

# Kružni rashladni sustav rafinerije nafte

---

Erny, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:432072>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**KRUŽNI RASHLADNI SUSTAV RAFINERIJE NAFTE**

Rijeka, rujan 2023.

Vedran Erny

0069089932

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**KRUŽNI RASHLADNI SUSTAV RAFINERIJE NAFTE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vladimir Glažar

Rijeka, rujan 2023.

Vedran Erny

0069089932

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom uz pomoć mentora.

Vedran Erny

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. RASHLADNI SUSTAVI U PROCESNOJ INDUSTRIJI</b> .....	2
<b>2.1. Tipovi rashladnih sustava</b> .....	2
2.1.1. Protočni rashladni sustav .....	2
2.1.2. Zatvoreni rashladni sustav s recirkulacijom.....	4
2.1.3. Otvoreni rashladni sustav s recirkulacijom .....	4
<b>2.2. Rashladni tornjevi</b> .....	5
2.2.1. Rashladni tornjevi s prirodnim strujanjem.....	5
2.2.2. Rashladni tornjevi s prisilnim strujanjem .....	6
2.2.3. Učinkovitost rashladnog tornja .....	7
<b>2.3. Cjevovodi</b> .....	8
2.3.1. Otvoreni i zatvoreni cjevovodi.....	8
2.3.2. Serijski i paralelni spoj.....	9
<b>3. KRUŽNI RASHLADNI SUSTAV RAFINERIJE NAFTE</b> .....	10
<b>3.1. Rashladni tornjevi</b> .....	10
3.1.1. Ispune rashladnog tornja .....	11
3.1.2. Ventilatori .....	12
<b>3.2. Filteri</b> .....	13
<b>3.3. Pumpaona rashladne vode</b> .....	14
<b>3.4. Proračun (FCC kompleks)</b> .....	15
<b>3.5. Proračun (gornja/donja platforma)</b> .....	19
<b>3.6. Proračun (gornja, donja platforma i FCC kompleks)</b> .....	22
<b>3.7. Usporedba rezultata i odabir pumpe</b> .....	24
<b>4. PRIPREMA RASHLADNE VODE</b> .....	27
<b>4.1. Taloženje</b> .....	27
<b>4.2. Korozija</b> .....	27
4.2.1. Anodni inhibitori.....	28
4.2.2. Katodni inhibitori.....	28
<b>4.3. Mikrobiološka priprema</b> .....	28
4.3.1. Oksidirajući biocidi.....	29
4.3.2. Neoksidirajući biocidi .....	29
4.3.3. Biodisperzanti .....	30
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	31
<b>6. LITERATURA</b> .....	32

## 1. UVOD

U mnogim industrijskim postrojenjima voda je glavni medij kojim se hladi određeni sustav. Voda je mnogo pogodniji medij od zraka jer ima veći toplinski kapacitet. Iako su postrojenja koja koriste vodu kao rashladni medij mnogo složenija i skuplja, njihova je efikasnost i iskoristivost veća i bolja u odnosu na druge medije. Samim time, rafinerija nafte također koristi vodu kao medij kojim hladi raznorazne izmjenjivače topline, strojeve te ostalu opremu potrebnu za normalan rad rafinerije. Zadatak svakog rashladnog sustava, tako i ovog sustava, je preuzeti toplinu na radni medij (voda) te na taj način obaviti hlađenje.

Ovim će radom ukratko biti predstavljena općenita podjela rashladnih sustava te detaljnija analiza i princip rada kružnog rashladnog sustava rafinerije nafte Rijeka (RNR). Također, prikazat će se pojednostavljeni proračuni padova tlaka u cjevovodima za različita opterećenja te potrebne snage pumpe za pogon ohlađene vode. Na samom kraju, prikazat će se svi potrebni tretmani kroz koje voda mora proći kako ne bi došlo do problema u radu rashladnog sustava.

## **2. RASHLADNI SUSTAVI U PROCESNOJ INDUSTRIJI**

Rashladni sustav jedan je od važnijih sustava u procesnoj industriji. Zbog ograničenih svojstva materijala, višak topline koji se stvara u procesu treba odvoditi. Rashladna voda najčešći je medij kojim se odvodi toplota. Budući da u prirodi ne postoji voda idealnih uvjeta za hlađenje, potrebno ju je prije ulaska u proces podvrgnuti određenim tretmanima filtracije te kemijskom tretmanu [1].

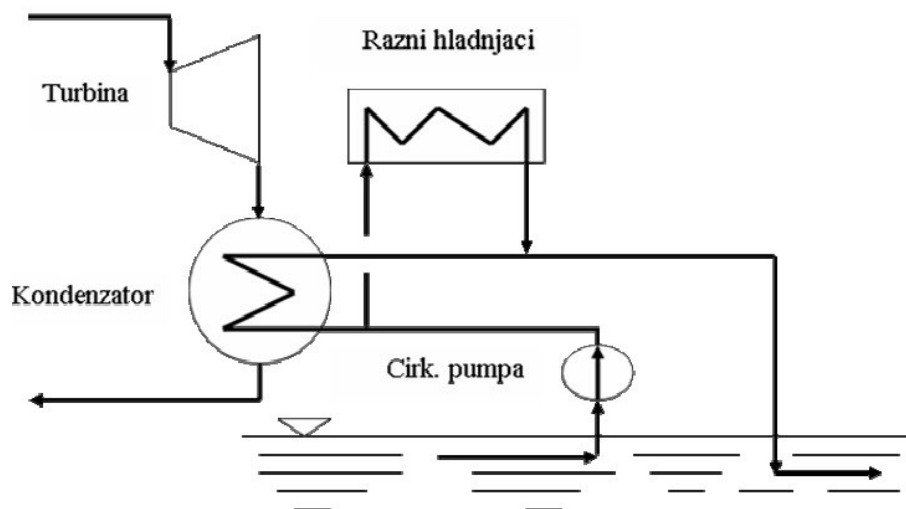
### **2.1. Tipovi rashladnih sustava**

Za svaki tip rashladnog sustava obrada rashladne vode obavlja se po istim principima. Rashladni sustav dijeli se u tri osnovne kategorije:

- 1) Protočni rashladni sustav
- 2) Zatvoreni rashladni sustav s recirkulacijom
- 3) Otvoreni rashladni sustav s recirkulacijom

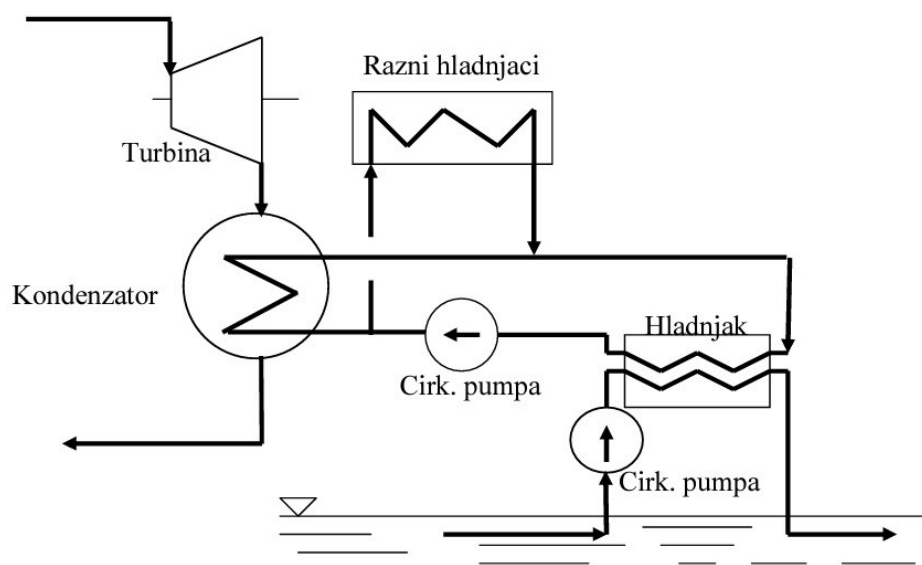
#### **2.1.1. Protočni rashladni sustav**

Protočni rashladni sustav je sustav koji je moguće koristiti isključivo ako se u blizini postrojenja nalazi velika količina rashladne vode poput rijeka, jezera ili mora. Postoje dva tipa protočnog rashladnog sustava: direktni i indirektni. Kod direktnog protočnog sustava voda iz prirode izravno dodiruje vodu koju je potrebno hladiti tj. postoji direktna veza između pogonskog i rashladnog medija, slika 2.1.



Slika 2.1. Direktni protočni rashladni sustav [1]

S druge strane, indirektni protočni sustav se razlikuje po tome što postoje dva odvojena cirkulacijska kruga koja su neizravno povezana preko izmjenjivača toplote, slika 2.2. U oba slučaja potrebno je pripaziti da se voda ne smije previše zagrijati kako ne bi došlo do narušavanja biosustava u prirodnim vodama.

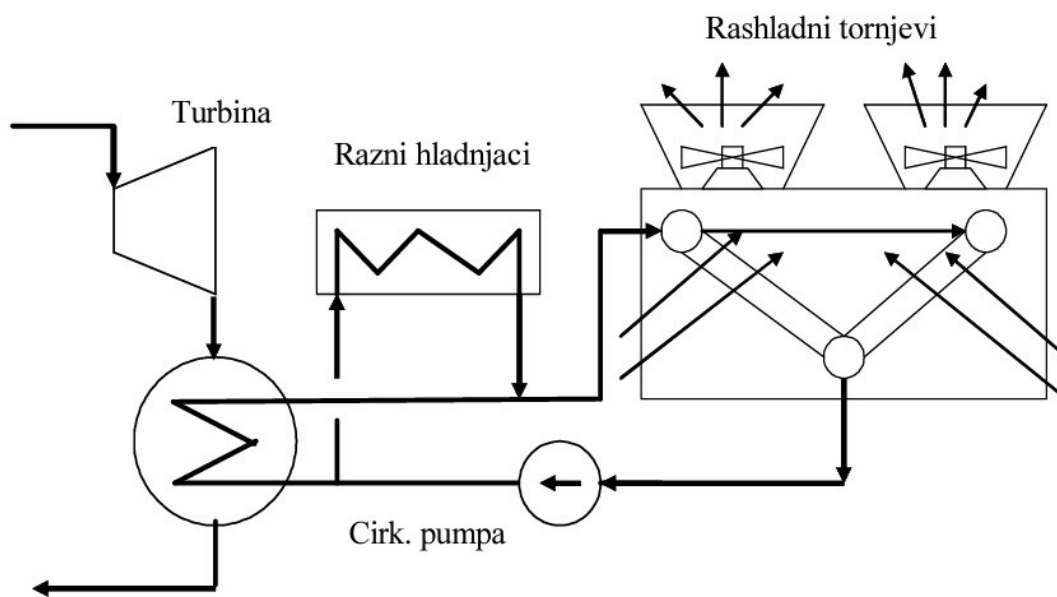


Slika 2.2. Indirektni protočni rashladni sustav [1]



### 2.1.2. Zatvoreni rashladni sustav s recirkulacijom

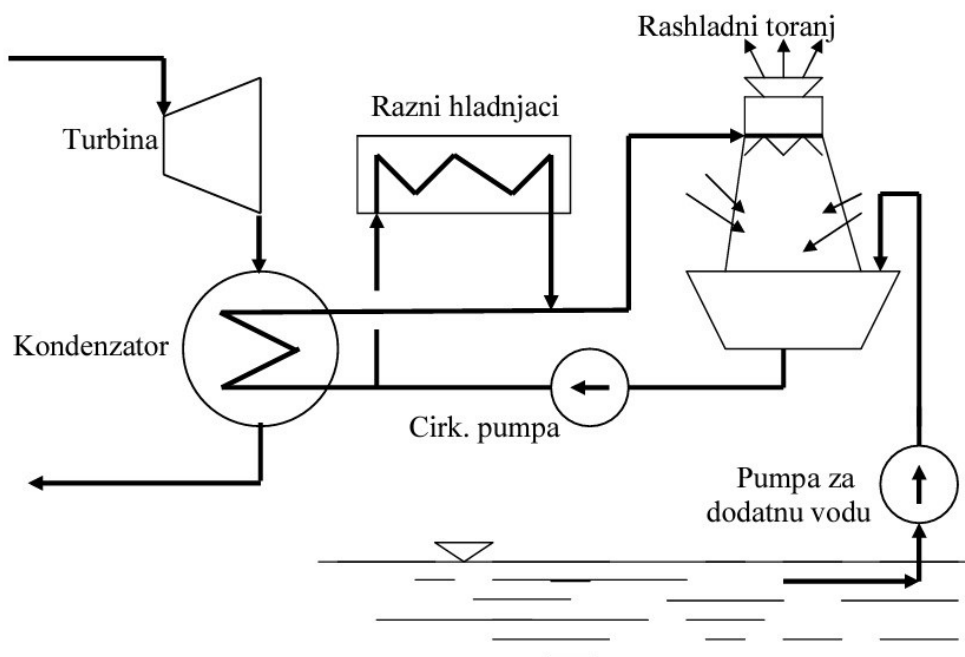
Zatvoreni rashladni sustav je sustav u kojem nema nadopune vode (eng. *make-up*). Umjesto voda stajaćica i/ili tekućica koriste se rashladni tornjevi koji zanemarivo propuštaju vodu u atmosferu tj. gubitci vode u sustavu su neznatno maleni (Slika 2.3.). Ovakvi sustavi su veoma učinkoviti i ekonomični zbog minimalnih potreba nadopune izuzev slučajeva kada određeni dijelovi sustava rade s određenim problemom (npr. propuštanje ventila, problemi na pumpama itd.).



Slika 2.3. Zatvoreni rashladni sustav [1]

### 2.1.3. Otvoreni rashladni sustav s recirkulacijom

Otvoreni rashladni sustav sastoji se od rashladnog tornja kroz koji isparava dio vodene pare (Slika 2.4.). Kondenzirana voda skuplja se u bazenu ispod tornja iz kojeg se pumpama odvodi prema postrojenju. Kod ovih sustava važno je zadržati dovoljnu količinu vode potrebnu za rashladu, stoga se svi gubitci vode moraju nadoknaditi kontinuiranim dopunjavanjem pripremljene vode u bazen.



Slika 2.4. Otvoreni rashladni sustav [1]

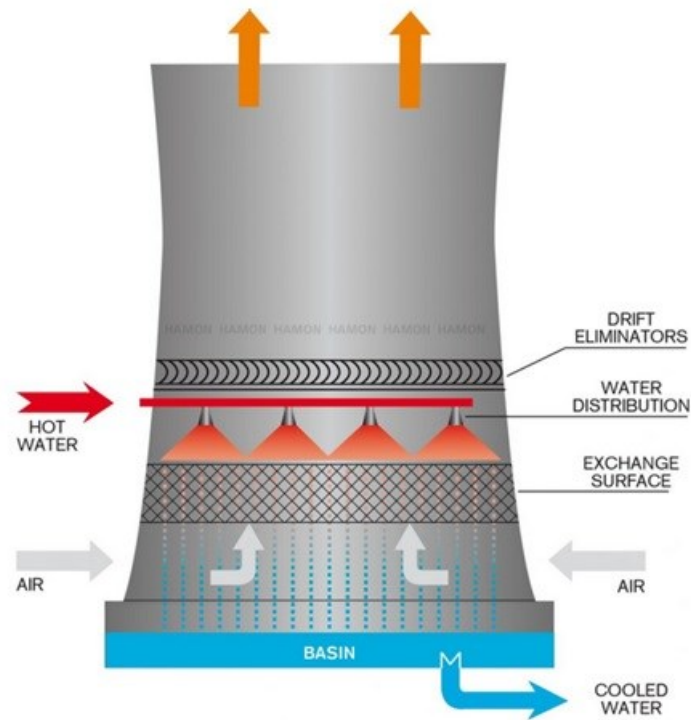
## 2.2. Rashladni tornjevi

Rashladni tornjevi toplinski su uređaji koji u nedostatku vode u okolini (rijeke, mora, jezera...) omogućuju predaju topline sa postrojenja na okolinu. Izmjena topline se, pored direktne konvekcije između površina kapljica vode i zraka, odvija uslijed otparivanja dijela vode koja se zbog toga hladi. Svaki rashladni toranj sastoji se od ventilatora, ispuna, eliminatora kapljica (demister), sapnica za rasprskavanje vode, distribucijskih kanala i sabirnog bazena. Rashladni tornjevi dijele se, ovisno o načinu strujanja zraka, u dvije kategorije: s prirodnim strujanjem i s prisilnim strujanjem. Toplinski učinak ovisi o temperaturi vlažnog termometra ulaznog zraka jer se rashladna voda može najviše ohladiti 3 - 4 °C iznad temperature vlažnog termometra okoline, tj. voda se u rashladnom tornju ne može ohladiti ispod temperature vlažnog termometra okoline [2].

### 2.2.1. Rashladni tornjevi s prirodnim strujanjem

Rashladni tornjevi s prirodnim strujanjem zraka (tzv. hiperbolični tornjevi) funkcioniraju na principu razlike gustoće. Prirodni protok zraka nastaje uslijed manje gustoće toplijeg zraka unutar tornja i relativno hladnijeg zraka okoline. Konstrukcija tornja (Slika 2.5.) je nalik difuzoru. Na ulazu zrak ubrzava (smanjenje presjeka), a na visini od 3/4 tornja poprečni presjek

se počinje povećavati kako zrak ne bi s prevelikom brzinom izašao u okolinu. Investicijski troškovi ovakvih tornjeva su manji jer nije potrebna ugradnja ventilatora.

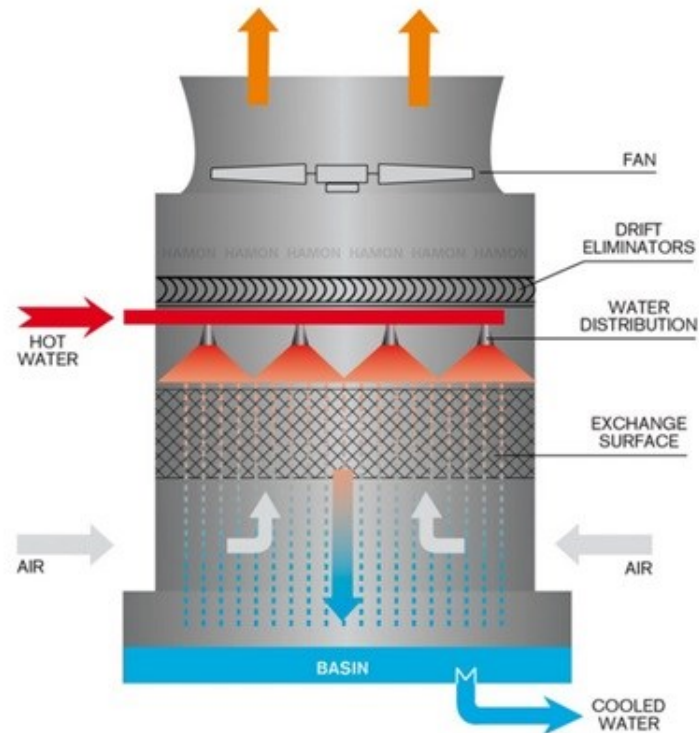


Slika 2.5. Rashladni toranj s prirodnim strujanjem zraka [2]

### 2.2.2. Rashladni tornjevi s prisilnim strujanjem

Prisilno strujanje omogućeno je ventilatorom. Kao i kod tornjeva s prirodnim strujanjem, zrak u toranj ulazi s donje strane i izlazi na vrhu zahvaljujući ventilatorima. Ventilatori omogućuju potreban maseni protok zraka neovisno o uvjetima okoline. Maseni protok može se regulirati promjenom broja okretaja ventilatora i promjenom nagiba lopatica. Rashladni tornjevi s prisilnim strujanjem se mogu razvrstati u tri kategorije:

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



Slika 2.6. Rashladni toranj s prisilnim strujanjem zraka [2]

### 2.2.3. Učinkovitost rashladnog tornja

Učinkovitost rashladnog tornja definirana je omjerom stvarnog i teorijskog temperaturnog raspona hlađenja

$$\eta_h = \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_{vl,t}} \quad (2.1)$$

gdje je:  $t_2$  – temperatura ulazne vode u rashladni toranj (°C)

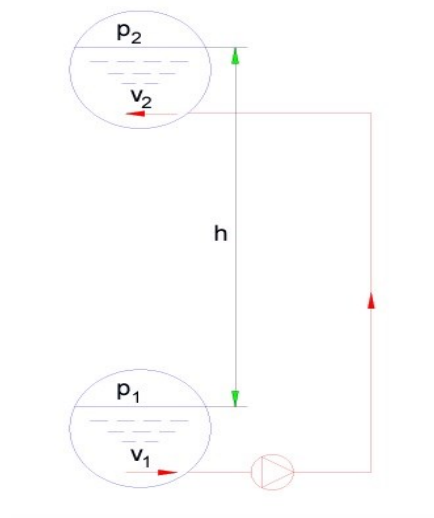
$t_1$  – temperatura izlazne (ohlađene) vode i rashladnog tornja (°C)

$t_{vl,t}$  – temperatura vlažnog termometra (°C)

## 2.3. Cjevovodi

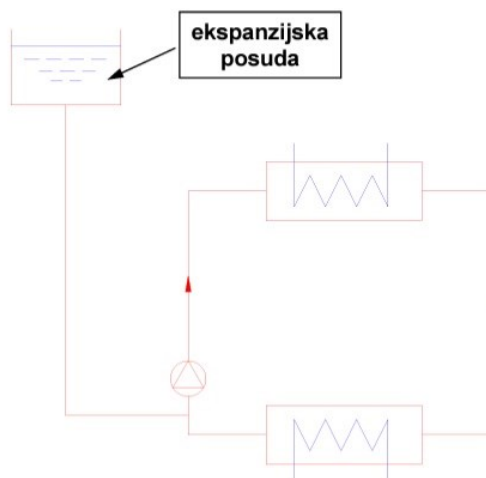
### 2.3.1. Otvoreni i zatvoreni cjevovodi

Otvoreni cjevovodi su cjevovodi u kojima ukupan pad tlaka ovisi o promjeni tlaka između spremnika, promjeni brzina na ulazu i izlazu iz cijevi, visinskoj razlici između spremnika i gubicima trenja, slika 2.7 [3].



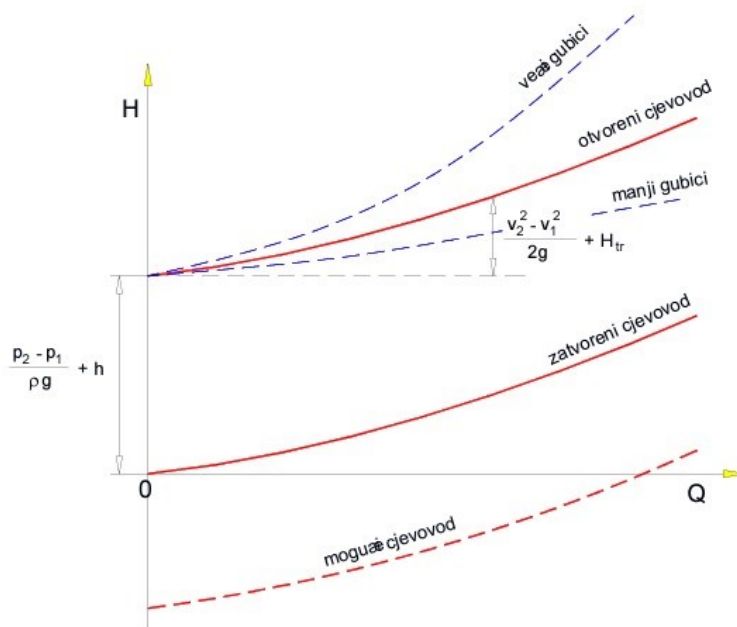
Slika 2.7. Otvoreni cjevovod [3]

Kod zatvorenih cjevovoda pad tlaka ovisan je isključivo o gubicima trenja. U takav cjevovod nužno je ugraditi ekspanzijsku posudu čija je svrha kompenziranje toplinskih dilatacija i nadopuna vode ako dođe do manjka u sustavu, slika 2.8.



Slika 2.8. Zatvoreni cjevovod [3]

Najbolji pokazatelj razlike između zatvorenog i otvorenog cjevovoda je njihova krivulja cjevovoda, slika 2.9. Na slici je vidljivo krivulja zatvorenog cjevovoda koja kreće od 0 dok je u krivulju otvorenog cjevovoda uključen i uzgon.



Slika 2.9. Krivulje cjevovoda [3]

### 2.3.2. Serijski i paralelni spoj

Odabir serijskog/paralelnog spoja cijevi ovisi o raznim čimbenicima. Najčešće se odabir vrši ovisno o broju potrošača i vremenu korištenja vode. Kod serijskog spoja jedna cijev dovodi vodu do svih potrošača. Takav način ugradnje zahtjeva manji broj cijevi i ekonomičniji je, no ne može osigurati jednak tlak vode u cijelom sustavu; najudaljeniji dio sustava imat će manji tlak. Paralelni način ugradnje osigurava jednaki tlak u cijelom sustavu, no zbog većeg broja cijevi i načina ugradnje ekonomično je zahtjevniji. S druge strane, ako dođe do propuštanja na jednoj od cijevi spojenih u paralelu, ostale cijevi nastavit će normalno funkcionirati. Često se koriste kombinacije serijski i paralelnih cijevi, tzv. ožičeno postavljanje cijevi.

### 3. KRUŽNI RASHLADNI SUSTAV RAFINERIJE NAFTE

Kružni rashladni sustav rafinerije nafte u funkciji je hlađenja procesnih i energetskih postrojenja slatkom vodom u otvorenom cirkulacijskom krugu s rashladnim tornjevima prisilnog strujanja zraka. Zagrijana voda s postrojenja dolazi u rashladne tornjeve gdje ulazi u ispune tornjeva. U isto vrijeme ventilator, koji je smješten na vrhu tornja, povlači zrak uzvodno niz toranj. Na taj način hladni zrak iz okoline ulazi u ispune tornja gdje hladi vodu. Dio vode ispari te se zajedno sa zrakom ispušta u okolinu. Ostatak (ohlađena voda) pada u bazen ispod tornja odakle se pumpama odvodi prema vodenim hladnjacima u postrojenju. Rashladni sustav namijenjen je za hlađenje gornje i donje platforme te kompleksa FCC.

#### 3.1. Rashladni tornjevi

Rashladni tornjevi rafinerije nafte su otvorenog tipa s protusmjernim i induciranim strujanjem zraka. Svaki rashladni toranj sastoji se od osam ćelija, od kojih svaka ima zaseban ulaz povratne (zagrijane) vode. Svaka ćelija se zasebno može uključiti/isključiti iz pogona. Četiri ćelije su povezane na zajednički sabirni bazen koji se nalazi ispod njih. Postoji mogućnost međusobnog odvajanja, kako bazena, tako i ćelija u slučaju popravka na jednom dijelu dok je drugi dio u radu [4].



*Slika 3.1. Rashladni tornjevi rafinerije nafte Rijeka [4]*

### 3.1.1. Ispune rashladnog tornja

Ćelije rashladnih tornjeva opremljene su odgovarajućim razvodnim kanalima, vodenim sapnicama, demisterima te plastičnim ispunama. Plastične (polipropilenske) ispune služe za što bolje raspršivanje vode kako bi se stvorio što intenzivniji kontakt između kapljica vode i zraka što rezultira boljom efikasnošću hlađenja. Sustav za raspršivanje sastoji se od 28 razvodnih kanala (Slika 3.2.) na kojima su ugrađene 224 sapnice promjera  $\phi$  30 mm. Sustav je izrađen na način da produžuje kontaktno vrijeme između vode i zraka. Polipropilenska izvedba pruža veliku količinu izmjene topline, minimalan pad tlaka, visoku temperaturnu postojanost i visoku otpornost na štetna i kemijska djelovanja ugljikovodika u ohlađenoj vodi.



*Slika 3.2. Razvodni kanali i ćelije rashladnog tornja [4]*

Veće kapljice vode nošene strujom zraka odvajaju se u eliminatoru kapljica. Plastični eliminator kapljica (Slika 3.3.) smješten je između kanala za raspodjelu unutar svake ćelije. Njihova konstrukcija omogućuje struji zraka da u kratko vrijeme nekoliko puta mijenja smjer čime se izlučuju kapljice. U jednoj ćeliji ugrađeno je 215 m<sup>2</sup> eliminatorsa kapljica dimenzija 2400 x 600 x 130 mm.

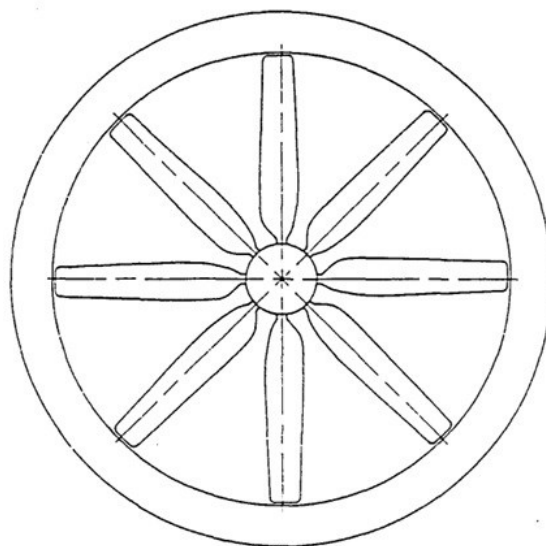




*Slika 3.3. Prikaz eliminатора kapljica [4]*

### 3.1.2. Ventilatori

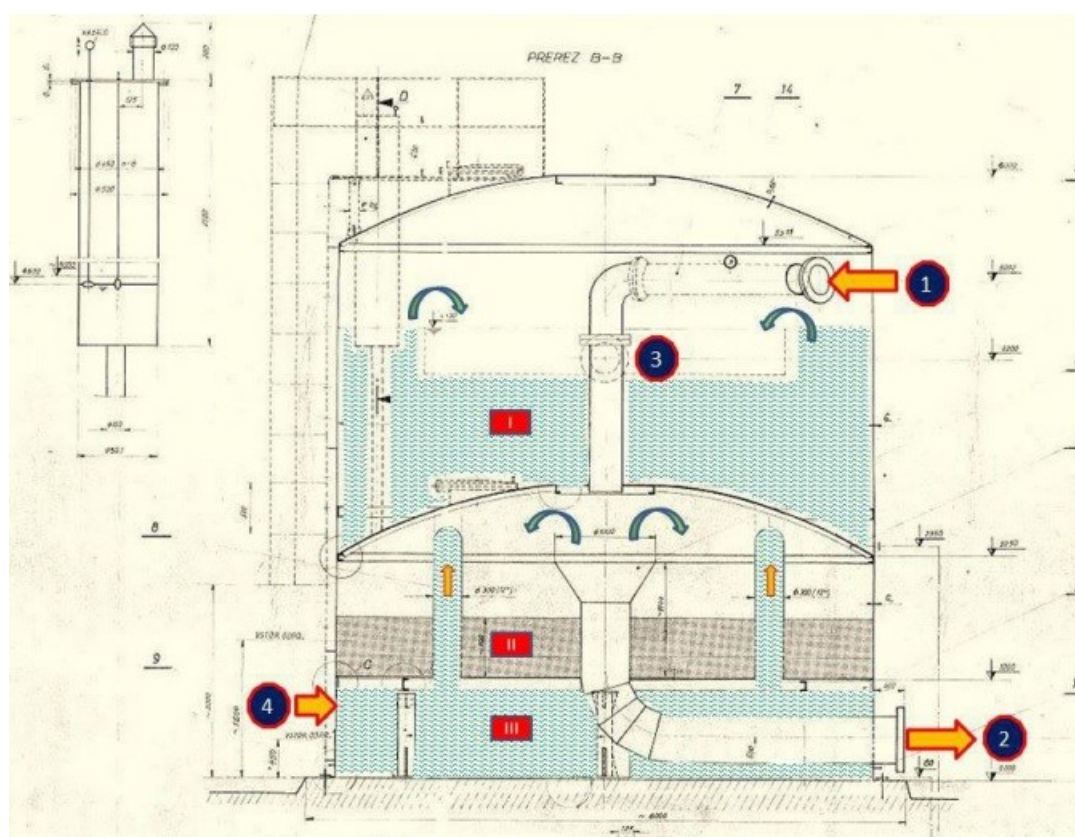
Na samom vrhu svakog tornja smješten je jedan ventilator promjera 8 m. Svaki ventilator sastoji se od 4 čelične lopatice i 4 lopatice od armiranog poliestera, reduktora te spojke koja ga povezuje s elektromotorom. Elektromotor ima frekventni regulator broja okretaja koji se reguliraju ovisno o temperaturi ohlađene vode te stanju okoline. Regulacija temperature ohlađene vode je direktno povezana s brojem okretaja ventilatora kako bi se postiglo kontinuirano održavanje željene temperature. U slučaju povišenih vibracija ventilatora, vibracijska sklopka automatski zaustavlja rad [5].



*Slika 3.4. Shema ventilatora [4]*

### 3.2. Filteri

Maksimalna predviđena količina vode u cirkulaciji je  $12000 \text{ m}^3$ . Budući da se voda tijekom kruženja može zaprljati (u kontaktu s vanjskom atmosferom), predviđena je konstanta filtracija 5% protočne količine tj.  $600 \text{ m}^3$ . Na kružnom rashladnom sustavu instalirana su 2 pješčana filtera. (Slika 3.5.) Osnovna uloga pješčanih filtera je kvalitetna filtracija tj. smanjenje nečistoća koje nanose velike štete na procesnoj opremi. Pješčani filteri omogućuju filtraciju vode iz sustava kao i filtraciju vode za nadopunu (make-up). Najčešće se koristi jedan za filtriranje make-up vode dok drugi služi za filtraciju vode iz sustava [6].



Slika 3.5. Pješčani filter RNR [6]

Tijekom filtracije rashladna voda iz sustava ili voda za nadopunu sustava ulaze u srednju komoru pješčanog filtra preko ulaznog ventila br. 1. U isto vrijeme je ispust u kanalizacijski sustav zatvoren (ventil br. 2). Ulazna voda prolazi preko slojeva kvarcnog pijeska i sapnica u donju komoru gdje se zbog razlike tlaka podiže preko 3 okomite cijevi u gornju komoru te preko preljeva (ventila br. 3) gravitacijski odlazi u bazen rashladnog tornja.

Prilikom filtriranja kvarcni pijesak se onečišćuje zbog čega je potrebno konstantno čišćenje filtra. Filter se ispire protustrujno sa filtriranom količinom vode od 60 m<sup>3</sup> u vremenu od 15-ak minuta. Za uspješno ispiranje koristi se industrijski zrak. Potrebno je zatvoriti ulazni ventil br. 1 te otvoriti ventil kanalizacijskog sustava (br. 2). Zatim se otvara ventil za industrijski zrak (br. 4) koji dolazi sa postrojenja kompresorske stanice energane.

### 3.3. Pumpaona rashladne vode

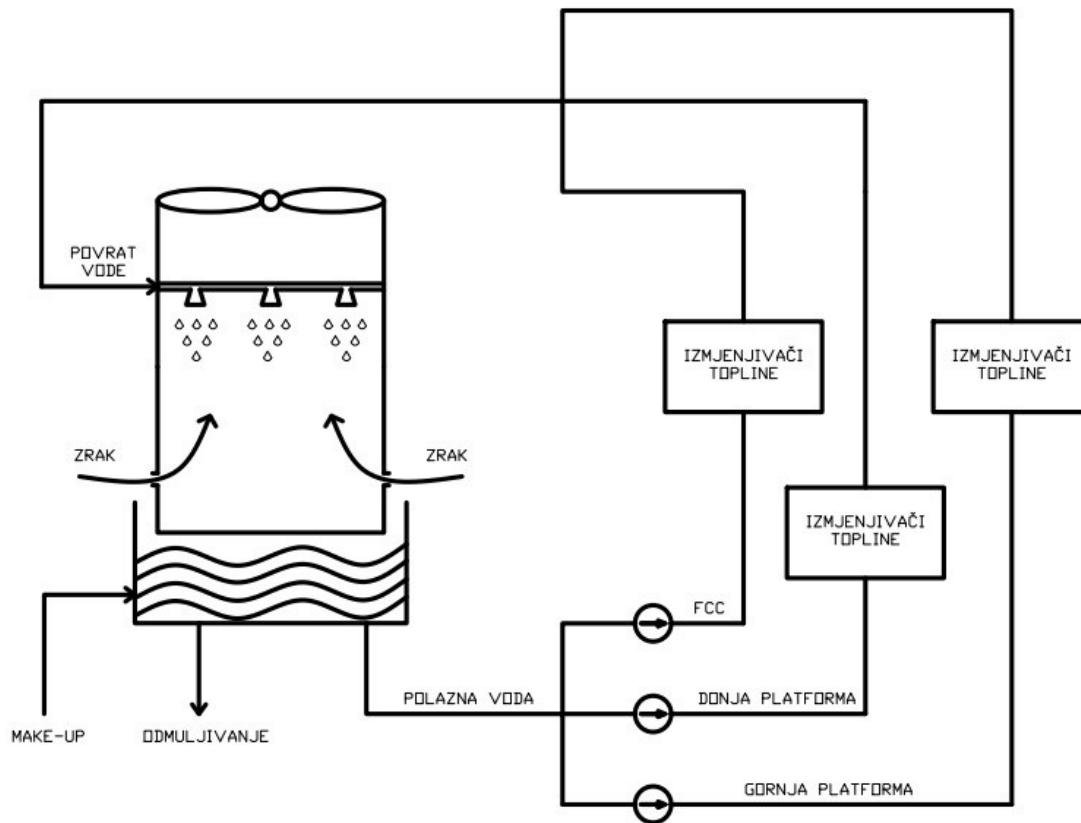
Pumpaona rashladnog sustava sadrži osam horizontalnih centrifugalnih pumpi (Slika 3.6.). Šest pumpi je nominalnog kapaciteta 3000 m<sup>3</sup>/h i visine dobave 55 ms.v, a dvije pumpe nominalnog kapaciteta 1750 m<sup>3</sup>/h i visine dobave 70 ms.v (samo za potrebe FCC kompleksa). Pumpaona ima 50% rezerve dobave s obzirom na maksimalni kapacitet rashladnih tornjeva (12000 m<sup>3</sup>/h). Uloga rashladnog sustava u postrojenju je vrlo bitna, stoga su zastupljene 3 vrste pogona (elektromotorni, parnoturbinski i dizelmotorni) kako ne bi došlo do prestanka rada. Dizel pumpa koristi se u situacijama koje rezultiraju nestankom električne energije. Približno se 6000 m<sup>3</sup>/h rashladne vode koristi za hlađenje procesnih postrojenja gornje i donje platforme dok se 3000 m<sup>3</sup>/h troši na potrebe FCC kompleksa. U pravilu, dvije do tri centrifugalne pumpe u paralelnom radu koriste se za potrebe gornje i donje platforme dok se jedna pumpa višeg tlaka koristi za potrebe FCC postrojenja.

Naziv	Kapacitet m <sup>3</sup> /h	Tlak (bar)	Pogon	Nadzor rada pumpe
340 PA-001 A	3000	5	elektromotorni	340-PT-4010 A/B/C
340 PA-001 B	3000	5		340-TT-4011 A/B/C
340 PA-001 C	3000	5		340-PT-4012 A/B/C
340 TP-002 A	3000	5	parnoturbinski	tlak pare, ispuh turbine, ležajno ulje, prednji i stražnji ležaj, brzina turbine ( točka 7.3.)
340 TP-002 B	3000	5		
340 DP-003	3000	5	dizelmotorni	340-PT-4010 340-TT-4011 D 340-TT-4012 D
340 PA-003 A	1750	7	elektromotorni	
340 PA-003 B	1750	7		

Slika 3.6. Glavni parametri za pojedinu pumpu [6]

### 3.4. Proračun (FCC kompleks)

Ovaj pojednostavljeni proračun napravljen je za slučaj kada je u pogonu samo pumpa za hlađenje FCC kompleksa.



Slika 7.7. Shema postrojenja

- Cjevovod je dimenzije NO 600:  
 $d_u = 590,4 \text{ mm}$   
 $d_v = 609,6 \text{ mm}$
- Materijal cjevovoda : ugljični čelik
- Gustoća pitke vode :  $1000 \text{ kg/m}^3$
- Volumni protok :  $Q = 1750 \text{ m}^3/\text{h} = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$
- Iz tablice 3.1. očitava se brzina za zadane parametre:  
 Brzina :  $w = 1,8 \text{ m/s}$

Tablica 3.1. Brzina toka fluida [7]

## Nominal Pipe Size: 24"

- Inside Diameter: 0.600 m (24.0 inches)

Flow			Velocity		Pressure Drop			
(m <sup>3</sup> /s)	(liter/s)	(US gpm)	(m/s)	(ft/s)	(Pa/100m)	(mmH <sub>2</sub> O/100m)	(psi/100ft)	(ftH <sub>2</sub> O/100ft)
0.30	300	4756	1.1	3.7	1600	163	0.1	0.2
0.33	333	5283	1.3	4.2	2000	204	0.1	0.2
0.42	417	6606	1.6	5.3	3000	306	0.1	0.3
0.50	500	7926	1.9	6.3	4300	438	0.2	0.4
0.58	583	9246	2.2	7.4	5700	581	0.3	0.6
0.67	667	10569	2.6	8.4	7400	755	0.3	0.8
0.75	750	11889	2.9	9.5	9300	948	0.4	0.9
0.83	833	13205	3.2	10.5	11400	1162	0.5	1.2
0.92	917	14532	3.5	11.6	13700	1397	0.6	1.4
1.00	1000	15852	3.9	12.6	16200	1652	0.7	1.7
1.08	1083	17172	4.2	13.7	18900	1927	0.8	1.9
1.17	1167	18495	4.5	14.8	21800	2223	1.0	2.2
1.25	1250	19815	4.8	15.8	24900	2539	1.1	2.5
1.33	1333	21135	5.1	16.9	28300	2886	1.3	2.9

- Za proračun uzet će se polazni cjevovod koji služi za hlađenje FCC postrojenja čija je duljina  $l = 1000$  m
- U pojednostavljenom prikazu cjevovoda nalaze se 20 koljena pod kutem od  $90^\circ$  stupnjeva

Prije proračuna pada tlaka zbog trenja treba odrediti koeficijent trenja.

- Dinamička viskoznost ( $\eta$ ) vode na  $26^\circ\text{C}$  iznosi 0,95.
- Kinematska viskoznost računa se prema izrazu :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,95}{1000} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (3.1)$$

- Reynoldsov broj :

$$Re = \frac{wl}{\nu} = \frac{1,8 \cdot 1000}{9,5 \cdot 10^{-4}} = 1894736,8 \quad (3.2)$$

Strujanje je turbulentno.

- Koeficijent hrapavosti  $e$  očitava se iz tablice 3.2.

Tablica 3.2. Koeficijent hrapavosti [7]

Hrapavost $\varepsilon$ raznih cevi*)	
Vrsta cevi	Hrapavost $\varepsilon$ u mm
Vučene cevi (mesing i dr.)	0,0015
PVC- i PE-cevi	0,007
Azbestno-cementne cevi (nove)	0,05...0,1
Čelične cevi trgovačkog kvaliteta	0,045
Pocinkovane čelične cevi	0,15
Čelične cevi, korodirane	0,15...1,0
Čelične cevi, jako zardale	1,0...3,0
Cevi od livenog gvožđa	0,4...0,6
Cevi od liv. gvožđa, zaštićene bitulitom	0,125
Limeni kanali, savijeni	0,15
Fleksibilna creva	0,6...0,8, delimično i veća do 2,0
Rabac, glatki	1,5
Zidani kanali	3,0...5,0
Drveni kanali	0,2...1,0
Betonski kanali, sirovi	1,0...3,0

Očitano :  $e = 0,045$

- Za turbulentno strujanje koeficijent trenja može se dobiti modificiranim Colebrookeovom formulom:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left(\ln\left(\frac{e}{3,7d_u} + \frac{5,74}{R_e^{0,9}}\right)\right)^2} = \frac{1,325}{\left(\ln\left(\frac{0,045}{3,7 \cdot 0,5904} + \frac{5,74}{1894736,8^{0,9}}\right)\right)^2} = 0,088 \quad (3.3)$$

- Pad tlaka uzrokovan trenjem računa se prema formuli:

$$R = \lambda \frac{l}{d_u} \rho \frac{w^2}{2} = 0,088 \cdot \frac{1000}{0,5904} \cdot 1000 \cdot \frac{1,8^2}{2} = 241463,4 \text{ Pa} \quad (3.4)$$

- Pad tlaka uzrokovan lokalnim gubitcima računa se prema formuli :

$$Z = \sum \xi_u \rho \frac{w^2}{2}, \quad (3.5)$$




gdje je :

$$\sum \xi_u = \text{broj koljena} \cdot \text{koeficijent otpora koljena}$$

- Koeficijent otpora očitava se iz tablice 3.3. :

Tablica 3.3. Koeficijent otpora [7]

Tabela 1.4.8-1 Koeficijenti otpora  $\zeta_u$  delova cevovoda<sup>1)</sup> Ostale vrednosti u odeljku 2.2.2 i 3.3.5

Deo	Prikaz	Koeficijent otpora $\zeta_u$	Pad pritiska $\Delta p$ u N/m <sup>2</sup>
Lukovi 90° glatki $r/d = 0,5$ 1,0 2,0 3,0		1,0 0,35 0,20 0,15	(gubitak usled skretanja) $\Delta p = \zeta_u \cdot \frac{\rho}{2} w^2$
Kolena $\beta = 90^\circ$ 60° 45°		1,3 0,8 0,4	$\Delta p = \zeta_u \cdot \frac{\rho}{2} w^2$
Proširenje, rastapanje $\beta = 180^\circ$		$A_1/A_2 = 0,5$ 0,25	

$$K_{90^\circ} = 1,3$$

$$\Sigma \zeta_u = 20 \cdot 1,3 = 26$$

- Uvrštavanjem u formulu  $Z = \Sigma \zeta_u \rho \frac{w^2}{2}$  dobije se :  
 $Z = 42120 \text{ Pa}$ .
- Ukupan pad tlaka ( $\Delta p_{uk}$ ) = pad tlaka uzrokovan trenjem + pad tlaka uzrokovan lokalnim gubitcima  
 $\Delta p_{uk} = 241463,4 + 42120 = 283583,4 \text{ Pa} = 284 \text{ kPa}$ .
- Uz pretpostavku da pumpa nema problema u radu uzima se :  
 $\eta_{pump} = 0,98$

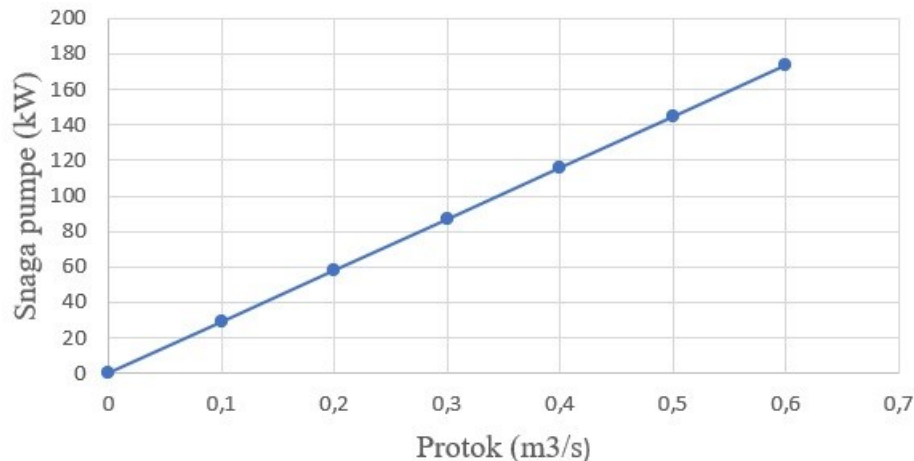
- Potrebna snaga pumpe za potrebe rashlade FCC postrojenja:

$$P = \frac{\Delta p_{uk} Q}{\eta} = \frac{283583,4 \cdot 0,486}{0,98} = 140634,2 \text{ W} \approx 140 \text{ kW} \quad (3.6)$$

- U sljedećoj tablici prikazani su iznosi snaga za različite protoke:

Tablica 3.4. Snaga pumpe ovisna o protoku (FCC kompleks)

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P$ (kW)	0	28,94	57,87	86,81	115,75	144,69	173,63



Slika 8.8. Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke (FCC kompleks)

### 3.5. Proračun (gornja/donja platforma)

Ovaj pojednostavljeni proračun napravljen je za slučaj kada je u pogonu samo pumpa za hlađenje gornje/donje platforme. Budući da se koristi slična količina vode za hlađenje obje platforme, proračuni će vrijediti u oba slučaja.

- Cjevovod je dimenzije NO 600:

$$d_u = 590,4 \text{ mm}$$

$$d_v = 609,6 \text{ mm}$$

- Materijal cjevovoda : ugljični čelik
- Gustoća pitke vode :  $1000 \text{ kg/m}^3$
- Volumni protok :  $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{h} = 0,833 \text{ m}^3/\text{s}$
- Iz tablice 3.1. očitava se brzina za zadane parametre:

$$\text{Brzina : } w = 3,2 \text{ m/s}$$

- Za proračun uzet će se polazni cjevovod koji služi za hlađenje gornje/donje platforme čija duljina iznosi:  $l = 1000 \text{ m}$
- U pojednostavljenom cjevovodu se nalaze 20 koljena pod kutem od  $90^\circ$  stupnjeva  
Prije proračuna pada tlaka zbog trenja treba odrediti koeficijent trenja.
- Dinamička viskoznost ( $\eta$ ) vode na  $26^\circ\text{C}$  iznosi 0,95.



- Kinematska viskoznost računa se prema izrazu :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,95}{1000} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Reynoldsov broj :

$$Re = \frac{wl}{\nu} = \frac{3,2 \cdot 1000}{9,5 \cdot 10^{-4}} = 3368421$$

Strujanje je turbulentno.

- Koeficijent hrapavosti  $e$  očitava se iz tablice 3.2.

Očitano :  $e = 0,045$

- Za turbulentno strujanje koeficijent trenja može se dobiti modificiranom Colebrookeovom formulom:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{e}{3,7d_u} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{0,045}{3,7 \cdot 0,5904} + \frac{5,74}{3368421^{0,9}} \right) \right)^2} = 0,088$$

- Pad tlaka uzrokovan trenjem računa se prema formuli:

$$R = \lambda \frac{l}{d_u} \rho \frac{w^2}{2} = 0,088 \cdot \frac{1000}{0,5904} \cdot 1000 \cdot \frac{3,2^2}{2} = 745799,46 \text{ Pa}$$

- Pad tlaka uzrokovan lokalnim gubicima računa se prema formuli :

$$Z = \Sigma \xi_u \rho \frac{w^2}{2},$$

gdje je :

$$\Sigma \xi_u = \text{broj koljena} \cdot \text{koeficijent otpora koljena}$$

- Koeficijent otpora očitava se iz tablice 3.3. :

$$K_{90^\circ} = 1,3$$

$$\Sigma \xi_u = 20 \cdot 1,3 = 26$$

- Uvrštavanjem u formulu  $Z = \Sigma \xi_u \rho \frac{w^2}{2}$  dobije se :

$$Z = 133120 \text{ Pa} .$$

- Ukupan pad tlaka ( $\Delta p_{uk}$ ) = pad tlaka uzrokovan trenjem + pad tlaka uzrokovan lokalnim gubitcima

$$\Delta p_{uk} = 745799,46 + 133120 = 878919,46 \text{ Pa} = 879 \text{ kPa.}$$

- Uz pretpostavku da pumpa nema problema u radu uzima se:

$$\eta_{pumpe} = 0,98$$

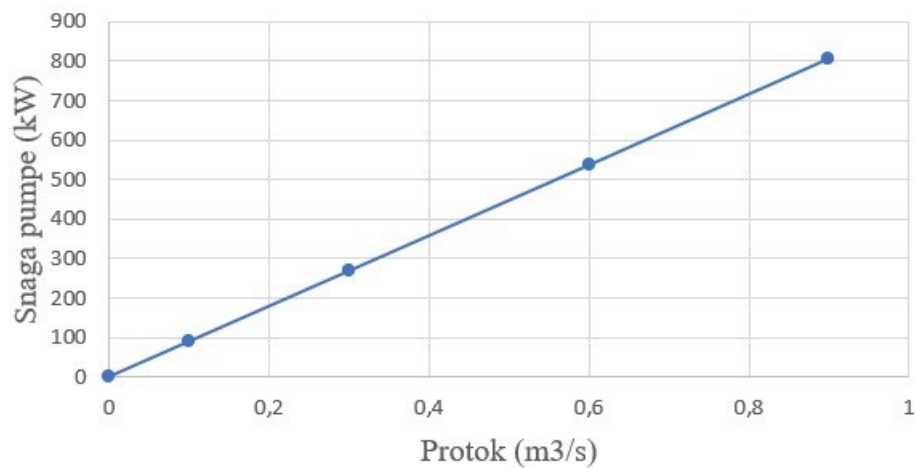
- Potrebna snaga pumpe za potrebe rashlade gornje/donje platforme:

$$P = \frac{\Delta p_{uk} Q}{\eta} = \frac{878919,46 \cdot 0,833}{0,98} = 747081,54 \text{ W} \approx 747 \text{ kW}$$

- U sljedećoj tablici prikazani su iznosi snaga za različite protoke:

Tablica 3.5. Snaga pumpe ovisna o protoku (gornja/donja platforma)

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	0	0,1	0,3	0,6	0,9
$P$ (kW)	0	89,69	269,1	538,1	807,17



Slika 3.9. Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke (gornja/donja platforma)

### 3.6. Proračun (gornja, donja platforma i FCC kompleks)

Ovaj pojednostavljeni proračun napravljen je za slučaj kada se sustav nalazi pod maksimalnim opterećenjem, tj. kada se u isto vrijeme hlade gornja, donja platforma i FCC kompleks.

- Cjevovod je dimenzije NO 600:

$$d_u = 590,4 \text{ mm}$$

$$d_v = 609,6 \text{ mm}$$

- Materijal cjevovoda : ugljični čelik
- Gustoća pitke vode :  $1000 \text{ kg/m}^3$
- Volumni protok :  $Q = 2583,3 \text{ m}^3/\text{h} = 0,718 \text{ m}^3/\text{s}$
- Brzina za zadane parametre računa se prema izrazu  $w = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{d^2\pi}{4}} = \frac{4Q}{d^2\pi}$  :

Uvrštavanjem u formulu dobiva se brzina :  $w = 2,62 \text{ m/s}$

- Za proračun uzet će se polazni cjevovod koji služi za hlađenje gornje, donje platforme i FCC kompleksa čija duljina iznosi:  $l = 500 \text{ m}$
  - U cjevovodu se nalaze 20 koljena pod kutem od  $90^\circ$  stupnjeva
- Prije proračuna pada tlaka zbog trenja treba odrediti koeficijent trenja.

- Dinamička viskoznost ( $\eta$ ) vode na  $26^\circ\text{C}$  iznosi 0,95.
- Kinematska viskoznost računa se prema izrazu :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,95}{1000} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Reynoldsov broj :

$$Re = \frac{w l}{\nu} = \frac{2,62 \cdot 500}{9,5 \cdot 10^{-4}} = 1378947,37$$

Strujanje je turbulentno.

- Koeficijent hrapavosti  $e$  očitava se iz tablice 3.2.

Očitano :  $e = 0,045$

- Za turbulentno strujanje koeficijent trenja može se dobiti modificiranom Colebrookeovom formulom:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left(\ln\left(\frac{e}{3,7d_u} + \frac{5,74}{R_e^{0,9}}\right)\right)^2} = \frac{1,325}{\left(\ln\left(\frac{0,045}{3,7 \cdot 0,5904} + \frac{5,74}{1378947,37^{0,9}}\right)\right)^2} = 0,088$$

- Pad tlaka uzrokovan trenjem računa se prema formuli:

$$R = \lambda \frac{l}{d_u} \rho \frac{w^2}{2} = 0,088 \cdot \frac{500}{0,5904} \cdot 1000 \cdot \frac{2,62^2}{2} = 255787,26 \text{ Pa}$$

- Pad tlaka uzrokovan lokalnim gubitcima računa se prema formuli :

$$Z = \Sigma \xi_u \rho \frac{w^2}{2},$$

gdje je :

$$\Sigma \xi_u = \text{broj koljena} \cdot \text{koeficijent otpora koljena}$$

- Koeficijent otpora očitava se iz tablice 3:

$$K_{90^\circ} = 1,3$$

$$\Sigma \xi_u = 20 \cdot 1,3 = 26$$

- Uvrštavanjem u formulu  $Z = \Sigma \xi_u \rho \frac{w^2}{2}$  dobije se :

$$Z = 89237,2 \text{ Pa} .$$

- Ukupan pad tlaka ( $\Delta p_{uk}$ ) = pad tlaka uzrokovan trenjem + pad tlaka uzrokovan lokalnim gubitcima

$$\Delta p_{uk} = 255787,26 + 89237,2 = 345024,46 \text{ Pa} = 345 \text{ kPa}.$$

- Uz pretpostavku da pumpa nema problema u radu uzima se:

$$\eta_{pumpe} = 0,98$$

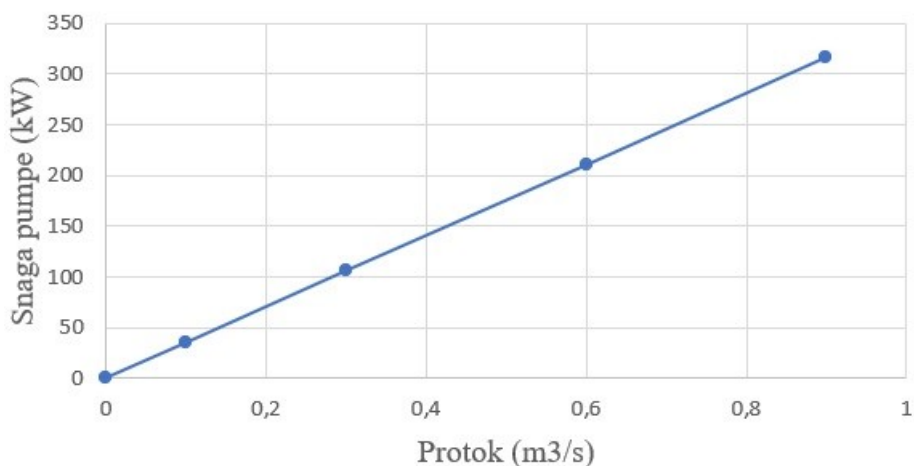
- Potrebna snaga pumpe za potrebe rashlade FCC postrojenja:

$$P = \frac{\Delta p_{uk} Q}{\eta} = \frac{345024,46 \cdot 0,718}{0,98} = 252783,23 \text{ W} \approx 253 \text{ kW}$$

- U sljedećoj tablici prikazani su iznosi snaga za različite protoke:

Tablica 3.6. Snaga pumpe ovisna o protoku (maksimalno opterećenje)

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	0	0,1	0,3	0,6	0,9
$P$ (kW)	0	35,21	105,62	211,24	316,86



Slika 3.9. Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke

### 3.7. Usporedba rezultata i odabir pumpe

Ovim pojednostavljenim proračunom dobili smo rezultate za tri različita režima rada. Rezultati su prikazani u tablici 3.7.

Tablica 3.7. Rezultati proračuna

REZULTATI	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (kPa)	$P$ (kW)
<b>FCC kompleks</b>	0,486	284	140
<b>Gornja/donja platforma</b>	0,833	879	747
<b>FCC + gornja plat. + donja plat.</b>	0,718	345	253

Budući da se u praksi najčešće hlade gornja platforma, donja platforma i FCC kompleks zajedno, odabir pumpe napraviti će se za taj slučaj. Pumpa će se odabrati uz pomoć dijagrama. Na raspolaganju su dvije pumpe čije su karakteristike zadane u tablici 3.8.

Tablica 3.8. Karakteristike pumpe (usvojene kao pravac)

<b>PUMPA 1.</b>	<b>Tlak (kPa)</b>	<b>Protok (m<sup>3</sup>/s)</b>
Točka 1.	500	0,2
Točka 2.	210	1,2
<b>PUMPA 2.</b>	<b>Tlak (kPa)</b>	<b>Protok (m<sup>3</sup>/s)</b>
Točka 1.	700	0,1
Točka 2.	100	0,8

Računska radna točka (RRT), ranije dobivena proračunom, glasi:

$$Q = 0,718 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 345 \text{ kPa}$$

Prije crtanja dijagrama treba odrediti krivulju cjevovoda.

Jednadžba krivulje cjevovoda računa se prema formuli:

$$\Delta p_{\text{uk}} = k \cdot Q^2$$

Iz čega slijedi da je:  $k = \frac{\Delta p_{\text{uk}}}{Q^2} = \frac{253}{0,718^2} = 490,7$

Jednadžba krivulje cjevovoda glasi:

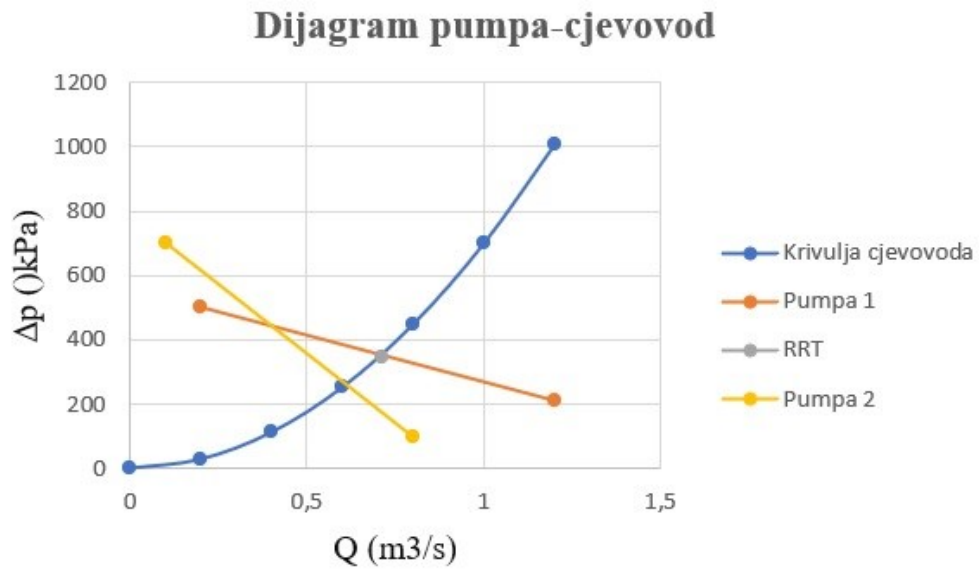
$$\Delta p_{\text{uk}} = 490,7 \cdot Q^2$$

Uvrštavanjem različitih protoka u jednadžbu za krivulju cjevovoda dobivaju se točke prikazane u tablici 3.9.

Tablica 3.9 Krivulja cjevovoda

Q (m <sup>3</sup> /s)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Δp (kPa)	0	28	112,1	252,3	448,4	700,7	1009

Ubacivanjem računске radne točke, krivulje cjevovoda te krivulje obje pumpe dobivamo:



Slika 3.11. Dijagram pumpa-cjevovod

Iz dijagrama se vidi kako 2. pumpa ne može postići radne uvjete računске radne točke, stoga se odabire 1. pumpa.

## 4. PRIPREMA RASHLADNE VODE

Isparivanjem dolazi do povećane razine otopljenih tvari u rashladnoj vodi, a samim time povećava se tendencija korozije i taloženja. Korozija je elektrokemijska reakcija što znači da veća vodljivost uslijed otopljenih tvari povećava brzinu korozije. Različite se soli različito tope u vodi; postoje soli koje su manje topive pri višim temperaturama, a postoje i soli koje su više topive pri manjim pH vrijednostima. Kako se voda rashladnog tornja koncentrira, a pH povećava, povećava se i tendencija taloženja soli koje stvaraju kamenac.

### 4.1. Taloženje

Talog (kamenac) nastaje zbog taloženja spojeva koji postaju netopivi pri višim temperaturama (npr. kalcijev karbonat). Taloženje kamenca na površini izmjenjivača topline rezultira slabijim prijenosom topline i gubitku od 2 do 6%. Stvaranje taloga (kamenca) u rashladnom sustavu je neizbježno, no može se kontrolirati minimiziranjem koncentracije odmuljivanjem, dodavanjem kiseline i mogu se koristiti inhibitori kamenca. Smanjenje odmuljivanja značajno utječe na operativne troškove rashladnog sustava jer su troškovi obrade sirove vode i kemijske obrade izravno vezani na odmuljivanje. Korištenjem kiseline uklanja se alkalnost karbonata iz vode. Inhibitori kamenca ometaju rast kristala. Za inhibiranje kamenca kalcijeva karbonata koriste se organski fosfati (fosfonati). Materijali koje ne stvaraju kamenac (željezo, blato...) također mogu uzrokovati probleme s taloženjem. Njihovo taloženje je povezano s protokom; u području malog protoka (npr. dno rashladnog tornja) dolazi do nabiranja krutih tvari i stvaranja taloga.

### 4.2. Korozija

Korozija je proces uništavanja konstrukcijskih materijala uzrokovan fizikalnim, kemijskim i biološkim čimbenicima. Korozivne naslage smanjuju brzinu toka fluida kao i prijenos topline. Ugljični čelik je materijal koji se najčešće koristi u rashladnim sustavima i vrlo je osjetljiv na pojavu korozije. Najčešći uzročnici korozije su otopljeni kisik, promjena alkaliteta fluida i promjena temperature. Koncentracija otopljenog kisika temeljni je čimbenik korozijske aktivnosti vode. Nadalje, voda sa niskim alkalitetom ima malu pufersku sposobnost – sklonije su promjeni pH vrijednosti. Takva voda može otopiti kisele plinove iz okoline te uzrokovati



otapanje metala. Povišenjem temperature za 2 – 4 °C dvostruko se ubrzava korozija. Budući da se navedeni uzročnici ne mogu izbjeći, potrebno je poduzeti određene mjere sprečavanja korozije. Zamjena opreme, zastoji i gubitci u proizvodnji daleko su veći u usporedbi s troškovima sprečavanja korozije.

#### 4.2.1. Anodni inhibitori

Anodni inhibitori stvaraju zaštitne oksidne filmove na metalnoj površini. Najbolja su vrsta inhibitora jer se mogu koristiti u malim količinama, zaštitni oksidni filmovi su žilavi i mogu se relativno brzo obnoviti kada dođe do njihova oštećenja. U anodne inhibitore ubrajaju se kromati, nitriti, molibdat i ortofosfat. Kromat je izvrstan vodeni inhibitor i cijena mu je prihvatljiva, no upotreba je znatno smanjena zbog opasnih posljedica na čovjekovo zdravlje. Najveći problem kod upotrebe molibdata je njegova visoka cijena. Ortofosfat je najjeftiniji od svih inhibitora, no on se vrlo često zna nataložiti zajedno s kalcijem koji se nalazi u rashladnoj vodi.

#### 4.2.2. Katodni inhibitori

Katodni inhibitori izravno koče katodnu reakciju (redukciju vodila ili kisika). Talože se na katodama i stvaraju netopive produkte koji sprječavaju pojavu korozije. Istaloženi zaštitni filmovi nisu žilavi i treba im više vremena za popravak nakon oštećenja. Za razliku od anodnih, katodni inhibitori dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni za čovjekovo zdravlje. Najbolji primjer katodnog inhibitora je cink.

### 4.3. Mikrobiološka priprema

Otvoreni recirkulacijski rashladni sustavi pružaju povoljno okruženje za rast mikroorganizama. Isparavanjem dolazi do koncentriranja hranjivih tvari prisutnih u zraku. Dostupnost organskih i anorganskih hranjivih sastojaka, temperatura, pH vrijednost i sunčeva svjetlost stvaraju idealno okruženje za razvoj mikroorganizama. Rezultat nekontroliranog rasta mikroba na stijenkama cijevi je stvaranje sluzi. Sluz stvara svojevrsnu izolaciju čime se

smanjuje prijenos topline i učinkovitost postrojenja. Kako ne bi došlo do navedenih problema, važno je primijeniti odgovarajuće antimikrobne postupke.

Najčešće korištena sredstva za kontrolu rasta i razvoja mikroorganizama su biocidi. Biocidi su sredstva za uništavanje štetnih živih organizama i kontrolu rasta bakterija. Primjena biocida je ograničena i regulirana Europskom uredbom o biocidnim pripravcima. Biocidi se dijele u tri kategorije: oksidirajući biocidi, neoksidirajući biocidi i biodisperzanti.

#### 4.3.1. Oksidirajući biocidi

Oksidirajući biocidi su vrlo jaki kemijski oksidansi koji uništavaju gotovo sve mikroorganizme uključujući bakterije, alge, gljivice i kvasce. Najčešće se koristi klor u obliku natrijeva hipoklorita, tablica 1. Klor je široko rasprostranjen i često se primjenjuje u velikim rashladnim sustavima jer se može lako kontrolirati. U količini od 0,2 – 0,4 mg/l djeluje učinkovito pri svim PH vrijednostima u rashladnoj vodi. Negativna strana klora je što može reagirati s organskim tvarima i stvoriti produkte koji predstavljaju problem u dotoku vode.

*Tablica 4.1. Fizikalno kemijska svojstva natrijeva hipoklorita [6]*

Agregatno stanje	Tekućina
Boja	Zelenkasto-žućkasta
Miris	Po kloru
Gustoća	1,2-1,3 g/cm <sup>3</sup>
pH	12-13
Vrelište	102 °C
Talište	-20 °C
Topljivost	Dobro topiv u vodi

#### 4.3.2. Neoksidirajući biocidi

Neoksidirajući biocidi su organski spojevi koji uništavaju mikroorganizme djelovanjem na određene dijelove stanice (npr. razmnožavanje). S obzirom na njihovu cijenu koriste se kao dodatak oksidirajućim biocidima. U ovu skupinu spadaju amonijeve soli i organometalni spojevi. U pravilu se koristi sredstvo komercijalno naziva ALGAEGON, tablica 2.

*Tablica 4.2. Fizikalno kemijska svojstva ALGAEGON-a [6]*

Agregatno stanje	Tekućina
Boja	Tamno žuta
Miris	Blag
Gustoća	1,11 kg/dm <sup>3</sup> (25 °C)
pH	3,4
Vrelište	100°C
Viskoznost	10 cps
Topljivost	Topljivo u vodi
Temperatura smrzavanja	-5 °C

#### 4.3.3. Biodisperzanti

Biodisperzanti su sredstva koja ne uništavaju mikroorganizme, nego omekšavaju nakupine mikroorganizama i olakšavaju njihovo ispiranje. Pospješuju djelovanje oksidirajućih biocida pa se zbog toga vrlo često koriste zajedno.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovim radom prezentirani su različiti oblici rashladnih sustava u industriji te različite vrste rashladnih tornjeva. Detaljno je predstavljen kružni rashladni sustav rafinerije nafte Rijeka zajedno s opremom potrebnom za normalan i siguran rad. U rad su uključeni i proračuni čiji je cilj bio, na pojednostavljen način, prikazati padove tlaka i snage pumpe za tri različita režima rada. Prvim režimom rada u razmatranje je uključen samo FCC kompleks, drugim režimom u radu se nalaze samo gornja/donja platforma i trećim režimom prikazan je rad rashladnog sustava pod maksimalnim opterećenjem. Također, na kraju proračuna odabrana je pumpa potrebna za pogon vode u sustavu. Na kraju rada ukratko su navedene metode i tretmani kroz koje voda mora proći kako ne bi došlo do zastoja, zagušivanja i kvara sustava.

## 6. LITERATURA

- [1] V. Glažar, I. Bonefačić: Predavanja iz kolegija „Energetski sustavi“, godina 2023.
- [2] V. Mrzljak, T. Senčić: Predavanja iz kolegija „Toplinski strojevi i uređaji“, godina 2023.
- [3] T. Mrakovčić: Predavanja iz kolegija „Brodski pomoćni strojevi“, godina 2023.
- [4] M. Zeneral, „Sustav rashladne vode za potrebe procesne industrije“, godina 2021.
- [5] D. G. Kroger, „Cooling tower performance evaluation“, s Interneta <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/478-1-96.pdf>, godina 2023.
- [6] INA, Tehnološki priručnik za kontinuirani rad sustava slatke vode, Akumulacijskog sustava Tribalj i Kružnog rashladnog sustava u RNR, godina 2021.
- [7] Reknagel, Špregner, Šramek, Čeperković: Grejanje i klimatizacija, šesto izdanje, godina 2004.

## Popis slika

Slika 2.10.Direktni protočni rashladni sustav [1].....	3
Slika 11.2.Indirektni protočni rashladni sustav[1] .....	3
Slika 2.12.Zatvoreni rashladni sustav[1] .....	4
Slika 2.13.Otvoreni rashladni sustav[1].....	5
Slika 2.14.Rashladni toranj s prirodnim strujanjem zraka [2].....	6
Slika 2.15.Rashladni toranj s prisilnim strujanjem zraka [2].....	7
Slika 2.7.Otvoreni cjevovod [3].....	8
Slika 2.8.Zatvoreni cjevovod [3].....	8
Slika 2.9.Krivulje cjevovoda [3].....	9
Slika 3.1.Rashladni tornjevi rafinerije nafte Rijeka [4].....	10
Slika 3.2.Razvodni kanali i ćelije rashladnog tornja[4].....	11
Slika 3.3.Prikaz eliminатора kapljica [4] .....	12
Slika 3.4.Schema ventilatora [4].....	12
Slika 3.5.Pješčani filter RNR [6].....	13
Slika 3.6.Glavni parametri za pojedinu pumpu[6].....	14
Slika 16.7.Schema postrojenja.....	15
Slika 17.8.Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke (FCC kompleks).....	19
Slika 3.9.Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke (gornja/donja platforma).....	21
Slika 3.18.Grafički prikaz snage pumpe za različite protoke.....	24
Slika 3.11.Dijagram pumpa-cjevovod.....	26

**Popis tablica**

Tablica 3.7. Brzina toka fluida [7] .....	16
Tablica 3.8. Koeficijent hrapavosti [7] .....	17
Tablica 3.9. Koeficijent otpora [7] .....	18
Tablica 3.10. Snaga pumpe ovisna o protoku (FCC kompleks) .....	18
Tablica 3.11. Snaga pumpe ovisna o protoku (gornja/donja platforma).....	21
Tablica 3.12. Snaga pumpe ovisna o protoku (maksimalno opterećenje) .....	24
Tablica 3.7. Rezultati proračuna .....	24
Tablica 3.8. Karakteristike pumpa (usvojene kao pravac).....	25
Tablica 3.9. Krivulja cjevovoda.....	25
Tablica 4.1. Fizikalno kemijska svojstva natrijeva hipoklorita [6].....	29
Tablica 4.2. Fizikalno kemijska svojstva ALGAEGON-a [6].....	30

## Sažetak

U ovom radu prikazana je općenita podjela rashladnih sustava u procesnoj industriji. Detaljnije je prikazan kružni rashladni sustav (KRS) rafinerije nafte Rijeka zajedno sa pripadajućim pojednostavljenim proračunom. KRS rafinerije nafte svrstava se u otvorene cirkulacijske rashladne sustave s rashladnim tornjevima prisilnog strujanja zraka. Čitateljima je opisan princip rada KRS-a kao i sva oprema koja mu pripada. Na samom kraju opisani su procesi pripreme rashladne vode te je dan zaključak i naznačena je važnost rashladnog sustava u cijelom industrijskom postrojenju.

**Ključne riječi:** kružni rashladni sustav, rafinerija nafte, rashladni tornjevi, rashladna voda



**Abstract**

This paper presents the general division of cooling systems in the process industry. The circular cooling system (KRS) of the Rijeka oil refinery is presented in more detail together with the associated simplified. KRS oil refineries are classified as open circulation cooling systems with forced air flow cooling towers. The working principle of the KRS as well as all the equipment belonging to it is described to the readers. At the very end, the cooling water preparation processes are described, and a conclusion is given. The importance of the cooling system in the entire industrial plant is indicated.

**Keywords:** circular cooling system, oil refinery, cooling towers, cooling water