

# Utjecaj zaprljanja kondenzatora rashladnog sustava provijanta na njegove glavne parametre

---

Oreb, Srđan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:548000>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

**SRĐAN OREB**

**UTJECAJ ZAPRLJANJA KONDENZATORA RASHLADNOG SUSTAVA  
PROVIJANTA NA NJEGOVE GLAVNE PARAMETRE**

**THE INFLUENCE OF PROVISION PLANT CONDENSER CLOGGING  
TO MAIN PARAMETERS**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

**UTJECAJ ZAPRLJANJA KONDENZATORA RASHLADNOG SUSTAVA  
PROVIJANTA NA NJEGOVE GLAVNE PARAMETRE**

**THE INFLUENCE OF PROVISION PLANT CONDENSER CLOGGING  
TO MAIN PARAMETERS**

**ZAVRŠNI RAD**

|                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| Kolegij:           | Rad na Simulatoru 1         |
| Mentor:            | Prof. Dr. sc. Dean Bernečić |
| Student:           | Srđan Oreb                  |
| Studijski program: | Brodstrojarstvo             |
| JMBAG:             | 0171022404                  |

Rijeka, rujan 2023.

Student: Srđan Oreb  
Studijski program: Brodostrojarstvo  
JMBAG: 0171022404

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

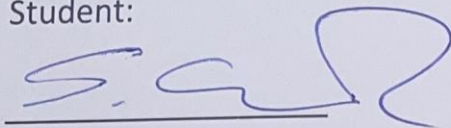
„UTJECAJ ZAPRLJANJA KONDENZATORA RASHLADNOG SUSTAVA  
PROVIJANTA NA NJEGOVE GLAVNE PARAMETRE“

izradio samostalno pod mentorstvom

Prof. dr. sc. Deana Bernečića.

U radu sam primijenio metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezo s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student:



Srđan Oreb

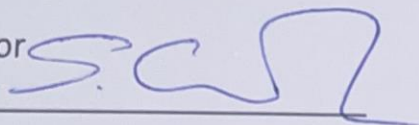
Student: Srđan Oreb  
Studijski program: Brodostrojarstvo  
JMBAG: 0171022404

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor



---

Srđan Oreb

## SAŽETAK

U ovom radu rađena je simulacijska analiza intenziteta zaprljanja kondenzatora i njegovog utjecaja na parametre rada sustava broskog rashladnog provijanta. Analizom dobivenih rezultata provedenih simulacijskih testiranja izdvojeni su parametri očitavanja koji tijekom redovnog rada broskog sustava provijanta pravovremeno ukazuju na pojavu i povećanje zaprljanja. Iz provedene analize izvedena je tablica ovisnosti očitanih parametara koja približno ukazuje na intenzitet zaprljanja.

S obzirom da je kondenzator cijevnog tipa i nedostupan je za vizualnu kontrolu, pravovremena indikacija bi pomogla u planiranju potrebnog servisnog zahvata.

U radu je opisana teoretska osnova rada sustava, njegovi osnovni dijelovi kao i metodologija provedenih testiranja i analiza.

Testiranje je provedeno na strojarskom simulatoru Kongsberg MC90 V u dijelu Refrigeration System MD 64 na sustavu provijanta.

Ključne riječi: Provijant, kondenzator, utjecaj zaprljanja kondenzatora rashladnog sustava

## SUMMARY

This paper presents a simulation analysis of the influence of provision plant condenser clogging and its impact on the main operating parameters of the ship's provision cooling system. Based on the analysis of the obtained results from simulation testing, specific reading parameters were identified that timely indicate the occurrence and increase of clogging during the regular operation of the ship's cooling system. A table of the dependency of these observed parameters was derived from the analysis, providing an approximate indication of fouling intensity.

Since the condenser is tube-type and inaccessible for visual inspection, a timely indication would assist in planning the necessary service intervention. The paper

describes the theoretical basis of the system's operation, its main components, as well as the methodology of testing and analysis.

The testing was carried out on the Kongsberg MC90 V marine simulator in the Refrigeration System MD 64, focusing on the refrigeration system.

Key words: Provision, condenser, influence of provision condenser clogging

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| <b>SAŽETAK</b> .....   | I  |
| <b>1. UVOD</b> .....   | 1  |
| <b>2. TEORETSKA OSNOVA RASHLADNOG SUSTAVA</b> .....  | 2  |
| <b>3. RASHLADNI SUSTAV PROVIJANTA</b> .....  | 5  |
| <b>3.1. ZADAĆE RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA</b> .....   | 5  |
| <b>3.2. DIJELOVI RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA</b> .....   | 6  |
| <b>3.3. KOEFICIJENT PRIJELAZA TOPLINE</b> .....  | 9  |
| <b>3.4. REGULACIJSKI VENTIL</b> .....  | 10 |
| <b>3.5. ISPARIVAČI</b> .....   | 11 |
| <b>3.6. OSTALI DIJELOVI RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA</b> .....  | 12 |
| <b>4. SUSTAV PROVIJANTA NA SIMULATORU KONGSBERG MC90 V</b> .....   | 15 |
| <b>5. PREDMET I METODOLOGIJA PROVEDENIH ISPITIVANJA I ANALIZE</b> .....  | 18 |
| <b>5.1. METODOLOGIJA ANALIZE</b> .....   | 19 |
| <b>5.2. REZULTATI TESTIRANJA</b> .....   | 20 |
| <b>5.2.1. Očitani rezultati ispitivanja začepjenja cijevi rashladnog mora kondenzatora rashladnog sustava provijanta</b> ..... | 21 |
| <b>5.2.2. Analiza rezultata</b> .....  | 26 |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....  | 28 |
| <b>LITERATURA</b> .....  | 29 |
| <b>POPIS SLIKA</b> .....   | 29 |
| <b>POPIS TABLICA</b> .....   | 30 |



## 1. UVOD

Tijekom ekonomske eksploatacije broda, brod plovi u morima različite razine kontaminacije kao i različitim uvjetima okoline. Obzirom da se za hlađenje kondenzatora u rashladnom sustavu provijanta koristi more, kvaliteta mora u smislu koncentracije soli, algi i drugih tvari utječe na povećanje rizika od zaprljanja cijevi kondenzatora sustava provijanta.

Ovaj rad bavi se utjecajem zaprljanja cijevi kondenzatora rashladnog sustava provijanta na trgovačkom brodu povezujući međusobnu ovisnost očitanih parametra s pojedinih dijelova sustava s postotkom zaprljanja cijevi.

Cilj ove simulacijske analize jest definirati pojedine parametre promatranih dijelova sustava provijanta koji se tijekom redovnog rada sustava prate putem očitavanja njihovih vrijednosti, te definirati vrijednosti za svaki od definiranih parametara koje ukazuju na pojavljivanje te intenzitet zaprljanja cijevi kondenzatora, kako bi se na vrijeme moglo izvršiti servisni zahvat i izbjeći značajnije posljedice.

Simulacijska analiza provedena je na simulatoru strojarnice KONGSBERG MC90 V koji simulira sustav provijanta trgovačkog broda. Ovaj rashladni sustav radi sa rashladnom tekućinom R22 [1] i slijedećih je tehničkih karakteristika [1]:

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Kapacitet hlađenja:         | 110 kW pri temperaturama -18°C / 30 °C      |
| Kompresor:                  | Vijčani s elektromotorom snage 50 kW (67hp) |
| Protok rashladnog sredstva: | 0,6 kg/s                                    |
| Protok rashladnog mora:     | 20 t/h                                      |

Rashladna komora meso/riba (-18°C):

- Ventilator zraka za hlađenje snage 4 kW,
- Ventilator zraka za ventilaciju snage 1,5 kW,
- Isparivač sa suhom ekspanzijom,
- Električni sustav odleđivanja isparivača.

Rashladna komora kvarljive robe ( +5°C):

- Ventilator zraka,
- Iparivač sa suhom ekspanzijom,
- Kontrola tlaka isparivača.

## 2. TEORETSKA OSNOVA RASHLADNOG SUSTAVA

Tijekom plovidbe broda, vanjski uvjeti su promjenjivi u ovisnosti o području plovidbe. Kako bi sustav bio učinkovit tijekom plovidbe u svim uvjetima okoline, brodski rashladni sustavi se projektiraju tako da osiguravaju održavanje zadanih temperatura u prostorijama pri vanjskoj temperaturi zraka od 35°C i vlažnosti od 70%, temperaturi okoline od 40°C i temperaturi mora od 32°C [4].

Osnovni elementi potrebni za normalan rad rashladnog sustava su kompresor, kondenzator, regulacijski ventil, isparivač i rashladno sredstvo.

Kompresor usisava rashladno sredstvo koje je u stanju pregrijane pare niske temperature koju uz uloženi rad tlači, time povećavajući njezin tlak i temperaturu.

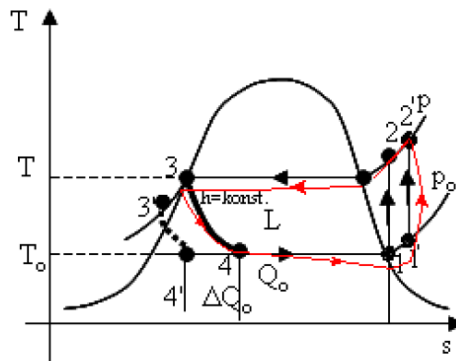
Tako stlačen plin dovodi se u kondenzator koji je hlađen morskom vodom i u kojem dolazi do kondenzacije plina uz odvođenje topline.

Kondenzat visokog tlaka i temperature ulazi u termo-ekspanzijski regulacijski ventil (TEV) u kojem se rashladno sredstvo uz stalnu entalpiju prigušuje tj. dolazi do naglog pada tlaka i isparavanja dijela rashladnog sredstva što uzrokuje pad njegove temperature.

Rashladno sredstvo takvog stanja prolazi kroz isparivač koji je smješten u rashladnoj komori i preuzimajući na sebe okolnu toplinu, hladi prostor u komori te u potpunosti isparava.

Tako stvorenu, lagano pregrijanu paru rashladnog sredstva, kompresor ponovno usisava i tlači u kondenzator čime se proces ponavlja.

Dakle, kompresor uložnim radom lagano pregrišanu paru niske temperature koja je nastala u isparivaču prilikom preuzimanja topline iz rashladne komore (time je hladeći), iz isparivača tlači u visoko temperaturni kondenzator u kojem se ta apsorbirana toplina odvodi iz sustava rashladnim morem kondenzatora.



Slika 1: Usporedba teoretskog i stvarnog procesa u T - s dijagramu [2]

Lijevoekretni rashladni proces prikazan na T-s dijagramu na slici 1 prikazuje i teoretski i stvarni proces. Obzirom da se u promatranom procesu kao regulacijski ventil koristi termo-ekspanzijski ventil (TEV), promatramo proces  $1'-2'-3'-4'-1'$ .

## OPIS

**Adijabatska kompresija** (teoretska) počinje u točki  $1'$  u kojoj je para lagano pregrišana uz niski tlak  $p_0$  i temperaturu  $T_0$  i traje do točke  $2'$ . U točki  $2'$  uloženi rad  $L$  kompresora postigao je stanje pregrišane pare visokog tlaka  $p$  i temperature  $T_{2'}$ . Para stanja  $2'$  ulazi u kondenzator hlađen morskom vodom u kojem se prvo hladi s temperature  $T_{2'}$  na temperaturu  $T$ , a potom ukapljuje uz konstantan tlak  $p$  i temperaturu  $T$  do točke 3 stanja vrele tekućine. Pothlađivač snižava temperaturu kondenzata prije ulaska u termo-ekspanzijski ventil i to pomoću hladne lagano pregrišane pare iz isparivača na usisnom vodu, time postižući i dodatno pregrišavanje pare prije usisa u kompresor. Pothlađivač dodatno hladi kondenzat (vrela tekućina) s temperature  $T_3$  na temperaturu  $T_{3'}$  prije ulaska u termo-ekspanzijski ventil (TEV). U termo-ekspanzijskom ventilu dolazi do prigušivanja uz konstantnu entalpiju  $h$  pri čemu pada tlak s  $p$  na  $p_0$  i temperatura s  $T_{3'}$  na  $T_0$  uz promjenu stanja u stanje mokre pare (točka  $4'$ ). Mokra para temperature  $T_0$  i tlaka  $p_0$  ulazi u isparivač u kojem preuzima toplinu iz rashladne komore te isparava uz

konstantan tlak i temperaturu do stanja suhe pare (točka 1) nakon kojeg se u pothlađivaču lagano pregrijava do temperature  $T_{1'}$  u točki 1' te takva ponovno ulazi u usis kompresora.

U stvarnom procesu, kod svih elemenata sustava osim kod kompresora, proces se ne odvija uz stalan tlak i temperaturu jer se javljaju gubici u sustavu. U samom kompresoru, kompresija nije adijabatska kao što je u teoretskom, već politropska kompresija tj. tijekom kompresije dolazi do serije adijabatskih promjena stanja tlaka i volumena jer su stjenke cilindra na početku kompresije toplije od pregrijane pare radnog fluida koji u njega ulazi te ga zagrijevaju. Uslijed kompresije, pari radnog fluida temperatura raste brže nego što se stjenke cilindra zagrijevaju, pa se u jednom trenutku situacija mijenja i toplija para rashladnog fluida sada zagrijeva stjenke cilindra kompresora.

### 3. RASHLADNI SUSTAV PROVIJANTA

#### 3.1. ZADAĆE RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA

Rashladni sustav provijanta je brodski rashladni sustav kojim se čuvaju živežne namirnice na brodu za potrebe prehrane posade tijekom dužeg vremena plovidbe broda. Važno je napomenuti da zadaća sustava provijanta nije zamrzavanje ili rashlađivanje, već adekvatno zdravstveno ispravno skladištenje već rashlađene ili zamrznute robe s ciljem očuvanja njezine kakvoće, izgleda okusa i mirisa.

Kako je brodski prostor ograničen, za skladištenje svježe hrane na većem brodu koristi se više manjih rashladnih prostora različito temperaturno prilagođenih za različitu vrstu namirnica. Obično su rashladne komore provijanta podijeljene na komoru za skladištenje mesa koja je na temperaturnom režimu od  $-18^{\circ}\text{C}$ , komoru za ribu na  $-18^{\circ}\text{C}$ , komoru za mliječne proizvode na rasponu temperatura od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $-2^{\circ}\text{C}$ , komoru za povrće na  $+4^{\circ}\text{C}$  i komoru za mješovitu robu od  $+2^{\circ}\text{C}$  do  $+4^{\circ}\text{C}$ . Broj različitih komora na brodu u principu ovisi prvenstveno o odluci brodovlasnika kod definiranja projektnih zahtjeva prilikom gradnje broda. Lokacijski gledano na samom brodu, komore su obično smještene na gornjoj palubi krme broda. Lokacija komora obično je povezana i sa potrebnom ugradnjom izljeva vode iz komora čiji su ispusti na krmenom dijelu broda.

Obzirom na raspone temperatura koje sustavi provijanta moraju zadovoljavati, te obzirom na činjenicu da je prehrana posade jedan od segmenata sigurnosti broda koja je od iznimne važnosti, rashladni sustavi provijanta su projektirani sa zalihosti sustava. Rashladni sustavi provijanta obično imaju dva kompresora, dva kondenzatora i dvije pumpe rashladnog mora tako da kada jedan dio sustava radi drugi dio sustava je u pričuvi spreman za preuzimanje rada u slučaju kvara. Osim važnosti samog sustava za sigurnost broda, također je prilikom projektiranja važno anticipirati i uvjete rada u kojem sustavi moraju besprijekorno funkcionirati, a koji su znatno teži i zahtjevniji od uvjeta rada rashladnih sustava iste namjene na kopnu. Brod tijekom plovidbe prolazi kroz različite uvjete okoline, pa rashladni sustavi provijanta moraju odgovoriti i na taj izazov te osigurati jednako hlađenje komora neovisno o vanjskim uvjetima okoline. Sve navedeno, kao i projektna specifičnost samog broda, pred rashladne sustava provijanta postavljaju specifične zahtjeve koje je projektno potrebno zadovoljiti.

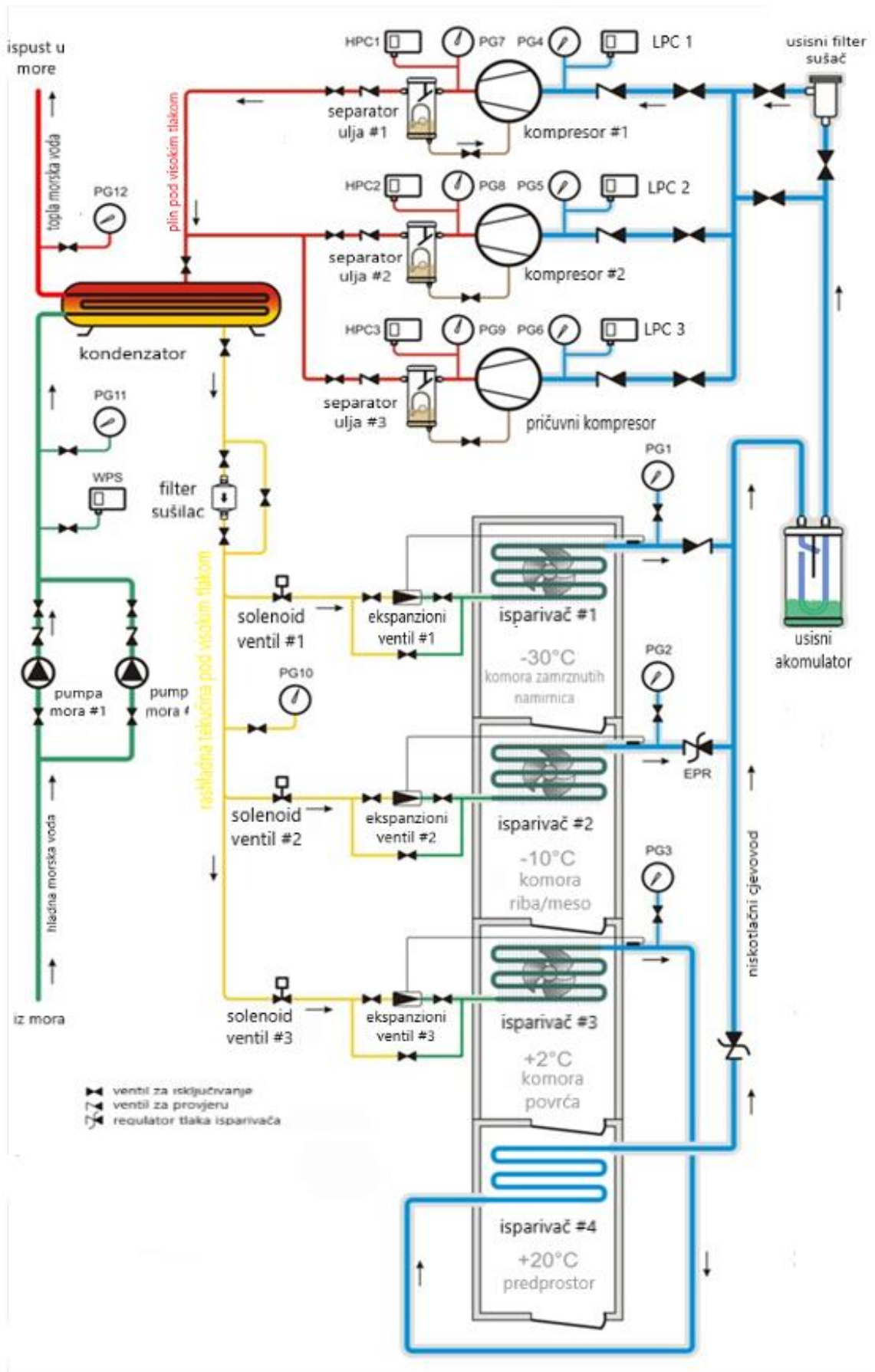
Posebni zahtjevi brodskog rashladnog sustava provijanta [4]:

- Lagana konstrukcija,
- Najmanja zapremina prilagođena potrebama broda,
- Sigurnost u radu pri velikim termičkim i dinamičkim opterećenjima,
- Jednostavnost i pouzdanost nadzora i upravljanja,
- Pristupačnost i jednostavnost servisiranja,
- Mogućnost regulacije neujednačeno opterećenog kapaciteta,
- Ispunjenje propisanih uvjeta održavanja zadanih temperatura u komorama pri vanjskoj temperaturi od 35 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 70%, okolnoj temperaturi od 40 °C i temperaturi rashladne vode (mora) kondenzatora od 32 °C.

### 3.2. DIJELOVI RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA

Rashladni sustav provijanta sastoji se od kompresora, kondenzatora, regulacijskog ventila, isparivača i rashladnog sredstva koje cirkulira sustavom.

U ovom radu posebna će se pažnja posvetiti ispitivanju zaprljanja cijevi kondenzatora te utjecaju povećanja zaprljanja na glavne parametre rashladnog sustava provijanta s ciljem definiranja vrijednosti parametara koje posadi stroja mogu pravovremeno ukazati na tijek kretanja povećanja zaprljanja u cijevima kako bi se optimirao trenutak servisiranja.



Slika 2: Shema cjevovoda rashladnog sustava provijanta trgovačkog broda [3]

Radi usporedbe sa shemom rashladnog sustava provijanta simulatora KONGSBERG MC90 V na kojem je rađeno istraživanje, na slici 2 prikazana je stvarna shema cjevovoda rashladnog sustava provijanta trgovačkog broda s dijelovima sustava.

Ovaj rashladni sustav provijanta ima dva glavna i jedan pomoćni kompresor. Svaki kompresor ima po jedan separator ulja s manometrom. Sustav je opremljen kondenzatorom hlađenim morskom vodom s dvije pumpe mora za dobavu rashladne morske vode. Sa tri elektromagnetska solenoid ventila prekida dobave rashladnog medija prema isparivačima upravljaju termostati koji se nalaze u odgovarajućoj rashladnoj komori. Svaki od tri isparivača koji se nalaze u komorama temperaturnih režima  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ima svoj TEV ventil koji regulira količinu protoka rashladnog medija. Od ukupno četiri isparivača, tri isparivača u komorama s temperaturnim režimima  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  imaju ventilatore, dok je isparivač u predprostoru komora s temperaturnim režimom  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bez ventilatora. Na izlazu iz komore temperaturnog režima  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  nalazi se nepovratni ventil koji osigurava da viši tlak iz povratnog voda ne bi poremetio ravnotežu sustava. Dva ventila konstantnog tlaka nalaze se, jedan na izlazu iz isparivača komore temperaturnog režima  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i jedan na izlazu iz pretprostora komora temperaturnog režima  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ovi ventili konstantnog tlaka imaju zadatak prilagoditi tlak u povratnom vodu na najniži tlak koji je tlak komore temperaturnog režima  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sustav je opremljen i jednim akumulatorom usisa rashladnog medija koji odvaja kondenzirani dio rashladnog medija od plinovitog prije usisa u kompresor. Osim akumulatora usisa, prije samog ulaska u usis kompresora, nalazi se filter isušivač koji osigurava eliminaciju bilo kakvog kondenzata prije usisa u kompresor.



### 3.3. KOEFICIJENT PRIJELAZA TOPLINE

Obzirom na temu ovog rada koja se bavi simuliranjem zaprljanja cijevi rashladnog mora kondenzatora rashladnog sustava provijanta na brodu i kretanjem vrijednosti očitanih parametara rada sustava u ovisnosti o povećanju zaprljanja cijevi, koeficijent prijelaza topline nam je bitan za bolje razumijevanje tijeka promjena u sustavu. Koeficijent prijelaza topline koristi se prilikom proračuna samog izmjenjivača topline i ovisan je o koeficijentima prijelaza topline s jedne na drugu stranu razdjelne stijenke, o geometriji razdjelne stijenke i njezinoj toplinskoj provodljivosti. U praksi ukupni koeficijent prijelaza topline ( $k$ ) računa se prema slijedećoj formuli [5]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + r_0 + r_C + r_i \cdot \frac{A_0}{A_i} + \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{A_0}{A_i}}$$

gdje su:

$k$  – ukupni koeficijent prolaza topline [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ],

$\alpha_0$  – koeficijent prijenosa topline na vanjskoj stijenci cijevi [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ],

$\alpha_i$  – koeficijent prijenosa topline na unutarnjoj stijenci cijevi [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ],

$r_0$  – otpor prijenosa topline zbog onečišćenja vanjske stijenke cijevi [ $\frac{m^2 K}{W}$ ],

$r_i$  – otpor prijenosa topline zbog onečišćenja unutarnje stijenke cijevi [ $\frac{m^2 K}{W}$ ],

$\frac{A_0}{A_i}$  – omjer vanjske i unutarnje površine cijevi.

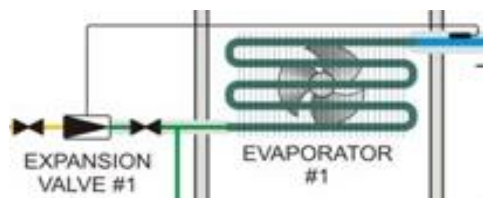
Otpor prijelaza topline zbog onečišćenja unutarnje stijenke cijevi je predmet interesa jer će se ispitivanja provesti prvenstveno obzirom na unutarnje zaprljanje cijevi kondenzatora. Iz formule je razvidno da povećanjem otpora prijelaza topline pada učinkovitost prijenosa topline kondenzatora, pa nam je cilj detaljno sagledati kako se mijenjaju parametri rada sustava povećanjem otpora prijelaza topline zbog onečišćenja unutarnje stijenke cijevi.

Prilikom izračuna potrebno je sagledati fizikalna svojstva fluida koji se referiraju na pitanje izračuna toplinskih kapaciteta pojedinih strujanja. Fizikalna svojstva fluida

temperaturno su ovisna i očitavaju se iz toplinskih tablica temperature sukladno vrijednosti temperature  $t_m$  što je aritmetička sredina ulazne i izlazne temperature promatranog strujanja.

### 3.4. REGULACIJSKI VENTIL

Kondenzat visokog tlaka i temperature ulazi u termo-ekspanzijski regulacijski ventil (TEV) u kojem se rashladno sredstvo uz stalnu entalpiju prigušuje tj. dolazi do naglog pada tlaka i isparavanja dijela rashladnog sredstva što uzrokuje pad njegove temperature.



Slika 3: Termo-ekspanzijski regulacijski ventil TEV [1]

TEV preko bulba mjeri temperaturu na izlazu iz isparivača. Tako detektiranom promjenom temperature cjevovoda neposredno na izlazu iz isparivača, korigira količinu pare rashladnog fluida koji propušta u isparivač time regulirajući pregrijavanje pare rashladnog fluida u isparivaču.

Na shematskom prikazu slike 2, sva tri prikazana termo-ekspanzijska ventila prikazana su u verziji TEV-a s unutarnjim izjednačavanjem tlaka. TEV ventili koji se koriste u rashladnim sustavima provijanta mogu biti TEV ventili s unutarnjim izjednačavanjem tlaka, TEV ventili s vanjskim izjednačavanjem tlaka i TEV ventili s vanjskim izjednačavanjem tlaka i pilot ventilom za upravljanje.

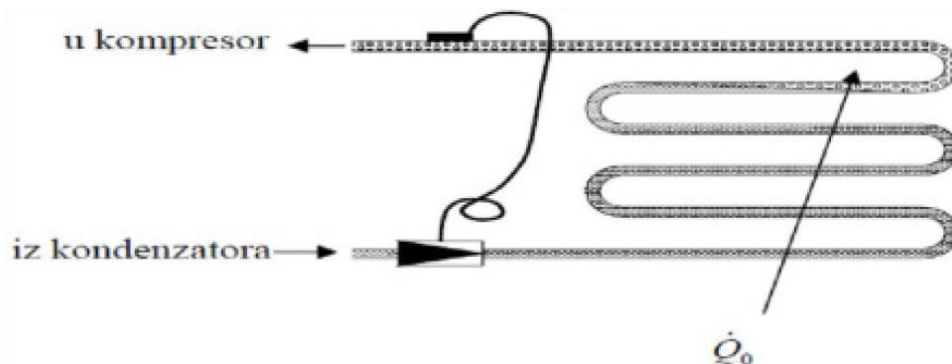
TEV ventili s unutarnjim izjednačavanjem tlaka uspoređuju temperaturu na izlazu iz isparivača s temperaturom zasićenja koja odgovara tlaku na ulazu u isparivač. Budući da u realnom procesu proces isparavanja mokre pare u isparivaču nije teoretski, odnosno ne odvija se uz konstantan tlak i temperaturu, već zbog gubitaka tlaka u sustavu dolazi do blagog pada i tlaka i temperature, TEV ventil s unutarnjim izjednačavanjem tlaka tu

anomaliju ne može prepoznati i korigirati pa je moguće veliko stvarno pregrijanje pare rashladnog fluida tijekom isparavanja u isparivaču. Iz tog razloga se obično TEV ventili s unutarnjim izjednačavanjem tlaka uglavnom koriste na ulaznim cjevovodima komora koje su u minus ili nižem plus temperaturnom režimu, što je slučaj na sustavu prikazanom na slici 2.

TEV ventili s vanjskim izjednačavanjem tlaka fizički su spojeni posebnom cjevčicom na izlazni cjevovod isparivača i putem te cjevčice koja prenosi stvarni tlak na izlazu iz isparivača izjednačavaju tlak u ventilu uspoređujući temperaturu na izlazu s temperaturom zasićenja koja odgovara stvarnom tlaku na izlazu. Ovakav model vanjskog izjednačavanja tlaka TEV ventila omogućava da se u isparivaču postiže stvarno pregrijanje pare rashladnog fluida koje je na razini teoretskog te time eliminirana statička greška koja se javlja kod TEV ventila s unutarnjim izjednačavanjem tlaka. Iz tog razloga se obično TEV ventili s vanjskim izjednačavanjem tlaka uglavnom koriste na ulaznim cjevovodima komora koje su u plus temperaturnom režimu.

### 3.5. ISPARIVAČI

U isparivačima dolazi do isparavanja mokre pare rashladnog fluida koja je naglim padom tlaka termo-ekpanzijom u TEV ventilu iz stanja kapljevine prešla u stanje mokre pare niske temperature. Brodski isparivači uglavnom su suhi isparivači s direktnom ekspanzijom jednocjevnog ili višecjevnog tipa.



Slika 4: Suhi isparivač [5]

Prolazeći kroz cijevi isparivača, mokra para niskog tlaka i temperature preuzima toplinu iz okoline isparivača koji je smješten u rashladnoj komori, pa time hladi rashladnu komoru. Preuzimajući toplinu iz komore, para rashladnog fluida, prolazeći kroz isparivač, potpuno isparava te u izlaznoj zoni isparivača dolazi do njenog pregrijavanja. Regulacijski TEV ventil regulacijom protoka pare rashladnog fluida na ulazu u isparivač osigurava postizanje njezinog pregrijavanja u izlaznoj zoni isparivača kako bi se postiglo stanje suhe pregrijane pare prije njenog ponovnog odlaska prema kompresoru. Suhi isparivači izrađeni su od glatkih ili orebrenih cijevi ovisno o potrebnoj površini za postizanje željne izmjene topline.

U komorama plus temperaturnog režima ugrađuju se isparivači bez ventilatora koji imaju oblik serpentina. U komorama minus temperaturnog režima ugrađuju se isparivači s ventilatorom koji su opremljeni i s električnim grijačima za potrebu povremenog odmrzavanja (automatski jednom u 24 sata), izljevom i drenažnom cijevi za odvod odmrznute tekućine u kaljužni tank. Odleđivanje cijevi isparivača je potrebno redovno provoditi iz jednostavnog razloga što nakupljeni led na cijevima isparivača stvara dodatni toplinski otpor i umanjuje rashladnu učinkovitost.

### 3.6. OSTALI DIJELOVI RASHLADNOG SUSTAVA PROVIJANTA

Ostali dijelovi rashladnog sustava provijanta svojom funkcionalnosti osiguravaju siguran i učinkovit rad sustava. Neki od tih dijelova nisu ranije navedeni u opisima pojedinih dijelova sustava, pa ih je potrebno navesti radi boljeg razumijevanja cjelokupnog funkcioniranja sustava.

Kako u sustavu provijanta ima više rashladnih komora različitih unutarnjih temperatura, temperature rashladnog medija na izlazu iz isparivača su različite, a time su u skladu s temperaturama različiti i tlakovi. Komore u kojima su niži temperaturni režimi na izlazu iz isparivača imaju i niže temperature rashladnog fluida, a time i niži tlak, pa se na izlaznom cjevovodu rashladnog fluida iz isparivača mora obavezno ugraditi nepovratni ventil kako viši tlak iz povratnog voda ne bi poremetio ravnotežu sustava. Kod komora s višim temperaturnim režimom, na usisnom vodu ugrađuju se ventil stalnog tlaka i stalne temperature s ugrađenim manometrom.

Visokotlačni presostat ugrađen je na tlačnom izlaznom cjevovodu iz kompresora kako bi se osigurala zaštita kompresora od pojave visokog tlaka u sustavu. Obzirom da se kompresor tijekom rada podmazuje pomoću ulja za podmazivanje iz kartera kompresora koje se miješa s rashladnim fluidom, na tlačnom vodu kompresora ugrađen je separator ulja koji pomoću centrifugalne sile odvaja ulje iz toplog komprimiranog rashladnog fluida na izlasku iz kompresora.

Nakon kompresora, toploj pari rashladnog fluida odvodi se toplina i ona se kondenzira u kondenzatoru nakon čega kondenzat odlazi u spremnik tekućeg rashladnog fluida. Veličina spremnika rashladnog fluida dimenzionira se na način da se ukupna količina rashladnog fluida koji se nalazi u isparivaču i kondenzatoru rashladnog sustava podijeli s 0,68. Ovim dimenzioniranjem osigurava se da za slučaj kvara ili servisnih zahvata na sustavu, spremnik može preuzeti cjelokupnu količinu rashladnog fluida iz sustava i pritom ostati napunjen na 85% svog punog volumena. Kako bi se osiguralo neprekidan protok rashladnog fluida, kondenzator i spremnik spojeni su posebnim cjevovodom. Tijekom normalnog rada sustava, spremnik rashladnog fluida radi sa  $\frac{1}{6}$  svog kapacitivnog volumena [6].

Nakon spremnika, rashladni fluid odlazi u sušilac u kojem se odstranjuje eventualna zaostala vlaga pa se iz tog razloga na cjevovodu ispred sušioca nalazi i priključak za nadopunjavanje i punjenje sustava rashladnim fluidom.

Iz sušioca, još uvijek topli rashladni fluid odlazi u pothlađivač koji kao izmjenjivač topline pregrijava paru rashladnog fluida koja ide prema kompresoru, a koja kroz pothlađivač prolazi u suprotnom smjeru, dok u isto vrijeme pothlađuje rashladni fluid koji nastavlja dalje prema isparivačima. Ugradnjom pothlađivača u sustav postiže se bolji stupanj djelovanja kompresora i veći rashladni učinak sustava.

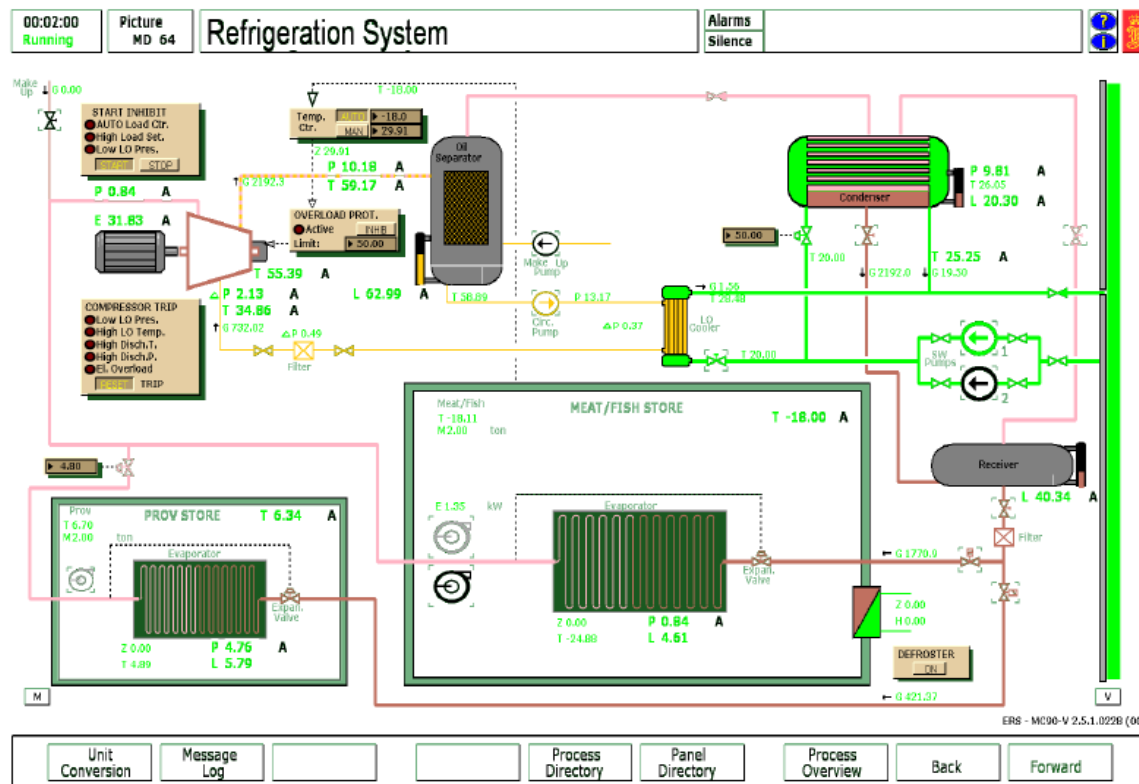
Nakon sušioca rashladni fluid ide u filter nakon kojeg prolazi kroz elektromagnetski ventil kojim upravlja termostat lociran u samoj komori za koju magnetski ventil prekida/otvara protok. Nakon magnetskog ventila rashladni fluid ide kroz ranije opisane TEV ventil te potom u isparivač. Kako bi se osiguralo održavanje temperature u komori u slučaju kvara na magnetskom ili TEV ventilu, obično se oko njih ugrađuje mimovodna linija s ručnim regulacijskim ventilom.

Na vanjskoj stjenki svake rashladne komore ugrađeni su termostat i kontrolni termometar čiji su osjetnici smješteni unutar same komore. Komore minus režima koje održavaju zamrznute namirnice imaju još ugrađene i alarmne termostate koji su povezani s kontrolnom sobom strojarne i koji imaju za zadatak upozoriti ukoliko dođe do rasta temperature u komori iznad dopuštene granice.

Na kraju je potrebno spomenuti i presostat niskog tlaka koji je smješten na usisnoj strani kompresora, a koji ima zadatak prekinuti rad kompresora kada se tlak na ulazu u kompresor snizi. Do smanjenja tlaka na ulazu u kompresor dolazi kada se u komorama postigne programirana minimalna temperatura. Postizanjem temperature termostat prekida dovod struje u magnetski ventil čime se magnetski ventil zatvara i prekida se protok rashladnog fluida. Time dolazi do sniženja tlaka na ulazu u kompresor i pada tlaka na tlačnoj strani kompresora. Za ponovno pokretanje sustava kada temperatura u komorama ponovno naraste na maksimalnu programiranu vrijednost, princip je isti, ali obrnutim redoslijedom. Dakle, termostat komore ponovno daje struju u magnetski ventil koji ponovno propušta protok rashladnog medija prema TEV-u i isparivaču što uzrokuje porast tlaka na usisnoj strani kompresora te se kompresor ponovno pokreće.

#### 4. SUSTAV PROVIJANTA NA SIMULATORU KONGSBERG MC90 V

Za potrebe ispitivanja utjecaja začepljenja cijevi kondenzatora rashladnog sustava provijanta u ovom radu korišten je sustav provijanta simulatora Kongsberg MC90 V.



Slika 5: Rashladni sustav provijanta simulatora Kongsberg MC90 V [1]

Rashladni sustav provijanta na simulatoru Kongsberg MC90 V pojednostavnjen je u odnosu na ranije prikazani stvarni sustav provijanta, u smislu manjeg broja rashladnih komora. Na ovom sustavu instalirane su dvije rashladne komore temperaturnih režima +6°C, za skladištenje običnih prehrambenih namirnica i –18°C za skladištenje smrznutog mesa i ribe koje termodinamički simuliraju rad stvarnog sustava. Izabrani temperaturni režimi u komorama simulatora pokrivaju i (+) i (–) temperaturni režim koji je prisutan na brodu. Razlika temperaturnih režima pretpostavka je i različitih tlakova u sustavu nakon isparivača, kao i pretpostavku napajanja sustava iz istog jedinstvenog izvora kompresora, što je slučaj i kod rashladnih sustava provijanta na brodu. Sustav prikazan na simulatoru ima prikazan ventil stalnog tlaka koji tlak pare rashladnog fluida na izlazu iz isparivača plus komore od 4,80 bar prije njenog spajanja na usisni cjevovod prema kompresoru korigira na tlak 0,86 bar što odgovara vrijednosti tlaka pare rashladnog fluida koji izlazi iz isparivača minus komore.

Bitna razlika prikazanog sustava na simulatoru je izostanak druge rezervne kompresorske stanice, odnosno ovdje imamo samo jedan kompresor što u stvarnim sustavim na brodu nije slučaj, već je provijant jedan od redundantnih brodskih sustava koji mora imati zalihost. Osim izostanka drugog kompresora, na simulatoru su i pojednostavnjeno prikazani termo-ekspanzijski ventili jer po shemi nije vidljivo da li je na komori plus režima korišten TEV ventil sa vanjskim izjednačavanjem tlaka koji bi tu trebao biti instaliran.

Nadalje, sustav prikazan na simulatoru nema iza spremnika rashladnog fluida instaliran sušioc već je prikazana instalacija filtra, pa je i priključak za punjenje i nadopunu sustava pozicioniran na drugom mjestu na cjevovodu i to točno prije ulaska rashladnog fluida u kompresor. U praksi takvo pozicioniranje priključka za punjenje i nadopunu uvjetuje da se kod punjenja ili nadopune sustava koristi rashladni medij u plinskoj fazi jer je rashladni fluid u povratnom vodu nakon izlaska iz isparivača u stanju pregrijane pare i nikako se ne smije miješati s kapljevnom. Rashladni sustav broskog provijanta obično na tom mjestu ima instaliran izmjenjivač topline – pothlađivač koji koristi temperaturu rashladnog fluida koji u kontra toku ide prema isparivaču i dodatno pregrijava paru rashladnog fluida prije njezinog ulaska u kompresor.



Na sustavu prikazanom na simulatoru OVERLOAD PROT. predstavlja upravljački sustav zaštite kompresora od preopterećenja kojim upravlja sklop za kontrolu temperature u komori jer mu je ulazni impuls temperatura izmjerena u rashladnoj komori minus temperaturnog režima. Do preopterećenja kompresora došlo bi uslijed naglog pokretanja s velikim kapacitetom zbog očitane previsoke temperature u komori. Sustav postepeno opterećuje kompresor kao i što postepeno smanjuje njegov kapacitet sukladno padu očitane temperature u komori. Po prekidu protoka dolazi do pada tlaka u usisnom vodu kompresora, što rezultira isključivanjem kompresora.

Rashladni sustav provijanta prikazan na simulatoru ima i poseban hladnjak ulja za podmazivanje kompresora hlađen morskom vodom preko dvije pumpe mora koji hladi ulje za podmazivanje koje je nakon komprimiranja mješavine ulja i rashladnog fluida odvojeno u uljnom separatoru. Kako tijekom kompresije mješavini ulja i rashladnog fluida rastu i tlak i temperatura na približno 59 °C, odvojeno ulje za podmazivanje se hladi u hladnjaku na temperaturu od približno 35 °C i preko filtra se vraća nazad u karter kompresora.

Iste pumpe koje osiguravaju protok mora za hlađenje ulja za podmazivanje, osiguravaju preko regulacijskog ventila i protok morske vode za hlađenje kondenzatora. Morska voda koju pumpe 1 i/ili 2 upumpavaju u cijevi morske vode kondenzatora je ujedno i glavni uzrok kontaminacije i začepeljivanja cijevi kondenzatora. Pumpe mora sišu more iz glavnog sustava morske vode koja se djelomično dekontaminira prolaskom kroz glavni filter čime se eliminiraju grube nečistoće iz usisanog mora.

Isparivači komora rashladnog sustava provijanta prikazanog na simulatoru opremljeni su ventilatorima i u minus i u plus komori. Na brodskim sustavima provijanta komore u plus režimu nisu nužno opremljene ventilatorima već cijevi isparivača mogu biti i serpentine bez ventilatora, ovisno o projektu sustava.

## 5. PREDMET I METODOLOGIJA PROVEDENIH ISPITIVANJA I ANALIZE

Na rashladnom sustavu provijanta simulatora Kongsberg MC90 V provedeno je ispitivanje utjecaja povećanja postotka začepjenja cijevi kondenzatora. Ispitivanje i očitavanje analiziranih parametara rađeno je po unaprijed definiranim režimima začepjenja cijevi kondenzatora koji se kreću u rasponu od 0% začepjenja do 100% začepjenja, uz vremensku prilagodbu i stabilizaciju rada sustava prije očitavanja analiziranih parametara u trajanju od 60 minuta.

Evidentirane vrijednosti parametara koji su se pratili i analizirali odnose se na četiri dijela sustava:

- Kompresor,
- Kondenzator,
- Komora temperaturnog režima +6<sup>0</sup>C,
- Komora temperaturnog režima -18<sup>0</sup>C.

Ovisno o pojedinom dijelu sustava, praćeni su slijedeći parametri:

### Kompresor

- Tlak na usisu (bar),
- Tlak u tlačnom vodu (bar),
- Temperatura mješavine ulja i rashladnog medija na izlazu iz kompresora (<sup>0</sup>C)
- Izlazni signal sustava automatike termometra komore (%),
- Snaga kompresora (kW).

## Kondenzator

- Tlak u kondenzatoru (bar),
- Temperatura kondenzata ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- Nivo kondenzata u kondenzatoru (%),
- Protok rashladnog medija prema isparivačima obiju komora (t/h),
- Ulazna temperatura rashladnog mora ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- Izlazna temperatura rashladnog mora ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- Pozicija otvorenosti ventila protoka rashladnog mora na ulazu u kondenzator (%).

## Komora temperaturnog režima $-18^{\circ}\text{C}$

- Protok prema TEV-u (t/h),
- Temperatura pregrijane pare na izlazu iz isparivača ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- Tlak u isparivaču (bar),
- Temperatura u komori ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## Komora temperaturnog režima $+6^{\circ}\text{C}$

- Protok prema TEV-u (t/h),
- Temperatura pregrijane pare na izlazu iz isparivača ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- Tlak u isparivaču (bar),
- Temperatura u komori ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## 5.1. METODOLOGIJA ANALIZE

Tijekom testiranja mijenjani su parametri začepljena cijevi kondenzatora sustava provijanta. Početno stanje začepljenja postavljeno je na 0%, a krajnje stanje začepljenja na 100%.

Nakon svake promjene postavki začepljenja, simulator je pušten da simulira rad sustava u trajanju od 60 minuta kako bi se postigla stabilizacija očitanih parametara

sustava s ciljem dobivanja što točnijih podataka za kasniju analizu. Do postavljanja postotka začepljenja od 80%, parametri sustava bi se tijekom vremenskog perioda od 60 minuta zadovoljavajuće stabilizirali za potrebe očitavanja, dok je kod postavljene postavke začepljenja od 80% bilo potrebno produžiti vremenski rok za stabilizaciju očitavanja na 90 minuta jer su parametri očitavanja i nakon proteka 60 minuta i dalje nastavili mijenjati svoje vrijednosti.

## 5.2. REZULTATI TESTIRANJA

S postavkom začepljenja od 90%, po proteku vremenskog perioda od 35 minuta došlo je do paljenja prva dva alarma i to prekoračenja visine tlaka (15,65 bara) u tlačnom vodu kompresora i alarma temperature izlazne mješavine rashladnog fluida i ulja iz kompresora koja je prešla razinu vrijednosti od 91,09 °C.

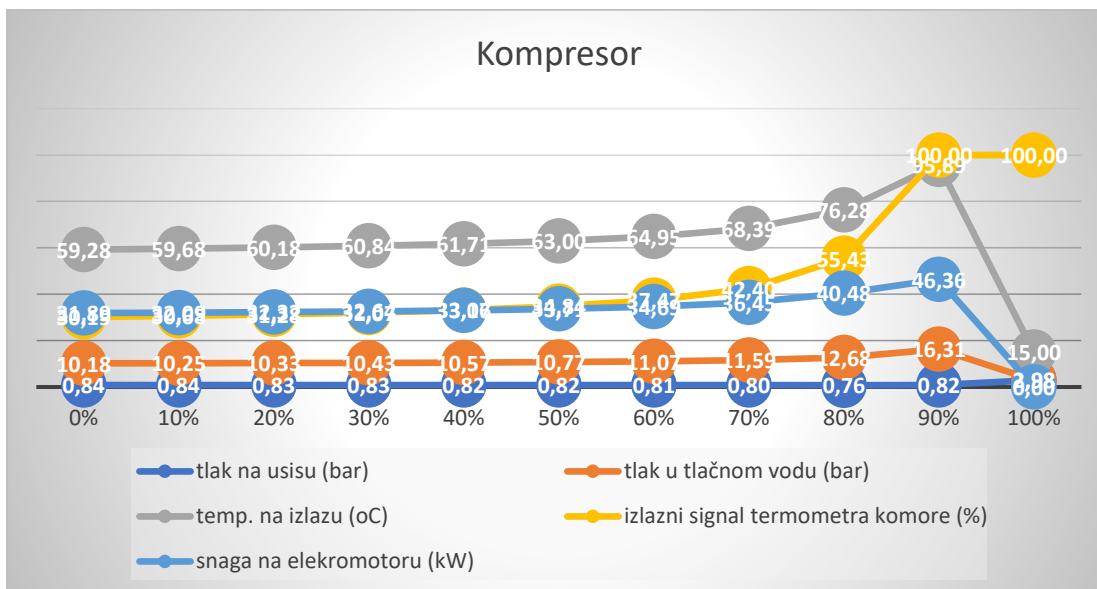
S postavkama začepljenja od 100%, sustav se nakon 10 minuta isključio zbog aktiviranja zaštite „SHUT DOWN OVERLOAD PROTECTION“ i više ga nije bilo moguće pokrenuti. U trenutku isključenja sustava od strane instalirane zaštite, temperature u komorama su imale vrijednosti – 14,23 °C u komori temperaturnog režima -18°C i 7,88°C u komori temperaturnog režima + 6°C.

### 5.2.1. Očitani rezultati ispitivanja začepljenja cijevi rashladnog mora kondenzatora rashladnog sustava provijanta

Tablica 1: Vrijednosti analiziranih parametara ovisno o zaprljanju cijevi kondenzatora

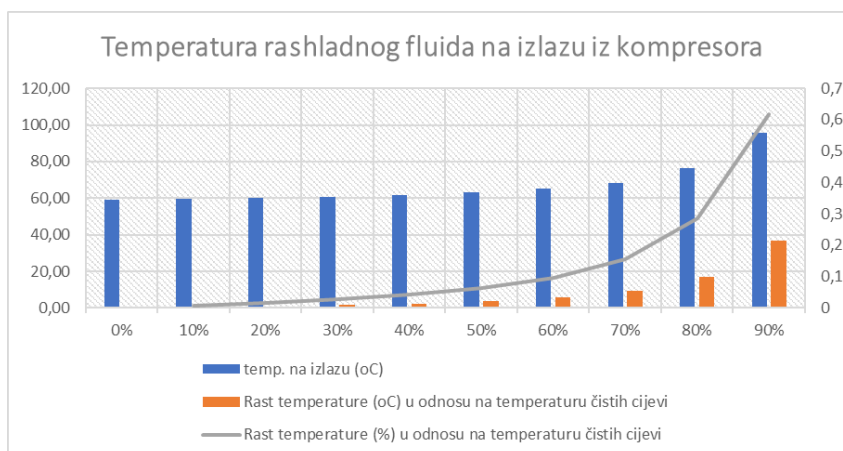
| VRIJEME STABILIZACIJE SUSTAVA           |  | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min | 90 min | 60min  | 60 min |  | 35 min | 10 min                              |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|-------------------------------------|
| ZAPRLJANOST CIJEVI KONDENZATORA SW side |  | 0%     | 10%    | 20%    | 30%    | 40%    | 50%    | 60%    | 70%    | 80%    | 90%    | 100%   |  | 90%    | 100%                                |
| KOMPRESOR                               | tlak na usisu (bar)                                | 0,84   | 0,84   | 0,83   | 0,83   | 0,82   | 0,82   | 0,81   | 0,80   | 0,76   | 0,82   | 2,98   |  |        |                                     |
|   | tlak u tlačnom vodu (bar)                          | 10,18  | 10,25  | 10,33  | 10,43  | 10,57  | 10,77  | 11,07  | 11,59  | 12,68  | 16,31  | 2,98   |  | 15,65  | SHUT DOWN<br>OVERLOAD<br>PROTECTION |
|   | temp. na izlazu (oC)                               | 59,28  | 59,68  | 60,18  | 60,84  | 61,71  | 63,00  | 64,95  | 68,39  | 76,28  | 95,89  | 15,00  |  | 91,09  |                                     |
|   | izlazni signal termometra komore (%)               | 30,19  | 30,68  | 31,28  | 32,07  | 33,16  | 34,84  | 37,47  | 42,40  | 55,43  | 100,00 | 100,00 |  |        |                                     |
|   | snaga na elekromotoru (kW)                         | 31,89  | 32,09  | 32,32  | 32,64  | 33,07  | 33,71  | 34,69  | 36,45  | 40,48  | 46,36  | 0,00   |  |        |                                     |
|   |  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |        |                                     |
| KONDENZATOR                             | tlak u kondenzatoru                                | 9,82   | 9,88   | 9,96   | 10,06  | 10,20  | 10,40  | 10,69  | 11,21  | 12,29  | 15,89  | 29,27  |  |        | 29,27                               |
|   | temperatura kondenzata                             | 26,06  | 26,27  | 26,54  | 26,88  | 27,35  | 28,01  | 29,01  | 30,70  | 34,20  | 43,79  | 82,56  |  |        |                                     |
|   | nivo kondenzata u kondenzatoru (%)                 | 20,32  | 20,34  | 20,38  | 20,43  | 20,50  | 20,62  | 20,79  | 21,09  | 21,73  | 22,22  | 0,00   |  |        |                                     |
|   | protok prema isparivačima (t/h)                    | 2,19   | 2,20   | 2,20   | 2,21   | 2,21   | 2,23   | 2,25   | 2,28   | 2,35   | 2,40   | 0,00   |  |        |                                     |
|   | ulazna temp. SW                                    | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  | 20,00  |  |        |                                     |
|   | izlazna temp. SW                                   | 25,25  | 25,26  | 25,26  | 25,27  | 25,28  | 25,30  | 25,33  | 25,38  | 25,50  | 25,49  | 20,00  |  |        |                                     |
|   | Pozicija ventila protoka SW u kondenzator (%)      | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  | 50,00  |  |        |                                     |
| KOMORA<br>-18 oC                        | protok prema TEV (t/h)                             | 1,78   | 1,78   | 1,78   | 1,79   | 1,80   | 1,81   | 1,82   | 1,85   | 1,91   | 1,89   | 0,00   |  |        |                                     |
|   | temp. pregrijane pare na izlazu iz isparivača (oC) | -24,90 | -24,91 | -24,92 | -24,94 | -24,95 | -24,97 | -24,99 | -25,03 | -25,15 | -23,93 | -3,20  |  |        |                                     |
|   | tlak u isparivaču (bar)                            | 0,84   | 0,84   | 0,83   | 0,83   | 0,82   | 0,82   | 0,81   | 0,80   | 0,76   | 0,83   | 2,99   |  |        |                                     |
|   | temp. u komori (oC)                                | -18,00 | -18,00 | -18,00 | -18,00 | -18,00 | -18,00 | -17,99 | -17,98 | -18,00 | -17,16 | -3,17  |  |        | -14,23                              |
| KOMORA<br>+6 oC                         | protok prema TEV (t/h)                             | 0,42   | 0,42   | 0,42   | 0,42   | 0,42   | 0,42   | 0,42   | 0,43   | 0,44   | 0,45   | 0,00   |  |        |                                     |
|   | temp. pregrijane pare na izlazu iz isparivača (oC) | 4,85   | 4,83   | 4,81   | 4,79   | 4,77   | 4,76   | 4,75   | 4,74   | 4,71   | 4,86   | 10,91  |  |        |                                     |
|   | tlak u isparivaču (bar)                            | 4,76   | 4,75   | 4,75   | 4,74   | 4,74   | 4,74   | 4,74   | 4,74   | 4,73   | 4,75   | 5,98   |  |        |                                     |
|   | temp. u komori (oC)                                | 6,29   | 6,26   | 6,23   | 6,21   | 6,19   | 6,17   | 6,15   | 6,14   | 6,11   | 6,23   | 10,92  |  |        | 7,88                                |

### 5.2.1.1. Parametri kompresora



Slika 6: Vrijednosti analiziranih parametara za kompresor

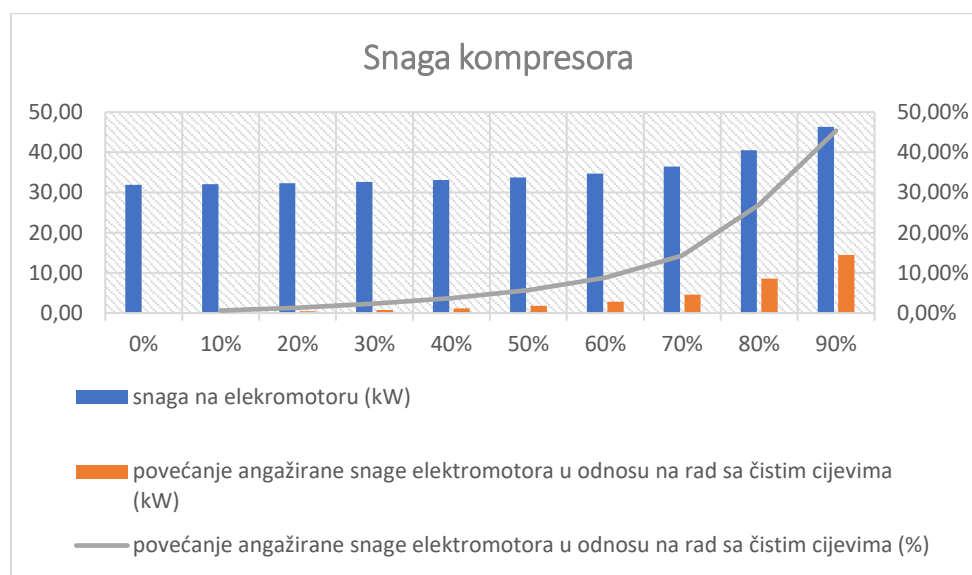
Analizom vrijednosti očitanih parametara i kretanja njihovih vrijednosti u ovisnosti o stupnju začepjenja cijevi kondenzatora, vidljivo je da se prve indikacije začepjenja uočavaju na parametrima temperature komprimirane mješavine rashladnog fluida i ulja za podmazivanje na izlazu iz kompresora.



Slika 7: Vrijednosti temperature rashladnog fluida

Značajniji rast temperature ( $> 2^{\circ}\text{C}$ ; 4%) u odnosu na temperaturu čistih cijevi javlja se kod razine zaprljanja cijevi od 40%.

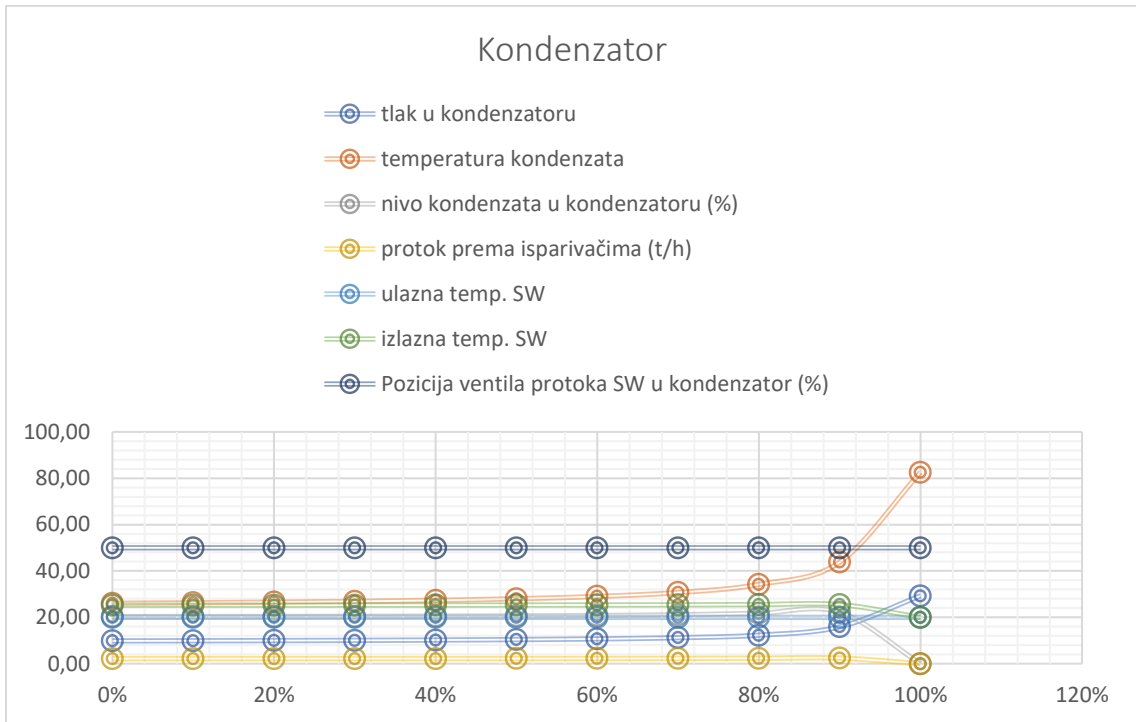
Osim parametra temperature komprimirane mješavine rashladnog fluida i ulja za podmazivanje na izlazu iz kompresora, uočeno je da parametar snage kompresora također porastom svoje vrijednosti ukazuje na povećanje stupnja začepljenja cijevi kondenzatora. Razlog je što porastom temperature raste tlak koji dodatno utječe na povećanje snage.



Slika 8: Vrijednosti snage kompresora

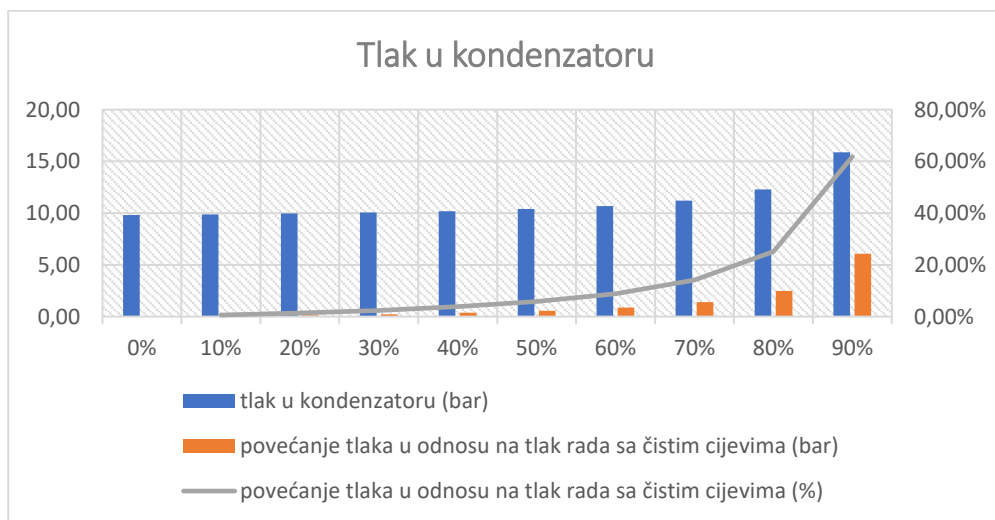
Značajniji rast snage kompresora ( $> 1,5 \text{ kW}$  ; 5%) u odnosu na snagu kompresora s čistim cijevima javlja se kod razine zaprljanja cijevi od 50%.

5.2.1.2. Parametri kondenzatora sw - more



Slika 9: Vrijednosti parametara kondenzatora sw - more

Analizom vrijednosti očitanih parametara i kretanja njihovih vrijednosti u ovisnosti o stupnju začepljenja cijevi mora kondenzatora, vidljivo je da se prve indikacije začepljenja uočavaju na parametrima tlaka u kondenzatoru.

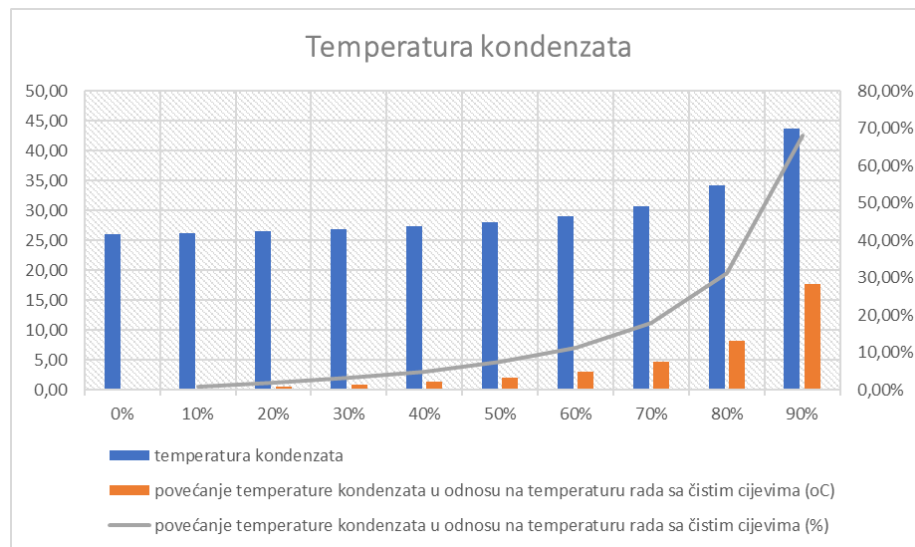


Slika 10: Vrijednosti tlaka u kondenzatoru

Značajniji rast tlaka u kondenzatoru (> 0,5 bar ; 5%) u odnosu na tlak u kondenzatoru s čistim cijevima javlja se kod razine zaprljanja cijevi od 50%.



Osim parametra tlaka u kondenzatoru, uočeno je i da parametar temperature kondenzata rashladnog fluida u kondenzatoru također porastom svoje vrijednosti ukazuje na povećanje stupnja začepljenja cijevi kondenzatora.



Slika 11: Vrijednosti temperatura kondenzata

Značajniji rast temperature kondenzata rashladnog fluida u kondenzatoru ( $> 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 4%) u odnosu na temperaturu kondenzata s čistim cijevima javlja se kod razine zaprljanja cijevi od 40%.

#### 5.1.2.3. Parametri rashladnih komora

Iz tablično i grafički strukturiranih očitanih parametara rada rashladnih komora temperaturnih režima  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vidljivo je da su očitana odstupanja minimalna i da iz njihovih očitavanja nije moguće pravovremeno uočiti poremećaj u radu sustava zbog utjecaja zaprljanja cijevi kondenzatora rashladnog sustava provijanta.

### 5.2.2. Analiza rezultata

Testiranje na simulatoru provedeno je na parametrima uvjeta okoline postavljenog modela stanja ravnoteže simulatora. Simulator nudi mogućnost i aktivacije modela sa dodatnim toplinskim opterećenjem „extra load“ koji za potrebe ovog testiranja nije korišten [1].

U slučaju promjene temperature mora indikacije zaprljanja kondenzatora bi bile drugačije. Kod više temperature mora indikacije na izdvojenim parametrima pojavile bi se kod nižeg postotka zaprljanja, dok bi kod niže temperature mora situacija bila obrnuta i indikacije bi se pojavile na većem postotku zaprljanja.

U navedenim uvjetima rezultati testiranja na simulatoru ukazuju da se pravovremena indicija pojave zaprljanja kondenzatora može uočiti očitavanjem parametara:

- Temperature komprimirane mješavine rashladnog fluida i ulja za podmazivanje na izlazu iz kompresora,
- Snage kompresora,
- Tlaka u kondenzatoru,
- Temperature kondenzata rashladnog fluida u kondenzatoru.

Dakle, dva očitana parametra su parametri rada kompresora, a dva parametra su parametri rada kondenzatora. Indikacija samo po sebi je dobra, ali za učinkovito planiranje pravovremene intervencije čišćenja cijevi jako bi korisna bila i informacija o intenzitetu indiciranog začepljenja. Parametri testiranja pokazali su na kojoj razini intenziteta začepljenja pojedini parametri svojim odstupanjima ukazuju na intenzitet zaprljanja, što je vidljivo iz tablice 2.

Tablica 2: Parametri indikacije zaprljanja kondenzatora

|             | ZAPRLJANOST CIJEVI KONDENZATORA SW side   | 40%          | 50%          | 60%    | 70%    | 80%    | 90%          |
|-------------|---|--------------|--------------|--------|--------|--------|--------------|
| KOMPRESOR   | <b>temp. na izlazu (oC)</b>   | <b>61,71</b> | 63,00        | 64,95  | 68,39  | 76,28  | <b>95,89</b> |
|             | Rast temperature (oC) u odnosu na temperaturu čistih cijevi                           | <b>2,43</b>  | 3,72         | 5,67   | 9,11   | 17,00  | 36,61        |
|             | Rast temperature (%) u odnosu na temperaturu čistih cijevi                            | <b>4,10%</b> | 6,28%        | 9,56%  | 15,37% | 28,68% | 61,76%       |
|             | <b>snaga na elektromotoru (kW)</b>  |              | <b>33,71</b> | 34,69  | 36,45  | 40,48  | 46,36        |
|             | povećanje angažirane snage elektromotora u odnosu na rad sa čistim cijevima (kW)      |              | <b>1,82</b>  | 2,80   | 4,56   | 8,59   | 14,47        |
|             | povećanje angažirane snage elektromotora u odnosu na rad sa čistim cijevima (%)       |              | <b>5,71%</b> | 8,78%  | 14,30% | 26,94% | 45,37%       |
| KONDENZATOR | <b>tlak u kondenzatoru (bar)</b>  |              | <b>10,40</b> | 10,69  | 11,21  | 12,29  | 15,89        |
|             | povećanje tlaka u odnosu na tlak rada sa čistim cijevima (bar)                        |              | <b>0,58</b>  | 0,87   | 1,39   | 2,47   | 6,07         |
|             | povećanje tlaka u odnosu na tlak rada sa čistim cijevima (%)                          |              | <b>5,91%</b> | 8,86%  | 14,15% | 25,15% | 61,81%       |
|             | <b>temperatura kondenzata (oC)</b>  | <b>27,35</b> | 28,01        | 29,01  | 30,70  | 34,20  | 43,79        |
|             | povećanje temperature kondenzata u odnosu na temperaturu rada sa čistim cijevima (oC) | <b>1,29</b>  | 1,95         | 2,95   | 4,64   | 8,14   | 17,73        |
|             | povećanje temperature kondenzata u odnosu na temperaturu rada sa čistim cijevima (%)  | <b>4,95%</b> | 7,48%        | 11,32% | 17,81% | 31,24% | 68,04%       |

Dakle, prve indikacije pojave zaprljanja cijevi kondenzatora rashladnog sustava provijanta mogu se prepoznati očitanjem parametra temperature rashladne mješavine na izlazu iz kompresora čiji je rast temperature veći od 2<sup>o</sup>C ili veći od 4% u odnosu na vrijednost pri normalnom radu sustava te očitanjem parametra tlaka u kondenzatoru čiji je rast veći od 0,5 bar ili veći od 5% u odnosu na vrijednost pri normalnom radu sustava. Ova dva očitavanja ukazuju na prisutno začepljenje cijevi rashladnog mora u kondenzatoru približnog intenziteta od 40%.

Nakon uočavanja prvih indikacija, potrebno je pratiti rad sustava i u koliko dođe do rasta snage elektromotora kompresora većeg od 1,5 kW ili većeg od 5% u odnosu na inicijalnu snagu elektromotora u normalnom radu sustava, potrebno je provjeriti i očitavanja parametra tlaka u kondenzatoru. U koliko je očitavanje parametra tlaka u kondenzatoru također veće od 0,5 bar ili veće od 5% u odnosu na tlak u normalnom radu sustava, može se s velikom sigurnošću potvrditi sumnju prvih indicija i početi s pripremom terminskog plana kada ćemo pristupiti čišćenju kontaminiranih cijevi kondenzatora jer poklapanje ova četiri očitavanja ukazuje na postojanje začepljenja cijevi u intenzitetu od približno 50%.

## 6. ZAKLJUČAK

U provedenom istraživanju praćena su oćitanja svih parametara koji se mjere u rashladnom sustavu provijanta na simulatoru Kongsberg MC90 V u odnosu na povećanje zadanih vrijednosti zaprljanja, a potom i zaćepljenja cijevi kondenzatora. Dobiveni rezultati testiranja na simulatoru odnose se na zadane parametre okoline. Za kompletnu analizu i izvođenje ukupnih zakljućaka utjecaja bilo bi potrebno provesti testiranja u cijelom podrućju temperatura mora od 5 do 32 °C.

Zaprljanje kondenzatora u brodskom sustavu provijanta utjeće na slabiju izmjenu topline jer dolazi do podizanja temperature rashladnog medija. Podizanje temperature rashladnog medija posljedićno uzrokuje porast tlaka i na tlaćnoj i na usisnoj strani kompresora obzirom da je omjer kompresije isti. Isti efekti na sustav javljaju se i prilikom povećanja temperature mora. Neovisno o uzroku poremećaja, automatika sustava odrćava vrijednosti parametara temperature rashladnih komora u okviru granićnih vrijednosti, ali uz veći kapacitet i dući rad kompresora što rezultira znaćajno većom potrošnjom. Kada sustav viće nije u mogućnosti odrćavati granićne vrijednosti, javlja se alarm TRIP.

Dakle, što je more hladnije i kondenzator ćišći sustav radi bolje i ekonomićnije. Ćim doće do porasta tlaka, sustav radi loćije i neekonomićnije pa uzroke treba traćiti ili u manjku rashladnog medija, povećanoj toplini mora, problemu s armaturnom, problemu s ventilima, smanjenju protoka dobave mora ili zaprljanju kompresora.

## LITERATURA

- [1] K-Sim, ERS L11 5L90MC – VLCC (Version MC90-V), Operator's Manual Part 3; Kongsberg; 20.11.2014.
- [2] dr.sc. Predrag Kralj; Priručnik za operatere rashladnih kontejnera; SVEUČILIŠTE U RIJECI POMORSKI FAKULTET; Rijeka; Lipanj 2017.
- [3] [www.hvactutorial.wordpress.com](http://www.hvactutorial.wordpress.com)
- [4] Dragan Martinović; Brodski rashladni uređaji; Školska knjiga; Zagreb; 1994.
- [5] Izv.prof.dr.sc. Branimir Pavković; "Tehnika hlađenja"; Sveučilište u Rijeci; Tehnički fakultet; Rijeka; Srpanj 2019.
- [6] <https://moodle.srce.hr/2022-2023/mod/resource/view.php?id=2682587>

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Usporedba teoretskog i stvarnog procesa u T - s dijagramu [2].....       | 3  |
| Slika 2: Shema cjevovoda rashladnog sustava provijanta trgovačkog broda [3] ..... | 7  |
| Slika 3: Termo-ekspanzijski regulacijski ventil TEV [1] .....                     | 10 |
| Slika 4: Suhi isparivač [5].....  | 11 |
| Slika 5: Rashladni sustav provijanta simulatora Kongsberg MC90 V [1] .....        | 15 |
| Slika 6: Vrijednosti analiziranih parametara za kompresor.....                    | 22 |
| Slika 7: Vrijednosti temperature rashladnog fluida .....                          | 22 |
| Slika 8: Vrijednosti snage kompresora .....                                       | 23 |
| Slika 9: Vrijednosti parametara kondenzatora sw - more .....                      | 24 |
| Slika 10: Vrijednosti tlaka u kondenzatoru.....                                   | 24 |
| Slika 11: Vrijednosti temperatura kondenzata.....                                 | 25 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1: Vrijednosti analiziranih parametara ovisno u zaprljanju cijevi kondenzatora ..... | 16 |
| Tablica 2: Parametri indikacije zaprljanja kondenzatora .....                                | 21 |