

Izmjenjivači topline

Miloš, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:489133>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-08**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek

Brodstrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek

Preddiplomski sveučilišni studij Brodostrojarstva i tehnologije pomorskog prometa
(jednopedmetni -redoviti)

Izmjenjivači topline

Završni rad

Student/ica:

Mateo Miloš

Mentor/ica:

prof. dr. sc. Josip Orović

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Mateo Miloš**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Izmjenjivači topline** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 28. listopada 2024.

SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađeni su izmjenjivači topline s posebnim naglaskom na brodske rashladne sustave. U početnom dijelu rada je osnovna podjela izmjenjivača te su objašnjeni načini prijenosa topline. U drugom dijelu rada općenito su opisane različite vrste izmjenjivača topline korištene na brodovima, s posebnim naglaskom na cijevne i pločaste izmjenjivače topline u kojem su opisane njihove prednosti, nedostaci i načini održavanja. Također je opće opisan jedan primjer novih tehnologija koje doprinose povećanju energetske učinkovitosti i pouzdanosti ovih sustava čime se optimizira rad brodskih strojeva i smanjuju operativni troškovi.

Ključne riječi: Izmjenjivači topline, brodski rashladni sustav, prijenos topline, podjela izmjenjivača, vrste izmjenjivača, cijevni izmjenjivači, pločasti izmjenjivači

Title: Heat exchangers

SUMMARY

In this final paper, heat exchangers are discussed with a special emphasis on marine cooling systems. The initial part of the paper presents the basic classification of heat exchangers and explains the methods of heat transfer. The second part of the paper provides a general description of the various types of heat exchangers used on ships, with a particular focus on shell-and-tube and plate heat exchangers, including their advantages, disadvantages, and maintenance methods. Additionally, one of the new technologies that contribute to increasing energy efficiency and reliability of these systems in order to optimize the operation of marine engines and reduce operational costs is generally described.

Key words: Heat exchangers, marine cooling system, heat transfer, classification of exchangers, types of exchangers, shell-and-tube exchangers, plate exchangers

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PODJELA IZMJENJIVAČA TOPLINE	2
2.1. Rekuperatori i regeneratori	2
2.2. Procesi prijenosa topline	3
2.3 Geometrija konstrukcije	4
2.3.1 Cijevni	4
2.3.2 Pločasti	4
2.3.3. Izmjenjivači topline s proširenom površinom	5
2.4. Mehanizmi prijenosa topline	5
2.4.1. Jednofazni prijenos topline	5
2.4.2 Dvofazni prijenos topline	6
2.5. Raspored strujanja	7
2.5.1. Istosmjerno strujanje tekućina	7
2.5.2 Protustrujno strujanje tekućina	7
2.5.3 Križno strujanje tekućina	8
3. PRIJENOS TOPLINE	9
3.1. Kondukcija	9
3.2. Konvekcija	10
3.3. Zračenje	11
3.4 Prijenos topline u izmjenjivaču topline	11
3.5 Srednja temperaturna razlika za strujanje kroz cijevi	13
3.6. Pad tlaka	15
4. OBRAŠTANJE IZMJENJIVAČA TOPLINE	16
5. VRSTE IZMJENJIVAČA TOPLINE	17
5.1 Cijevni izmjenjivači topline	17

5.1.1	Konstrukcija cijevnog izmjenjivača topline	17
5.1.2.	Princip rada cijevnog izmjenjivača topline	18
5.1.3	Prednosti cijevnog izmjenjivača topline.....	19
5.1.4.	Primjena cijevnog izmjenjivača topline na brodu.....	19
5.2.	Pločasti izmjenjivači topline	19
5.2.1	Konstrukcija pločastog izmjenjivača topline.....	19
5.2.2.	Princip rada pločastog izmjenjivača topline.....	20
5.2.3.	Prednosti pločastog izmjenjivača topline	21
5.2.4.	Primjena pločastog izmjenjivača topline na brodu.....	21
5.3.	Rebrasti izmjenjivač topline.....	21
5.4.	Izmjenjivač topline s dinamičkom struganom površinom	22
5.5	Spiralni izmjenjivač topline.....	23
6.	Kondenzatori i isparivači.....	24
6.1.	Kondenzator	24
6.1.1.	Kondenzatori hlađeni zrakom.....	24
6.2.2	Kondenzatori hlađeni vodom	24
6.2.3.	Kondenzatori evaporativnog tipa	25
6.2.4.	Parni kondenzator	25
6.3.	Isparivač.....	26
6.3.1	Brodski evaporator (isparivač) – generator slatke vode.....	27
7.	NEDOSTACI CIJEVNIH I PLOČASTIH IZMJENJIVAČA TOPLINE.....	28
7.1	Nedostaci cijevnih izmjenjivača topline	28
7.2	Nedostaci pločastog izmjenjivača topline.....	29
8.	ODRŽAVANJE CIJEVNIH I PLOČASTIH IZMJENJIVAČA TOPLINE.....	30
8.1	Održavanje cijevnih izmjenjivača topline.....	30
8.2	Održavanje pločastih izmjenjivača topline.....	31
9.	NOVE TEHNOLOGIJE HLAĐENJA NA BRODOVIMA	32

10. ZAKLJUČAK	33
Popis literature	34
POPIS SLIKA	36

1.UVOD

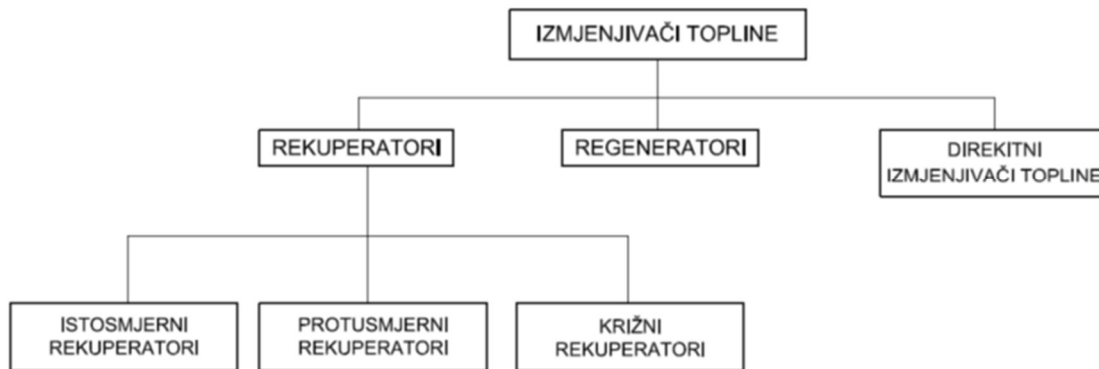
Izmjenjivači topline su uređaji koji omogućuju prijenos toplinske energije između dviju ili više tekućina različitih temperatura, i široko se koriste u različitim industrijama. Primjenjuju se u procesima poput grijanja, hlađenja, isparavanja i kondenzacije tekućina. Bez obzira na vrstu procesa za prijenos topline, tekućine moraju biti na različitim temperaturama i u toplinskom kontaktu.

U brodskim strojarnicama izmjenjivači topline imaju ključnu ulogu jer brodski strojevi proizvode veliku količinu topline koju je potrebno učinkovito odvesti kako bi se održale optimalne radne temperature i spriječilo pregrijavanje. Posebno su važni u rashladnim sustavima broda gdje osiguravaju hlađenje, smanjuju trošenje i povećavaju učinkovitost. U brodskim rashladnim sustavima koristi se više tipova izmjenjivača topline, no najčešće se upotrebljavaju cijevni i pločasti izmjenjivači.

Izmjenjivači topline također uključuju kondenzatore i isparivače, u kojima dolazi do promjene agregatnog stanja tekućina. Kondenzatori pretvaraju plinove u tekućinu uklanjanjem topline, dok isparivači omogućuju prijelaz tekućine u plin dodavanjem topline.

U prvom dijelu rada detaljnije će se objasniti osnovna podjela izmjenjivača topline i načini prijenosa topline. U drugom dijelu rada opisat će se različite vrste izmjenjivača topline koji se koriste na brodovima, uključujući isparivače i kondenzatore u brodskim sustavima. Posebna pažnja bit će posvećena cijevnim i pločastim izmjenjivačima zbog njihove široke primjene na brodovima, uz objašnjenje njihove konstrukcije, načina rada, prednosti, nedostataka i metoda održavanja.

2. PODJELA IZMJENJIVAČA TOPLINE



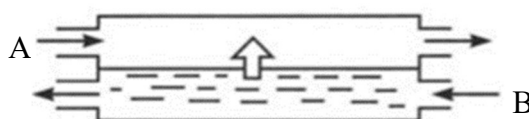
Slika 1. Načelna podjela izmjenjivača topline [1]

Izmjenjivače topline dijelimo na:

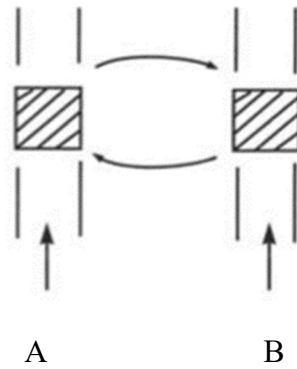
- Rekuperatore i regeneratore
- Prema procesu prijenosa topline: izravni kontakt i neizravni kontakt
- Geometriji konstrukcije: cijevi, ploče i proširene plohe
- Mehanizmu prijenosa topline: jednofazni i dvofazni
- Raspored strujanja: istosmjerno strujanje, protustrujno strujanje i križno strujanje

2.1. Rekuperatori i regeneratori

Razlika između rekuperativnih i regenerativnih izmjenjivača topline je to da kod rekuperativnih izmjenjivača topline, također poznatih kao rekuperatorima, svaka tekućina će teći kroz vlastiti kanal unutar izmjenjivača topline. Dok kod regenerativnih izmjenjivača topline, također poznatih kao kapacitivni izmjenjivači topline ili regeneratori, naizmjenično se dopušta da toplije i hladnije tekućine teku kroz isti kanal. Rekuperatore i regeneratore možemo dalje podijeliti u više kategorija izmjenjivača topline, kao što su izravni ili neizravni te statički ili dinamički. U primjeni češće se koriste rekuperativni izmjenjivači topline. [2]



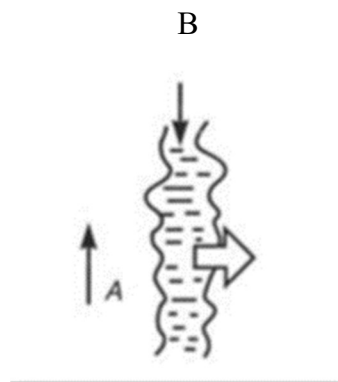
Slika 2. Rekuperator [3]



Slika 3. Regenerator [3]

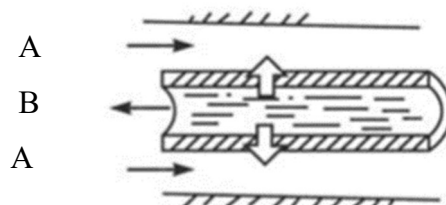
2.2. Procesi prijenosa topline

Kod izmjenjivača topline s izravnim kontaktom, tekućine se ne odvajaju unutar izmjenjivača i toplina će se s jedne tekućine na drugu prenijeti izravnim kontaktom (Slika 4.).



Slika 4. Prijenos topline izravnim kontaktom [3]

U neizravni izmjenjivači topline tekućine su odvojene jedna od drugih komponentama koje imaju svojstva provođenja topline kao što su cijevi ili ploče ovisno o izvedbi. Komponente primaju toplinu toplije tekućine dok ona struji kroz izmjenjivač topline, te dolazi do prenošenja topline na hladniju tekućinu kroz njeno strujanje u izmjenjivaču topline (Slika 5.). [2]



Slika 5. Prijenos topline neizravnim kontaktom [3]

2.3 Geometrija konstrukcije

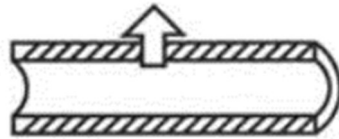
Kada se napominju izmjenjivači topline i njihova konstrukcijska izvedba najčešće se spominju izmjenjivači s izravnim prijenosom.

Glavne konstrukcijske vrste su:

- Cijevni
- Pločasti
- Izmjenjivači topline s proširenom površinom

2.3.1 Cijevni

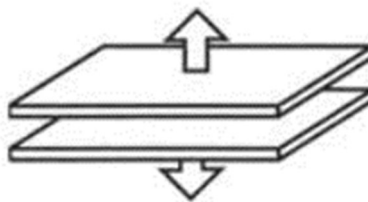
Cijevni izmjenjivači topline izrađeni su od kružnih cijevi, pri čemu jedna tekućina cirkulira unutar cijevi, dok druga prolazi oko vanjske strane cijevi. Cijevni izmjenjivači imaju veliku fleksibilnost njihovog dizajna jer se može mijenjati promjer cijevi, raspored cijevi i broj cijevi. [3]



Slika 6. Prikaz cijevi u cijevnom izmjenjivaču topline [3]

2.3.2 Pločasti

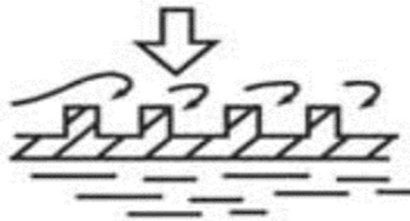
Pločasti izmjenjivači topline izrađeni su od tankih ploča koje prave protočne kanale. Tekućine teku odvojeno, razdvojene su ravnim pločama koje konstrukcijski mogu biti glatke ili u nekim slučajeva nalaze se valoviti prolazi između ploča. [3]



Slika 7. Prikaz ploča u izmjenjivaču topline [3]

2.3.3. Izmjenjivači topline s proširenom površinom

Izmjenjivači topline s proširenom površinom su izmjenjivači u kojima se povećava primarna površina prijenosa topline poput cijevi ili ploča. Površine se povećavaju tako da se dodaju rebra ili neki drugi dodaci. Ovi tipovi izmjenjivača koriste se za izmjenjivače topline plin- plin i plin-tekućina . Kako bi povećali koeficijent prolaza topline na plinskoj strani koji je puno manji od tekuće strane dodaju se rebra radi povećanja površine prijenosa topline. [3]



Slika 8. Prikaz ploča s proširenom površinom [3]

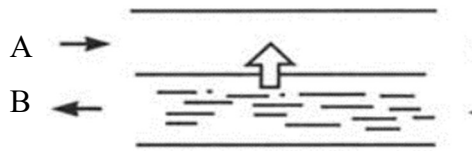
2.4. Mehanizmi prijenosa topline

U izmjenjivačima topline koristimo dva mehanizma prijenosa topline, a to su:

- Jednofazni prijenos topline
- Dvofazni prijenos topline

2.4.1. Jednofazni prijenos topline

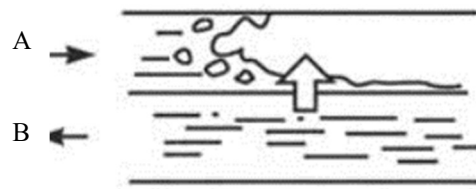
U jednofaznim izmjenjivačima topline, topla i hladna tekućina ostaju u istom stanju i u kojem su ušli u izmjenjivač topline što znači da nije došlo do promjene agregatnog stanja kroz cijelo trajanja ulaska i izlaska tekućina iz izmjenjivača topline što je prikazano na slici 9. Za primjer, prijenos topline voda-voda, toplija voda gubi toplinu koja se zatim prenosi na hladniju vodu i nijedna se ne pretvara u plin ili krutinu. [2]



Slika 9. Jednofazni prijenos topline [3]

2.4.2 Dvofazni prijenos topline

U dvofaznim izmjenjivačima topline, topla i hladna tekućina mijenjaju stanje u kojem su ušli u izmjenjivač topline što znači da dolazi do promjene agregatnog stanja. Promjenu agregatnog stanja može se dogoditi u jednoj ili obje tekućine. Tekućine mijenjaju stanje iz tekućeg u plinovito (isparavanje) što je prikazano na slici 10 ili iz plinovitog u tekuće stanje (kondenzacija) što je prikazano na slici 11. Izmjenjivači koji koriste dvofazni prijenos topline su u principu složenije izvedbe za razliku od jednofaznih izmjenjivača topline. Uređaji koji koriste dvofazni prijenos topline su generatori pare, kondenzatori i isparivači. [2]



Slika 10. Isparavanje [3]



Slika 11. Kondenzacija [3]

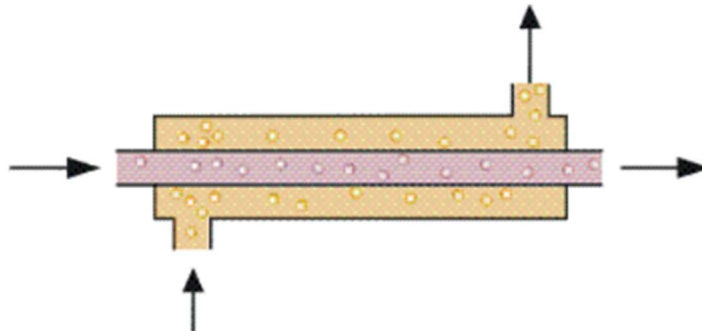
2.5. Raspored strujanja

Postoje tri osnovne konfiguracije strujanja u izmjenjivaču topline, a to su sljedeće:

- s istosmjernim strujanjem tekućina
- s protustrujnim strujanjem tekućina
- s križnim strujanjem tekućina

2.5.1. Istosmjerno strujanje tekućina

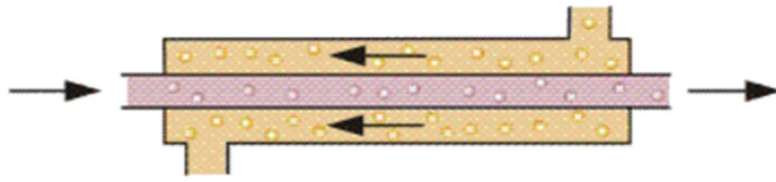
Istosmjerni izmjenjivači topline su uređaji za izmjenu topline u kojem tekućine teku paralelno jedna od druge i u istom smjeru jedna s drugom što je prikazano na slici 12. Istosmjerno strujanje nam omogućuje najveću toplinsku jednolikost na stijenkama izmjenjivača. Iako ovaj tip strujanja često rezultira manjom učinkovitošću za razliku od protustrujnog strujanja. [2]



Slika 12. Istosmjerno strujanje [2]

2.5.2 Protustrujno strujanje tekućina

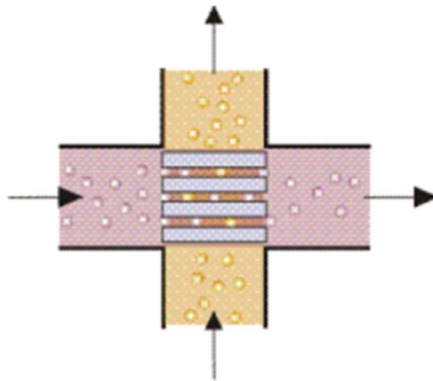
Protustrujni izmjenjivači topline su uređaji za izmjenu topline u kojem tekućine teku u suprotnim smjerovima jedna prema drugoj što je prikazano na slici 13. Najčešći tip protoka koji se koristi u praksi jer dolazi do najveće promjene temperature. Protustrujno strujanje daje nam najveću količinu prijenosa topline između dvije tekućine koje teku u izmjenjivaču topline i time najveću iskoristivost. [2]



Slika 13. Protustrujno strujanje [2]

2.5.3 Križno strujanje tekućina

Križno strujni izmjenjivači topline su uređaji za izmjenu topline u kojem tekućine teku okomito jedna na drugu što je prikazano na slici 14. Učinkovitost izmjenjivača topline koji koriste ovaj tip protoka možemo svrstati negdje između protustrujnih i istosmjernih izmjenjivača topline. [2]



Slika 14. Križno strujanje [2]

3. PRIJENOS TOPLINE

Toplinu možemo opisati kao oblik energije koja će se prenijeti između dva tijela ili sustava kad imamo razliku temperature. Toplina uvijek prelazi s toplijeg tijela na hladnije dok tijela ili sustavi ne uđu u temperaturnu ravnotežu. [4] . Toplina koja će se izmijeniti pri dodiru dvaju tijela različitih temperatura računa se formulom:

$$\Delta Q = c \times m \times \Delta t \quad (1)$$

ΔQ - dovedena toplina [J]

c - specifični toplinski kapacitet tog tijela [$\frac{J}{kg \times ^\circ C}$]

m - masa tijela [kg]

Δt - temperaturna razlika [$^\circ C$]

Toplina se može prenijeti na tri načina:

- Kondukcijom
- Konvekcijom
- Zračenjem

3.1.Kondukcija

Kondukcija je prijenos toplinske energije koji nastaje kada su materijali u izravnom dodiru, dok temperatura označava prosječnu energiju molekula unutar tog materijala. Topliji materijal koji će biti na višoj temperaturi pokazivat će više molekularnog gibanja. U slučaju dodira toplijeg materijala i hladnijeg koji je na nižoj temperaturi doći će do prijenosa toplinske energije između dva materijala, pri čemu hladniji materijal prima toplinu i postaje energiziraniji, dok topliji materijal gubi energiju. Proces će trajati sve dok se ne izjednače temperature materijala i postigne toplinska ravnoteža. [2]

Prijenosi topline kondukcijom možemo kvantificirati pomoću Fourierovog zakona, koji uključuje važno toplinsko fizičko svojstvo toplinsku vodljivost. Toplinska vodljivost materijala je pokazatelj koliko učinkovito materijal prenosi toplinu.

Fourierov zakon toplinske vodljivosti:

$$q = -k \times A \times \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

q -stopa prijenosa topline (W)

k -toplinska vodljivost materijala ($W/m \times K$)

A -poprečna površina kroz koju se toplina provodi (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ - temperaturni gradijent (K/m)

3.2. Konvekcija

Konvekcija je prijenos toplinske energije s površine putem gibanja tekućina kao što je zrak ili voda koji su zagrijani. Većina tekućina se širi kada se zagrije i stoga će imati manju gustoću i porasti u odnosu na druge dijelove tekućine koji su hladniji. Za primjer da se dio tekućine zagrije on će postati lakši odnosno imat će manju gustoću i početi se dizati prema gore. Dok će hladnija tekućina koja je gušća, tonuti prema dnu. Dobijemo ciklus koji rezultira prijenosom topline unutar tekućina. Ovaj proces stvara prirodnu ili slobodnu konveksijsku struju. Konvekcija se također može dogoditi kroz ono što se naziva prisilna ili potpomognuta konvekcija, kao kada se zagrijana voda pumpa kroz cijev, kao što je hidraulični sustav grijanja. [2]

Prijenos topline konvekcijom može se izračunati pomoću Newtonovog zakona:

$$q = h_c \times (T_p - T_f) \quad (3)$$

q - gustoća toplinskog toka [W/m^2]

h_c - koeficijent konvekcije [$W/(m^2 \times K)$]

T_f - temperatura čvrste plohe [K]

T_p - temperatura tekućine [K]

3.3. Zračenje

Toplinsko zračenje je način prijenosa toplinske energije putem elektromagnetskih valova koje isijava zagrijana površina ili predmet. Za razliku od kondukcije i konvekcije, toplinsko zračenje ne zahtijeva posredni medij za prijenos energijskog vala. Svi objekti čija je temperatura iznad apsolutne nule (-273,15 °C) emitiraju toplinsko zračenje u tipično širokom spektralnom rasponu. [2]

Prijenos topline zračenjem može se izračunati pomoću Stefan-Boltzmannovog zakona:

$$q = \epsilon \times \sigma \times A \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

q- stopa prijenosa topline zračenjem [W]

ϵ - emisiona sposobnost površine [bezdimenzionalno]

σ - Stefan-Boltzmannova konstanta [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$]

T_1 - površinska temperatura [K]

T_2 - temperatura okoline [K]

3.4 Prijenos topline u izmjenjivaču topline

Količina topline (Q), koja struji od nekog sredstva (G1), na drugo sredstvo (G2), kroz plohu površine (A), djelovanjem razlike temperaturi t_1 između sredstva G1 i t_2 sredstva G2, izračunavamo uz pomoć izraza: [5]

$$Q = \alpha_1 \times A(t_1 - t_{s1}) = \frac{\lambda}{\delta} \times A(t_{s1} - t_{s2}) = \alpha_2 \times A(t_{s2} - t_2) \quad (5)$$

Q - količina topline [W]

A - površina [m^2]

t_1 - temperatura sredstva G1 [°C]

t_2 - temperatura sredstva G2 [°C]

t_{s1} - temperatura površine materijala na plohi 1 [°C]

t_{s2} - temperatura površine materijala na plohi 2 [°C]

α_1 - koeficijent prijelaza topline od sredstva G1 na plohu temperature t_{s1} [$\text{W/m}^2 \times \text{°C}$]

α_2 -koeficijent prijelaza topline od plohe temperature t_{s2} na sredstvo G2 [$W/m^2 \times ^\circ C$]

λ - koeficijent toplinske vodljivosti [$W/m \times ^\circ C$]

ϑ - debljina plohe [m]

Sada postavimo:

$$Q = k \times A(t_1 - t_2) \text{ [W]} \quad (6)$$

Gdje je k-ukupni koeficijent prolaza topline

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ [W/m} \times ^\circ C] \quad (7)$$

Iz jednadžbe dobijamo

$$\alpha_1 \times A(t_1 - t_{s1}) = k \times A(t_1 - t_2) \quad (8)$$

Izvući ćemo t_{s1} koji je temperatura stjenke 1

$$t_{s1} = t_1 - \frac{k}{\alpha_1}(t_1 - t_2) \text{ [}^\circ C] \quad (9)$$

Dok je temperatura stjenke 2 t_{s2} jednako

$$t_{s2} = t_2 + \frac{k}{\alpha_2}(t_1 - t_2) \text{ [}^\circ C] \quad (10)$$

Drugi izraz ćemo koristiti za izračun ukupnog koeficijenta prijenosa topline za cijevi duljine jednog metra u izmjenjivačima topline s cjevastim površinama. [5]

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_u \times d_u} + \frac{1}{2\lambda} \times \ln \frac{d_v}{d_u} + \frac{1}{\alpha_v \times d_v}} \text{ [W/m} \times ^\circ C] \quad (11)$$

α_u - koeficijent prijelaza topline od sredstva u cijevi na cijev promjera d_u [$W/m^2 \times ^\circ C$]

α_v - koeficijent prijelaza topline od sredstva izvan cijevi na vanjski promjer d_v [$W/m^2 \times ^\circ C$]

d_u - unutarnji promjer cijevi [m]

d_v - vanjski promjer cijevi [m]

λ - toplinska vodljivost materijala cijevi [$W/m \times ^\circ C$]

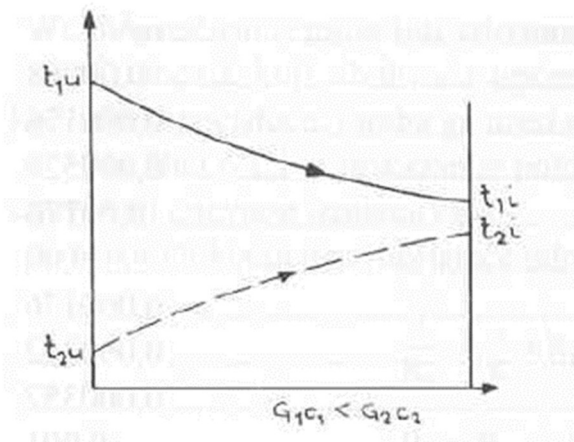
Pri strujanju kroz cijevi koeficijent prijelaza topline ovisiti će o više čimbenika:

- brzini strujanja
- stvara li se film na cijevima ili kapljevine kondenzata
- dali tekućina pjeni i imali u njoj zraka

3.5 Srednja temperaturna razlika za strujanje kroz cijevi

Srednja temperaturna razlika (Δt_s) za navedena strujanja iznosi

- Za istosmjerno strujanje



Slika 15. Dijagram za istosmjerno strujanje [5]

Na dijagramu (Slika.15.) prikazana je temperaturna razlika između vrućeg medija t_1 i hladnijeg medija t_2 u istosmjernom strujanju. Kako mediji putuju tako se temperature približavaju jedna drugoj sto se primjećuje na dijagramu, zbog toga dolazi jer se toplina prenijela s toplijeg na hladniji medij.

Srednju temperaturnu razliku (Δt_s) za istosmjerno strujanje iznosi [5]

$$\Delta t_s = \frac{(t_{1u} - t_{2u}) - (t_{1i} - t_{2i})}{\ln \left(\frac{t_{1u} - t_{2u}}{t_{1i} - t_{2i}} \right)} \quad (12)$$

Gdje su

Δt_s - srednja temperaturna razlika [°C]

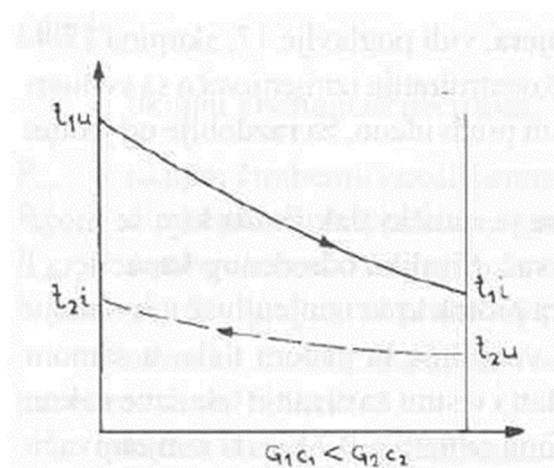
t_{1u} - temperatura vrućeg medija na ulazu [°C]

t_{2u} -temperatura hladnog medija na ulazu [°C]

t_{1i} - temperatura vrućeg medija na izlazu [°C]

t_{2i} – temperatura hladnog medija na izlazu [°C]

- Za protustrujno strujanje



Slika 16. Dijagram za protustrujno strujanje [5]

Na dijagramu (Slika.16.) prikazana nam je temperaturna razlika između vrućeg medija t_1 i hladnijeg medija t_2 u protustrujnom strujanju. Na dijagramu možemo vidjeti da hladniji medij ulazi u izmjenjivač topline na temperaturi t_{2u} i izlazi s temperaturom t_{2i} , pri čemu ne dolazi do značajnog povećanja temperature na izlazu. Dok se vrući medij hladi prema kraju. Možemo iz dijagrama zaključiti da će nam ovaj način strujanja dati bolji prijenos topline jer imamo veću temperaturnu razliku između dva medija u izmjenjivaču topline.

Srednju temperaturnu razliku (Δt_s) za protustrujno strujanje iznosi [5]

$$\Delta t_s = \frac{(t_{1u}-t_{2i})-(t_{1i}-t_{2u})}{\ln \left(\frac{t_{1u}-t_{2i}}{t_{1i}-t_{2u}} \right)} \quad (13)$$

Gdje su

Δt_s - srednja temperaturna razlika [°C]

t_{1u} - temperatura vrućeg medija na ulazu [°C]

t_{2u} - temperatura hladnog medija na ulazu [°C]

t_{1i} - temperatura vrućeg medija na izlazu [°C]

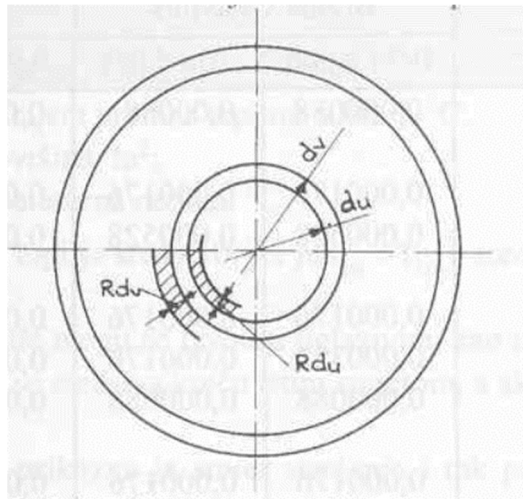
t_{2i} - temperatura hladnog medija na izlazu [°C]

3.6. Pad tlaka

Pad tlaka možemo definirati kao gubitak tlaka tijekom cijelog putovanja tekućine unutar izmjenjivača topline. Postoji određena točka za pad tlaka, iako to varira ovisno o tome za što će se izmjenjivač topline koristiti, kako je dizajniran i vrsti tekućine koja će se koristiti. Imamo najveći dopušteni pad tlaka, a naš cilj kao inženjera trebao bi biti približiti se toj točki pada tlaka bez prelaska preko nje. Različiti slučajevi nam zahtijevaju da poduzmemo mjere da smanjimo pad tlaka ali ovisno o situaciji možda će se morati pad tlaka povećati. [6]

4. OBRAŠTANJE IZMJENJIVAČA TOPLINE

Obraštanje možemo definirati kao nakupljanje nepoželjnih tvari na površini izmjenjivača topline. Tijekom rada izmjenjivača topline radi raznih tekućina koje ćemo hladiti ili zagrijavati, površina za prijenos topline će se zaprljati. To onečišćenje mogu biti različitih vrsta kao što su kamenac, različite organske tvari, korozivni materijali ili talozi iz radnih tekućina. To nam dovodi do povećanja toplinskog otpora i smanjenja učinkovitosti. Obraštanje može biti toliko da će se izmjenjivač pokvariti i morati će se povući iz rada zbog zamjene ili čišćenja. Posljedično, obraštanje uzrokuje ogroman ekonomski gubitak jer izravno utječe na početne troškove i performanse izmjenjivača topline. [3]



Slika 17. Položaj nečistoća na unutarnjoj i vanjskoj stjenki cijevi [5]

Ukupni koeficijent nečistoće odredit će se prema izrazu

$$\frac{1}{K_u} = \frac{1}{K} + R_{du} + R_{dv} \quad (14)$$

Gdje su

$\frac{1}{K_u}$ - ukupni koeficijent nečistoće [$m^2 \times ^\circ C / W$]

R_d - ukupni čimbenik onečišćenosti na stjenkama cijevi [$m^2 \times ^\circ C / W$]

R_{du} - čimbenik onečišćenosti na unutarnjoj strani cijevi [$m^2 \times ^\circ C / W$]

R_{dv} - čimbenik onečišćenosti na vanjskoj strani cijevi [$m^2 \times ^\circ C / W$]

K - ukupni koeficijent prolaza topline za čistu cijev [$W/m \times ^\circ C$]

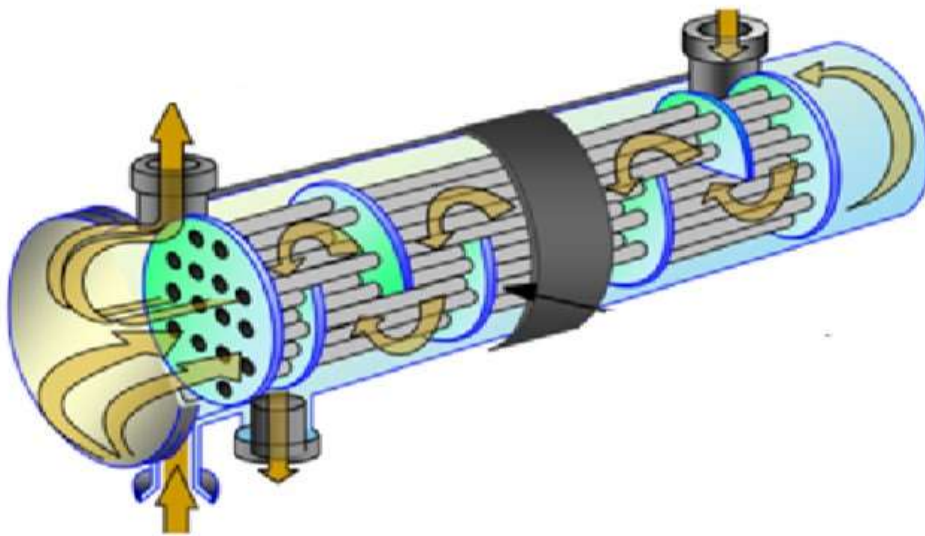
5. VRSTE IZMJENIVAČA TOPLINE

Na brodovima se primjenjuju različiti izmjenjivači topline koji se biraju prema specifičnim potrebama i zahtjevima. Odabir tipa izmjenjivača topline određen je predviđenom svrhom, jer se gotovo svi brodski sustavi oslanjaju na ove uređaje za hlađenje ili grijanje tekućina.

5.1 Cijevni izmjenjivači topline

Jedan od najčešćih izmjenjivača topline koji se koristi na brodovima je izmjenjivač topline cijevnog tipa. Ovaj izmjenjivač sastoji se od niza cijevi postavljenih unutar većeg omotača, pri čemu jedna tekućina prolazi kroz cijevi a druga tekućina kroz omotač tako zvanu školjku. Na krajevima izmjenjivača su dvije krajnje točke koje su završene s obje strane, dok je cijeli omotač postavljen u niz cijevi. Cijevni izmjenjivači topline nam zahtijevaju malo održavanja, zbog toga je jako korišten u brodskim sistemima. [7]

5.1.1 Konstrukcija cijevnog izmjenjivača topline

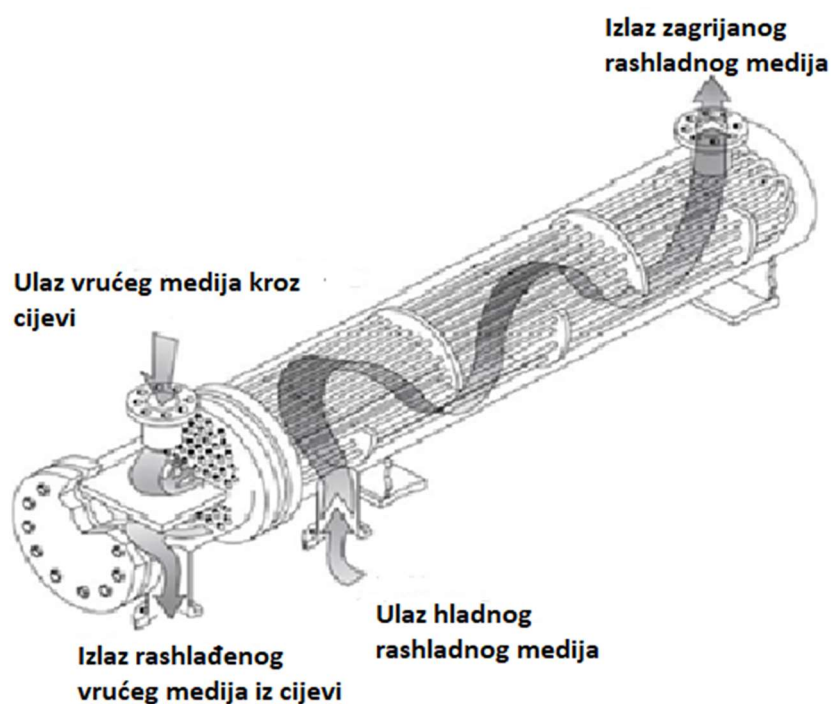


Slika 18. Prikaz strujanja u cijevnom izmjenjivaču topline [8]

Cijevni izmjenjivači topline (slika 18.) izrađeni su od okruglih cijevi postavljenih u cilindričnu školjku s cijevima paralelnima sa omotačem. Jedna medij struji unutar cijevi, dok drugi mediji struji poprijeko i uzduž osi izmjenjivača. Glavne komponente ovog izmjenjivača su cijevi (snop cijevi), omotač, prednja glava, stražnja glava, pregrade i ploče za cijevi. [3]

5.1.2. Princip rada cijevnog izmjenjivača topline

Cijevni izmjenjivač topline (slika 19.) podijeljen je u dva glavna sustava koji se nazivaju omotač i cijevna strana. Svaki sustav u cijevnom izmjenjivaču ima svoj tekući medij. Za primjer uzet će se da omotačka strana sadrži vruće ulje koje moramo ohladiti dok cijevna strana u ovom slučaju sadrži vodu za hlađenje. Rashladna voda ulazi u izmjenjivač topline i teče kroz cijevi. Vruće ulje ulazi u izmjenjivač topline i teče kroz omotač koja okružuje cijevi. Dvije tekućine se ne miješaju jer stijenke cijevi to sprječavaju. Budući da se mediji ne miješaju izravno, nego strujanjem tekućine, prijenos topline odvija se konvenkcijom. Ulje iz izmjenjivača izlazi hladnije dok se rashladna voda zagrije. [9]



Slika 19. Prikaz rada i strujanja u cijevnom izmjenjivaču topline [10]

5.1.3 Prednosti cijevnog izmjenjivača topline

- Jeftiniji u odnosu na pločaste izmjenjivače topline.
- Relativno jednostavan dizajn i jednosatan za održavanje
- Prikladniji za više tlakove i temperature
- Pad tlaka manji je u odnosu na pločasti
- Lako odrediti i izolirati cijevi koje cure
- Cijevi mogu biti sa dvostrukim stjenkama kako bi se smanjili vjerojatnost curenja tekućine na cijevima ili omotaču
- Lako postavljenije žrtvenih anoda [9]

5.1.4. Primjena cijevnog izmjenjivača topline na brodu

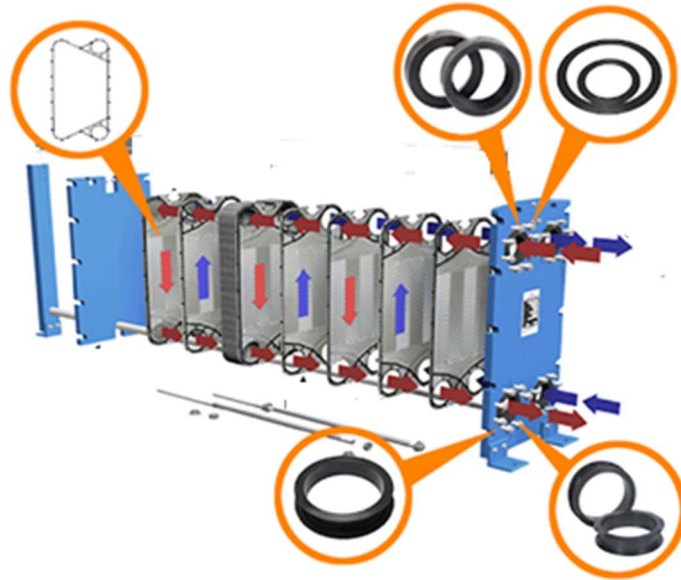
Ovi tipovi izmjenjivača topline najčešće se koriste za vodu za hlađenja motora i ulja za podmazivanje. Tekućina s kojom se izmjenjuje toplina tradicionalno je morska voda.

5.2. Pločasti izmjenjivači topline

Brodski pločasti izmjenjivači topline imaju ključnu ulogu u sustavu hlađenja brodskih motora. Oni su kompaktni i učinkoviti uređaji koji prenose toplinu iz motornog ulja ili rashladne tekućine u okolnu morsku ili slatku vodu, pomažući u održavanju optimalne radne temperature sustava.

5.2.1 Konstrukcija pločastog izmjenjivača topline

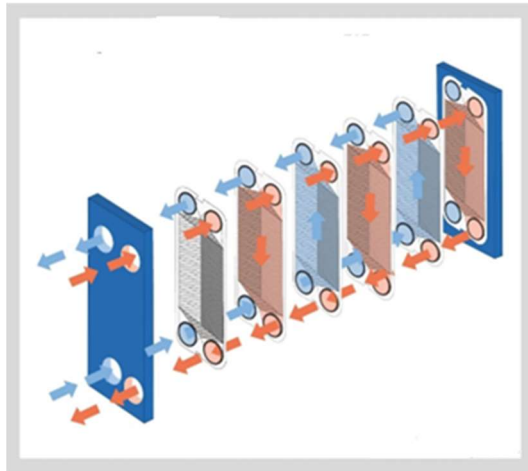
Pod konstrukcijom pločastog izmjenjivača topline ubrajaju se ploče koje su poredane u nizu od prednje i stražnje završne ploče koje su izrađene od mekog čelika (slika 20.). Svrha završnih ploča je da sve ploče drže na okupu i na njima se nalaze brtve. Matice koje se pričvršćuju i zatežu na zatezne vijke. Pritezni vijci pristaju u utore na bočnoj strani i protežu se cijelom duljinom izmjenjivača na njih se stavljaju vijci koji stišću sve ploče i stvara se vodonepropusna brtva. [11]



Slika 20. Prikaz dijelova pločastog izmjenjivača topline [12]

5.2.2. Princip rada pločastog izmjenjivača topline

Princip rada pločastog izmjenjivača je relativno jednostavan, na način da će svaka druga ploča biti ispunjena vrućim ili hladnim medijem. Za primjer vrući medij ulazi u pločasti izmjenjivač kroz ulaz za vrući medij, teći će u prostor između ploča, ali ne i u prostor sljedeće ploče jer mu to ne dozvoljavaju brtve. U isto vrijeme hladniji medij će ući u izmjenjivač topline kroz ulaz hladnog medija, ali ovaj put su brtve postavljene tako da dopuštaju protok hladnog medija u prostor u kojem nema vrućeg medija. Proces se nastavlja sve do završnih ploča, te vrući i hladniji medij izlaze iz pripadajućeg izlaza i proces se nastavlja. Proces rada najbolje možemo primijetiti na slici 21. [11]



Slika 21. Princip rada pločastog izmjenjivača topline [13]

5.2.3. Prednosti pločastog izmjenjivača topline

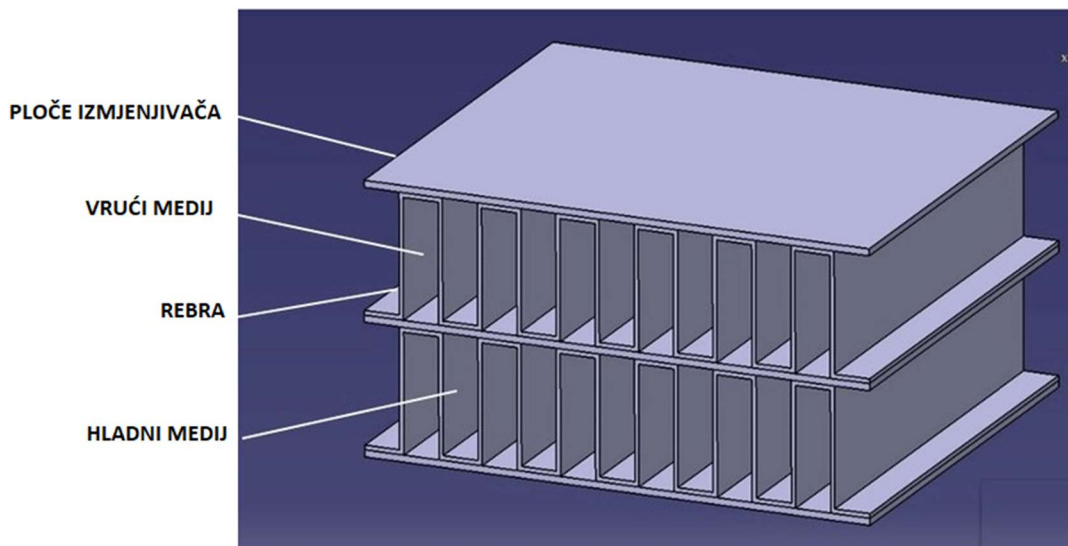
- Pločasti izmjenjivači topline imaju manju masu, zahtijevaju manje prostora i učinkovitiji su u usporedbi s drugim izmjenjivačima topline iste veličine.
- Zamjena i čišćenje ploča je jednostavan zadatak zbog njihove lakoće rastavljanja.
- Za razliku od cijevnih izmjenjivača topline, pločasti izmjenjivači topline ne zahtijevaju dodatni prostor za rastavljanje. [14]

5.2.4. Primjena pločastog izmjenjivača topline na brodu

Pločasti izmjenjivači topline općenito se koriste kao hladnjaci za sustave vodenog hlađenja, hladnjaci mazivog ulja i kao grijači za pročištače mazivog ulja.

5.3. Rebrasti izmjenjivač topline

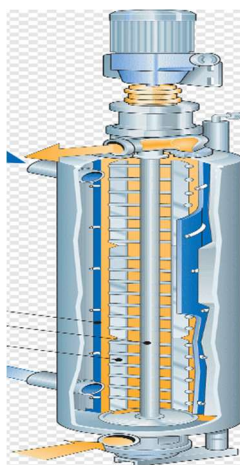
Po konstrukciji vrlo sličan pločastom izmjenjivaču, zbog tog što i jedan i drugi izmjenjivač dodaju rebra kako bi povećali učinkovitost. Kao materijal izrade najčešće se koristi legura aluminija koja pomaže u smanjenju težine jedinice i nudi veću učinkovitost prijenosa topline. Prikaz konstrukcije rebrastog izmjenjivača najbolje se vidi na slici 22. gdje se jasno mogu vidjeti rebra u izmjenjivaču topline. Učinkovitost ovog izmjenjivača topline veća je nego kod pločastog, ali su početni troškovi instalacije i održavanja veći. [3]



Slika 22. Prikaz konstrukcije rebrastog izmjenjivača topline [15]

5.4. Izmjenjivač topline s dinamičkom struganom površinom

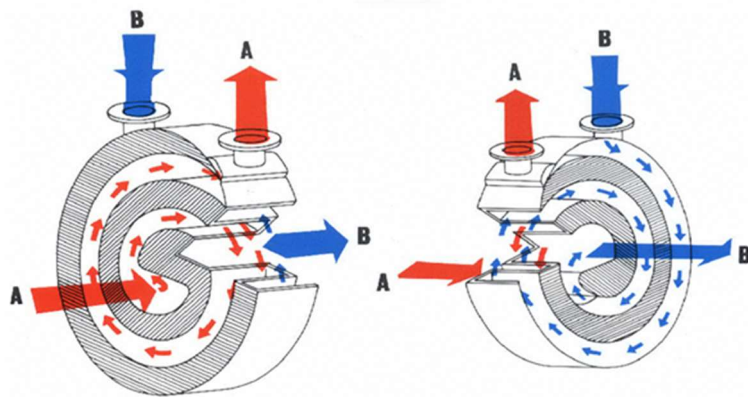
Izmjenjivač topline s dinamičkom struganom površinom sadrži veliku struganu površinu što mu pomaže za postizanje dužeg vremena rada. Dizajniran je na način da se koristi za prijenos topline viskoznog medija i sprečavanja nakupljanja naslaga na površinama. Ovaj izmjenjivač topline ima mogućnost automatskog čišćenja što nam daje manji trošak održavanja, bolju učinkovitost prijenosa topline i smanjenje onečišćenja sustava. Odstranjivanje naslaga se vrši jedinicom s noževima kojom upravlja osovina na motorni pogon s mjeračem vremena koji se kreće unutar okvira. [16]



Slika 23. Prikaz presjeka izmjenjivača topline s dinamičkom struganom površinom [17]

5.5 Spiralni izmjenjivač topline

Spiralni izmjenjivač topline možemo svrstati kao specijalizirani tip izmjenjivača topline koji koristi spiralno oblikovane kanale unutar cilindričnog kućišta za prijenos topline između dvaju medija. Kako mediji struje kroz izmjenjivač topline stvara se turbulentni i spiralni protok što se može vidjeti na slici 24. Kako je protok tekućine u spiralnom tipu rotacijski dolazi do strujnog toka koji sam po sebi posjeduje svojstvo samo čišćenja unutar spiralnog tijela. Ovaj izmjenjivač ima veću učinkovitost prijenosa topline i smanjenu potreba za održavanjem. Početni trošak je veći, ali zbog svoje kompaktnosti značajno štedi prostor, dok su mu troškovi održavanja najniži u usporedbi s drugim tipovima iste veličine.



Slika 24. Prikaz rada spiralnog izmjenjivača topline [18]

6. Kondenzatori i isparivači

Kondenzatori i isparivači su izmjenjivači topline koji koriste dvofazni mehanizam prijenosa topline. Kondenzatori su uređaji za izmjenu topline koji uzimaju zagrijani plin ili paru i hlade ih do točke kondenzacije, pretvarajući plin ili paru u tekućinu. U isparivačima, proces prijenosa topline mijenja agregatno stanje iz tekućeg oblika u oblik plina ili pare.

6.1. Kondenzator

Kondenzator je dvofazni protočni izmjenjivač topline u kojem se stvara toplina od pretvaranja pare u tekućinu (kondenzacija) i stvorena toplina uklanja se iz sustava pomoću rashladne tekućine.

Prema konstrukciji kondenzatore dijelimo na:

- Kondenzatori hlađeni zrakom
- Kondenzatori hlađeni vodom
- Kondenzatori evaporativnog tipa

6.1.1. Kondenzatori hlađeni zrakom

Zrakom hlađeni kondenzatori koriste okolni zrak za uklanjanje topline iz pare unutar cijevi. Visokotemperaturna para prenosi toplinu na stijenke cijevi, a zatim se toplina rasipa u zrak putem prirodne ili prisilne konvekcije. Prirodna konvekcija koristi atmosferski zrak, pri čemu se topliji zrak diže dok se hladniji spušta, bez pomoći ventilatora. Prisilna konvekcija koristi ventilatore za bolje cirkuliranje zraka ili tekućine preko zavojnica, što će povećati prijenos topline. Kondenzatori s prisilnom konvekcijom idealni su za veće sustave hlađenja, poput klima uređaja i rashladnih jedinica.[19]

6.2.2 Kondenzatori hlađeni vodom

Kod kondenzatora hlađenih vodom, voda se koristi kao rashladni medij. Koristiti će se u većim rashladnim sustavima jer su veoma prikladni za primjene s velikim protokom rashladnog sredstva.[19]

Kondenzatore hlađene vodom možemo podijeliti u tri podvrste:

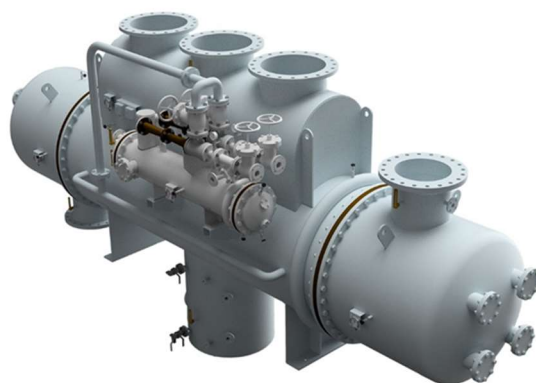
- Kondenzator tipa cijev u cijevi
- Kondenzator tipa s omotačem i zavojnicom
- Kondenzator tipa s omotačem i cijevi

6.2.3. Kondenzatori evaporativnog tipa

Kondenzatori evaporativnog tipa koriste kombinaciju vodenog i zračnog hlađenja. Voda se raspršuje preko zavojnica u kondenzatoru te dolazi do isparavanja u struji zraka koju ventilator uvlači s dna i izbacuje na vrh. Isparena voda apsorbira toplinu iz rashladnog sredstva koja ga kondenzira iz plinovitog u tekuće stanje, te dolazi do hlađenja. Evaporativni kondenzatori imaju reputaciju energetski učinkovitih i koriste se u situacijama kada je smanjenje potrošnje energije ključno.[19]

6.2.4. Parni kondenzator

Parni kondenzatori su kondenzatori u kojima se ispušna para iz parne turbine kondenzira pomoću rashladne vode. Tijekom kondenzacije radna tvar u ovom slučaju para mijenja svoju fazu iz pare u tekućinu. Često je korišten u brodskim sustavima koji koriste paru, kao pogonsko sredstvo, za grijanje goriva i tereta, za proizvodnju električne energije, za pogon pumpi, ovisno o tipu broda na kojem je parni kondenzator ugrađen. Parnom kondenzatoru je primarni cilj održavanje niskog tlaka na ispušnoj strani turbine, što omogućuje bolje širenje pare i povećava pretvorbu dobivene energije u mehanički rad. Sekundarni cilj je opskrba generatora pare kondenziranom vodom koja se ponovno može koristiti kao napojna voda. Upotreba kondenzatora u parnoturbinskom postrojenju ima za cilj poboljšanje učinkovitosti sustava smanjenjem ispušnog tlaka pare ispod atmosferskog tlaka čime se povećava iskoristivost sustava. [20]



Slika 25. Parni kondenzator [21]

Druge funkcije parnog kondenzatora su:

- Stvaranje vakuuma za kondenzaciju pare
- Uklanjanje plinova koji se ne mogu kondenzirati iz kondenzata
- Omogućuje nepropusnu barijeru između kondenzata i vode za hlađenje
- Omogućuje nepropusnu barijeru protiv prodora zraka, sprječavajući prekomjerni povratni pritisak na turbinu

6.3. Isparivač

Isparivači su dvofazni izmjenjivači topline koji prenose toplinu iz tekućine u rashladno sredstvo gdje dolazi do promjene agregatnog stanja iz tekućeg u plinovitog odnosno dolazi do isparavanja. Isparivač je zatvorena posuda koja s pomoću kompresora i regulacijskog ventila, umjetno stvara različite tlakove što omogućuje postizanje različitih temperatura isparavanja. Mijenjanjem tlaka u isparivaču mijenja se temperatura isparavanja rashladnog medija, što znači da možemo hladiti na željenu temperaturu ovisno o mediju kojeg želimo podvrgnuti procesu hlađenja.[22]

Prema namjeni isparivači se mogu podijeliti u slijedeće skupine

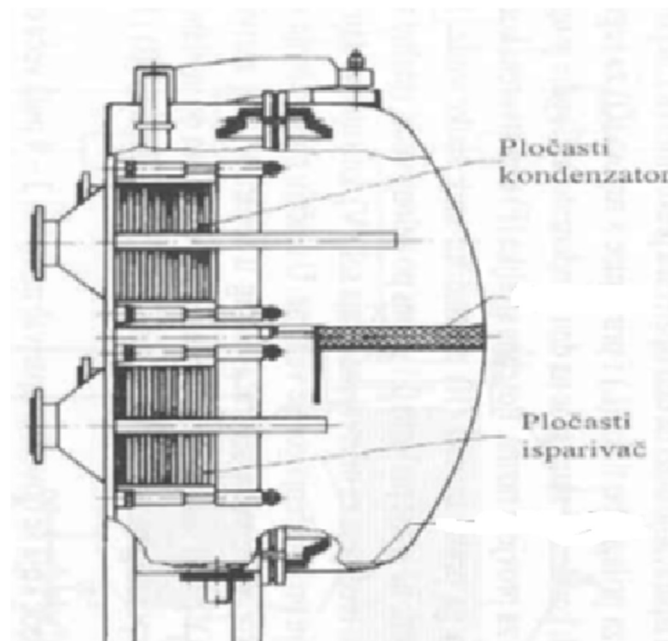
- isparivači za hlađenje kapljevina,
- isparivači za hlađenje zraka i plinova
- isparivači za hlađenje i smrzavanje proizvoda kontaktnim prijenosom topline
- specijalni isparivači

6.3.1 Brodski evaporator (isparivač) – generator slatke vode

Generator slatke vode može se svrstati kao jedan od najvažnijih uređaja na brodu, bez kojeg život na brodu ne bi bio moguć. Proizvedena svježa vodu iz generatora slatke vode koristi se za piće, kuhanje, pranje također se koristi u sustavima koji koriste svježju vodu kao rashladno sredstvo. Brodski generator slatke vode zanimljiv je u pogledu izmjenjivača topline jer se sastoji od dva izmjenjivača topline od kojih je jedan kondenzator, a drugi isparivač. [23]

Svježa voda iz generatora slatke vode dobiva se isparavanjem. Za proizvodnju slatke vode potrebni su morska voda i toplina, koje su u izobilju na moru i u brodskom sustavu. Slatka voda može se proizvoditi isparavanjem mora uz korištenje toplinskog izvora. [23]

Na brodu se izvor topline uzima iz vode koja hladi omotač motora. Ta voda će imati temperaturu od gotovo 70 °C. Međutim, voda se neće moći ispariti na ovoj temperaturi, jer voda isparava na 100 °C uz atmosferski tlak. Stoga se tlak zraka snižava kako bi morsku vodu mogli ispariti na 70 °C to će se postići vakuumom unutar komore gdje se događa isparavanje. Vakuum iznosi 0.1 do 0.2 bara koji uzrokuje isparavanje mora na manjoj temperaturi.



Slika 26. Prikaz djela sustava evaporatora u kojem su prikazani i kondenzator i isparivač [5]

7. NEDOSTACI CIJEVNIH I PLOČASTIH IZMJENJIVAČA TOPLINE

U brodskom sustavu cijevni i pločasti izmjenjivači topline široko se koriste zbog svoje pouzdanosti, ali postoje određeni nedostaci koji mogu ograničiti njihovu primjenu i učinkovitost.

7.1 Nedostaci cijevnih izmjenjivača topline

- Veličina izmjenjivača. Cijevni izmjenjivači topline obično su veći od drugih vrsta, što predstavlja problem kada je prostor ugradnje ograničen.
- Veći trošak: imaju veći početni trošak radi materijala i oblika izrade, a i buduće održavanje i onečišćenje mogu uzrokovati dodatne troškove.
- Ograničena produktivnost prijenosa topline. Iako su cijevni izmjenjivači veoma učinkoviti i pouzdani, njihova učinkovitost se smanjuje pri niskim temperaturnim razlikama ili ne idealnim uvjetima protoka. Što zahtjeva ugradnju većih izmjenjivača za postizanje željenih performansi.
- Veća mogućnost obraštanja. Cijevni izmjenjivači topline osjetljivi su na onečišćenje, osobito kod tekućina s česticama ili mineralima, zahtijeva češće čišćenje i dovodi do smanjene učinkovitosti.
- Otežano čišćenje i održavanje. Iako su cijevni jednostavni za očuvanje, čišćenje i održavanje će biti složenije i dugotrajnije od drugih izmjenjivača.
- Ograničena prilagodljivost promjenama procesa: Jednom kada su u radu, manje su prilagodljivi promjenama, što zahtijeva značajno vrijeme zastoja i troškove.
- Povećana osjetljivost na toplinski stres. Oskakanje temperaturne razlike dovodi do toplinskog stresa koje mogu dovesti do loma tijekom vremena.
- Pad visokog tlaka: mogu se suočiti s velikim padom tlaka, posebno kod su složeniji dizajni u pitanju, što dovodi do povećanja potrošnje energije. [24]

7.2 Nedostaci pločastog izmjenjivača topline

- Veći početni troškovi. Početni trošak pločastog izmjenjivača će biti viši zbog upotrebe skupih materijala poput titana od koji su izgrađene ploče.
- Teže uočavanje curenja. Razlog tomu je težina pronalazanja mjesta curenja u izmjenjivaču, u kojem ne možemo jednostavno provesti tlačno ispitivanje.
- Ograničeni radni tlak. Pločasti nisu prikladni za primjene pod visokim tlakovima jer brtve ne bi mogle izdržati tolike tlakove.
- Određena radna temperatura. Ploče u pločastim izmjenjivačima su ograničeni na određenu radnu temperaturu i nisu prikladna za visoke tlakove.
- Pad tlaka. Radi užih puteva između ploča dolazi do većeg pada tlaka i veće potrošnje energije.
- Veća vjerojatnost zaprljanja. Kod pločastih izmjenjivača imamo veće površine i užu puteve protoka, te se povećavaju šanse zaprljanja samih ploča. Što dovodi do smanjenja učinkovitosti. [25]

8. ODRŽAVANJE CIJEVNIH I PLOČASTIH IZMJENJIVAČA TOPLINE

Prije svakog održavanja treba biti upućen u rad pojedinog izmjenjivača bilo to pomoću priručnika ili drugih izvora na brodu. Brzo pokretanje i gašenje bez odgovarajućeg predznanja jedan je od glavnih uzroka oštećenja izmjenjivača topline, koja dolazi zbog ljudske greške. Redovito i efikasno održavanje omogućuje nam optimalni prijenos topline, maju opasnost od kvarova i povećava energetska učinkovitost brodskog sustava.

8.1 Održavanje cijevnih izmjenjivača topline

- Redoviti pregled. U određenim intervalima potrebno je pregledavati unutarnje i vanjske cijevi, uključujući temperature i tlakove kako bi smanjili mogućnost kvarova.
- Čišćenje. Kako zaprljanje smanjuje učinkovitost potrebno je redovito čišćenje s pomoću kemijskog čišćenja, mehaničko čišćenje s pomoću četke ili visokotlačnim mlazom vode (slika 27.).



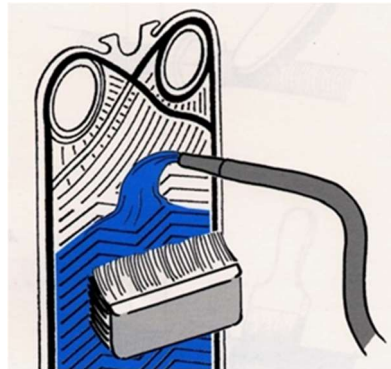
Slika 27. Prikaz čišćenja cijevnog izmjenjivača topline [26]

- Provjera brtvi. Redoviti pregled brtvi zbog mogućnosti istrošenosti i curenja te ih po potrebi zamijeniti.
- Analiza tekućina : redovita provjera tekućine pomaže u sprečavanju i otkrivanju problema kao što su korozija, kamenac ili razne kontaminacije.
- Provjera brzine strujanja medija. Održavanje brzine medija unutar preporučenih granica sprječava eroziju i vibracije te poboljšava učinkovitost.

- Provjera izolacije. Redovitim pregledima izolacije osigurati će se kontrola temperature. [27]

8.2 Održavanje pločastih izmjenjivača topline

- Redoviti pregled. Redoviti pregled imali znakova korozije, različitih prljavština i oštećenja pomaže u prevenciji problema.
- Čišćenje. Redovitim čišćenjem ploča od naslaga i kamenca osigurati će se bolji prijenos topline. Metode čišćenja koje se koriste su kemijsko čišćenje, mehaničko čišćenje i visokotlačni mlaz vode (slika 28.).



Slika 28. Prikaz čišćenja ploča, pločastog izmjenjivača topline [28]

- Mijenjanje brtvi. Zbog rada izmjenjivača i izloženosti toplini i raznim kemikalijama brtve se istroše, pa je njihova pravovremena zamjena ključna za sprječavanje curenja.
- Tlačno ispitivanje. Provodi se u određenim intervalima kako bi se detektiralo curenje i slabosti između ploča.
- Analiziranje tekućina. Povremeno provjeravanje analize tekućine, u kojoj se procjenjuje pH, tvrdoća i korozivnost tekućine. Što će pomoći u sprječavanju štetnih utjecaja na izmjenjivač.
- Promatranje radnih uvjeta. Redovito provjeravanja radnih uvjeta poput protoka, temperature i tlakova osiguravaju optimalne radne uvjete i spriječiti će probleme poput kavitacije i toplinskog stresa.[29]

9. NOVE TEHNOLOGIJE HLAĐENJA NA BRODOVIMA

U posljednjih nekoliko godina brodska industrija uvodi sve više promjena u brodske sustave radi sve strožih regulacija u emitiranju CO₂ i stakleničkih plinova u atmosferu od strane IMO-a (International Maritime Organization). Brodski sustav se pokušava projektirati da bude što više energetski učinkovit. Tako brodovlasnici mogu uvesti nekoliko tehnologija da bi ispunili zahtjeve. Jedna od tih tehnologija s pogleda na izmjenjivače topline uključuje morsku pumpu s promjenom frekvencije (VFD - Variable Frequency Drive). [30]

Kod većine brodskih sustava, sustav je dizajniran za temperaturu mora od 32 °C. Dok je stvarna temperatura mora ispod projektirane ovisno o poziciji broda, te se smanjuje toplinski kapacitet pomoćnih strojeva. Pri tome ovaj sustav centralnog hlađenja je neučinkovit jer glavno hlađenje ima pumpa mora koja uvijek radi sa 100 % kapaciteta bez obzira na stvarnu temperaturu mora. Dakle, jasno je da će broderske tvrtke pokušati povećati iskoristivost sustava i smanjiti potrošnju goriva. Sustav koji je uveden je ESS (Energy Saving System). To je računalni sustav za optimizaciju centralnog rashladnog sustava broda. Štedi energiju smanjujući potrošnju goriva motora, broskog generatora, također pomaže u smanjenju emisija stakleničkih plinova.

Sustav radi na principu promatranja i kontroliranja brzine glavne rashladne pumpe mora. Kako bi se povećao ili smanjio kapacitet pumpe te time uštedjeli potrebnu energiju za održavanje rada pumpe mora na 100 % kapaciteta. Sustavom se može upravljati automatski i ručnom kontrolom radi uštede energije. Također, sustav radi na principu promatranja temperature mora, niske temperature slatke vode i položaj 3-putnog ventila.

Pri promatranju tih parametara koriste se senzori poput

- Senzor ulazne temperature mora
- Senzor izlazne temperature mora
- Senzor temperature slatke vode odnosno izlaz iz 3-putnog ventila
- Senzor ulaznog tlaka mora
- Senzor diferencijalnog tlaka koji je instaliran na svaku pumpu

Sustav je također u mogućnosti staviti u pogon drugu pumpu mora ako jedna ne zadovoljava potrebno hlađenje, također može smanjiti brzinu i jedne i druge pumpe ako su obje na prevelikom kapacitetu koji nije potreban.

10. ZAKLJUČAK

U velikim brodskim sustavima i strojarnicama, izmjenjivači topline često prolaze nezapaženo, iako njihov utjecaj na efikasnost sustava nije zanemariv. Zbog njihovog efikasnog svojstva odvođenja i prenošenja topline, koje je vrlo bitno u brodskim strojarnicama. Iako se izmjenjivači topline mogu smatrati statičkim komponentama bez pokretnih dijelova, njihovo održavanje je od iznimne važnosti za očuvanje efikasnosti ne samo izmjenjivača topline, već i cijele brodske strojarnice. Njihovo održavanje i pregled je bitna stavka svake osobe koja je zadužena za njihov rad i održivost.

S obzirom na razvoj tehnologije, izmjenjivači topline će se također nastaviti mijenjati kako bi se postigli što efikasniji prijenosi topline, čime se želi postići smanjenje potrošnje goriva. Ključni cilj ovih promjena je smanjenje potrošnje goriva što posljedično dovodi do smanjenja emisije stakleničkih plinova. U ovom završnom radu opisana je jedna od tih inovativnih tehnologija koja omogućava postizanje veće efikasnosti u prijenosu topline i smanjenju emisije štetnih plinova. Novije tehnologije ne samo da će poboljšati operativnu učinkovitost, već će i doprinijeti poboljšanju brodske strojarnice pa tako i održivosti pomorske industrije.

Popis literature

- [1] Dželalija, A. : Izmjenjivači topline u brodskim rashladnim uređajima, Dubrovnik, 2020.
<https://repozitorij.unidu.hr>
- [2] Romina Ronquillo, <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/understanding-heat-exchangers>
- [3] Hongtan Liu, Anchasa Pramuanjaroenkij, S. Kakaç , Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, Third Edition .2012.
- [4] Enciklopedija.hr , <https://www.enciklopedija.hr/clanak/toplina>
- [5] Velimir Ozretić, „Brodski pomoćni strojevi i uređaji, 1996.
- [6] Enerquip Thermal Solutions, <https://www.enerquip.com/shell-side-fluid-challenges-increasing-the-pressure-drop/>
- [7] Wildon Engineering, <https://wildonengineering.com.au/different-types-of-heat-exchangers-used-on-ships/>
- [8] <https://arvenstraining.com/en/basics-of-shell-tube-heat-exchangers/>
- [9] Savree, encyclopedia, <https://savree.com/en/encyclopedia/shell-and-tube-type-heat-exchanger>
- [10] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shell-and-tube-exchangers>
- [11] Paul Evans, https://theengineeringmindset.com/how-plate-heat-exchangers-work/#google_vignette
- [12] <https://viser.co.kr/en/products/introduction-of-gasket-business-products/plate-heat-exchanger-components/>
- [13] <https://www.alfalaval.my/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/heat-exchanger/how-plate-heat-exchanger-work/>
- [14] Savree, encyclopedia, <https://savree.com/en/encyclopedia/plate-heat-exchanger-phe>
- [15] https://www.researchgate.net/figure/Core-of-plate-fins-heat-exchanger_fig1_317068566
- [16] Anish, <https://www.marineinsight.com/refrigeration-air-conditioning/types-of-heat-exchangers-on-a-ship/>
- [17] <https://www.pngegg.com/en/png-pszql>
- [18] https://www.kurose-spiral.com/sh_advantage.htm
- [19] Testbook, <https://testbook.com/mechanical-engineering/types-of-condensers>
- [20] Mohd Parvez, https://www.researchgate.net/publication/324168245_Steam_Condenser
- [21] <https://farad.gr/products/copt-condensers/>

- [22] Branimir Pavković, Tehnika hlađenja, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka.
- [23] KaranC, <https://www.marineinsight.com/guidelines/converting-seawater-to-freshwater-on-a-ship-fresh-water-generator-explained/>
- [24] Cool fab equipments, <https://www.coolfabequipments.com/disadvantages-for-shell-and-tube-heat-exchangers/>
- [25] Micet craft, <https://www.micetcraft.com/advantages-and-disadvantages-of-plate-heat-exchangers/>
- [26] <https://www.heinenhopman.com/products/rotary-tube-cleaner/>
- [27] Engineering updates, <https://www.linkedin.com/pulse/troubleshooting-maintenance-shell-tube-heat-exchanger>
- [28] <https://www.shphe-en.com/news/how-to-clean-a-plate-heat-exchanger>
- [29] Engineering updates, <https://www.linkedin.com/pulse/plate-heat-exchanger-operation-maintenance-engineering-updates-n5gmc>
- [30] DESMI, <https://www.desmi.com/news/desmi-optisave-offers-simple-power-management-for-energy-efficiency-compliance/>

POPIS SLIKA

Slika 1. Načelna podjela izmjenjivača topline [1]	2
Slika 2. Rekuperator [3]	2
Slika 3. Regenerator [3]	3
Slika 4. Prijenos topline izravnim kontaktom [3]	3
Slika 5. Prijenos topline neizravnim kontaktom [3]	3
Slika 6. Prikaz cijevi u cijevnom izmjenjivaču topline [3]	4
Slika 7. Prikaz ploča u izmjenjivaču topline [3]	4
Slika 8. Prikaz ploča s proširenom površinom [3]	5
Slika 9. Jednofazni prijenos topline [3]	6
Slika 10. Isparavanje [3]	6
Slika 11. Kondenzacija [3]	6
Slika 12. Istosmjerno strujanje [2]	7
Slika 13. Protustrujno strujanje [2]	8
Slika 14. Križno strujanje [2]	8
Slika 15. Dijagram za istosmjerno strujanje [5]	13
Slika 16. Dijagram za protustrujno strujanje [5]	14
Slika 17. Položaj nečistoća na unutarnjoj i vanjskoj stjenki cijevi [5]	16
Slika 18. Prikaz strujanja u cijevnom izmjenjivaču topline [8]	17
Slika 19. Prikaz rada i strujanja u cijevnom izmjenjivaču topline [10]	18
Slika 20. Prikaz dijelova pločastog izmjenjivača topline [12]	20
Slika 21. Princip rada pločastog izmjenjivača topline [13]	21
Slika 22. Prikaz konstrukcije rebrastog izmjenjivača topline [15]	22
Slika 23. Prikaz presjeka izmjenjivača topline s dinamičkom struganom površinom [17]	22
Slika 24. Prikaz rada spiralnog izmjenjivača topline [18]	23
Slika 25. Parni kondenzator [21]	26
Slika 26. Prikaz djela sustava evaporatora u kojem su prikazani i kondenzator i isparivač [5]	27
Slika 27. Prikaz čišćenja cijevnog izmjenjivača topline [26]	30
Slika 28. Prikaz čišćenja ploča, pločastog izmjenjivača topline [28]	31