothlađena kapljevina u evaporativni kondenzator se postavlja posebna zavojnica kroz koju struji zasićena radna tvar iz sakupljača i pothlađuje se (slika 11).

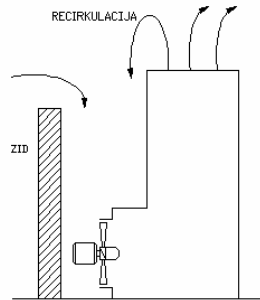


Slika 11. Podhlađivanje kapljevite radne tvari dodatnim ocjevljenjem

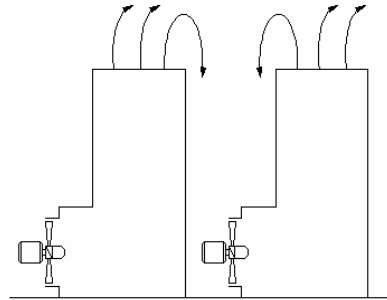
## 2.6. Smještaj evaporativnog kondenzatora

Prilikom projektiranja rashladnog sustava mora se posebno obratiti pozornost na smještaj evaporativnih kondenzatora. Kondenzatori moraju biti što bliže kompresoru, međutim konstrukcija zgrade postavlja uvjete smještaja. Uz ograničenja koja postavlja zgrada posebno treba obratiti pozornost na dva zahtjeva. Jedan je da se osigura nesmetan protok zraka, jer će se inače pojaviti smanjenje kapaciteta kondenzatora. Drugi je taj da kondenzator bude smješten tako da se javlja što manje recirkulacije izlaznog zraka iz kondenzatora, koji utječe na povećanje temperature vlažnog termometra ulaznog zraka. Slika 12a prikazuje problem kada je kondenzator postavljen preblizu zidu, te se javlja ograničen protok zraka, a i može se pojaviti recirkulacija zlaznog zraka. Ako postoje više kondenzatora (slika 12b) mora se obratiti pozornost na međusobni razmak i osiguranje dovoljnog prostora između njih radi sprječavanja recirkulacije zraka.

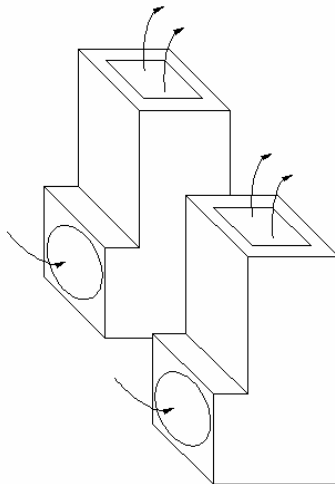
Proizvođači kondenzatora često preporučuju minimalni razmak između kondenzatora. Na slici 12c prikazan je dobar način smještaja za više kondenzatora.



Slika 12.a Nepoželjan smještaj  
uz zid



Slika 12.b Nepoželjan smještaj  
više kondenzatora



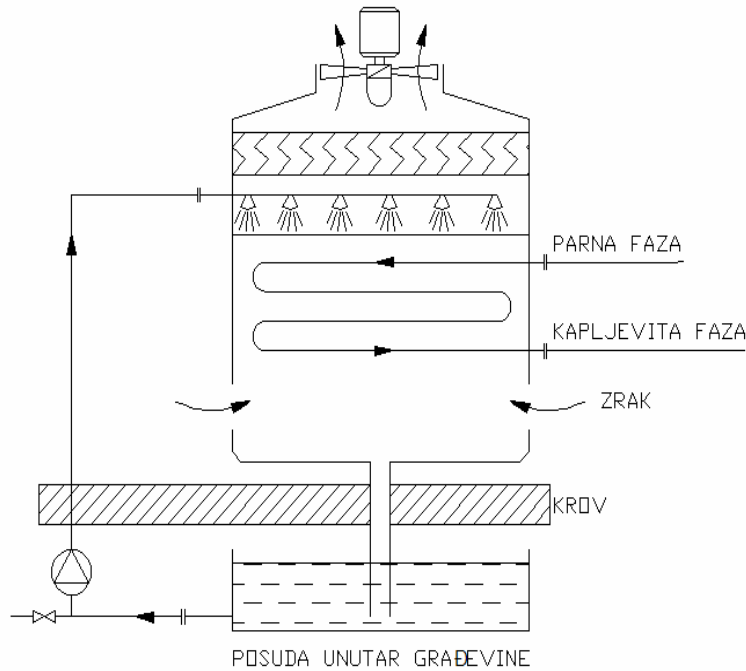
Slika 12.c Poželjan smještaj više kondenzatora

## 2.7. Zimski uvjeti rada kondenzatora

Poseban problem rada kondenzatora su zimski uvjeti kada je temperatura zraka ispod nule i postoji opasnost od smrzavanja. Postoje dva načina kojima se sprječava smrzavanje vode za raspršivanje:

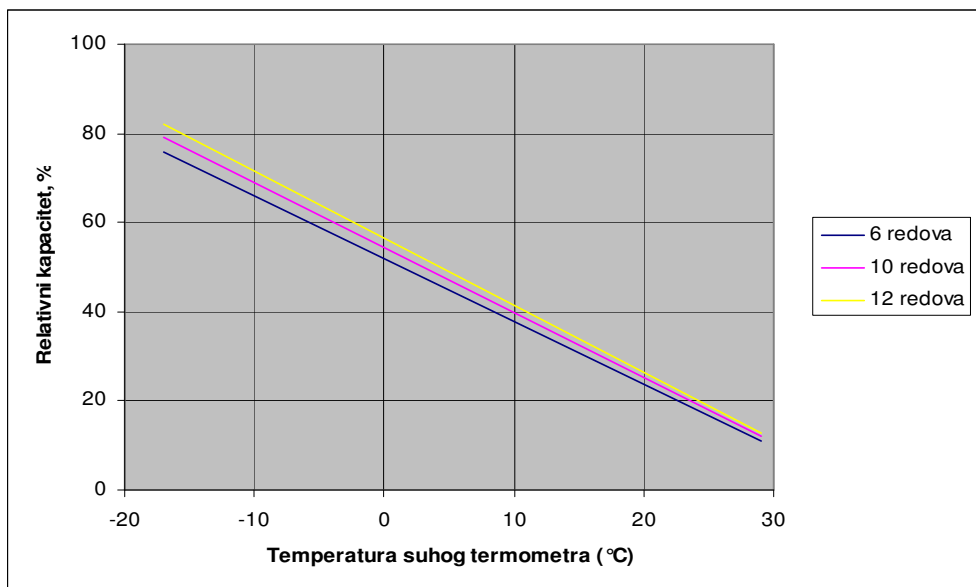
- smještaj sabirne posude u topli prostor (slika 13)
- ispuštanje vode iz sistema za oplahivanje (suhi rad kondenzatora)

Sabirna posuda, koja je smještena u toplom prostoru, mora biti dovoljno velika da sakupi svu vodu koja se nalazi u kondenzatoru tijekom rada. Ovakav način smještaja posude će sprječiti smrzavanje veći dio vode za raspršivanje, međutim, kapljice vode odnesene strujom zraka će se smrznuti, i zato se upotrebljava suhi rad kondenzatora (kada je ispuštena sva voda).



Slika 13. Smještaj sabirne posude unutar građevine

Slika 14 prikazuje relativni kapacitet suhog kondenzatora u usporedbi s ovlaženim kondenzatorom i vidljivo je da je kapacitet suhog kondenzatora puno manji od ovlaženog. U mnogim industrijskim rashladnim pogonima protok vode se postupno smanjuje kako se temperatura okoliša približava granici smrzavanja. Osim zaštite od smrzavanja, drugi razlog za prelazak na suhi rad (ako je moguće) je smanjenje troškova rada koji se smanjuju zbog toga što u suhom radu ne radi pumpa za vodu.



Slika 14. Prikaz relativnog kapaciteta suhog kondenzatora u usporedbi s ovlaženim kondenzatorom

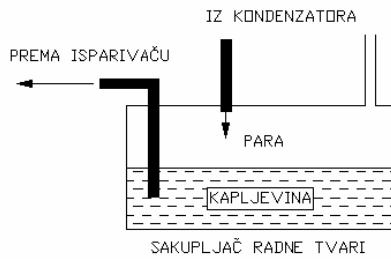
## 2.8. Ocjevljenje visokotlačnog sakupljača radne tvari

Kapljevita radna tvar koja izlazi iz kondenzatora se sakuplja u visokotlačnom sakupljaču radne tvari. Elementi koji su usko vezani uz sakupljač su:

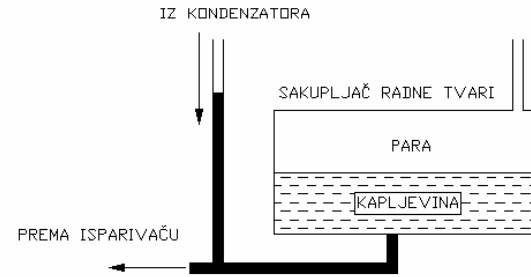
- razmještaj cjevovoda sakupljača
- povezivanje dijela sakupljača u kojem se nalazi para s parnim dijelom kondenzatora
- uloga pada tlaka u kondenzatoru

Dva tipična primjera ocjevljenja sakupljača radne tvari su prikazana na slikama 15.a i 15.b. Slika 15.a prikazuje mješajući tip sakupljača (ulaz s gornje strane) kod kojeg sav kondenzat protječe kroz sakupljač. Uobičajeno je, da izlazna cijev nije uronjena skroz do dna čime se sprječava unošenje taloga i nečistoća u sistem. Koristeći ulaz s donje strane sakupljača (slika 15.b), većina kapljevine teče direktno u isparivač. Jedini dio koji teče u ili iz sakupljača je vezan uz povećanje odnosno smanjenje razine kapljevine koja se mijenja zbog trenutne promjene učinka kondenzatora. Preferiraju se sakupljači sa ulazom s donje strane zbog mogućnosti da se koristi pothlađena kapljevina kada je ona dostupna iz kondenzatora.





Slika 15.a Sakupljač radne tvari: -ulaz  
s gornje strane



Slika 15.b Sakupljač radne tvari: -ulaz  
s donje strane

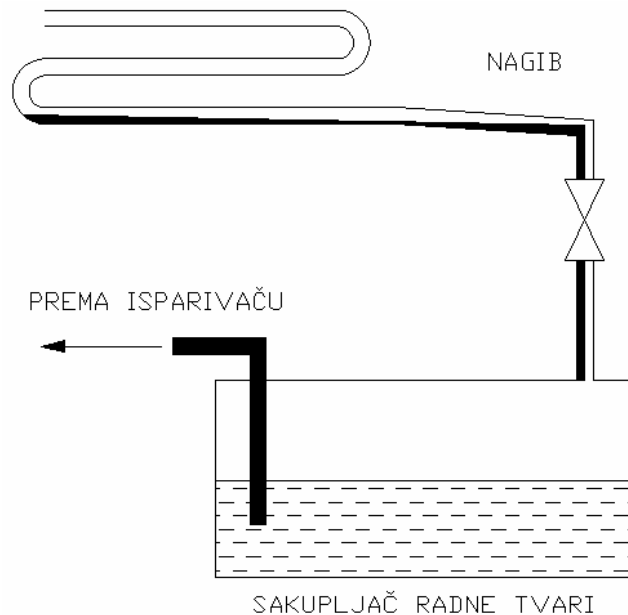
Kod sakupljača koji imaju ulaz s gornje strane, kapljivita i parna faza su u ravnoteži, pa zasićena kapljevina pada u niži dio sistema. Čak i ako pothlađena kapljevina ulazi u sakupljač, brzo će poprimiti temperaturu pohranjenje kapljevine, na koju utječe temperatura prostora u kojem se nalazi (strojarnica).

Kao što je i spomenuto, potrebno je povezati dio sakupljača radne tvari u kojem se nalazi para s parnim dijelom kondenzatora. Razina kapljevine u sakupljaču radne tvari se gotovo neprekidno mijenja (raste ili pada) zato jer dotok kapljevine iz kondenzatora konstantno varira. Kada u sakupljač uđe višak kapljevite radne tvari, u sakupljaču se stvara predtlak (želi stlačiti paru) koji je veći od tlaka u cjevovodu, koji spaja kondenzator i sakupljač, te tako sprječava protok kroz njega. Povećanjem potrebe sistema za radnom tvari, tlak u sakupljaču pada i dio kapljevine će ispariti. Zbog izjednačavanja tlak je potrebno povezati sakupljač i kondenzator, a nači i izvedba će ovisiti o broju kondenzatora i tipu sakupljača.

## 2.9. Izjednačavanje tlaka

Rješenje za pravilno izjednačavanje tlaka kad imamo samo jedan kondenzator ovisi o tipu sakupljača. Ako je ulaz na vrhu sakupljača, izjednačavanje se može izvršiti preko cjevovoda kroz koji protječe kapljevita radna (slika 16) uz zadovoljavanje sljedećih uvjeta:

- izbjegavanje horizontalnog voda (nagib mora biti barem 1 naprema 50)
- cijevi većih dimenzija, kod koji brzina kapljevine nije veća od 0,5 m/s
- korištenje ventila koji ne stvaraju veliki pad tlaka



Slika 16. Pravilno ocjevljenje kondenzatora sa sakupljačem radne tvari  
(ulaz s gornje strane)

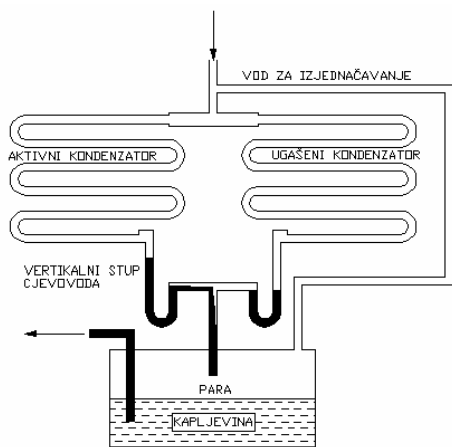
Ako pak imamo sakupljač s ulazom na dnu, koristimo vod za izjednačavanje koji spaja gornji dio sakupljača (gdje se nalazi para) i izlaz iz kondenzatora.

U industrijskim rashladnim postrojenjima čest slučaj je korištenje paralelnog spojenih kondenzatora (set kondenzatora) i kompresora, posebice kod amonijačnih sistema.

Prilikom takvog načina spajanja potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

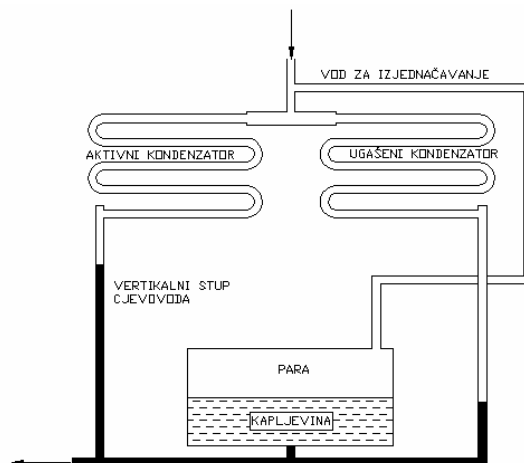
- skupiti cjevovode kapljevine
- postaviti poveću duljinu vertikalnog stupa cjevovoda
- postaviti vod za izjednačavanje između sakupljača i ulaza kaondenzatora

Kod rada više kondenzatora može se dogoditi da oni ne rade s istim opterećenjem, te na njihovim izlazima nećemo imati istu količinu kapljevine. Da se nebi dogodilo da kapljevina iz jednog voda krene u vod drugog kondenzatora, potrebno je spajanje izvršiti pomoću sifona koji će sprječiti moguću navedenu pojavu (slika 17.a). Kod sakupljača s ulazom na dnu, spajanje se izvodi kao na slici 13b. Duljina vertikalnog stupa cjevovoda je najčešće oko 0,6 m. Za postrojenja koja koriste amonijak duljina je oko 1,2 m, a kod postrojenja koja koriste R22 ista iznosi 2,4 m. Linije za izjednačavanje tlaka su prikazane na slici 16.



Slika 17.a Skupljanje cjevovoda

-sakupljač s ulazom na vrhu



Slika 17.b Skupljanje cjevovoda

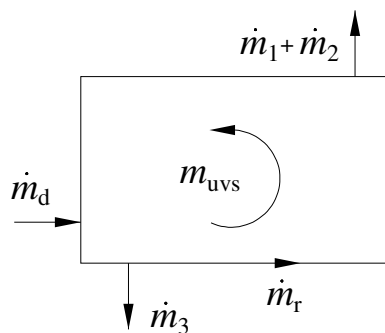
-sakupljač s ulazom na dnu

U normalnim uvjetima, cijevovod za izjednačavanje između sakupljača radne tvari i ulaza ili izlaza iz kondenzatora može biti manjeg promjera. On samo mora provesti volumni protok pare, koji je jednak promjeni volumena kapljevine. Postoji samo jedan slučaj kod kojeg promjer cjevovoda mora biti većih dimenzija, a taj je kod prekida rada postrojenja koje je smješteno u oklišu niže temperature, a sakupljač je u toploj strojarnici. Zbog tople strojarnice postojat će konstantno isparavanje kapljevine iz sakupljača. Para će kroz vod za izjednačavanje ići u kondenzator gdje će doći do kondenzacije.

## 2.10. Gubici i priprema vode

U radu evaporativnih sustava za odvođenje topline javljaju se gubici vode. Te gubitke je potrebno nadoknaditi dodavanjem svježe vode u recirkulirajući sustav. Potrebna masa dodatne vode ( $m_d$ ) jednaka je zbroju mase vode koja je ishlapila ( $m_1$ ), mase vode koja je odnešena strujom zraka ( $m_2$ ) i mase vode koja je potrebna za odmuljivanje ( $m_3$ ), prikazano na slici 18.

$$m_d = m_1 + m_2 + m_3$$



Slika 18. Pojednostavljena shema tokova vode na rashladnom tornju

Protočna masa vode u recirkulaciji ( $m_{uvs}$ ) iznosi približno od 106 do 132 kg/h po kW odvedene topline. Maseni tok vode koja je ishlapila iznosi približno 1,7 do 2,2 kg/h po kW odvedene topline dok maseni tok vode potrebne za odmuljivanje iznosi pola količine vode koja je ishlapila. Protočna masa vode koja je odnešena strujom zraka iznosi 0,3% od protočne mase vode u recirkulaciji.

Kod recirkulirajućih sustava jedna te ista količina vode obavlja veći broj optoka u sustavu. Zbog toga, rashladna recirkulacijska voda mora imati sastav koji će u svim uvjetima pogona osigurati čiste površine sustava (bez taloženja mulja i kamenca), korozivnu stabilnost površina sustava i spriječiti nastajanje biološkog taloga (Tablica 1).

Tablica 2. Način postizanja optimalnog sastava recirkulacijske vode

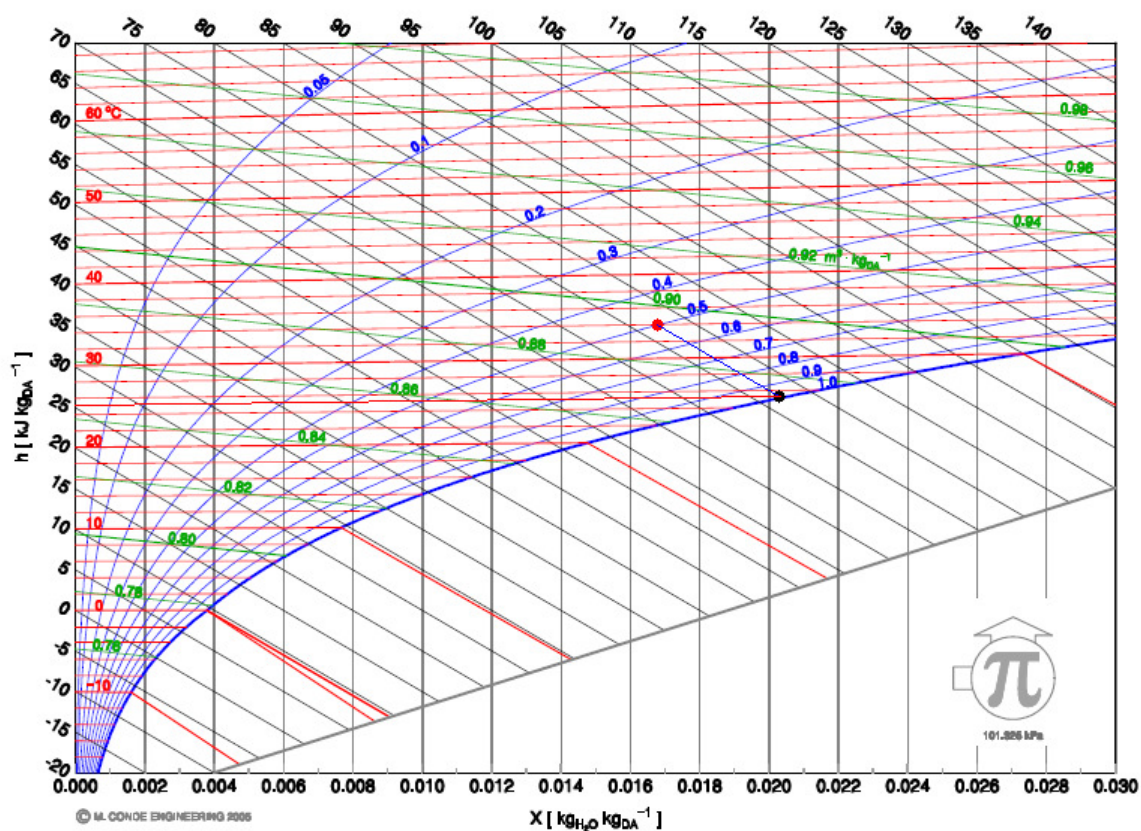
Mjera pripreme vode	Namjena
Dodavanje stabilizatora tvrdoće	Kako bi se spriječilo taloženje CaCO <sub>3</sub> (kamenac) u rashladnu recirkulacijsku vodu se dodaju tretirana dodatna rashladna voda i kemikalije za sprečavanje taloženja CaCO <sub>3</sub> .
Inhibicija korozije	Inhibitori korozije sprječavaju korozijske procese konstrukcije.
Sprečavanje razvoja mikroorganizama i algi	Razvoj mikroorganizama i algi može se spriječiti povremenim dodavanjem klora i mikrobiocida, a u novije vrijeme primjenjuje se tehnologija UV zračenja za uništavanje mikroorganizama.
Priprema dodatne rashladne vode	Postupak pripreme dodatne rashladne vode ovisi o sastavu sirove vode i potrebno ju je određenim tehnološkim postupcima pripremiti tako da je njena karbonatna tvrdoća u granicama $K_d^o = 0,5 \div 3$ °nj.
Uklanjanje mehaničkih nečistoća	Rashladna voda filtrira se radi nečistoća koje se unose zrakom i djeluju abrazivno na cijevi.

## 2.11. PRORAČUN EVAPORTIVNOG KONDENZATORA

### PROJEKTNI PODACI:

$\phi_0 := 450\text{kW}$	-rashldni učinak
$T_0 := 274.15\text{K}$	-temperatura hlađenja
$T_{vz} := 307.15\text{K}$	-temperatura okliša
$\phi_{vz} := 50\%$	-relativna vlažnost
R717 (amonijak)	-radna tvar

### Parametri ulaznog okolišnjeg zraka:



$$h_{vz1} := 77.33 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija ulaznog zraka}$$

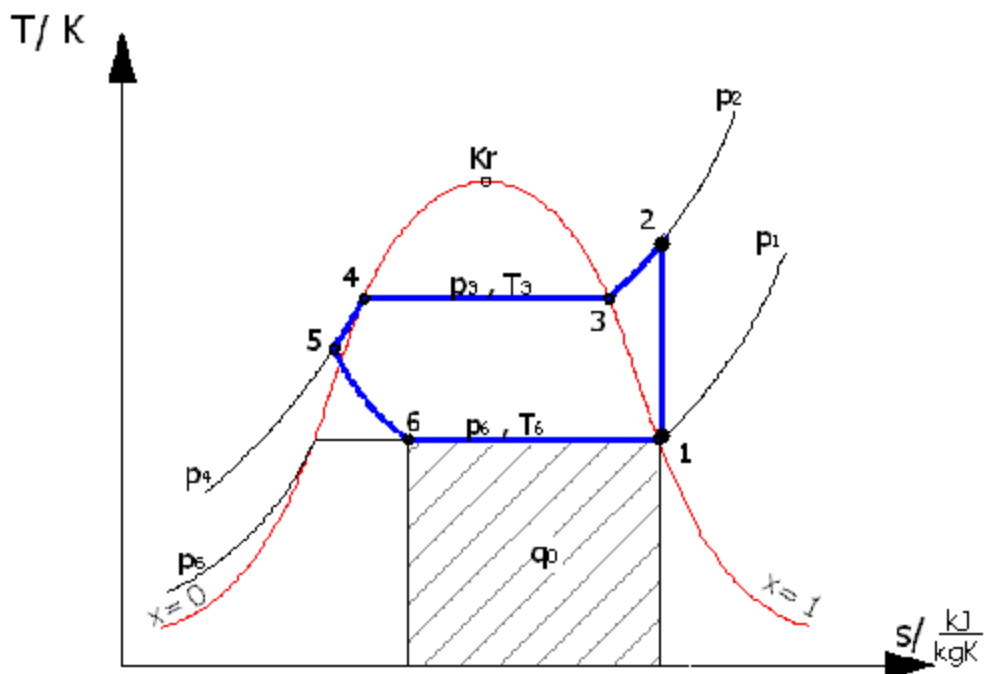
$$x_{vz1} := 16.8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \quad \text{-sadržaj vlage ulaznog zraka}$$

$$T_{vt} := 298.15\text{K} \quad \text{-temperatura vlažnog termometra}$$

$$p_{vz} := 101325\text{Pa} \quad \text{-tlak zraka}$$



Slika 19: T-s dijagram rashladnog procesa



Tablica 3: Pregled stanja u rashladnom procesu

Stanje	T (°C)	p (bar)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
1	-7	3,284	1372,23	3,317
2	102,86	13,916	1590	3,317
3	36	13,916	1397,46	
4	36	13,916	293,17	
5	31	13,916	269,53	
6	-7	3,284	269,53	

Proračun toplinskog opterećenja.

$$h_1 := 1386.67 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija suhozasićene pare u točki 1}$$

$$h_6 := 269.53 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija vrele kapljivine}$$

$$q_{R717} := \frac{\phi_0}{h_1 - h_6} \quad \text{-maseni protok radne tvari}$$

$$q_{R717} = 0.403 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$



$$h_2 := 1590 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija pregrijane pare u točki 2}$$

$$h_5 := 269.53 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija podhlađene kapljevine}$$

$$\phi_{k1} := q_{R717} (h_2 - h_5) \quad \text{-toplinsko opterećenje}$$

$$\phi_{k1} = 5.319 \times 10^5 \text{ W}$$

Odabrani kompresor: Bitzer OSKA8561-K (dva komada)  $P=2 \times 69,9 \text{ kW} = 139,8 \text{ kW}$

$$\phi_k := \phi_0 + 150 \text{ kW}$$

$$\phi_k = 6 \times 10^5 \text{ W} \quad \text{-stvarno toplinsko opterećenje}$$

#### Odabir cijevi:

$$\phi_{38 \times 3} \quad \text{-cijev od}$$

$$d_v := 38 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{-vanjski promjer cijevi}$$

$$d_u := 32 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{-unutarnji promjer cijevi}$$

$$d_m := \frac{d_v + d_u}{2} = 0.035 \text{ m} \quad \text{-središnji promjer cijevi}$$

$$\lambda_1 := 50 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivosti}$$

Protočni volumen i masa zraka:

Preporuka za protočni volumen zraka:  $\approx 0,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  za 1kW odvedenog toplinskog toka

$$q_{\text{VVZ}} := 0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 600 \quad \text{-protočni volumen zraka}$$

$$q_{\text{VVZ}} = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$q_{\text{mvz}} := \frac{q_{\text{VVZ}}}{v_{\text{vz1}}} \quad \text{-protočna masa zraka}$$

$$q_{\text{mvz}} = 20.478 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Entalpija izlaznog zraka

$$h_{\text{vz2}} := h_{\text{vz1}} + \frac{\phi_k}{q_{\text{mvz}}}$$

$$h_{\text{vz2}} = 1.066 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Srednja temperatura vode

$$T_{\text{sw}} := T_{\text{vt}} + 8\text{K}$$

$$T_{\text{sw}} = 306.15\text{K}$$

$$h_w := 117.5 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-entalpija zasićenog zraka (za T.sw):}$$

Entalpija zraka za srednju temperaturu zraka  $t_s$

$$\Delta h_m := \frac{h_{\text{vz2}} - h_{\text{vz1}}}{\ln\left(\frac{h_w - h_{\text{vz1}}}{h_w - h_{\text{vz2}}}\right)}$$

$$\Delta h_m = 2.242 \times 10^4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h_m := h_w - \Delta h_m$$

$$h_m = 9.508 \times 10^4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

prema tome iz h,x dijagrama isčitamo:

$$T_m := 306.98\text{K} \quad \text{-srednja temperatura zraka}$$

$$x_{\text{vz2}} := 27.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \quad \text{-sadržaj vlage izlaznog zraka}$$

### Izračunavanje koeficijenta prijelaza topline

svojstva vode pri temperaturi 306,15K :

$$\rho := 994.74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{-gustoća vode}$$

$$\lambda := 0.621 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivosti vode}$$

$$c_w := 4175 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{-specifični toplinski kapacitet vode}$$

$$\eta := 748.8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \quad \text{-dinamička žilavost vode}$$

$$\nu := \frac{\eta}{\rho} = 7.528 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{-kinematička žilavost vode}$$

$$\text{Pr} := \frac{\eta \cdot c_w}{\lambda} = 5.034 \quad \text{-Prandtlov broj}$$

debljina vodenog filma  $\delta_1$  :

$$\delta_1 := 0.91 \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta \cdot m_{L1}}{\rho^2}}$$

preporuka za odabir protočne količine vode za raspršivanje  
po 1m duljine cijevi  $m_{L1}$  (0.08 - 0.5) kg/(sm)

$$m_{L1} := 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \text{-odabrano}$$

$$\delta_1 := 0.91 \cdot \sqrt[3]{\frac{748.8 \cdot 10^{-6} \cdot 0.2}{994.74^2}}$$

$$\delta_1 = 4.85 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$w := \frac{m_{L1}}{\rho \cdot \delta_1}$$

$$w = 0.415 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} := \frac{4 \cdot w \cdot \delta_1}{\nu}$$

$$\text{Re} = 1.068 \times 10^3 \quad \text{-Reynoldsov broj}$$

$$Nu := 0.1 \cdot Re^{0.63} \cdot Pr^{0.48}$$

$$Nu = 17.58 \quad \text{-Nusseltov broj}$$

$$\alpha_w := \frac{Nu \cdot \lambda}{4 \cdot \delta_1}$$

$$\alpha_w = 5.628 \times 10^3 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{-koeficijent prijelaza topline na strani vode}$$

#### Faktor onečišćenja na strani vode

$$R_1 := \frac{(d_m - d_u)}{\lambda_1} \cdot \left( \frac{d_u}{d_m} \right) \quad \text{-onečišćenje od cjevnog zida (vezano za srednji promjer cijevi)}$$

$$R_1 = 5.486 \times 10^{-5} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_2 := \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad \text{-onečišćenje od kamenca ako je debljina 0.8 mm}$$

$$\delta_2 := 0.8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{-proračunska debljina kamenca}$$

$$\lambda_2 := 2.2 \cdot \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivosti kamenca}$$

$$R_2 = 3.636 \times 10^{-4} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_3 := 0.0003 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{-onečišćenje od hrđe i ostalih nečistoća}$$

$$R_i := R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{-ukupni faktor onečišćenja}$$

$$R_i = 7.185 \times 10^{-4} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Specifični toplinski tok izražen preko unutrašnje površine:

$$q_u := \frac{T_z - T_{sw}}{\left(\frac{1}{a_w} + R_i\right) \cdot \frac{d_u}{d_v}} \quad \text{iz toga slijedi}$$

$$q_{u1} := 1332(T_z - 307.15) \quad \text{gdje je } T_z \text{ temperatura stjenke cijevi}$$

Specifični toplinski tok na strani radne tvari R717

$$q_u := \alpha_R(36 - T_z)$$

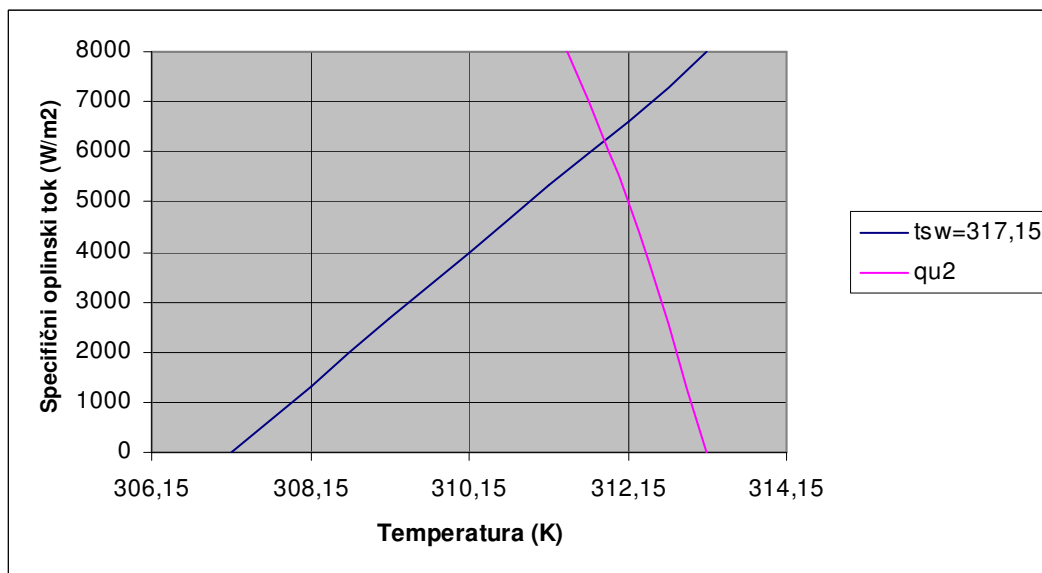
$$\alpha_R := 2100(T_k - T_z)^{-0.167} \cdot d_v^{-0.25} \quad \text{-koeficijen prijelaza topline na strani R717}$$

$$\alpha_R := 4965.14(313.15 - T_z)^{-0.167} \quad \text{prema tome,}$$

$$q_{u2} := 4965.14(313.15 - T_z)^{0.833}$$

Sustav od dvije jednačbe s dvije nepoznanice rješen je grafički

Slika 20: Prikaz grafičkog rješenja - rješenje je sjecište krivulja



Rezultat je:  $T_z := 311.83\text{K}$

$$q_u := 6257 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Površina izmjenjivača topline (unutrašnja)

$$A_u := \frac{\phi_k}{q_u}$$

$$A_u = 95.893 \text{ m}^2$$

Površina izmjenjivača topline (vanjska)

$$A_v := A_u \cdot \frac{d_v}{d_u}$$

$$A_v = 113.872 \text{ m}^2$$

Potrebno je provjeriti da li dobivena vrijednost zadovolja izmjenu topline voda - zrak

$$\phi_k := \sigma \cdot A_{v1} \cdot \beta \cdot \Delta h_m$$

$$\sigma := \frac{\alpha_z}{c_p} \quad \text{- koeficijent ishlapljivanja}$$

izračunavanje  $\alpha_z$

$$Re_z := \frac{w_z \cdot d_v}{\nu_z}$$

$$w_z := 5.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

-odabrana brzina strujanja zraka između horizontalnih redova cijevi

$$\beta := 1.5$$

-odnos između vodenog filma i vanjske izmjenjivačke površine

Parametri zraka za srednju temperaturu:  $T_m = 306.98 \text{ K}$

$$c_p := 1013 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{-specifični toplinski kapacitet zraka}$$

$$\lambda_z := 0.0261 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{-koeficijent vodljivosti topline zraka}$$

$$\eta_z := 18.85 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \quad \text{-dinamička žilavost zraka}$$

$$\rho_z := 1.114 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{-gustoća zraka}$$

$$\nu_z := \frac{\eta_z}{\rho_z} \quad \text{-kinematička žilavost zraka}$$

$$\nu_z = 1.692 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$P_{rz} := \frac{\eta_z \cdot c_p}{\lambda_z} \quad \text{-Prandtlov broj}$$

$$P_{rz} = 0.732$$

$$R_{ez} := \frac{w_z \cdot d_v}{\nu_z} \quad \text{-Reynoldsov broj}$$

$$R_{ez} = 1.235 \times 10^4$$

$$N_{uz} := 0.4 \cdot R_{ez}^{0.6} \cdot P_{rz}^{0.36} \quad \text{-Nusseltov broj}$$

$$N_{uz} = 101.914$$

$$\alpha_z := \frac{N_{uz} \cdot \lambda_z}{d_v}$$

$$\alpha_z = 69.999 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{iz toga slijedi}$$

$$\sigma = 0.069 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

iz jednadžbe  $\phi_k := \sigma \cdot A_{v1} \cdot \beta \cdot \Delta h_m$  slijedi

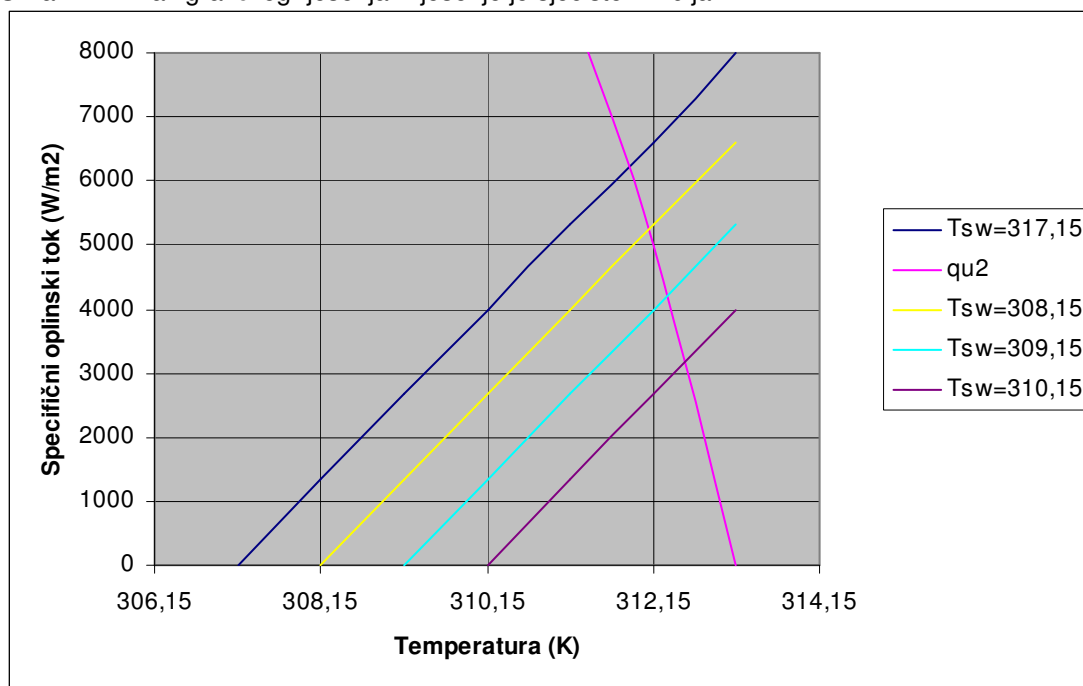
$$A_{v1} := \frac{\phi_k}{\sigma \cdot \beta \cdot \Delta h_m}$$

$$A_{v1} = 258.241 \text{ m}^2$$

Vidljiva je velika razlika u dobivenim rezultatima između  $A_v$  (113.872m<sup>2</sup>) i  $A_{v1}$  (258,242m<sup>2</sup>). Potrebno je promijeniti srednju temperaturu vode ili protok zraka.

Promjena srednje temperature vode

Slika 21: Prikaz grafičkog rješenja - rješenje je sjecište krivulja



Tablica 4: Prikaz rezultata grafičkog rješenja

Tsw (K)	307,15	308,15	309,15
Tz (K)	311,83	312,08	312,32
qu (W/m²)	6257	5253	4251
Av (m²)	106,281	126,584	156,434

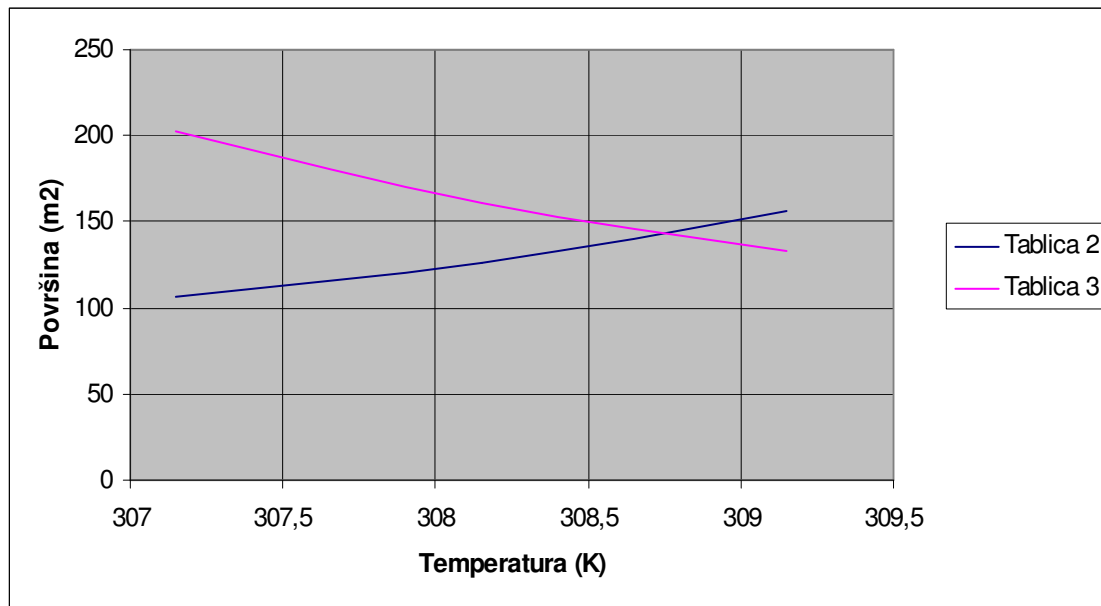
Tablica 5: Prikaz rezultata jednadžbe:  $A_{avl} := \frac{\phi_k}{\sigma \cdot \beta \cdot \Delta h_m}$

Tsw (K)	307,15	308,15	309,15
Avl (m²)	202,98	149,938	123,642

Rezultati iz ovih tablica unose se u dijagram - rezultat je njihovo presjecište



Slika 22: Prikaz grafičkog rješenja tablica 4 i 5 - rješenje je sjecište krivulja



Na kraju se dobiju podaci:

$$T_{sw1} := 308.75K$$

$$h_{w1} := 133.33 \cdot 10^3 \frac{J}{kg}$$

Ponovni proračun temperature stijenke, toplinskog toka i površine:

$$\Delta h_{mn} := \frac{h_{vz2} - h_{vz1}}{\ln\left(\frac{h_{w1} - h_{vz1}}{h_{w1} - h_{vz2}}\right)}$$

$$\Delta h_{mn} = 3.956 \times 10^4 \cdot \frac{J}{kg}$$

$$T_{z1} := 312.17K$$

$$q_{u1} := 4882 \frac{W}{m^2}$$

Površina izmjenjivača topline (unutrašnja)

$$A_{un} := \frac{\phi_k}{q_{u1}}$$

$$A_{un} = 122.9 \text{ m}^2$$

Površina izmjenjivača topline (vanjska)

$$A_{vn} := A_{un} \cdot \frac{d_v}{d_u}$$

$$A_{vn} = 145.944 \text{ m}^2$$

$$A_{v1n} := \frac{\phi_k}{\sigma \cdot \beta \cdot \Delta h_{mn}}$$

$$A_{v1n} = 146.335 \text{ m}^2$$

za daljnji proračun uzimam vrijednost  $A_{v1n} = 146.335 \text{ m}^2$

Ukupna duljina cijevi oplahivanih vodom

$$L_{uc} := \frac{A_{v1n}}{\pi \cdot d_v}$$

$$L_{uc} = 1.226 \times 10^3 \text{ m}$$

Aktivna duljina u kondenzatoru

$$L_1 := 3 \text{ m}$$

Površina horizontalnog reda preko kojeg struji zrak

$$A_s := \frac{q_{vvz}}{w_z}$$

$$A_s = 3.273 \text{ m}^2$$

Broj cijevnih spirala

$$n_{cs} := \frac{2A_s}{L_1 \cdot (2s_1 - d_v)}$$

$$s_1 := 1.3d_v$$

-razmak cijevi u horizontalnom smjeru

$$s_1 = 0.049 \text{ m}$$

$$n_{cs} := \frac{2A_s}{L_1 \cdot (2s_1 - d_v)}$$

$$n_{cs} = 35.885$$

$$n_{cs1} := 36$$

#### Širina kondenzatora

$$B := n_{cs1} \cdot s_1$$

$$B = 1.778 \text{ m}$$

#### Duljina jedne cijevne spirale

$$L_s := \frac{L_{uc}}{n_{cs1}}$$

$$L_s = 34.05 \text{ m}$$

#### Broj horizontalnih redaka

$$n_{hr} := \frac{2L_s}{L_1}$$

$$n_{hr} = 22.7$$

$$n_{hr1} := 23$$

#### Visina kondenzatora

$$s_2 := 1.3d_v$$

$$s_2 = 0.049 \text{ m}$$

$$H_v := n_{hr1} \cdot s_2$$

$$H_v = 1.136 \text{ m}$$

## ANALIZA GUBITAKA VODE

Maseni protok vode u optoku:

$$q_{wo} := 600 \text{ kW} \cdot 0.03 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{kW}}$$

$$q_{wo} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Maseni protok vode koji ishlapi

$$q_{wi} := q_{mvz} \cdot (x_{vz2} - x_{vz1})$$

$$q_{wi} = 0.217 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

stvarna vrijednost

$$q_{wi1} := q_{wi} \cdot 1.1$$

$$q_{wi1} = 0.239 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1,2\% \text{ od protoka vode u optoku})$$

Maseni protok vode potreban za odmuljivanje

$$q_{wo} := 0.5 \cdot q_{wi1}$$

$$q_{wo} = 0.119 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (0,66\% \text{ od protoka vode u optoku})$$

Maseni protok vode odnesene strujom zraka

$$q_{wz} := 0.17 \cdot q_{wi1}$$

$$q_{wz} = 0.041 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (0,23\% \text{ od protoka vode u optoku})$$

## 2.12. PRORAČUN ISPARIVAČA

### PROJEKTNI PODACI:

$\phi_e := 30\text{kW}$	-rashladni učinak jednog isparivača
$T_e := 266.15\text{K}$	-temperatura isparavanja
$T_{a1} := 273.15\text{K}$	-ulazna temperatura zraka u isparivač
$T_{a2} := 270.15\text{K}$	-izlazna temperatura zraka iz isparivača

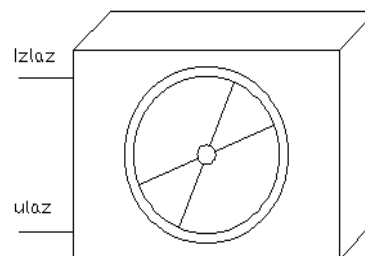
### KONSTRUKCIJSKI PODACI:

čelične cijevi:

$d_e := 26.9 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-vanjski promjer cijevi
$d_i := 22.3 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-unutarnji promjer cijevi
$s_1 := 44 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-razmak cijevi u vertikalno, smjeru
$s_2 := 48 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-razmak cijevi u horizontalnom smjeru

čelična rebra:

$s_f := 13 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-korak između rebara
$f_t := 0.5 \cdot 10^{-3}\text{m}$	-debljina rebara
$i_r := 12$	-broj redova cijevi
$i_t := 24$	-broj cijevi u redu
$i_{in} := 8$	-broj ulaznih cijevi



Izračun potrebnih površina za 1m orebrene cijevi:

$$A_{mt} := \pi \cdot d_e \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) \quad \text{-vanjska površina cijevi između rebara}$$

$$A_{mt} = 0.081 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}}$$

$$A_f := \frac{2 \cdot \left(s_1 \cdot s_2 - \pi \cdot \frac{d_e^2}{4}\right)}{s_f}$$

$$A_f = 0.237 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \quad \text{-površina rebara}$$

$$A_{e1} := A_{mt} + A_f$$

$$A_{e1} = 0.319 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \quad \text{-vanjska površina za izmjenu topline na 1m duljine cijevi}$$

$$A_{i1} := \pi \cdot d_i$$

$$A_{i1} = 0.07 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}}$$

-unutrašnja površina za izmjenu topline na 1m duljine cijevi

$$\beta := \frac{A_{e1}}{A_{i1}}$$

-omjer između vanjske i unutarnje površine

$$\beta = 4.55$$

Visina izmjenjivača topline:

$$H_1 := i_t \cdot s_1$$

$$H_1 = 1.056 \text{ m}$$

Dubina izmjenjivača topline:

$$L_1 := i_r \cdot s_2$$

$$L_1 = 0.576 \text{ m}$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika.

$$\Delta T_m := \frac{T_{a1} - T_{a2}}{\ln\left(\frac{T_{a1} - T_e}{T_{a2} - T_e}\right)}$$

$$\Delta T_m = 5.361 \text{ K}$$

Srednja temperatura zraka:

$$T_{am} := T_e + \Delta T_m$$

$$T_{am} = 271.511 \text{ K}$$

Parametri suhog zraka za temperaturu  $T_{am}$ :

$$\rho_a := 1.263 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

-gustoća zrak

$$c_a := 1010 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

-specifični toplinski kapacitet zraka

$$\lambda_a := 0.0236 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

-koeficijent toplinske vodljivost

$$\eta_a := 17.38 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

-dinamička žilavost zraka

$$\nu_a := \frac{\eta_a}{\rho_a} \quad \text{-kinematička žilavost zraka}$$

$$\nu_a = 1.376 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Stanje zraka na ulazu u isparivač uz relativnu vlažnost od 90% i temperaturu  $T_{a1}=273.15\text{K}$

$$p := 1 \text{ bar} \quad \text{-ukupni tlak vlažnog zraka}$$

$$\theta_{a1} := 0$$

$$p_{s1} := 6.107 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad \text{-pripadajući tlak zasićenja zraka, očitano iz tablice IV-1, A. Galović: Termodinamika II, str.280}$$

$$p_{d1} := 0.9 \cdot p_{s1} \quad \text{-parcijalni tlak vodene pare}$$

$$p_{d1} = 5.496 \times 10^{-3} \cdot \text{bar}$$

$$x_1 := 0.622 \cdot \frac{p_{d1}}{p - p_{d1}} \quad \text{-sadržaj vlage}$$

$$x_1 = 3.438 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$h_1 := 1005\theta_{a1} + x_1 \cdot (2500 \cdot 10^3 + 1930\theta_{a1})$$

$$h_1 := 8595 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari:

$$r := 1389.973 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{-specifična topline isparavanja amonijaka}$$

$$q_{mR1} := \frac{\phi_e}{r} \quad \text{-maseni protok radne tvari koja isparava}$$

$$q_{mR1} = 0.022 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$q_{mR} := q_{mR1} \cdot 8 \quad \text{-u amonijačnim sustavima uzima se da je protok radne tvari veći od protoka koji ispari}$$

$$q_{mR} = 0.173 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Svojstva radne tvari za  $T_e=266.15\text{K}$ :

$$\rho_R := 646.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{-gustoća radne tvari}$$

$$c_R := 4.57 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{-specifični toplinski kapacitet radne tvari}$$

$$\lambda_R := 0.542 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivost radne tvari}$$

$$\nu_R := 0.312 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{-kinematička žilavost radne tvari}$$

$$\eta_R := \nu_R \cdot \rho_R \quad \text{-dinamička žilavost radne tvari}$$

$$\eta_R = 2.018 \times 10^{-4} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Volumni protok radne tvari:

$$q_{VR} := \frac{q_{mR}}{\rho_R}$$

$$q_{VR} = 2.67 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Brzina radne tvari u cijevima:

$$w_R := \frac{4 \cdot q_{VR}}{i_{in} \cdot \pi \cdot d_i^2}$$

$$w_R = 0.085 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Bezdimenzijske značajke za izračun koeficijenta prijelaza topline:

$$Re_R := \frac{w_R \cdot d_i}{\nu_R} \quad \text{-Reynoldsova značajka}$$

$$Re_R = 6.107 \times 10^3$$

$$B_R := 0.023 \rho_R^{0.8} \cdot c_R^{0.4} \cdot \lambda_R^{0.6} \cdot \eta_R^{-0.4}$$

$$B_R = 2.47 \times 10^3$$

$$\alpha_{R1} := B_R \cdot \frac{w_R^{0.8}}{d_i^{0.2}} \quad \text{-koeficijent prijelaza topline u cijevima}$$

$$\alpha_{R1} = 738.622 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Za izračun koeficijenta  $\alpha_{R2}$  potrebno je pretpostaviti toplinski tok  $q_i$ :

$$q_i := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$p_e := 3.284 \quad \text{-tlak isparavanja}$$



$$\alpha_{R2} := 2.2 p_e^{0.21} \cdot q_i^{0.7}$$

$$\alpha_{R2} = 248.641 \cdot \frac{W}{m^2 K}$$

Izraz za koeficijent prijelaza topline u cijevima (amonijak):

$$\alpha_R := \alpha_{R1} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\alpha_{R2}}{\alpha_{R1}} \right)^{1.5} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$\alpha_R = 831.91 \cdot \frac{W}{m^2 K}$$

Faktor onečišćenja na strani zraka:

$$R_o := 0.001 \frac{m^2 K}{W}$$

Toplinski otpor čelične stijenke:

$$\lambda_t := 45 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivosti čelika}$$

$$\delta_t := 2.3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \text{-debljina čelične stijenke}$$

$$R_t := \frac{\delta_t}{\lambda}$$

$$R_t = 5.111 \times 10^{-5} \cdot \frac{m^2 K}{W}$$

$$d_m := \frac{d_e + d_i}{2} \quad \text{-središnji promjer cijevi}$$

$$d_m = 0.025 \text{ m}$$

Prosječna temperatura na vanjskoj površini isparivača:

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

$$T_s = 267.031 \text{ K}$$

Entalpija izlaznog zraka iz isparivača ovisi o temperaturi vanjske površine isparivača koja je zapravo temperatura zasićenog zraka. To znači da je relativna vlažnost jednaka 1. Ostali parametri se isčitaju iz tablice ili Molierovog dijagrama:

$$\theta_{s2} := -5.71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_{s2} := 4.101 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

$$x_s := 0.002564 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

Stanje zraka na izlazu iz isparivača:

$$\theta_{a2} := -3 \quad \text{-izlazna temperatura zraka iz isparivača}$$

$$x_2 := x_1 - (x_1 - x_s) \cdot \frac{(T_{a1} - T_{a2})}{T_{a1} - T_s} \quad \text{-sadržaj vlage na izlazu iz isparivača}$$

$$x_2 = 3.009 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$h_2 := 1005 \cdot \theta_{a2} + x_2 \cdot (2005 \cdot 10^3 + 1930 \cdot \theta_{a2})$$

$$h_2 = 3.001 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Izmjenjivačka površina:

$$A_1 := \frac{\phi_e}{q_i}$$

$$A_1 = 50 \text{ m}^2$$

Ukupna duljina cijevi:

$$L_{ov} := \frac{A_1}{A_{i1}}$$

$$L_{ov} = 713.699 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu:

$$L_{1.} := \frac{L_{ov}}{i_r}$$

$$L_{1.} = 59.475 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline:

$$B := \frac{L_{1.}}{i_t}$$

$$B = 2.478 \text{ m}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka:

$$q_{ma} := \frac{\phi_e}{h_1 - h_2} \quad \text{-maseni protok zraka}$$

$$q_{ma} = 5.363 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$q_{va} := \frac{q_{ma}}{\rho_a} \quad \text{-volumni protok zraka}$$

$$q_{va} = 4.246 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Najmanji poprečni presjek između cijevi i rebra na koji nastrujava zrak:

$$A_z := L_1 \cdot (s_1 - d_e) \cdot \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right)$$

$$A_z = 0.978 \text{ m}^2$$

Brzina zraka u najmanjem poprečnom presjeku između cijevi i rebra:

$$w := \frac{q_{va}}{A_z}$$

$$w = 4.342 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Veličine potrebne za izračun koeficijenta prijelaza topline:

$$R_e := \frac{w \cdot s_f}{\nu_a}$$

$$R_e = 4.102 \times 10^3$$

$$C := 0.23$$

$$n := 0.65$$

-koeficijenti C, n, Cr isčitani iz tablica

$$C_r := 1$$

$$s_{2d} := \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2}$$

$$s_{2d} = 0.053 \text{ m}$$

$$C_s := \left(\frac{s_1 - d_e}{s_{2d} - d_e}\right)^{0.2}$$

$$C_s = 0.92$$

$$h := \frac{(s_1 - d_e)}{2} \quad \text{-visina rebra}$$

$$h = 8.55 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$N_u := C \cdot C_f \cdot C_s \cdot \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0.14} \cdot Re^n$$

$$N_u = 33.811$$

$$\alpha_a := \frac{N_u \cdot \lambda_a}{s_f}$$

$$\alpha_a = 61.38 \cdot \frac{W}{m^2 K}$$

Kako je  $x_2$  manji od  $x_1$  dolazi do orošavanja izmjenjivačke površine. Utjecaj intenzivnijeg prijelaza topline uzimamo u obzir pomoću koeficijenta  $\xi_w$ .

$$\xi_w := 1 + \frac{x_1 - x_s}{\theta_{a1} - \theta_{s2}} \cdot 2500$$

$$\xi_w = 1.382$$

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

$$\alpha_{aw} = 84.857 \cdot \frac{W}{m^2 K} \quad \text{-korigirani koeficijent prijelaza topline}$$

Veličine potrebne za izračun koeficijenta prijelaza topline svedenog na unutrašnji promjer:

$$C_k := 0.98 \quad \text{-koeficijent koji uzima u obzir kontaktni otpor između cijevi i rebra (zadana vrijednost)}$$

$$\lambda_f := 45 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{-koeficijent toplinske vodljivost rebra}$$

$$m_f := \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{aw}}{f_t \cdot \lambda_f}}$$

$$m_f = 86.85 \frac{1}{m}$$

$$B_f := \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2}$$

$$B_f = 0.053 \text{ m}$$

$$A_f := s_1$$

$$A_f = 0.044 \text{ m}$$

$$\rho_f := 1.27 \cdot \left( \frac{B_f}{d_e} \right) \cdot \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0.3}$$

$$\rho_f = 1.82$$

$$h_f := 0.5 \cdot d_e \cdot (\rho_f - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(\rho_f)) \text{ -visina rebra}$$

$$h_f = 0.013 \text{ m}$$

$$E := \frac{\frac{e^{m_f \cdot h_f} - e^{-m_f \cdot h_f}}{e^{m_f \cdot h_f} + e^{-m_f \cdot h_f}}}{m_f \cdot h_f}$$

$$E = 0.708$$

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

$$\alpha_{ai} = 135.089 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na unutrašnju izmjenjivačku površinu:

$$k_i := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o \cdot \frac{1}{\beta} + R_t \cdot \frac{d_i}{d_m} + \frac{1}{\alpha_R}}$$

$$k_i = 112.731 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Provjera prethodno pretpostavljenog toka:

$$q_i := k_i \cdot \Delta T_m$$

$$q_i = 604.329 \cdot \frac{W}{m^2} \quad \text{-približno jednako } q_i$$

Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku izmjenjivačku površinu:

$$k_e := \frac{k_i}{\beta}$$

$$k_e = 24.777 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Vanjska izmjenjivačka površina:

$$A_e := A_i \cdot \beta$$

$$A_e = 227.49 \text{ m}^2$$

Nastrujna brzina na izmjenjivač:

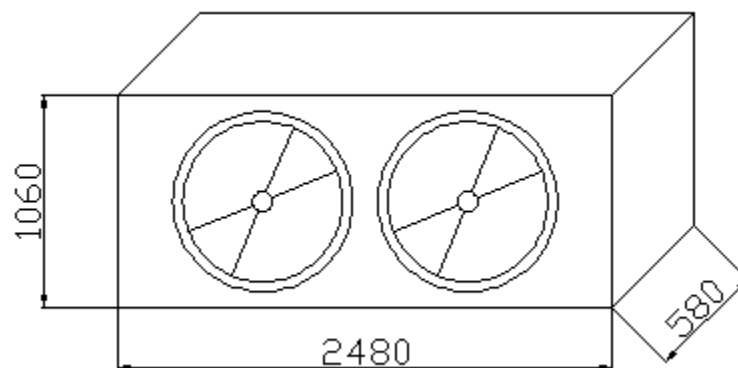
$$w_f := \frac{q_{va}}{B \cdot H_1}$$

$$w_f = 1.623 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pad tlaka zraka:

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

$$\Delta p = 105.286 \text{ Pa}$$



Prikaz dimenzija isparivača

## 2.13. PRORAČUN CJEVOVODA

$q_m := 0.412 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$	- protočna masa
$w_u := 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	- preporučena brzina u usisnom vodu
$w_t := 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	- preporučena brzina u tlačnom vodu
$w_k := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	- preporučena brzina u kapljevinskom vodu
$\rho_u := 2.346 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	- gustoća radne tvari u usisnom vodu
$\rho_t := 8.547 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	- gustoća radne tvari u tlačnom vodu
$\rho_k := 587.17 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	- gustoća radne tvari u kapljevinskom vodu

### **Usisni vod:**

#### Protočni volumen:

$$q_{vu} := \frac{q_m}{\rho_u}$$

$$q_{vu} = 0.176 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

#### Poprečni presjek:

$$A_u := \frac{q_{vu}}{w_u}$$

$$A_u = 0.012 \text{m}^2$$

#### Promjer cijevi:

$$d_u := \sqrt{\frac{4 \cdot A_u}{\pi}}$$

$$d_u = 122.094 \cdot \text{mm}$$

Odabrano: DN125 133 x 4

**Tlačni vod:**

Protočni volumen:

$$q_{vt} := \frac{q_m}{\rho_t}$$

$$q_{vt} = 0.048 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Poprečni presjek:

$$A_t := \frac{q_{vt}}{w_t}$$

$$A_t = 2.41 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_t := \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}}$$

$$d_t = 55.396 \cdot \text{mm}$$

Odabrano: DN50 60,3 x 3,9

**Kapljevinski vod:**

Protočni volumen:

$$q_{vk} := \frac{q_m}{\rho_k}$$

$$q_{vk} = 7.017 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Poprečni presjek:

$$A_k := \frac{q_{vk}}{w_k}$$

$$A_k = 7.017 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Promjer cijevi:

$$d_k := \sqrt{\frac{4 \cdot A_k}{\pi}}$$

$$d_k = 29.89 \cdot \text{mm}$$

Odabrano: DN32 42,4 x 2,6



## 2.14. SPECIFIKACIJA MATERIJALA I OPREME

1. Evaporativni kondenzator – učina 600 Kw, $\theta_k=36^\circ\text{C}$ , $\theta_p=31^\circ\text{C}$ , $\theta_i=-7^\circ\text{C}$		
	kao proizvod: Evapco, tip: ATC	kom: 1
2. Pumpa za vodu – protoka 18 kg/s, H=10 m		
	Kao proizvod: Wilo, tip: Cronobloc-BL	kom: 1
3. Sakupljač radne tvari – volumena 700 dm <sup>3</sup>		
	kao proizvod: Bitzer, tip: F7202N	kom: 1
4. Manometar		
	Kao proizvod: Danfoss, tip:	kom: 1
5. Sigurnosni ventil		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: SFV 15-25 T	kom: 1
6. Iparivač – orebreni, učina 30 kW, $\theta_k=36^\circ\text{C}$ , $\theta_p=31^\circ\text{C}$ , $\theta_i=-7^\circ\text{C}$		
	Kao proizvod: Thermokey, tip: AHT 163.48	kom: 15
7. Elektromagnetni ventil		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: EVRA 32	kom: 30
8. Pretvarač tlaka		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: AKS 32R	kom: 1
9. Presostat niskog tlaka		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: RT1A	kom: 1
10. Presostat visokog tlaka		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: RT5A	kom: 1
11. Kompresor – otvoreni vijčani, P= 69,9 kW $\theta_k=36^\circ\text{C}$ , $\theta_p=31^\circ\text{C}$ , $\theta_i=-7^\circ\text{C}$		
	kao proizvod: Bitzer, tip: OSKA 8561-K	kom: 2
12. Termostat		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: RT17	kom: 1
13. Odvajač ulja		
	Kao proizvod: Bitzer, tip: OA1854A	kom: 1
14. Termoekspanzijski ventil		
	Kao proizvod: Danfoss, tip: TES12	kom: 15
15. Odvajač radne tvari		
	Kao proizvod: Bitzer, tip: FS 5502	kom: 1
16. Zaporni ventil		
	Kao proizvod: Ari-armaturen, tip: DN32	kom: 10
	Kao proizvod: Ari-armaturen, tip: DN50	kom: 1
	Kao proizvod: Ari-armaturen, tip: DN65	kom: 2
	Kao proizvod: Ari-armaturen, tip: DN125	kom: 2
17. Čelične cijevi		
	Tip: DN32	m: 50
	Tip: DN50	m: 30
	Tip: DN65	m: 15
	Tip: DN125	m: 15
18. Izolacija		
	Kao proizvod: Armaflex, tip: AF-1-035	m: 50
	Kao proizvod: Armaflex, tip: AF-1-048	m: 30
	Kao proizvod: Armaflex, tip: AF-1-076	m: 15

### 3. ZAKLJUČAK

Kondenzatori hlađeni optočnom vodom koriste se kod sustava većih toplinskih opterećenja. Prilikom odabira evaporativnih kondenzatora ili kondenzatora hlađenih vodom iz rashladnog tornja, potrebno je uzeti u obzir utjecaj investicijskih troškova, troškova rada, troškova održavanja, smještaja opreme i lokalnih meteoroloških uvjeta. Veći investicijski troškovi i troškovi održavanja ovih kondenzatora u odnosu na zrakom hlađene kondenzatore, valoriziraju se kroz manju potrošnju energije za pogon kompresora (niža temperatura kondenzacije), te time postiže ukupno bolja energetska učinkovitost rashladnog sustava.

Evaporativni kondenzatori se češće upotrebljavaju u rashladnoj industriji nego kondenzatori hlađeni vodom iz rashladnog tornja. Jedan od razloga je taj što evaporativni kondenzator ima jednu izmjenu topline manje nego vodom hlađen kondenzator, čime se postižu niže temperature kondenzacije.

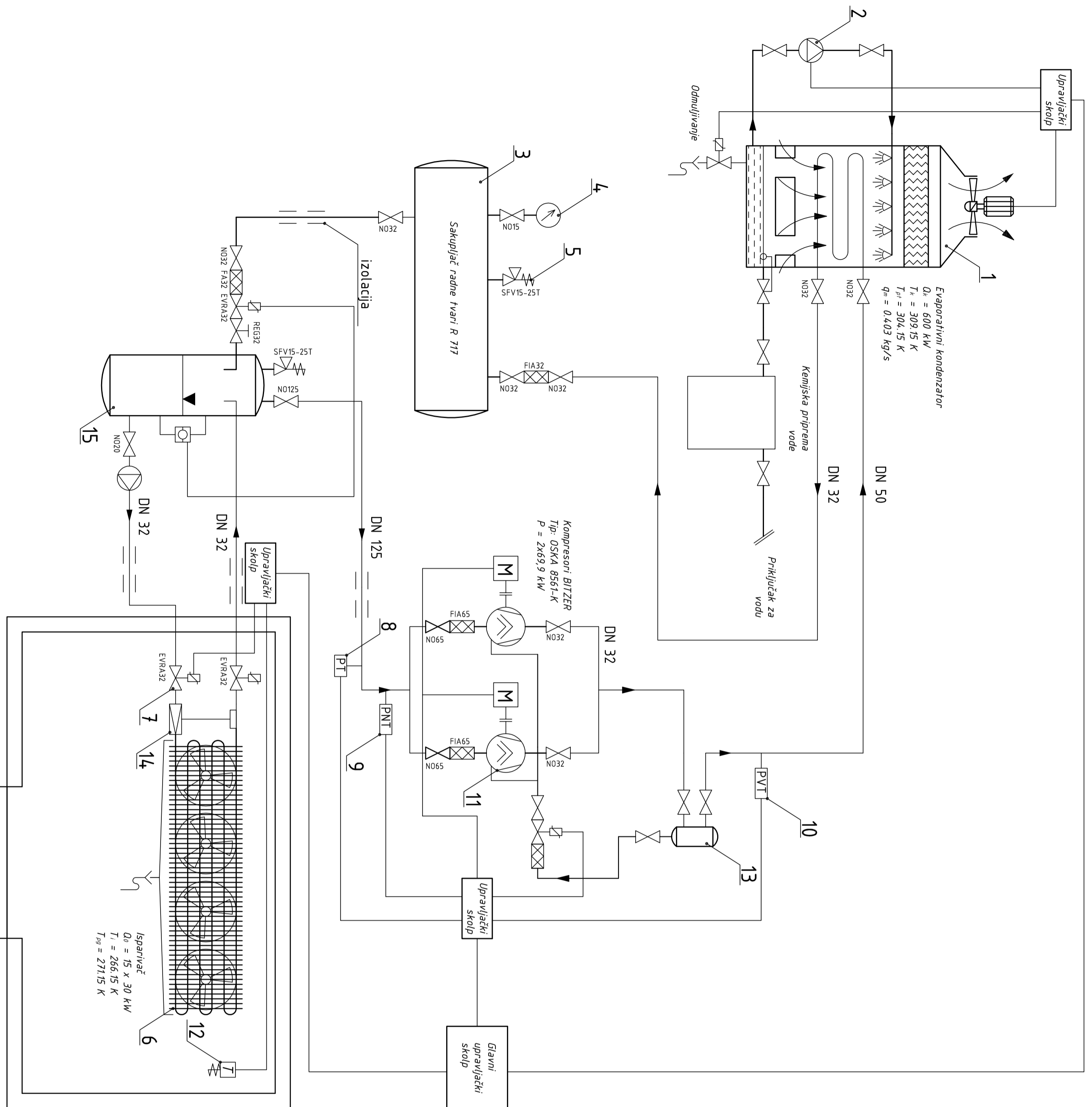
U knjizi autora Wilbert F. Stoecker [1] dan je primjer radnih temperatura kondenzatora za učinak 550 kW i temperaturu vlažnog termometra 25,6 °C. Evaporativni kondenzator za navedene uvjete postiže temperaturu kondenzacije 35 °C, dok kondenzator hlađen vodom iz rashladnog tornja postiže temperaturu kondenzacije 40,6 °C, uz temperaturni režim rashladne vode 28,9/35,8 °C.

Količina vode u optoku kod evaporativnih kondenzatora je i do tri puta manja od vode u optoku kod vodom hlađenih kondenzatora. Sukladno tome troškovi pogona pumpe za vodu i troškovi pripreme vode su manji kod evaporativnih kondenzatora.

S druge strane, prednost kondenzatora hlađenih vodom iz rashladnog tornja je manji pad tlaka radne tvari u kondenzatoru zbog mogućnosti smještaja kondenzatora uz kompresor.

#### 4. LITERATURA

- [1] W. F. Stoecker, *Industrial Refrigeration Handbook*, McGraw-Hill Professional, 1998.
- [2] R. J. Dossat, *Principles of Refrigeration*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [3] ASHRAE, *Systems and Equipment*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2000.
- [4] H. Reknagel, E. Sprenger, E.R. Schramek, *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, Oldenbourg Verlag, München, 2000.
- [5] D. Ljubas, *Predavanja iz kolegija Voda, gorivo i mazivo*, FSB, Zagreb, 2008
- [6] Kancir, Švaić, Uhlik, *Radne tvari u tehnici hlađenja: amonijak R717*, Zagreb, 1981
- [7] Kraut B., *Krautov strojarski priručnik*, Axiom, Zagreb, 1997.
- [8] *Toplinske tablice*, FSB, Zagreb
- [9] R. Ciconkov, *Refrigeration solved examples*
- [10] <http://www.mbfriego.hr/zastupstva/bitzer/>
- [11] <http://www.armacell.com>
- [12] <http://www.ari-armaturen.de>



- LEGENDA:**
- Ručni zaporni ventil :
  - Filter nečistoća :
  - Elektromagnetni ventil:

**NAPOMENA:** Kompletni cevovod je izoliran Armaflex izolacijom

- Debljina izolacija :**
- DN 125 24 mm
  - DN 65 22 mm
  - DN 50 22 mm
  - DN 32 20 mm

Poz.	Broj naziva - code	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
15		Odjeljivač radne tvari					
14		Termoekspanzijski ventil					
13		Odvajач ulja					
12		Termostat					
11		Kompresor					
10		Presosni visokog tlaka					
9		Presosni niskog tlaka					
8		Pretvarač tlaka					
7		Elektromagnetni ventil					
6		Isparnivač					
5		Sigurnosni ventil					
4		Manometar					
3		Sakupljač radne tvari					
2		Pumpa					
1		Evaporativni kondenzator					

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
	Kondenzatori hladni	
	optočnoj vodom	
	Napomena: Radna tvar - R717	R. N. broj:
		Smjer: Termotehnika

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Portis	Proizvođač	Masa
Razradio	04.02.2009	Tomislav Đurak			
Crtao	04.02.2009	Tomislav Đurak			
Pregledao	02.01.2009	doc.dr.sc. Vladimir Soldo			
Mentor	02.01.2009	doc.dr.sc. Vladimir Soldo			

Naziv: **Schema spajanja rashladnog sustava**

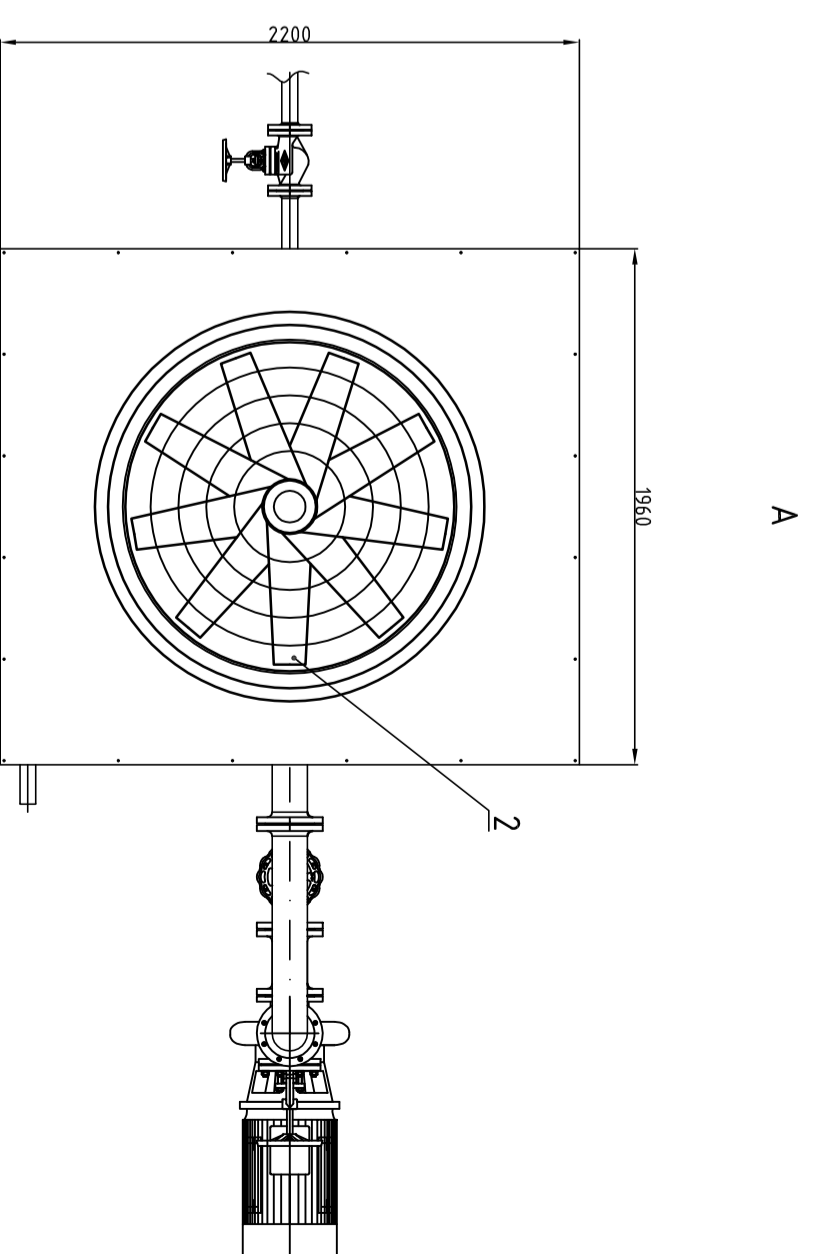
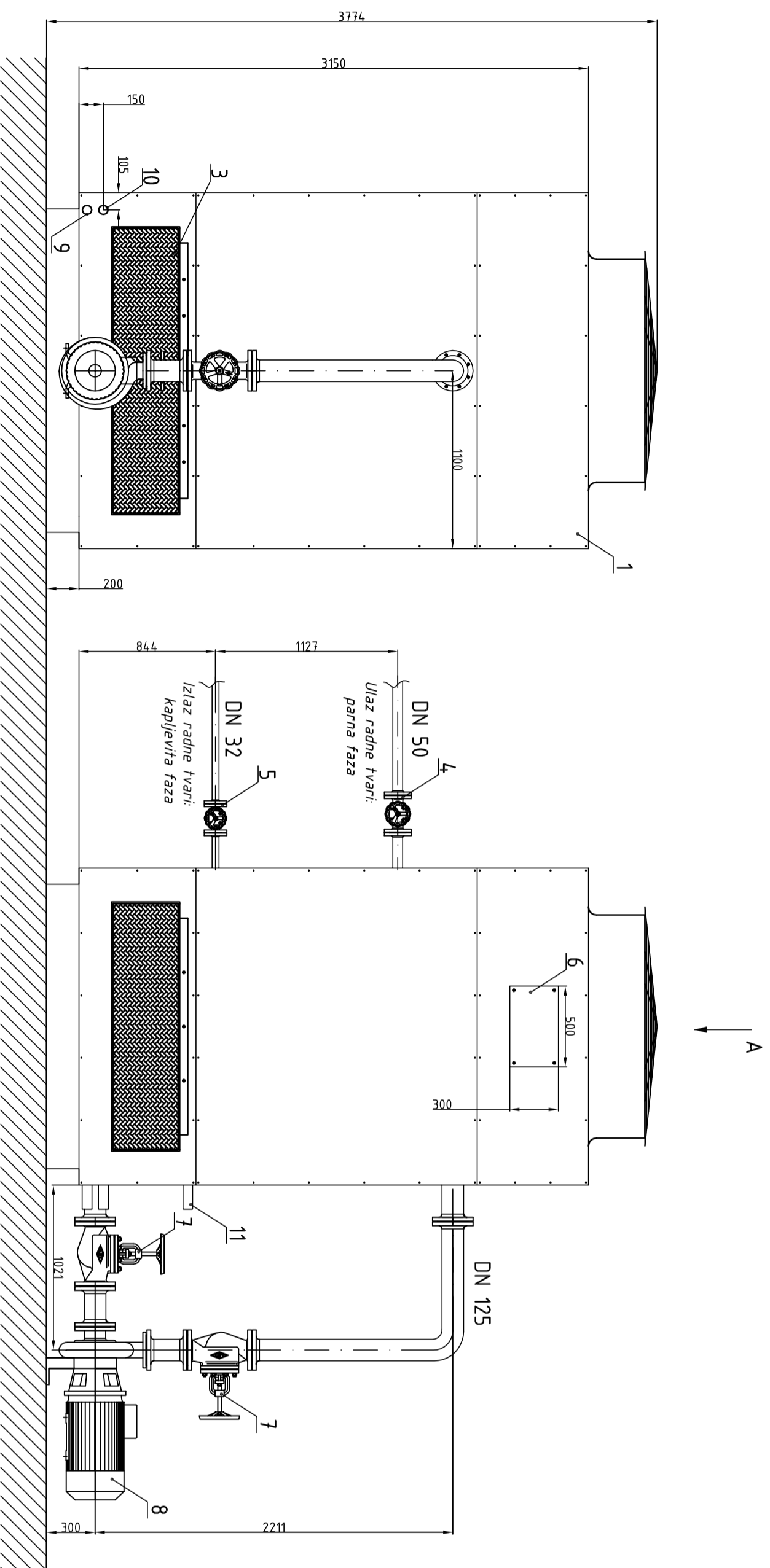
Format: A2

Lista: 2

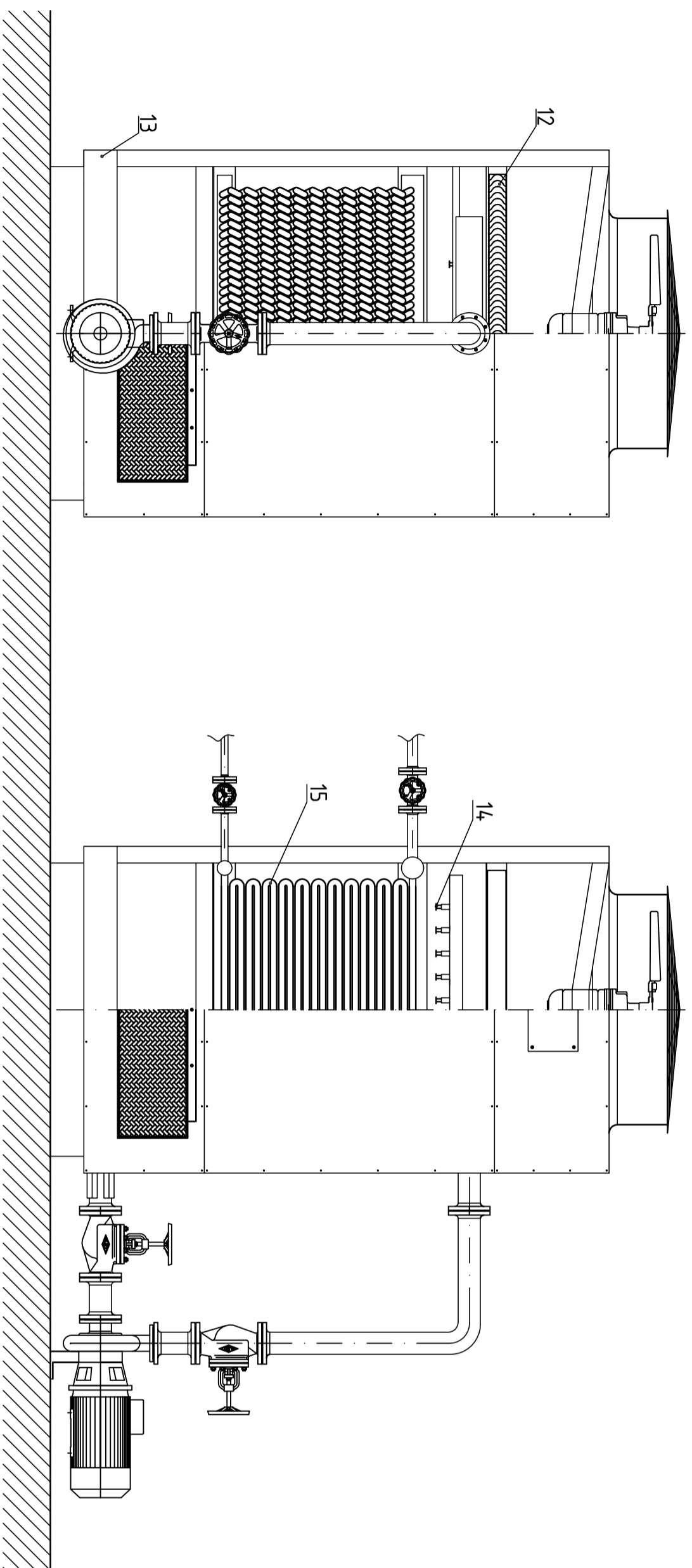
Crtež broj: ZR-TD-001

Lista: 1






POLOVIČNI PRESJEK:



Broj naziva - code	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norme	Materijal	Steop dimenzije	Masa
15	1 Izmenjivač topline (kondenzator)	1				
14	1 Saponica za raspršivanje vode	10				
13	1 Posuda za sakupljanje vode	1				
12	1 Eliminators kapljica	1				
11	1 Priključak za dovod tretirane vode Ø50	1				
10	1 Priključak za protok vode Ø50	1				
9	1 Priključak za spust vode Ø50	1				
8	1 Pumpa za vodu	1				
7	1 Zaporni ventil DN 125	2				
6	1 Servisna vratarska	1				
5	1 Zaporni ventil DN 32	1				
4	1 Zaporni ventil DN 50	1				
3	1 Ulaz zraka	6				
2	1 Aksijalni ventilator	1				
1	1 Evaporativni kondenzator	1				

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Projis.	Steop dimenzije	Masa
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Projis.	Steop dimenzije	Masa
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			
04.02.2008	04.02.2008	Tomislav Đurak			


**FSB Zagreb**  
 Studij strojarstva  
 Naziv: **Dispozitivski crtež evaporativnog kondenzatora**  
 Forma: A1  
 Lista: 2  
 Masa: **ZAVRŠNI RAD**  
 Projis: **ZAVRŠNI RAD**  
 R. N. broj: **ZAVRŠNI RAD**  
 Smer: **ZAVRŠNI RAD**  
 Materijal: **ZAVRŠNI RAD**  
 Napomena: Radna tvar - R113  
 ISO - kategorije: **optičnom vodom**  
 Objekt broj: **optičnom vodom**  
 Objekt: **Kondenzator hladni**  
 Objekt: **optičnom vodom**  
 Ispis: **1:20**  
 Ispis: **2**