

Ušteda energije na brodu s fokusom na trup broda

Bender, Mato

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:321292>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

BRODOSTROJARSTVO

UŠTEDA ENERGIJE NA BRODU S FOKUSOM NA TRUP
BRODA

ZAVRŠNI RAD

mentor:

doc.dr.sc. JADRAN ŠUNDRICA

pristupnik:

MATO BENDER

Dubrovnik, lipanj 2019.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

Preddiplomski sveučilišni studij Brodostrojarstvo

Ur. broj:

Dubrovnik, lipanj 2019.

Kolegij:

mentor: doc. dr. sc. JADRAN ŠUNDRICA

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

pristupnik: MATO BENDER

zadatak: Ušteda energije na brodu s fokusom na trup broda

Zadatak treba sadržavati:

1. Uvod
2. Analizu mogućnosti uštede energije
3. Povezanost potrošnje energije sa stanjem trupa broda
4. Metode uštede goriva utjecajem na stanje trupa broda
5. Usporedbu metoda uštede i diskusiju
6. Zaključak

Osnovna literatura:

1. Milić, Luko. 2002. *Brodski dizelski motori*. Sveučilište u Dubrovniku. Dubrovnik.
2. Franc, Tomislav. 2016. *Uporaba zaštitnih premaza u održavanju trupa broda*. Završni rad, Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
3. Alar, Vesna i dr. 2012. *Mehanizmi zaštite od korozije*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.

zadatak uručen pristupniku: 12. 6. 2019.

rok za predaju završnog rada: 19. 6. 2019.

mentor:

pročelnik Pomorskog odjela:

doc.dr.sc. Jadran Šundrica

doc.dr.sc. Žarko Koboević

SAŽETAK

Tema je završnog rada ušteda energije na brodu s fokusom na trup broda. Cilj je ovoga rada ukazati na postojeće metode uštede goriva, njihovu važnost, karakteristike i rezultirajuće efekte. Uz sažetak, uvod, diskusiju i zaključak završni rad sastoji se od šest dijelova: Energetska bilanca broda, Mogućnosti uštede energije na brodu, Povezanost potrošnje energije (goriva) sa stanjem trupa broda, Metode uštede goriva s utjecajem na stanje trupa broda, Metode uštede goriva modifikacijom trupa te Usporedba mogućih ušteda energije djelovanjem na trup broda klasičnim metodama s uštedama postignutim zračnim podmazivanjem. U prvom poglavlju govoreno je o raspodjeli toplinske energije broda i njihovim gubitcima. U drugom poglavlju završnog rada obuhvaćene su najuobičajenije metode uštede goriva kao što su uporaba homogenizatora goriva i retrofit pramčanoga bulba. Treće poglavlje razmatra međusobni odnos stanja trupa broda i otpora koji on pruža pri kretanju broda odnosno povećanju potrošnje goriva. Četvrto poglavlje objašnjava postupke održavanja trupa broda s ciljem smanjenja trenja broda kroz fluid. Peto poglavlje opisuje razne načine zračnog podmazivanja trupa i mogućnosti njihove primjene. Šesto poglavlje, kao poveznica na prethodno poglavlje, uspoređuje konvencionalne i nekonvencionalne metode uštede goriva s ciljem raspoznavanja efikasnijih metoda.

KLJUČNE RIJEČI: ušteda goriva, homogenizator, zračno podmazivanje, trenje, modifikacija

SUMMARY

The topic of my undergraduate thesis is energy saving on ship with focus on ship hull. Goal of this thesis is to review already known fuel saving methods, their significance, characteristics and resulting effects. Along with summary, introduction, discussion and conclusion, the thesis consists of six chapters: energy balance of ship, fuel saving possibilities on ship, fuel consumption compared to the hull condition, fuel saving methods with influence on the hull condition, fuel saving methods by hull modification, and comparison of possible fuel savings affecting the hull by classical fuel saving methods with air lubrication. The first chapter describes energy distribution and losses. The second chapter of the thesis includes the most usual methods of fuel saving such as use of fuel homogenizer and bulb retrofit. The third chapter considers mutual relation between hull condition and hull friction ie. fuel consumption. The fourth chapter describes how to maintain the hull with goal of reduced friction. The fifth chapter describes numerous ways of air lubrication and their application. The sixth chapter, as a connection to the previous chapter, compares conventional and nonconventional methods of fuel saving with goal for finding better solutions.

KEY WORDS: fuel saving, homogenizer, air lubrication, friction, modification

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA	2
SAŽETAK.....	3
SUMMARY	4
SADRŽAJ	5
1. UVOD	1
2. ENERGETSKA BILANCA BRODA	2
2.1. Energetska analiza.....	3
3. MOGUĆNOSTI UŠTEDE ENERGIJE NA BRODU	5
3.1.1. Retrofit bulba.....	5
3.1.2. Čišćenje i nadogradnja propelera	6
3.1.3. Uštrcavanje vode u gorivo.....	6
3.1.4. Podešavanje trima broda	6
3.1.5. Praćenje obraštanja trupa i propelera	7
3.1.6. Iskorištavanje snage vjetra	7
3.1.7. Ugradnja homogenizatora goriva u sustav goriva.....	8
4. POVEZANOST POTROŠNJE ENERGIJE (GORIVA) SA STANJEM TRUPA BRODA	9
5. METODE UŠTEDE GORIVA UTJECAJEM NA STANJE TRUPA BRODA.....	11
5.1. Metode zaštite od korozije	11
5.1.1. Uporaba nehrđajućih čelika.....	11
5.1.2. Primjena antikorozivnih premaza.....	12
5.1.3. Zaštita narinutom strujom	13
5.1.4. Katodna zaštita žrtvovanom anodom	14
5.2. Antivegetativni premazi	15
5.3. Metode uštede goriva modifikacijom trupa	18
5.3.1. Silverstream <i>System</i>	19
5.3.2. MALS - Mitsubishi <i>Air Lubrication System</i>	20
5.3.3. ACS - <i>Air Cavity Ships</i>	22
5.3.4. WAIP – Winged Air Inject Pipe	23

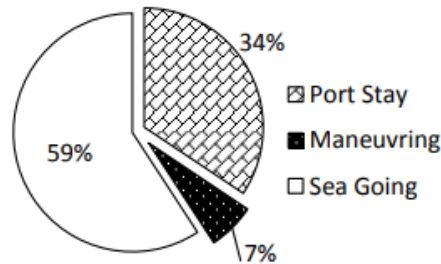
6. USPOREDBA MOGUĆIH UŠTEDA ENERGIJE DJELOVANJEM NA TRUP BRODA KLASIČNIM METODAMA S UŠTEDAMA POSTIGNUTIM ZRAČNIM PODMAZIVANJEM I DISKUSIJA.....	24
7. ZAKLJUČAK	25
LITERATURA.....	26
POPIS SLIKA	27
POPIS TABLICA.....	29

1. UVOD

Uzimajući u obzir da je glavni trošak današnjeg brodarka gorivo (ono zauzima 50% do 60% svih troškova) jasno je da upravo ovdje postoji i najveći prostor za uštedu. Zbog toga nastaju razna istraživanja i ispitivanja kako bi se taj postotak smanjio. U ovom radu će se obraditi nekolicina postupaka koji objašnjavaju kako postići efikasniji brod za manje novca. Obratit će se pažnja na nove tehnologije koje se razvijaju zadnjih desetak godina i njihove uspjehe. Brod se razmatra kao cjelina koja mora biti kvalitetna u svakom pogledu te ako jedna karika ne radi kako treba, dolazi do pogoršanja cijeloga sustava. Stoga, da bi brod ostvarivao dobre rezultate, mora ga se pravilno i pravovremeno održavati i pratiti tijek tehnologije te u njega ulagati.

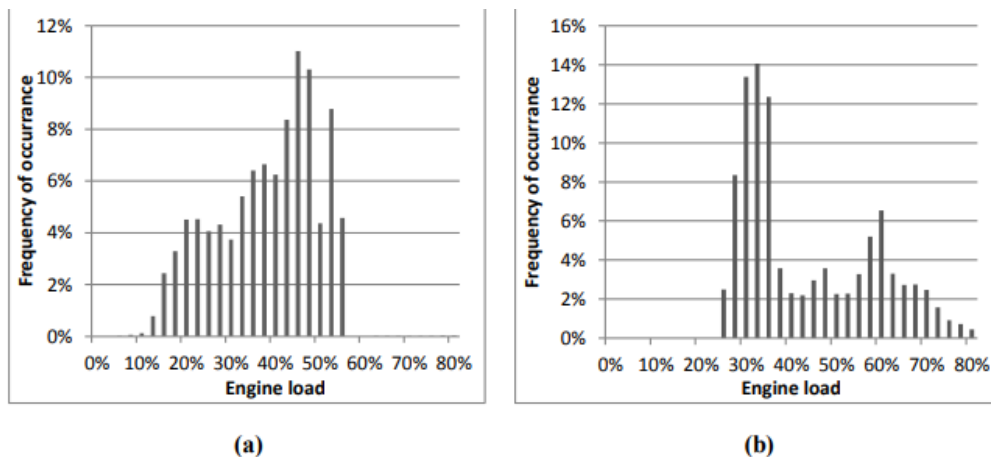
2. ENERGETSKA BILANCA BRODA

Rezultati energetske analize broda za kružna putovanja pokazali su postotak vremena režima rada broda i potrošnju raznih korisnika. Naime, slika 1 pokazuje da 59% ukupnog vremena brod provede u plovidbi, 34% u luci te 7% u postupku manevriranja. Iz navedenog može se zaključiti da brod u stanju plovidbe troši najviše goriva i najviše onečišćuje okoliš upravo zbog toga što u tom režimu troši gorivo lošije kvalitete.



Slika 1 Kružni dijagram vremena provedenog u režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. *Energy and exergy analysis of cruise ship*)

S obzirom da se glavni i pomoćni motori koriste nesrazmjerno tijekom plovidbe i za vrijeme stajanja u luci, izračunati su postotci određenih opterećenja glavnih i pomoćnih motora te su pretočeni u obliku histograma.

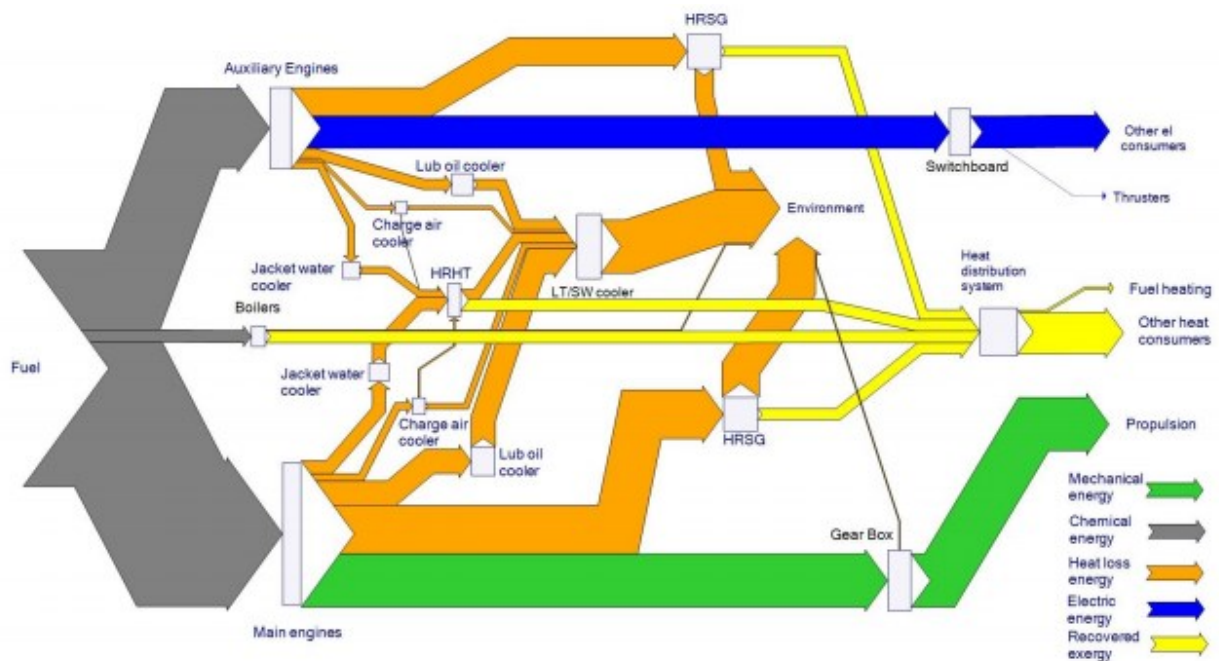


Slika 2 Histogrami opterećenja glavnih i pomoćnih motora (preuzeto: F. Baldi i dr. *Energy and exergy analysis of cruise ship*)

Slika 2 prikazuje raspored opterećenja za glavne motore (a) i za pomoćne motore (b). Kao što je vidljivo sa slike, glavni motori najčešće rade pri niskom opterećenju što dovodi do optimalnih uvjeta za bolju efikasnost motora i manju potrošnju dijelova.

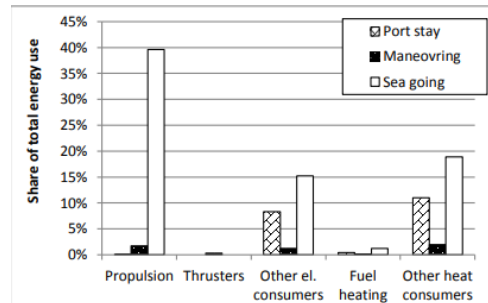
2.1. Energetska analiza

Sankijevi dijagrami ponajbolje prikazuju tok energije na brodu i njeno iskorištavanje. Slika 3 prikazuje Sankijev dijagram za brodsko postrojenje. S gledišta korisnika vidi se da je energetska potreba jednaka i na pomoćnim i na glavnim motorima. Ovakva situacija očekivana je na brodovima za kružna putovanja i na trajektima, ali ne i na drugim vrstama brodova. Iako bočni potiskivači predstavljaju veliku potražnju energije, ne utječu previše na sveukupnu potrošnju energije. Pomoćno zagrijavanje ima veliku potražnju energije, ali se ono većinom obavlja s toplinom iz regenerativnih zagrijavača. Treba napomenuti da je godišnja potrošnja goriva pomoćnih bojlera 5,2% što je značajna brojka. Doprinosi tome i rashladna voda visoke temperature. Energetska analiza pokazuje da se velike količine topline gube u okoliš, uglavnom kroz ispušne plinove koji izlaze iz parnog generatora smještenog iza glavnog motora, te toplina koja se gubi u rashladnim sistemima. Energija koja se rasprši u okoliš jednake je količine kao i toplina koja je potrebna brodu za rad. To dovodi do zaključka da bi se ta toplina mogla još nekako iskoristiti što bi se trebalo ostvariti pretvaranjem u snagu ili regenerativnim zagrijavanjem kako bi došlo do manje potrošnje. Velike količine topline gube se i pomoću hlađenja ulja za podmazivanje. Ova otpadna toplina ne iskorištava se ni u kojem pogledu različito od sustava s visokom temperaturom



Slika 3 Sankeyev dijagram brodskog energetskog sustava (preuzeto: F. Baldi i dr. *Energy and exergy analysis of cruise ship*)

Slika 4 prikazuje potrošnju energije raznih dijelova u režimima rada. Propulzija predstavlja glavni dio korištenja energije, ali je prisutna samo kada je brod u kretanju. Potražnja za energijom tijekom vremena je konstantna jer se proporcionalno mijenja iz jednog režima u drugi.



Slika 4 Godišnja energetska potreba različitih potrošača u različitim režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. *Energy and exergy analysis of cruise ship*)

Iz slike 4 je uočljivo da potrošnja energije za vrijeme plovidbe ponajviše (40%) ide na propulziju, zatim na druge toplinske potrošače (18%) te druge električne potrošače (15%). Na razini godine manevriranje troši malu ali ne i neznatnu količinu energije od oko 5%. Za vrijeme trajanja u luci na razini godine prosječna potrošnja energije je skoro 20%. U tablici 1 su vidljivi svi ti podatci koji su preciznije izneseni za svaki režim rada zasebno.

Tablica 1 Godišnji udio raznih potrošača podijeljenih po režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. *Energy and exergy analysis of cruise ship*)

Korisnik	Vrijeme u luci	Manevriranje	Plovidba	Svi načini rada
Propulzija	0,0%	1,7%	39,6%	41,3%
Bočni potisnici	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%
Drugi električni potrošači	8,3%	1,2%	15,3%	24,8%
Zagrijavanje goriva	0,4%	0,1%	1,2%	1,7%
Drugi toplinski potrošači	11,0%	2,0%	18,9%	31,9%
Svi korisnici	19,7%	5,3%	75,0%	100%

3. MOGUĆNOSTI UŠTEDE ENERGIJE NA BRODU

U novije vrijeme brodski dizelski motori postižu visoku iskoristivost te se osim tradicijskih načina uštede energije sve više istražuju i alternativni načini uštede. Zbog toga što je motor doveden gotovo do maksimalne iskoristivosti, traže se i ispituju nove metode iskorištavanja broda. Ušteta se može postići i nekim konvencionalnim načinima kao što je planiranje rute plovidbe i izbjegavanje loših vremenskih prilika. U sljedećih nekoliko odlomaka obradit će se nekoliko metoda uštede.

3.1.1. Retrofit bulba

Bulb je najučinkovitiji kod određenog Froudeovog broja (omjer brzine i duljine) te gaza. Promjene brzine i gaza značajno mijenjaju stvoreni val, tako da smanjenje gaza ili brzine zapravo može dovesti do većeg otpora na valove. Budući da malo trgovačkih brodova radi na zadanom gazu, kompromisi u dizajnu bulba potrebni su kako bi se osigurao dobar učinak u odnosu na očekivani raspon gaza i brzine broda. Dobro dizajnirani bulb može dovesti do uštede goriva od 5%. Na slici 5 se može vidjeti brod u doku na kojem je odrađen retrofit bulba.



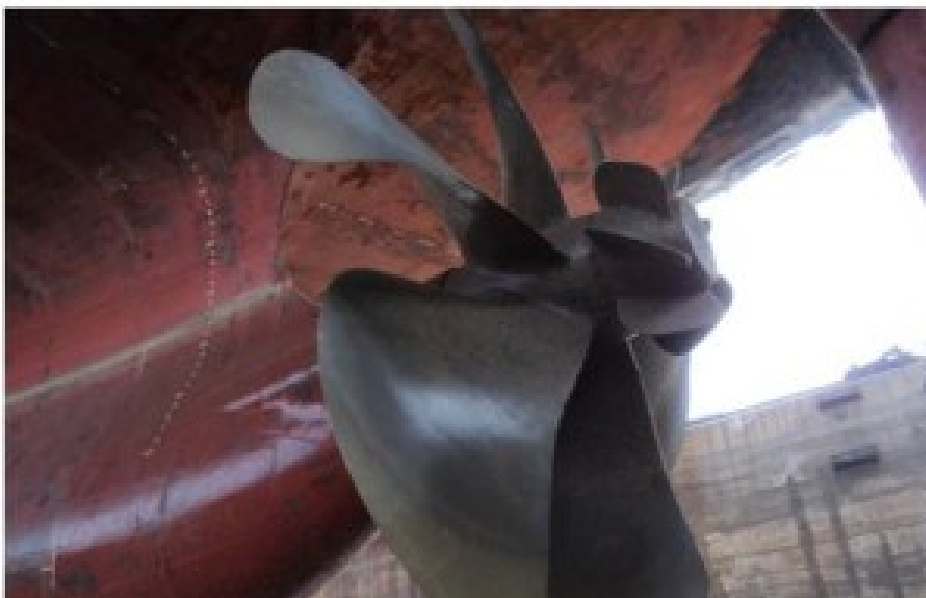
Slika 5 Izmjena konstrukcije pramčanoga bulba (preuzeto:

<https://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships/>)

Sa slike 5 je vidljivo da je bulb spušten ispod vodene linije broda. Time se postiže sveukupno bolji dizajn broda tj. manji otpor na valove. Spuštanje bulba ne vrijedi za sve brodove. Kod nekih brodova je bulb već dobro dizajniran te se dodatne uštede na taj način ne mogu postići.

3.1.2. Čišćenje i nadogradnja propelera

Propeler je jako bitan faktor u ekonomičnom iskorištavanju broda. Obraštanje propelera i oštećenja površine mogu dovesti do gubitaka od 3% do 7%. Ugradnja suprotno rotirajućeg poklopca propelera koji smanjuje potrebnu snagu na propeleru još je jedna od dodatnih ušteda. Njega se može vidjeti na slici 6 u sklopu sa očišćenim propelerom. Ušteda goriva na osnovi ugradnje poklopca propelera s krilima je 2.5%.



Slika 6 Propeler s ugrađenim poklopcem s lopaticama (preuzeto:

<https://marineronboard.com/2015/04/26/16-fuel-saving-methods-in-practice-for-ships/>)

Na slici 6 je vidljiv propeler koji je prethodno bio očišćen od obraštanja i koji već na sebi ima suprotno rotirajući poklopac koji donosi uštede. Ukoliko propeler nije redovno održavan i čišćen to dovodi do znatnih troškova goriva. Posebna pažnja se mora obratiti na odabir propelera pri izgradnji broda jer i krivo izabrani propeler će dovesti do nepotrebnih troškova.

3.1.3. Uštrcavanje vode u gorivo

Istraživanja su pokazala da je pri opterećenju od 30000KW i potrošnji od 120 tona goriva potrebno 20 tona vode da bi se omogućilo smanjenje od 5% do 7%.

3.1.4. Podešavanje trima broda

Ukoliko bi se mjerili podatci tijekom plovidbe o gazu i brzini broda te snazi potrebnoj za to pri određenom trimu, moglo bi se doći do tablice podataka koja bi pomogla u uštedi od 1%.

3.1.5. Praćenje obraštanja trupa i propelera

Obraštanje trupa i propelera može dovesti do povećane potrošnje goriva od čak 15% u početnom stadiju. U kasnijem stadiju potrošnja se povećava od 20% do 30% .

3.1.6. Iskorištavanje snage vjetra

Istraživanje u Finskoj pokazalo je da se sa samo jednim ugrađenim kružnim jedrom postiže ušteda od 2,6%. Ugradnja bi samu sebe isplatila u roku od 4 godine ukoliko brodovi plove u predjelima gdje ima dovoljno vjetra. Procjenjuje se da bi brod s više ugrađenih kružnih jedara mogao uštedjeti do 20% na gorivu. Kružna jedra rade na principu magnusovog efekta te su vidljiva na palubi broda na slici 7.

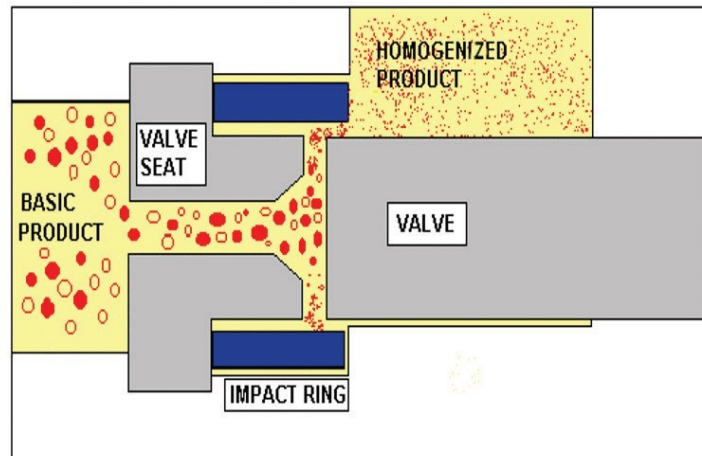


Slika 7 Brod s kružnim jedrom (preuzeto: <https://www.theengineer.co.uk/rotor-sail-puts-new-spin-on-flettner-rotor/>)

Na slici 7 je prikazan brod sa samo jednim kružnim jedrom. Na jedan brod može stati mnogostruko više jedara koja bi povećala uštede samoga broda na gorivu. Preduvjet da takvi brodovi zažive je da plove u predjelima gdje su povoljni i učestali vjetrovi.

3.1.7. Ugradnja homogenizatora goriva u sustav goriva

Princip rada homogenizatora: Homogenizator je brzi mlin kojemu se rotor velikom brzinom okreće u kućištu koje ima ulogu statora. Gorivo prolazi kroz fini labirint između statora i rotora te reže asfaltene u manje veličine (3–5 mikrona) koji izgaraju kompletno i ne opterećuju motor. Prikaz rada homogenizatora je vidljiv na slici 8.



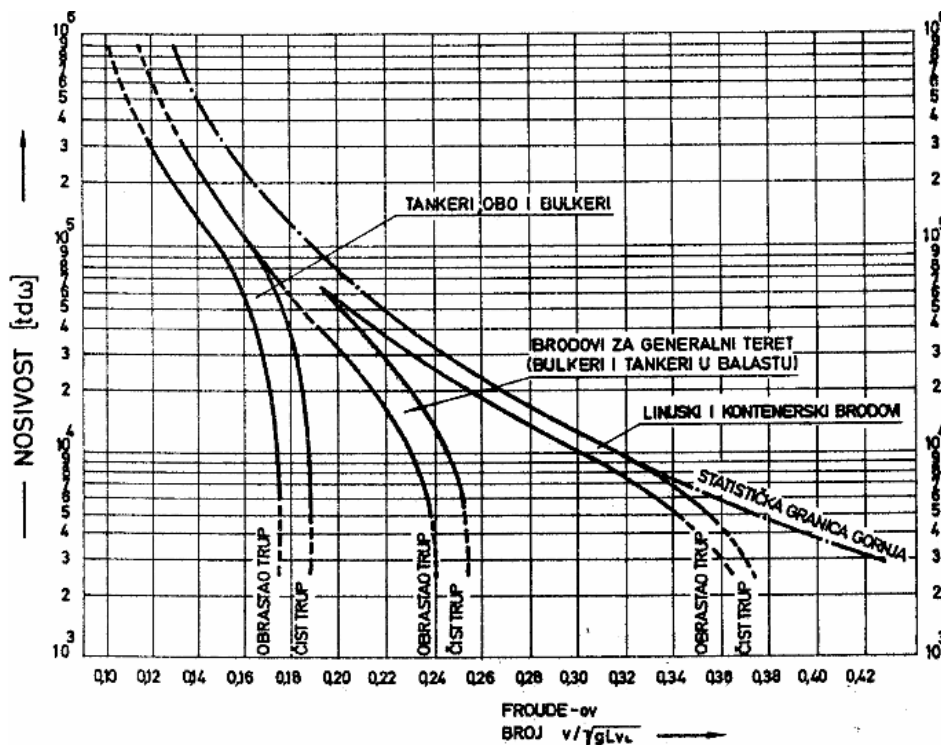
Slika 8 Gorivo prije i poslije homogenizatora (preuzeto:

<https://www.flowcontrolnetwork.com/winning-homogenization-strategies/>)

Udio asfaltena u običnom gorivu je od 2% do 3%. U postrojenjima bez homogenizatora sav postotak odlazi u kaljužu. Kada je u upotrebi homogenizator, iskorištava se 80%-85% asfaltena te se smanjuje kaljuža. To dovodi do zaključka da korištenje homogenizatora goriva dovodi do uštede od 2% do 3%.

4. POVEZANOST POTROŠNJE ENERGIJE (GORIVA) SA STANJEM TRUPA BRODA

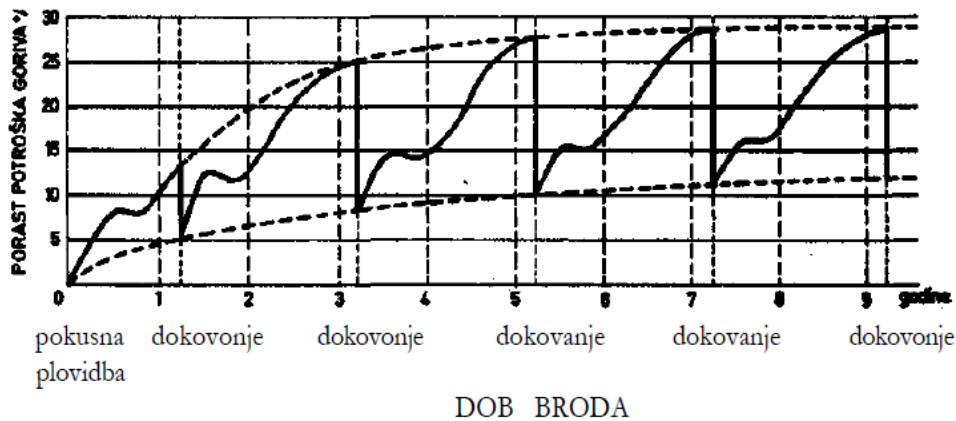
Iako je statičan, trup broda ponaša se kao brodski sustav. On pruža otpor gibanju broda te se s vremenom povećava. Povećavanje otpora djeluje na djelotvornost porivnog sustava što znači da se brodski trup mora održavati, dakle, brodski trup ima vlastitu tehniku održavanja koju treba izvoditi. Pretežan uzrok povećanja otpora jest obraštanje podvodnog dijela trupa broda morskim organizmima. Iako svi brodovi obraštaju, ne obraštaju svi jednako te rast otpora nije za svaki brod jednak. Otpor će varirati ovisno o vrsti i nosivosti broda te se može prikazati pomoću ovisnosti Froudeovog broja i nosivosti. Na slici 9 su prikazani otpori više formi brodova koji ovise o nosivosti brodova i Froudeovom broju.



Slika 9 Prikaz odnosa Froudeovog broja i nosivosti broda (preuzeto: Milić, Luko. *Brodski dizelski motori 1*)

Na slici 9 su vidljive razlike u otporu brodova sa obraslim i čistim trupom. Te razlike su u stvarnom životu ogromne te se cilja da brod što više vremena provede sa čistim trupom. Prošli i sljedeći dijagram izvedeni su na osnovi obrade podataka o performansama četrdeset i tri različita broda, zaštićena konvencionalnim podvodnim prevlakama, a koji su sustavno prikupljeni u deset godina njihova iskorištavanja. Obraštanje broskog podvodnog dijela rezultira povećanim otporom kretanju, dakle usporavanjem broda. Da bi se kompenzirao pad

brzine, potrebno je povećavati snagu porivnog stroja što ima za posljedicu povećanu potrošnju goriva. Kad ne bi uslijedio korektivni zahvat, taj bi se trend nastavio tijekom cijelog životnog vijeka broda te nakon izvjesnog vremena brod ne bi mogao svladati otpor. Na slici 10 je prikazano kretanje potrošnje goriva sa starenjem broda.



Slika 10 Dijagram odnosa potrošnje goriva i starenja broda (preuzeto: L. Milić, *Brodski dizelski motori 1*)

Iz slike10 je vidljivo da je prvo dokovanje uslijedilo petnaest mjeseci nakon pokusne plovidbe, a da su sva ostala dokovanja bila nakon dvadeset i četiri mjeseca. Dijagram prati kretanje potrošnje goriva od dokovanja do dokovanja i obnavljanje prevlake trupa broda za vrijeme svakog dokovanja. Jedini uvjet mjerenja jest da se održi ista brzina kao i na pokusnoj plovidbi. Iz dijagrama je očito da s godinama raste i potrošnja, a isto tako i pad potrošnje nakon svakog dokovanja. Takav razvoj događa se do otprilike pet godine te je nakon toga potrošnja i pad potrošnje nakon dokovanja konstantan. Iz grafa je vidljivo da je porast potrošnje goriva u prvih deset godina neizbježan te da se potrošnja nikad neće vratiti na onu iz pokusne plovidbe. Uzrok svemu tome jest povećanje hrapavosti broda. Ovdje nije jedini uzročnik obraštanje broda, već i korozija i erozija te mehanička oštećenja nastala tijekom eksploatacije broda. Na rezultate nastale drugim razlozima osim obraštanja jako se malo može utjecati u suhom doku te je zbog toga siguran porast otpora i potrošnje goriva tijekom vremena.

5. METODE UŠTEDE GORIVA UTJECAJEM NA STANJE TRUPA BRODA

Komplicirani i skupi sustav kao što je brod mora isplatiti uloženo i trajati nekoliko desetljeća. Da bi brod doživio svoj puni životni vijek, mora se pravilno održavati. Ukoliko se brod pravilno ne održava, potrošnja goriva već nekoliko mjeseci poslije lošeg održavanja ili neobavljenog održavanja uvelike će rasti. U klasične metode održavanja trupa broda ubraja se zaštita od korozije i zaštita sprječavanja obraštanja trupa.

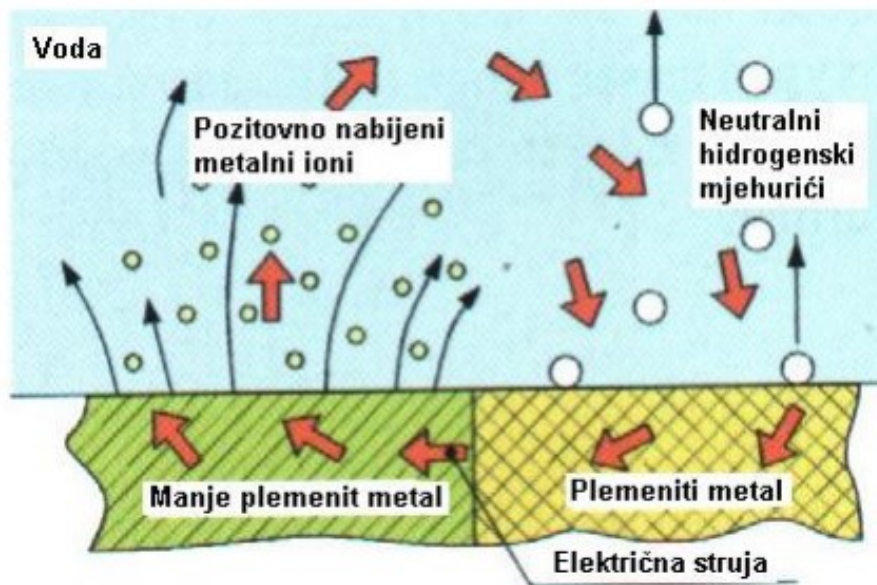
5.1. Metode zaštite od korozije

Veća slanost i viša temperatura uzrokuju bržu koroziju. Brzina protoka odnosno kretanja plovila također utječe na koroziju. Brže kretanje plovila uzrokuje i brži proces korozije. Naravno, u zatvorenim područjima marina i lučica gdje je i zagađenost mora različitim organizmima i kemijskim spojevima veća, proces korozije je brži bez obzira na to što plovilo zapravo miruje. Međutim, ne ponašaju se u procesu korozije svi metalni oksidi jednako. Kod aluminijskog izloženog atmosferskim utjecajima na površini se vrlo brzo stvori sloj metalnog oksida koji poput zaštitnog filma štiti aluminij od daljnje korozije. Ovaj film je vrlo kompaktan i zatvara sve pore tako da kisik ne može prodrijeti u unutrašnjost i nastaviti proces korozije. Nasuprot tome, hrđa tj. željezni oksid vrlo je porozna i ne predstavlja nikakvu branu za daljnju koroziju. Kada proces korozije na željeznoj površini započne, gotovo ga je nemoguće zaustaviti bez radikalnih zahvata u strukturu materijala (brušenje, pjeskarenje, rezanje).¹

5.1.1. Uporaba nehrđajućih čelika

Kada bi se za izradu cijelog broda koristili nehrđajući čelici, brod bi bio preskup, stoga se oni koriste samo na određenim dijelovima broda kao što su vanjski cjevovodi. Privremeno rješenje jest da se čelik oblaže nehrđajućim oblogama, zato standardni brodograđevni čelik još nema svoju bolju varijantu. Utjecaj vode tj. mora na metale je prikazan na slici 11.

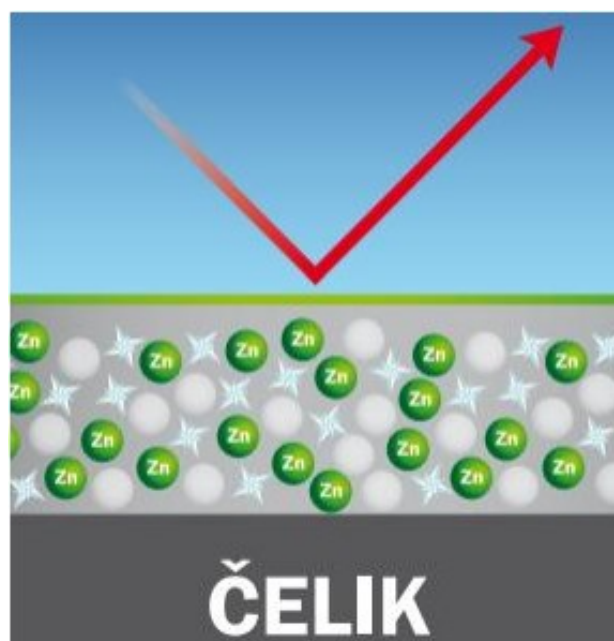
¹ T. Franc, *Uporaba zaštitnih premaza u održavanju trupa broda*, <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>



Slika 11 Prikaz djelovanja manje plemenitog metala kao anode (preuzeto: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>)

5.1.2. Primjena antikorozivnih premaza

Antikorozivni premazi imaju funkciju razdvajanja dvaju reagensa kao što su čelični trup broda i more. Debljina premaza mora biti konstantna. U slučaju da je negdje tanja od uobičajene, otvara se mogućnost napredovanju korozije. Samo 6 stotinki milimetra premaza dovoljno je da stvori dielektričnu barijeru. Slika 12 prikazuje djelovanje premaza na čeliku.

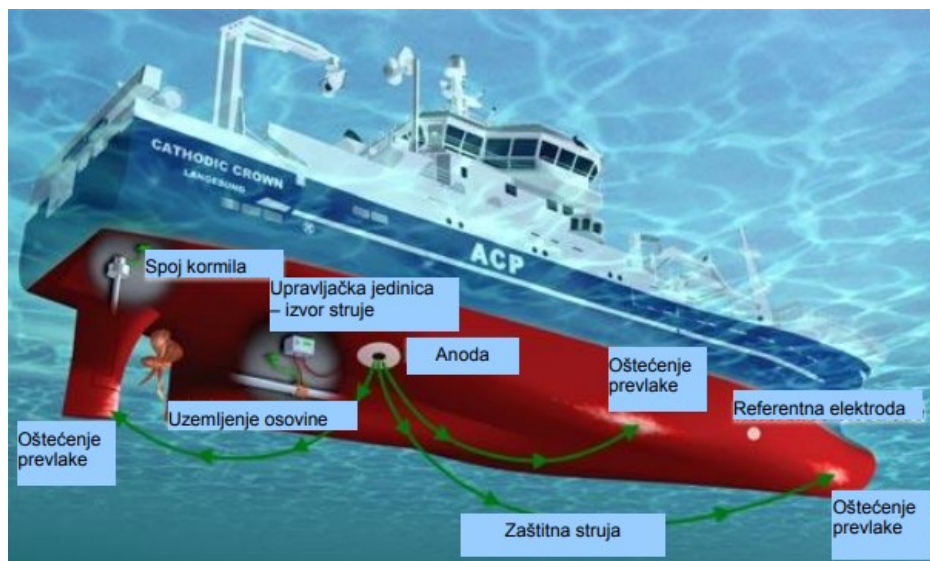


Slika 12 Prikaz dielektrične barijere (preuzeto: www.hempel.com)

Da bi antikoroziivni premaz bio dobar, mora imati dobro prijanjanje, otpornost na vremenske uvjete, kemijsku otpornost te žilavost. Također mora sprječavati prolaz iona kroz premaz i posjedovati visoki koeficijent elastičnosti.² Zadovoljavajući premaz trebao bi isplatiti svojim postojanjem troškove kupnje i nanošenja premaza kroz iskorištavanja broda do sljedećeg nanošenja prevlake.

5.1.3. Zaštita narintom strujom

Zaštita narintom strujom temelji se na privođenju elektrona metalu iz negativnog pola istosmjerne struje (DC). U ovom slučaju metal koji ima ulogu anode ne mora imati niži potencijal od metala kojeg štiti, već prirodni polaritet mijenja narintu struja u zatvorenom strujnom krugu. Anode kod ovog oblika zaštite mogu biti topljive (uglični čelik) i netopljive (ferosilicij, grafit, ugljen, nikl, olovo, platinirani titan, itd.).³ Anode se izrađuju od plemenitih postojanih materijala (platina, grafit, vodljivi poliplasti, smjesa metalnih oksida i dr.). Slika 13 prikazuje sustav zaštite broda od korozije.



Slika 13 Primjer sustava katodne zaštite na brodu (preuzeto: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>)

Za razliku od galvanskih anoda, kod inertnih anoda nije propisan njihov međusobni razmak jer se mogu regulirati struja i domet zaštite. Struja i napon katodne zaštite mijenjaju se ovisno o veličini broda, udjelu oštećene površine dijela broda, brzini anodna ležišta, izvoru

² T. Franc, *Uporaba zaštitnih premaza u održavanju trupa broda*, <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>

³ V. Alar, I. Juraga, I. Stojanović, V. Šimunović, *Mehanizmi zaštite od korozije* https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf

DC struje, salinitetu morske vode, broju i položaju anoda. Područje broskog trupa oko postavljenih anoda treba biti zaštićeno posebnim premazom - kitom debljine najmanje 1 mm (zbog pretjerane katodne polarizacije u blizini anode te lužina koje se razvijaju i mogu oštetiti zaštitni premaz).⁴

Nedostatci su početni visoki troškovi, mogućnost pogrešnog spajanja sustava što uzrokuje brzo i intenzivno korozijsko oštećivanje broskog trupa, a prejaka struja zaštite može oštetiti zaštitne premaze⁵

5.1.4. Katodna zaštita žrtvovanom anodom

Kod sustava katodne zaštite žrtvovanom anodom (protektorom), konstrukcija se spaja sa elektrodom od materijala koji je elektronegativniji nego što je materijal konstrukcije. Žrtvovana se anoda nakon spajanja počinje otapati, a na konstrukciji se uspostavlja elektrodni potencijal pri kojem se odvija katodna reakcija – površina konstrukcije postaje katoda. Prilikom rada ovakvog sustava, anode se troše te ih je potrebno povremeno mijenjati. Slika 14 prikazuje brod na suhom doku sa cink protektorima.



Slika 14 Primjer cink protektora na brodu (preuzeto: burza nautike)

Na slici 14 su vidljivi brojni cink protektori postavljeni po listovima kormila. Mijenjanje istrošenih cink protektora se najjednostavnije izvodi dok je brod na suhom doku. U ekstremnijim slučajevima se cink protektori mogu mijenjati dok je brod u moru.

⁴ V. Alar, I. Juraga, I. Stojanović, V. Šimunović, *Mehanizmi zaštite od korozije*
https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf

⁵ Protective Coatings Europe, Volume 7, July 2002.

Prednosti ove metode su :

- neovisnost o izvoru struje
- jednostavnost ugradnje
- ne prečesto kontroliranje
- neznatni utjecaj na susjedne konstrukcije

Na slici 15 je vidljiv primjer istrošenoga cink protektora. Ovakav protektor bi mogao pružati zaštitu još neki određeni period. Iz razloga što protektor ne bi izdržao do sljedećeg dokovanja on se morao promijeniti



Slika 15 Primjer istrošenog cink protektora (preuzeto: <http://nautica-portal.com/forum/index.php?topic=5103.30>)

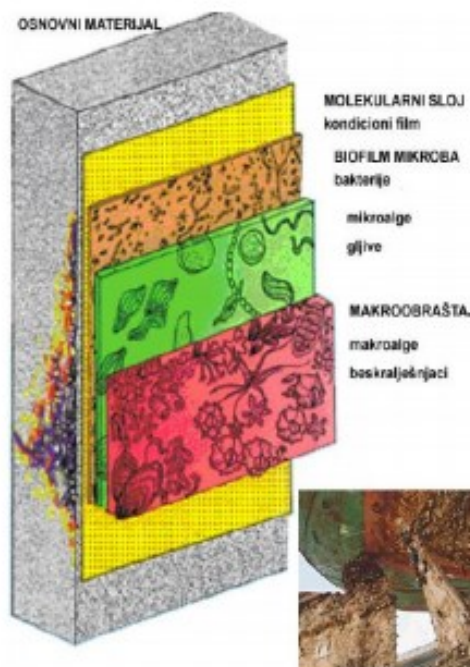
5.2. Antivegetativni premazi

Sredinom prošloga stoljeća organokositreni spojevi smatrani su čudotvornima u borbi protiv obraštanja trupa broda. Oni su predstavljali zaštitu od obraštanja u trajanju od 5 godina. Osamdesetih godina ustanovilo se da organokositreni premazi ne ubijaju samo organizme koji obraštaju brod, nego i sve živuće organizme naokolo broda. Ubrzo nakon toga bili su zabranjeni za upotrebu. Današnje tehnologije dijele se u dvije kategorije:

1. biocidni premazi
2. neobraštajući premazi

Biocidni antivegetativni premazi - činkovitost biocidnih antivegetativnih premaza ovisi i o samom biocidu, i o tehnologiji koja nadzire otpuštanje biocida. Bakar (Cu_2O , CuSCN i metalni bakar) glavno je biocidno sredstvo (učinkovit protiv obraštaja životinjskih organizama dok biljni organizmi pokazuju veću otpornost prema djelovanju bakra (obraštanje trupa broda prikazano na slici 16)) koje se koristi u antivegetativnim premazima zajedno s brzo razgradivim pojačivačima biocida. Glavne značajke uspješno pojačanog biocida su:

- vrlo niska topivost u morskoj vodi
- bezopasnost za čovjeka i okoliš
- prihvatljiva cijena

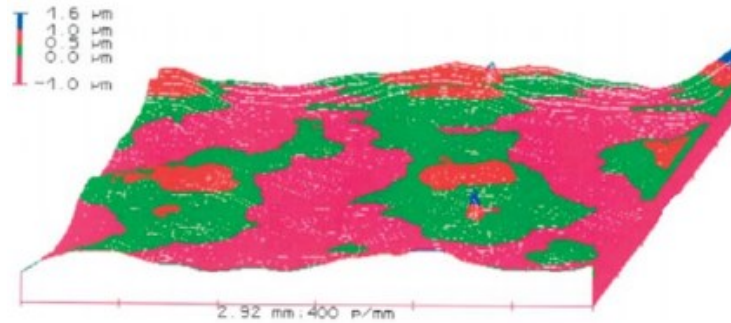


Slika 16 Faze obraštanja broskog trupa (preuzeto: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>)

Sa slike 16 je vidljivo da obraštanje trupa se odvija u više faza. Prva faza jest molekularni sloj za kojim slijedi biofilm mikroba. Treći sloj su mikro alge koje znatno povećavaju otpor broda te nakon toga slijedi četvrti sloj koji se naziva makro obraštaj. U donjem desnom kutu slike je vidljiv ekstremni primjer obraštanja broda.

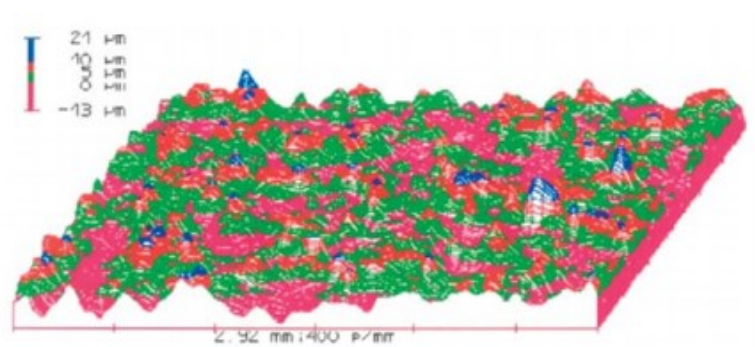
Neobraštajući antivegetativni premazi - sa stajališta zaštite okoliša najpoželjniji pristup zaštiti broda od obraštanja svakako je onaj koji se ne oslanja na otpuštanje biocida u

morski okoliš. Od mnogih zamisli samo je foul release tehnologija (slika 17) uspješno komercijalizirana. Foul release silikonski premazi vrlo su glatki što otežava adheziju morskih organizama (morski organizmi radije obraštaju hrapave površine).



Slika 17 Tekstura površine foul release premaza (preuzeto: Juraga, I., Stojanović, I., Noršić, T.: *Zaštita brodskog trupa od korozije i obraštanja*)

Dok samopolirajući (SPC) premazi (slika 18) imaju zatvorenu teksturu s učestalim šiljcima i udolinama nalik na površinu planinskog lanca, foul release sustavi (slika 17) imaju površinu otvorene teksture nalik na malo valovitu morsku površinu. Fluorirani silikonski elastomerni polimeri imaju dobra svojstva stvaranja tankoga filma te kemijsku i biološku inertnost, ali su im mehanička svojstva loša. Na brzim brodovima premaz se čisti od obraštaja samim prolaskom trupa kroz vodu dok je na sporim brodovima potrebno provoditi čišćenje (ispiranjem pod niskim tlakom)⁶.



Slika 18 Tekstura površine samopolirajućeg premaza (preuzeto: Juraga, I., Stojanović, I., Noršić, T.: *Zaštita brodskog trupa od korozije i obraštanja*)

⁶ I. Juraga, T. Noršić, I. Stojanović *Zaštita brodskog trupa od korozije i obraštanja*
<http://brod.sfsb.hr/~saracic/Poslijedipl/PREMAZI/08%5B1%5D.pdf>

5.3. Metode uštede goriva modifikacijom trupa

Trenje nekog plovila dok se giba kroz vodu sastoji se od nekoliko faktora, ali je otpor kojega stvara voda kroz koju brod prolazi najznačajniji. Istraživanjima i modeliranjima inženjeri su došli do zaključka da ubacivanje zraka između trupa broda i vode koja se giba oko trupa dovodi do znatnog opadanja sile trenja koja djeluje na trup broda. Naravno, ovakva tehnologija ograničena je na brodove koji imaju trup s ravnim dnom, dok kod brodova s trupom u obliku slova V dolazi do prevelikog rasipanja zraka i zračnih mjehurića te je nemoguće postići značajnija smanjenja trenja trupa broda. Princip je svih izvedbi ovakvih sustava jednak, a to je da se ispod trupa broda raznim sustavima kompresora i cjevovoda dovodi zrak kako bi on stvorio tanki sloj mjehurića zraka po kojem će brod kliziti (slika 19). Svaki sustav, pa i ovaj, ima svojih izvedbenih problema. Prvi problem koji se javlja usmjeravanje je i zadržavanje mjehurića ispod trupa broda i sprječavanje njihovog rasipanja. Drugi problem je utjecanje struje vode koja protječe ispod i oko broda uslijed rotacije broskog vijka, a treći, utjecaj samih mjehurića zraka na brodski vijak. Također, prilikom projektiranja ovakvih sustava, u slučaju da se izvođač odluči na bilo kakve promjene na profilu broskog trupa, potrebno je provesti daljnja mjerenja i istraživanja jer su bilo kakve promjene na broskom trupu usko vezane uz njegovu upravljivost i stabilitet prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta. Velik broj tvrtki koje se bave razvojem i ugradnjom ovakvih sustava baziraju se na adaptaciji već izgrađenih brodova. U posljednje se vrijeme sve više brodovi prilikom same konstrukcije i izrade nacrtu prilagođavaju ovakvim sustavima.



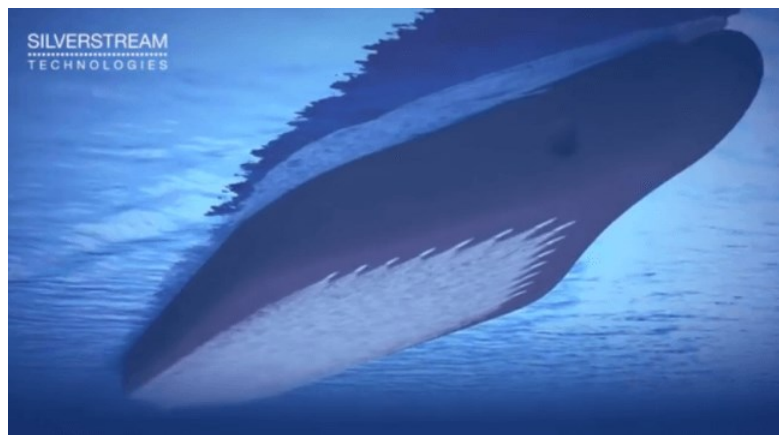
Slika 19 Primjer bulk carriera s ugrađenim sustavom (preuzeto:

<https://www.marineinsight.com/green-shipping/how-air-lubrication-system-for-ships-work/>)

U posljednjih nekoliko desetljeća sve više kompanija okušalo se u testiranjima i istraživanjima podmazivanja broskog trupa zrakom. U sljedećim odjeljcima obradit će se nekoliko najznačajnijih primjera i istraživanja.

5.3.1. Silverstream System

Silverstream System je sustav podmazivanja zrakom razvijen od strane tvrtke Silverstream Technologies, a koristi 10 do 18 jedinica za ispuštanje zraka (Air Release Unit) ovisno o veličini broda. Prvi ovakav sustav ugrađen je na brod MT Amalienborg , tanker od 40 000 DWT, 2014. godine i ostvario je neto uštedu energije od 3,8% do 4,3% prilikom dužeg perioda ispitivanja dok je brod bio na višem i nižem gazu (7 i 11 metara) i s brzinama između 10 i 15 čvorova. Ovo ispitivanje potvrđeno je od strane Lloyd registra, HSVA-a, Shell-a i sveučilišta u Southamptonu. Vjeruje se da ima mjesta za napredak te da će konačna ušteda ići preko 5%. Na slici 20 je su vidljive sapnice iz kojih izlazi zrak te su postavljeni u obliku slova V. Pozicije sapnica su izabrane tako da zrak pokrije što veću površinu broda.

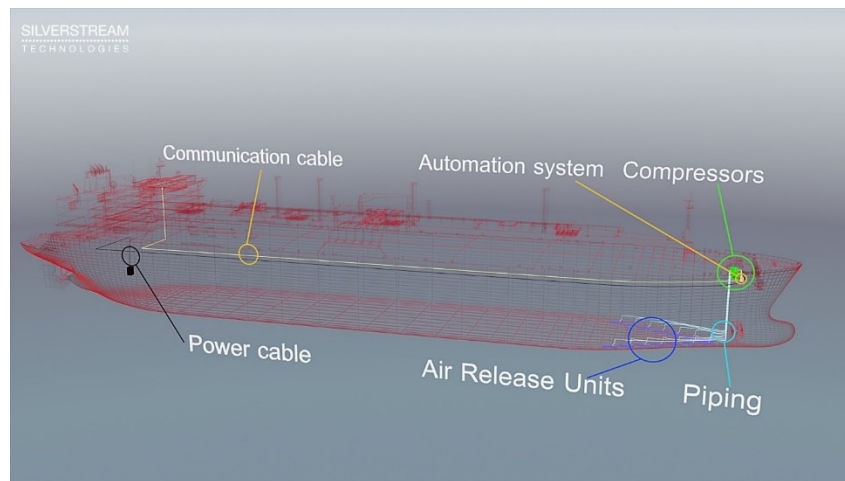


Slika 20 Model Silverstream sistema (preuzeto: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/video-silverstream-uptakes-air-lubrication-technology/>)

Najnoviji je slučaj instalacije ovakvog sustava na novoizgrađenom brodu Norwegian Cruise Line-a "Norwegian Joy", kruzera od 163 000 BRT-a, te su 2017. godine adaptirali još jedan brod koji je već bio u plovidbi . Studija je pokazala da su ovi brodovi na gazu između 8 i 9 metara i pri brzini između 10 i 25 čvorova također ostvarili neto energetske uštede od preko 5 % što su također potvrdila nezavisna istraživačka tijela.

Također se procjenjuje da bi veliki Ro-Ro brodovi i veliki tankeri zbog svog velikog ravnog dna mogli ostvariti neto uštede između 8% i 10 %. Uz znatne uštede energije, ovakav sustav pridonio je smanjenju buke i vibracija te je smanjeni kontakt trupa uslijedio i u znatno smanjenom obraštanju trupa broda. Silverstream sustav proizvodi tanki sloj mikro balončića koji stvaraju homogeni zračni tepih uzduž cijele širine i dužine broda. Takav sustav smanjuje trenje broda i povisuje njegovu efikasnost što smanjuje njegovu potrošnju i povezane ispušne emisije. Sustav može biti ugrađen u novogradnji ili nadograđen već postojećem brodu u roku

od 2 tjedna. Valja napomenuti da tijekom istraživanja nije došlo do porasta buke niti kavitacije. Upravljivost broda ostala je nepromijenjena. Cjelokupni prikaz sustava je prikazan na slici 21.

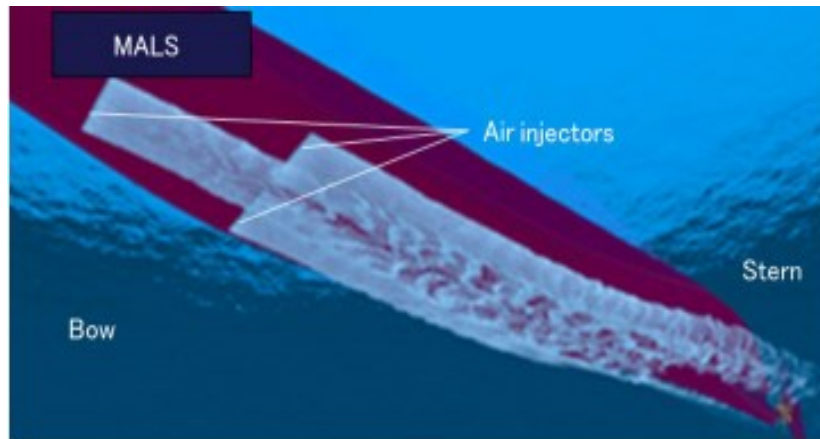


Slika 21 Shematski prikaz *Silverstream* sustava (preuzeto: <https://www.silverstream-tech.com/the-technology/>)

Slika 21 prikazuje sustav u kompletu. Kompresori se nalaze na provi direktno iznad sapnica za ispuštanje zraka. Dok se sa sustavom upravlja sa mosta.

5.3.2. MALS - Mitsubishi *Air Lubrication System*

Mitsubishi Air Lubrication System na dnu broda ima tri otvora za ispuštanje zraka postavljena okomito na trup broda. Ovakvim rasporedom otvora MALS osigurava da pomoću usisne snage brodskog vijka većina mjehurića zraka ostane u struji vode koja prolazi ispod trupa broda. Također je potvrđeno da ovakav sustav podmazivanja broda nema utjecaja na sam brodski vijak. Prema zadnjim istraživanjima Mitsubishi tvrdi da bi ovakav sustav kombiniran s visoko učinkovitim i posebno konstruiranim dnom te instaliran na kontejnerski brod mogao rezultirati u smanjenju emisija CO₂ do čak 35%. Mitsubishi *Air Lubrication System* (slika 22) prvi je ovakav sustav koji je instaliran na novi brod što je rezultiralo značajnim otporom mora na trup broda. 2010. godine ovaj sustav instaliran je na brod YAMATAI, kontejnerski brod izgrađen u Mitshubishijevom brodogradilištu Nagasaki.



Slika 22 Primjer MALS sustava (<https://www.nextbigfuture.com/2012/01/air-lubricated-ships-being.html>)

Na slici 22 je prikaz MALS sustava gdje se može vidjeti specifični raspored otvora za puštanje zraka te tok zraka duž broda.

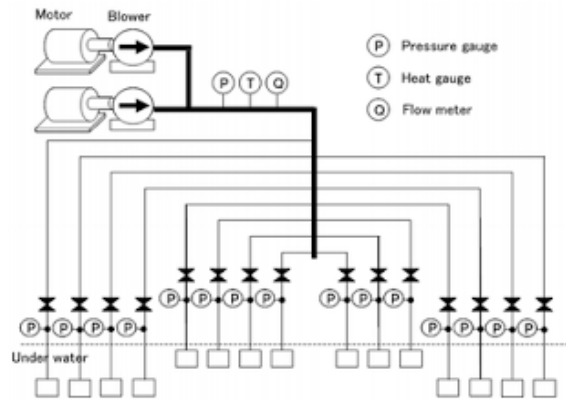
Da bi se potvrdio pravilan rad sustava odrađena su dodatna istraživanja nakon ugradnje.



Slika 23 Tegljena istraživačka podmornica i tok zraka ispušten iz rasprskavača (preuzeto: <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e521/e521050.pdf>)

Rezultati testiranja broda poklapali su se s predviđanjima inženjera i mjerenjima koje su inženjeri proveli na modelima broda. Brod je tijekom testiranja, prije nego je isporučen naručitelju, ostvario uštedu energije od 10%. Tok zraka bio je promatran s tegljenom podmornicom koja je sadržala kameru da bi se potvrdio pravilan tok zraka.(slika 23)

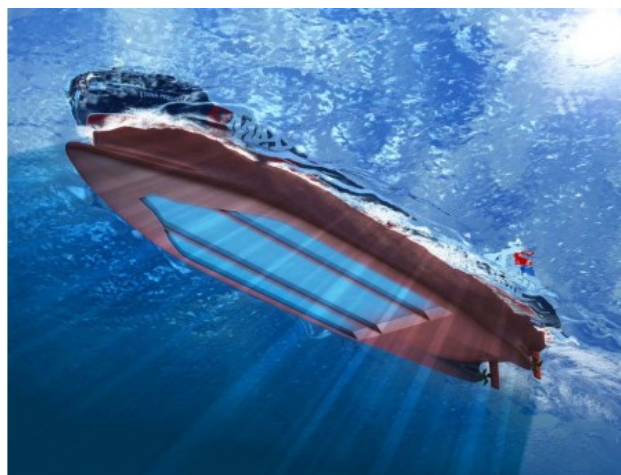
Slika 24 shematski prikazuje način rada sustava .elektro motori pokreću kompresore koji upuhuju zrak u sustav. Na cjevovodu sustava su vidljivi manometar, termometar, i mjerlač protoka. Nakon ta tri elementa cjevovod se račva zasebno za svaku sapnicu. Na svakoj sapnici se nalazi ventil i po još jedan manometar nakon ventila.



Slika 24 Shematski prikaz napajanja MALS sustava zrakom (preuzeto: <https://www.nextbigfuture.com/2012/01/air-lubricated-ships-being.html>)

5.3.3. ACS - Air Cavity Ships

Air Cavity Ships sustav je podmazivanja zrakom koji koristi velike šupljine u dnu broskog trupa koje ispunja zrakom. Ovakav sustav zahtijevao je brodove s velikim udjelom ravnog dna broskog trupa. Testiranja ovog sustava provedena su na brodu "ACS DEMONSTRATOR", (slika 25) multifunkcionalnom brodu dužine 83 metra, od strane DK grupe 2008. godine. Testiranja su pokazala da je prilikom mirnog mora brod ostvarivao uštede energije i goriva, ali tijekom nevremena energija koja je bila potrebna da se šupljine u dnu trupa broda opet napune zrakom bila je prevelika. Uzevši u obzir i veliki trošak koji je potreban za adaptaciju samog dna trupa broda, donesen je zaključak da je ovakav sustav potpuno nepraktičan i financijski neisplativ.

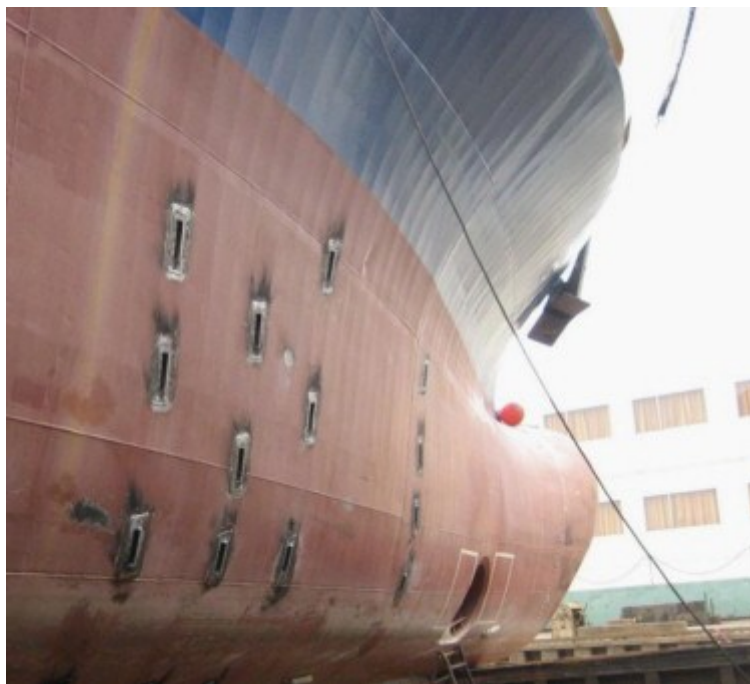


Slika 25 Model ACS sustava (preuzeto: <http://www.shipwright.biz/air-lubrication-systems/>)

Slika 25 prikazuje model ACS sustava. Primjetne su pregrade između šupljina koje bi smanjile izlivanje zraka. Brod mora imati ravno dno da bi sustav funkcionirao.

5.3.4. WAIP – Winged Air Inject Pipe

Ovakav sustav koncipiran je tako da koristi 124 kružno postavljene mlaznice na prednjem kraju trupa broda kroz koje se upuhuje zrak. Ovakav sustav stvara "oblak" mjehurića na samom vrhu broda koji se zbog gibanja broda i struje mora oko broda lijepi za trup i tako stvara zračni džep oko samog trupa broda. Ovakav sustav podmazuje i bočne strane trupa i samo dno broda. Maersk je 2009. godine ugradio ovaj sustav na svoj brod za prijevoz kontejnera "OLIVIA MAERSK". Nakon intenzivnih i dugoročnih testiranja došlo se do rezultata da je energija utrošena u rad ovakvog sustava veća nego što je bila ušteda samog goriva te je Maersk odustao od instaliranja ovakvog sustava na svoju flotu. Ovakav je sustav u lipnju 2008. godine također ugrađen na brod "FILIA ARIEA", teretni brod (slika 26) za priobalnu plovidbu dug 85 metara. Na njega su ugrađene 52 mlaznice te su uštede na gorivu bile gotovo 10% pri brzini od 12 čvorova. Slične uštede 2007. godine ostvarene su uz instalaciju 34 mlaznice na japanskom trajektu "MISAKI", brodu dugom 68 metara.



Slika 26 Brod prilikom ugradnje WAIP sustava (preuzeto: Takahasi, Y. : *Winged Air Induction Pipe*, R&D Engineering Inc, 2012. , <http://www.rand-engineering.co.jp/e/report/WAIP%20120312%20Rev.4.pdf>)

Na slici 26 su prikazane mlaznice koje su postavljene širom trupa broda ispod vodene linije. Ideja je da se zrak prenosi duž broda uz pomoć gibanja broda. Ostaje upitno koliko zraka pobjegne na bokovima broda.

6. USPOREDBA MOGUĆIH UŠTEDA ENERGIJE DJELOVANJEM NA TRUP BRODA KLASIČNIM METODAMA S UŠTEDAMA POSTIGNUTIM ZRAČNIM PODMAZIVANJEM I DISKUSIJA

Uspoređujući konvencionalne metode i metode sa zračnim podmazivanjem dolazi se do zaključka da zračno podmazivanje ima visoke postotke uštede goriva od 4% do 10%. To nisu jedine prednosti koje zračno podmazivanje pruža. Zbog toga što je određeni dio trupa gotovo većinu vremena u kontaktu sa zrakom umjesto s morem, dolazi do dosta sporijeg i manjeg obraštanja trupa. To također donosi dodatne uštede. Jedan od bitnih faktora su i emisije CO₂ i SO_x. Korištenjem zračnog podmazivanja, prema procjenama stručnjaka, emisije se mogu smanjiti za čak 30% - 35%. Uspoređujući navedeno s homogenizatorom goriva koji na tom području ne popravlja situaciju, osim uštede goriva koja može biti značajna od 2,5%.

Metode uštede goriva korak su naprijed prema čišćoj i boljoj budućnosti. U ovom radu opisane su razne metode počevši od standardnih kao što su retrofit bulba, homogenizacija goriva te uštrcavanje vode u gorivo. Standardne metode donose dobre rezultate, a poneke pridonose i smanjenju emisija štetnih plinova. Također su opisane metode održavanja trupa broda jer ono neposredno donosi do uštede goriva. U slučaju da trup nije održavan, potrošnja goriva bit će enormna. U konačnici su obrađeni tipovi podmazivanja trupa broda zrakom te njihove prednosti i mane. Zasigurno će trebati još vremena da ova tehnologija uđe u standardne metode uštede goriva zbog svoje kompleksnosti i zasad još uvijek nepouzdanosti.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađene su metode uštede energije na brodu. Iznesene su konvencionalne i nekonvencionalne metode uštede energije te njihove prednosti i mane. Iz rada se može uvidjeti da su konvencionalne metode jednostavnije i jeftinije te se zbog toga koriste učestalije u praksi. S druge strane, nekonvencionalne metode imaju veće postotke uštede, ali su njihove izvedbe kompleksnije te ovise o raznim faktorima. Promjenom gaza broda i pogoršanjem ili poboljšanjem stanja mora mijenja se efikasnost nekonvencionalnih metoda uštede. Suprotno tome, homogenizator goriva će uštedjeti do 3% goriva, neovisno o vanjskim faktorima. Njegovu efikasnost može smanjiti jedino poboljšana kvaliteta goriva koja zapravo isključuje homogenizator iz upotrebe. Ukoliko bi se zračno podmazivanje trupa broda ograničilo samo za vrijeme idealnih uvjeta njegov nivo uštede sa 8-10% bi znatno opao. Stoga bi se morao koristiti na brodovima koji plovo na isključivo mirnim morima da bi se njihov nivo uštede održao. Sukladno tome trup broda mora biti pravilno zaštićen od korozije i vegetativnih obrastanja. To je bitno zbog učinkovitosti konvencionalnih i nekonvencionalnih metoda uštede energije na brodu. Ukoliko brod nema pravovaljanu zaštitu trupa, njegove metode uštede neće efektivno funkcionirati. Sukladno svemu proučenome u ovome radu dolazi se do zaključka da ima mjesta za napredak i poboljšanje efikasnosti broda posebice u predjelu novih i još potpuno neistraženih metoda uštede.

LITERATURA

1. Milić, Luko. 2002. *Brodski dizelski motori*. Sveučilište u Dubrovniku. Dubrovnik.
1. Franc, Tomislav. 2016. *Uporaba zaštitnih premaza u održavanju trupa broda*. završni rad. Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
2. Alar, Vesna i dr. 2012. *Mehanizmi zaštite od korozije*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
3. Corrosion protection with zinc-rich epoxy paint coatings embedded with various amounts of highly dispersed polypyrrole-deposited alumina monohydrate particles, *Protective Coatings Europe* 7 (2002).
4. Marine insight. URL:<https://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships/>
5. Marine on bord. URL:<https://marineronboard.com/2015/04/26/16-fuel-saving-methods-in-practice-for-ships/>
6. The engineer. URL: <https://www.theengineer.co.uk/rotor-sail-puts-new-spin-on-flettner-rotor/>
7. Flow control network. URL:<https://www.flowcontrolnetwork.com/winning-homogenization-strategies/>
8. Unizg. URL:<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview>
9. Hempel. URL:www.hempel.com
10. Nautica portal. URL:<http://nautica-portal.com/forum/index.php?topic=5103.30>
11. Marine insight. URL:<https://www.marineinsight.com/green-shipping/how-air-lubrication-system-for-ships-work/>
12. Marine insight. URL:<https://www.marineinsight.com/shipping-news/video-silverstream-uptakes-air-lubrication-technology/>
13. Silverstream. URL:<https://www.silverstream-tech.com/the-technology/>
14. Next big future. URL:<https://www.nextbigfuture.com/2012/01/air-lubricated-ships-being.html>
15. Mhi. URL:<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e521/e521050.pdf>
16. Shipwright. URL:<http://www.shipwright.biz/air-lubrication-systems>

POPIS SLIKA

Slika 1 Kružni dijagram vremena provedenog u režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. <i>Energy and exergy analysis of cruise ship</i>).....	2
Slika 2 Histogrami opterećenja glavnih i pomoćnih motora (preuzeto: F. Baldi i dr. <i>Energy and exergy analysis of cruise ship</i>)	2
Slika 3 Sankeyev dijagram brodskog energetskog sustava (preuzeto: F. Baldi i dr. <i>Energy and exergy analysis of cruise ship</i>)	3
Slika 4 Godišnja energetska potreba različitih potrošača u različitim režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. <i>Energy and exergy analysis of cruise ship</i>)	4
Slika 5 Izmjena konstrukcije pramčanoga bulba (preuzeto: https://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships/) ..	5
Slika 6 Propeler s ugrađenim poklopcem s lopaticama (preuzeto: https://marineronboard.com/2015/04/26/16-fuel-saving-methods-in-practice-for-ships/)	6
Slika 7 Brod s kružnim jedrom (preuzeto: https://www.theengineer.co.uk/rotor-sail-puts-new-spin-on-flettner-rotor/)	7
Slika 8 Gorivo prije i poslije homogenizatora (preuzeto: https://www.flowcontrolnetwork.com/winning-homogenization-strategies/)	8
Slika 9 Prikaz odnosa Froudevog broja i nosivosti broda (preuzeto: L. Milić, <i>Brodski dizelski motori 1</i>).....	9
Slika 10 Dijagram odnosa potrošnje goriva i starenja broda (preuzeto: L. Milić, <i>Brodski dizelski motori 1</i>).....	10
Slika 11 Prikaz djelovanja manje plemenitog metala kao anode (preuzeto: https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview).....	12
Slika 12 Prikaz dielektrične barijere (preuzeto: www.hempel.com).....	12
Slika 13 Primjer sustava katodne zaštite na brodu (preuzeto: https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview).....	13
Slika 14 Primjer cink protektora na brodu (preuzeto: burza nautike)	14
Slika 15 Primjer istrošenog cink protektora (preuzeto: http://nautica-portal.com/forum/index.php?topic=5103.30)	15
Slika 16 Faze obraštanja brodskog trupa (preuzeto: https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:623/preview).....	16
Slika 17 Tekstura površine foul release premaza (preuzeto: Juraga, I., Stojanović, I., Noršić, T.: <i>Zaštita brodskog trupa od korozije i obraštanja</i>)	17
Slika 18 Tekstura površine samopolirajućeg premaza (preuzeto: Juraga, I., Stojanović, I., Noršić, T.: <i>Zaštita brodskog trupa od korozije i obraštanja</i>)	17
Slika 19 Primjer bulk carriera s ugrađenim sustavom (preuzeto: https://www.marineinsight.com/green-shipping/how-air-lubrication-system-for-ships-work/)	18
Slika 20 Model Silverstream sistema (preuzeto: https://www.marineinsight.com/shipping-news/video-silverstream-uptakes-air-lubrication-technology/).....	19
Slika 21 Shematski prikaz Silverstream sustava (preuzeto: https://www.silverstream-tech.com/the-technology/).....	20

Slika 22 Primjer MALS sustava (https://www.nextbigfuture.com/2012/01/air-lubricated-ships-being.html).....	21
Slika 23 Tegljena istraživačka podmornica i tok zraka ispušten iz rasprskavača (preuzeto: https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e521/e521050.pdf)	21
Slika 24 Shematski prikaz napajanja MALS sustava zrakom (preuzeto: https://www.nextbigfuture.com/2012/01/air-lubricated-ships-being.html)	22
Slika 25 Model ACS sustava(preuzeto: http://www.shipwright.biz/air-lubrication-systems/)	22
Slika 26 Brod prilikom ugradnje WAIP sustava (preuzeto: Takahasi, Y. : <i>Winged Air Induction Pipe</i> , R&D Engineering Inc, 2012. , http://www.rand-engineering.co.jp/e/report/WAIP%20120312%20Rev.4.pdf)	23

POPIS TABLICA

Tablica 1 Godišnji udio raznih potrošača podijeljenih po režimima rada (preuzeto: F. Baldi i dr. <i>Energy and exergy analysis of cruise ship</i>)	4
---	---

IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora doc.dr.sc. Jadrana Šundrice

ime i prezime studenta: Mato Bender

potpis:
