

# Određivanje potrošnje goriva na brodovima

---

Grmača, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:139631>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Marija Grmača**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Nikola Vladimir

Student:

Marija Grmača

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Nikoli Vladimiru na pomoći, pruženim savjetima i brzim odgovorima tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se asistentici Mariji Koričan, mag. ing. mech., koja je uvijek našla vremena za naša dodatna pitanja.

Neizmjerno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj podršci.

Marija Grmača



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marija Grmača** JMBAG: **0246069307**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Određivanje potrošnje goriva na brodovima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Determination of ship fuel consumption**

Opis zadatka:

Potrošnja goriva brodskih energetske sustava direktno je povezana s operativnim troškovima broda, te stoga predstavlja iznimno važnu informaciju u svim fazama gradnje i eksploatacije broda. U novije vrijeme ova informacija dodatno dobiva na značaju zbog ekoloških problema povezanih s korištenjem fosilnih goriva u brodskim energetske sustavima. Određivanju potrošnje goriva u različitim fazama projektnog i eksploatacijskog ciklusa broda pristupa se na različite načine, te ju je moguće analizirati na različitim razinama složenosti i točnosti, pri čemu je moguće koristiti niz matematičkih modela kao i mjernih tehnika. U završnom radu je potrebno dati pregled postupaka za određivanje potrošnje goriva, podrazumijevajući prethodno spomenute matematičke modele i mjerne tehnike, provesti njihovu SWOT analizu, te na primjeru izmjerenih vrijednosti potrošnje goriva za ribarski brod, koje su raspoložive na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, analizirati povezanost potrošnje goriva i operativnih značajki broda. Nadalje, potrebno je dati pregled postupaka za smanjenje potrošnje goriva u cilju smanjenja operativnih troškova i utjecaja broda na okoliš, te, prema podacima iz literature, analizirati njihovu primjenjivost za različite tipove brodova. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Nikola Vladimír

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ODREĐIVANJE POTROŠNJE GORIVA MATEMATIČKIM MODELIMA.....	3
2.1. Modeli specifične potrošnje goriva.....	3
2.1.1. Model bijele kutije.....	4
2.1.2. Model crne kutije.....	5
2.1.3. Mogućnost poboljšanja i usporedba modela bijele i crne kutije.....	6
2.1.4. Model sive kutije.....	8
2.2. Provjera rezultata istraživanja.....	9
3. MJERENJE POTROŠNJE GORIVA NA BRODOVIMA.....	12
3.1. Mjerenje potrošnje temeljem računalnog sustava povezanog uz stroj.....	12
3.2. Određivanje potrošnje goriva neovisnim mjernim sustavima.....	12
3.2.1. Mjerači protoka.....	12
3.2.2. Mjerači razine tekućine u tanku.....	13
4. ILUSTRATIVNI PRIMJER.....	16
4.1. Analiza podataka dobivenih sa uređaja za mjerenje instaliranih na plovilu s plivaricom.....	17
4.2. Određivanje CO <sub>2</sub> indeksa broda na temelju potrošnje goriva.....	21
5. ZAKLJUČAK.....	27

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Faktori koji utječu na potrošnju goriva [7].....	2
Slika 2.	Koraci za izradu modela bijele kutije.....	4
Slika 3.	Model crne kutije [5].....	6
Slika 4.	Nedostaci modela bijele kutije i modela crne kutije .....	7
Slika 5.	Pregled SFC modela.....	9
Slika 6.	Sistem rada mjerača protoka [1].....	13
Slika 7.	Kapacitivni senzor razine goriva [1] .....	14
Slika 8.	Tehnika lova ribe mrežom plivarice [20] .....	16
Slika 9.	Plivaričar Brilljant [6].....	18
Slika 10.	Ugrađeno mjerilo stanja spremnika na plivaričaru "Noa" .....	19
Slika 11.	Dnevni spremnik plivaričara "Briljant" .....	19
Slika 12.	Sažetak jednog ribolovnog ciklusa plivaričara "Briljant".....	20
Slika 13.	Ruta plivaričara "Briljant" za razdoblje 04.-05. kolovoza 2022.....	21
Slika 14.	Prosječni godišnji ulov ribe plivaričara [18] .....	22
Slika 15.	Prosječna godišnja potrošnja goriva plivaričara [18] .....	22
Slika 16.	Plivaričar "Noa" .....	24
Slika 17.	Prosječne godišnje emisije CO <sub>2</sub> plivaričara [18].....	25
Slika 18.	Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO <sub>2</sub> plivaričara [18] .....	26

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. SWOT analiza SFC modela .....	11
Tablica 2. SWOT analiza mjernih uređaja .....	15
Tablica 3. Tehničke specifikacije plivaričara "Briljant" .....	17
Tablica 4. Izlazni podaci uređaja za praćenje goriva na plivaričaru "Briljant" .....	20
Tablica 5. Tehničke značajke plivaričara "Noa" .....	23
Tablica 6. Podaci o ulovu od 01. srpnja do 02. srpnja 2022.godine.....	23



---

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
GT	-	Bruto tona
EM	$t_{CO_2}/t_{ribe}$	Relativna emisija CO <sub>2</sub>
FC	t	Potrošnja goriva
m <sub>ULOVA</sub>	t	Masa ulova
c <sub>F</sub>	$t_{CO_2}/t_{goriva}$	Emisijski faktor

---

**SAŽETAK**

Brodograđevna industrija suočava se s pritiskom smanjenja utjecaja na okoliš, a praćenje potrošnje goriva presudno je da bi se to ostvarilo. Ovaj završni rad obrađuje aktualnu temu određivanja potrošnje goriva na ribarskim brodovima u svrhu određivanja energetske učinkovitosti odnosno smanjenja ugljičnog otiska. Provođenjem SWOT (eng. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) analize modela specifične potrošnje goriva (SFC modela – eng. *Specific Fuel Consumption*) i mjernih tehnika uviđa se važnost korištenja naprednih tehnologija zbog pružanja veće točnosti, učinkovitosti i pouzdanosti te mogućnosti analize podataka i izvještavanja u stvarnom vremenu. Praćenjem rute jednog ribolovnog ciklusa plivaričara utvrđuje se da je potrošnja goriva pri ribolovnim aktivnostima niska, dok se tijekom plovidbe od luke do mjesta ribolova i natrag povećava brzina broda i uzrokuje veću potrošnju goriva. Rad sadržava i proračun CO<sub>2</sub> indeksa za plivaričar "Noa" čiji rezultati potvrđuju kako priobalni brodovi ipak imaju značajan utjecaj na zagađenje okoliša. Postoje različiti načini za smanjenje CO<sub>2</sub> emisija na brodovima, poput poboljšanja projekta broda, korištenje alternativnih goriva i optimiranje operativnih ruta broda, međutim takva rješenja imaju određene ekonomske zahtjeve. Veliki problem pri prihvaćanju metoda i modernih tehnologija koje bi doprinijele lakšem određivanju potrošnje goriva, osim financijskih prepreka, predstavlja i ljudski otpor prema promjenama kao i nedostatak znanja i svijesti. Kako bi došlo do poboljšanja, potrebno je postrožiti regulative za emisiju štetnih plinova ili razviti tržišne mehanizme koji bi ubrzali primjenu inovativnih, energetski učinkovitih, tehnologija i podignuti razinu ljudske svijesti o povećanju globalnih ekoloških problema.

Ključne riječi: potrošnja goriva, SFC modeli, mjerači protoka, mjerači razine tekućine u spremniku, CO<sub>2</sub> indeks.

---

**SUMMARY**

As the shipping industry faces pressure to reduce its environmental impact, fuel consumption monitoring is a crucial step for its reduction. This final thesis deals with the actual topic of determining fuel consumption on fishing vessels for the needs of determination of the carbon footprint. By conducting a SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) analysis of the SFC (*Specific Fuel Consumption*) model and measurement techniques, the importance of using advanced technologies is recognized due to the provision of greater accuracy, efficiency and reliability, as well as the ability to analyze data and report in real time. By following the route of one fishing cycle of purse seiners, it is found that fuel consumption during fishing activities is low, while during navigation from the port to the fishing place and back, the speed of the boat increases and causes higher fuel consumption. The paper also contains a calculation of the CO<sub>2</sub> index for the ship "Noa", the results of which confirm that coastal ships still have a significant impact on environmental pollution. There are various ways to reduce CO<sub>2</sub> emissions on ships, such as improving ship design, using alternative fuels and optimizing ship operational routes, however such solutions have greater economic needs. A big problem in accepting methods and modern technologies that would contribute to easier determination of fuel consumption, apart from financial obstacles, is human resistance to change as well as lack of knowledge and awareness. In order to make improvements, it is necessary to tighten regulations concerning emission of harmful gases and raise the level of human awareness of accelerating global environmental problems.

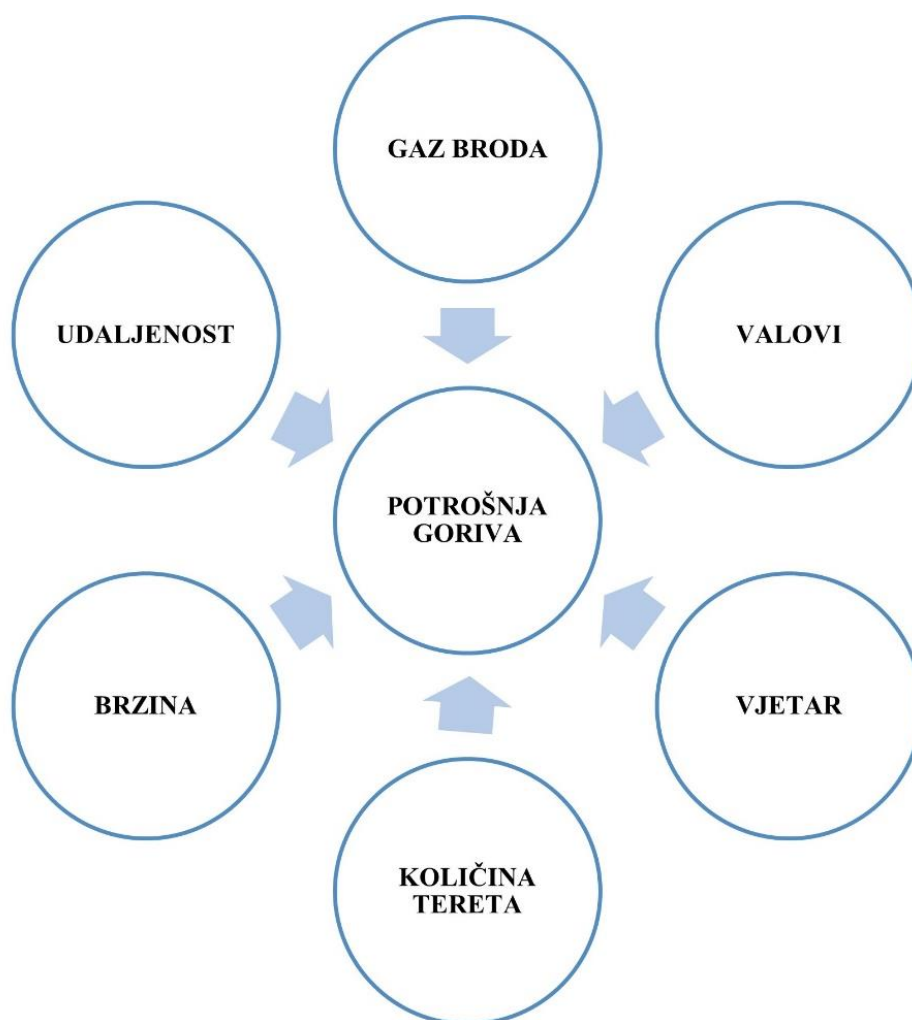
Key words: fuel consumption, SFC models, flow meters, fuel level sensors, CO<sub>2</sub> index.

## 1. UVOD

Smanjenje potrošnje goriva aktualna je tema pomorske industrije koja u vidu ima povećanje energetske učinkovitosti i ekološke prihvatljivosti. Redukcija štetnih emisija ovisi o potrošnji goriva i njenom praćenju u stvarnom vremenu. Za sektor ribarstva operativni troškovi nastoje se minimalizirati kroz manji utrošak goriva, istovremeno podrazumijevajući povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje zagađenja okoliša [1]. Međunarodna pomorska organizacija (eng. *IMO - International Maritime Organisation*) izdaje preporuke za sprečavanje i kontrolu emisija štetnih plinova, međutim, većina smjernica odnosi se na preookeanske brodove dok priobalni brodovi nisu direktno uzeti u obzir što predstavlja problem jer količina štetnih plinova koju proizvode nije zanemariva. Primjerice, od ukupne emisije pomorskog sektora koja iznosi otprilike 940 milijuna tona CO<sub>2</sub> [2], ribarski sektor je zaslužan za emitiranje 134 milijuna tona CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini [3]. Brodovi u priobalnoj plovidbi imaju veći utjecaj na zdravlje populacije jer plove u blizini naseljenih područja, stoga zahtijevaju veću pozornost. Reduciranjem brzine postiže se značajna ušteda goriva te ovisno o plovilu može dosežati čak 40 % [4]. Kod ribarskih brodova brzina varira ovisno o procesu ribolova, a smanjenje brzine u svrhu manjeg zagađenja okoliša može uzrokovati gubitak ulova i nisku dobit. Upravo zbog toga potrebno je analizirati potrošnju goriva tijekom različitih ribolovnih aktivnosti te osigurati ekonomsku isplativost i ekološku dobrobit. Ekološki otisak može se kontrolirati i odabirom goriva. Prema četvrtoj studiji IMO-a [4], dizelsko gorivo dominantno je u međunarodnom brodarstvu, ali nepogodan utjecaj na okoliš, nesigurnost i nagle fluktuacije cijena te ograničene količine fosilnih goriva potiču korištenje alternativnih goriva. Primjena alternativnih goriva poput biodizela, LNG-a (eng. *Liquefied natural gas*) i metanola ekološki je prihvatljivija opcija, a bilježi se i porast njihove implementacije. Formulirani su kratkoročni ciljevi za smanjenje intenziteta emisija ugljika iz pomorskog prometa za 40 % do 2030. godine te dugoročni cilj smanjenja ukupnih emisija za 50 % do 2050. [5].

Za istraživanja smanjenja štetnih emisija i ekonomskih poboljšanja nužno je poznavati ulazne podatke. Ulazne vrijednosti često su procijenjene na godišnjoj razini, nisu detaljne i daju netočne, nepouzdana ili samo osrednjene rezultate koji se koriste u daljnjim istraživanjima. Takva skrivena pogreška dalje propagira i utječe na konačni rezultat ispitivanja. Ručno prikupljanje podataka još uvijek je standardna praksa na većini plovila, a na rezultate utječe i angažman same posade, zbog čega je bitno poboljšati socijalni aspekt, odnosno proces podučavanja osoblja za rad s novim tehnologijama. Moderna tehnologija omogućava praćenje

potrošnje goriva i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, povećavajući profitabilnost i operativnost te ekološku prihvatljivost. Sustavi za praćenje omogućuju različite relevantne informacije poput učinka aditiva goriva tijekom paljenja te procjene koncentracije sumpora u ispušnim plinovima pomoću UV kamera. Takvi sustavi za mjerenje potrošnje goriva postavljeni su na ribarske brodove te bilježe potrošnju u realnom vremenu, plovnu rutu, vrijeme, brzinu i ostale informacije [6]. Određivanje potrošnje goriva od iznimne je važnosti za sve faze trajanja broda, a moguće ga je provesti na više načina, matematičkim modelima i mjernim metodama. U okviru ovog završnog rada obrađen je postupak određivanja potrošnje goriva te analiza povezanosti operativnih značajki broda i potrošnje goriva na temelju prikupljenih podataka za ribarski brod na koji je postavljen sustav za mjerenje. Na Slici 1 navedeni su faktori koji utječu na potrošnju goriva.



**Slika 1.** Faktori koji utječu na potrošnju goriva [7]

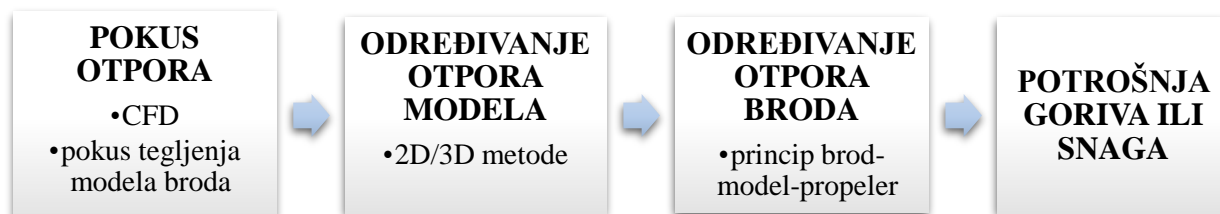
## 2. ODREĐIVANJE POTROŠNJE GORIVA MATEMATIČKIM MODELIMA

### 2.1. Modeli specifične potrošnje goriva

Kao što je ranije naglašeno, potrošnja goriva ima značajnu ulogu u energetske učinkovitosti broda. Većina suvremenih matematičkih modela za određivanje količine potrošenog goriva temelji se na predviđanjima i statistici strojnog učenja. Ukoliko se u obzir uzmu i podaci dobiveni sa senzora i drugih platformi, poput vremenske prognoze, podataka o pomorskom prometu i dalje, baza se može koristiti za optimizaciju plovidbe [1]. Budući da modeli mogu simulirati različita stanja plovidbe, modeli specifične potrošnje goriva mogu se koristiti kao pomoćni alati za predviđanje i proučavanje zakona potrošnje goriva. Istraživanja na SFC modelima provedena su u svrhu uštede energije i smanjenja emisija te mogućnosti korištenja mjera za optimizaciju brzine i rute. Povećanje energetske učinkovitosti primarni je cilj većine istraživanja. Metode poboljšanja energetske učinkovitosti brodova potrebno je kategorizirati, stoga je IMO u regulativi energetske učinkovitosti predložio metode za poboljšanje energetske korisnosti uključujući tehničke i operativne mjere. Tehničke mjere uključuju nadogradnju i promjenu strukture broda, opreme i izbora goriva, iskorištavanje otpadne topline, smanjenje onečišćenja i otpora te kontroliranje ispuštanja CO<sub>2</sub>. Implementacija tehničkih mjera zahtjeva preoblikovanje strukture broda kako bi se smanjile emisije, a njihova pravilna uporaba rezultira uštedom goriva. Izmjena strukture broda je vrlo kompleksna te uzrokuje dodatne troškove, stoga je brodovlasnici približe razmatraju prije usvajanja. Operativne mjere pokrivaju promjenu operativne strategije brodova, optimizaciju brzine, rute i trima te upravljanje energijom. One ne zahtijevaju modifikaciju opreme na brodu i imaju značajan učinak na potrošnju goriva, za svakih 10 % smanjenja brzine potrošnja goriva smanjuje se za 27 % [5]. Tehničke i operativne mjere imaju različitu provedbu, međutim obje u cilju imaju smanjenje potrošnje goriva. Njihova primjena značajno ovisi o ekonomskoj procjeni. Za postizanje još veće uštede goriva, predlažu se novi operativni alati za optimizaciju, poput upravljanja otpadom, raspoređivanja voznog parka i gospodarsko upravljanje, no trenutno postoje samo empirijski rezultati koji pokazuju njihovu učinkovitost [5]. Nastavno na status istraživanja SFC modela, računalne modele karakteriziraju velike količine prikupljenih podataka što omogućuje korištenje računalne inteligencije. Razlikuju se tri vrste modela potrošnje goriva: model bijele kutije (eng. *WBM - White Box Model*), model crne kutije (eng. *BBM - Black Box Model*) i model sive kutije (eng. *GBM - Grey Box Model*) [6].

### 2.1.1. Model bijele kutije

Model bijele kutije temelji se na prethodnom znanju i fizičkom uvidu na koji utječu razni čimbenici prilikom plovidbe [6]. Model se zasniva na poznavanju geometrije trupa, raspodjele mase, karakteristika broskog vijka i potrošnje glavnog dizelskog motora. Parametri koji se mogu kontrolirati su broj okretaja glavnog motora te gaz na pramcu i krmi, a njihova regulacija omogućuje da brod plovi željenom brzinom [8]. WBM pokriva analizu mehanizma SFC-a koji uključuje statiku i dinamiku broda. Analiza mehanizma obuhvaća analizu plutajućeg stanja i hidrodinamičku analizu. Mehanizam potrošnje goriva modeliran je na principu brod-motor-brodski vijak i zakonu prijenosa otpora. Vrijednost potrošnje goriva iščitava se iz podataka o broskoj liniji i podataka o ispitivanju na moru. S obzirom na to da na brodove tijekom plovidbe utječu razni čimbenici, analiza je složena, a točnost predviđanja potrošnje goriva za ekstremne uvjete je iznimno neprecizna. Brodsko gorivo primarno se koristi za pogon, a količina ukupne energije koja se koristi za kretanje broda unaprijed ovisi o vrsti broda. Za pogonski sustav može se razviti WBM te tada uspostavljeni WBM može izračunati otpor broda i pretvoriti ga u vrijednost potrošnje goriva na temelju odnosa između broda, motora i broskog vijka. Na temelju unutarnjeg izgaranja motora pogonskog sustava broda, vrijednost potrošnje goriva može se izračunati pripadajućim formulama. Pokus otpora modela broda i računalna dinamika fluida (eng. *CFD - Computational Fluid Dynamics*) mogu se koristiti za proračun otpora modela broda kojim se dobiva otpor broda u naravi. Iznos otpora dobiva se odgovarajućim formulama, a zatim se na temelju vrijednosti otpora broda izračunava potrebna snaga i predviđa potrošnja goriva. Treba napomenuti kako se pri proračunu otpora komponente i interakcije broda, poput trenja oplate, utjecaja valova ili otpora zraka, često zanemaruju, a to rezultira slabom primjenjivošću SFC modela. Na unutarnje parametre lako utječu i razni okolišni čimbenici što uzrokuje pogreške u cijelom modelu. Istraživači su kombinirali i teoriju gibanja broda s metodom otpora i koeficijentata propulzije Međunarodne konferencije bazena za modelska ispitivanja (eng. *ITTC – International Towing Tank Conference*) za predviđanje SFC-a, prednost je pregled energetske učinkovitosti broda tijekom ranih operativnih faza [5]. Na Slici 2 prikazani su koraci za izradu modela bijele kutije.



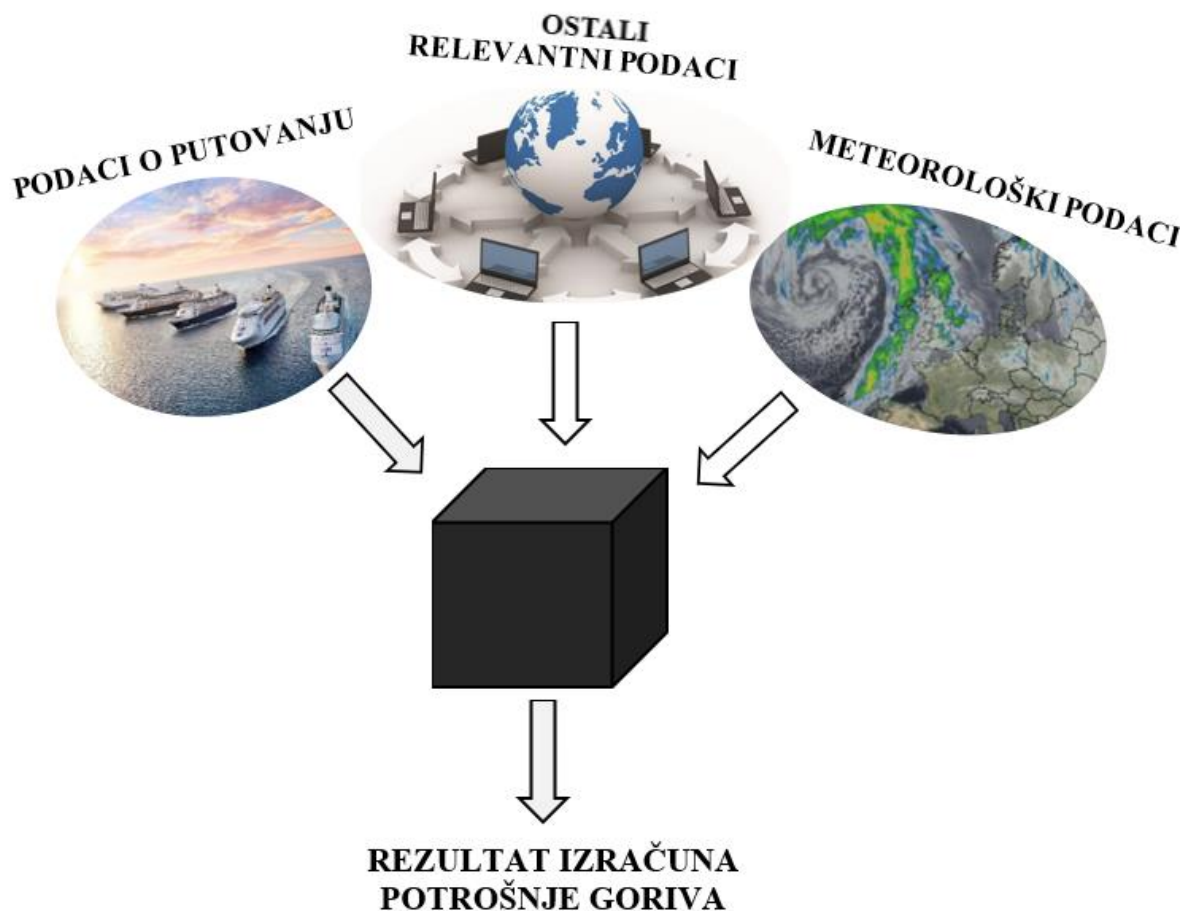
Slika 2. Koraci za izradu modela bijele kutije

### 2.1.2. Model crne kutije

Statistički modeli te modeli strojnog učenja bez fizičkog uvida i s velikom bazom podataka karakteristični su za model crne kutije [6]. Statistički modeli koriste se za određivanje odnosa između varijabli i potrošnje goriva uz pomoć vjerojatnosti, dok strojno učenje omogućuje točna predviđanja potrošnje goriva korištenjem približnih funkcija. SFC modeli temeljeni na statistici baziraju se na regresijskim metodama. Najviše se koristi linearna regresija, međutim, njenim korištenjem javljaju se nedostaci poput povećavanja srednje apsolutne postotne pogreške (eng. *MAPE - Mean Absolute Percentage Error*) potencijalnom multikolinearnošću. Zbog toga je za složene SFC modele potrebno razmotriti kombinaciju višestrukih regresijskih metoda kako bi se izbjegla netočna procjena regresijskih koeficijenata [5]. Bayesova grebena regresija, nuklearna grebena regresija, višestruka regresija i grebena regresija najtočniji su modeli predviđanja potrošnje goriva. Broj cilindara glavnog motora, parametri pročišćavanja, vrijednost temperature rashladne vode i drugi podaci imaju povezanost sa potrošnjom goriva. Metoda najmanjih kvadrata može se koristiti za pretvaranje nelinearnih problema u linearne, no istraživači razmatraju novu inteligentnu tehnologiju [5]. Modeli strojnog učenja imaju velike zahtjeve za podacima i koriste se za modeliranje visokodimenzionalnih problema poput procjene odnosa potrošnje goriva i vjetrova [1]. Osnovne metode strojnog učenja su umjetne neuronske mreže (eng. *ANN - Artificial Neural Network*), kojima se prikupljene informacije o potrošnji goriva uče i iznova uvježbavaju. Parametri se podešavaju i simulira se odnos između potrošnje goriva i ulaznih podataka. Budući da interni parametri utječu na izlazne podatke, problematična područja ne mogu se identificirati bez prethodnog poznavanja internog rada modela. Primjerice, smanjenje parametra poput brzine te podešavanje drugog parametra, vjetrova ili valova, rezultira sličnim izlaznim slikama koje nemaju fizikalnu osnovu pa se zakon o potrošnji goriva mora procijeniti prije predviđanja same potrošnje. Model je realističniji ukoliko se u obzir uzme težina svake značajke unutar internog sustava tijekom procesa predviđanja potrošnje goriva. Modeli temeljeni na strojnom učenju obuhvaćaju statistiku i optimizacijske algoritme poput kombinacije ANN i višestrukih regresijskih modela, kombinacije ANN i Monte Carlo metode te kombinacije DT-a (eng. *Decision Tree*) korištenjem CART (eng. *Classification And Regression Tree*) algoritma i RF-a (eng. *Random Forest*) skupnog učenja. Metode statistike i strojnog učenja zasnivaju se na podacima te se zato moraju koristiti mnogi inteligentni algoritmi. Statistički modeli primarno se koriste za zaključivanje odnosa između različitih komponenti u skupu podataka ili za stvaranje modela koji predviđaju buduće vrijednosti, dok strojno učenje povećava moć predviđanja, stoga se ove dvije metode



moгу nadopunjavati [5]. Kao što je prikazano na Slici 3, podaci o putovanju i vremenu te ostali relevantni podaci utječu na rezultate izračuna potrošnje goriva metodom modela crne kutije.

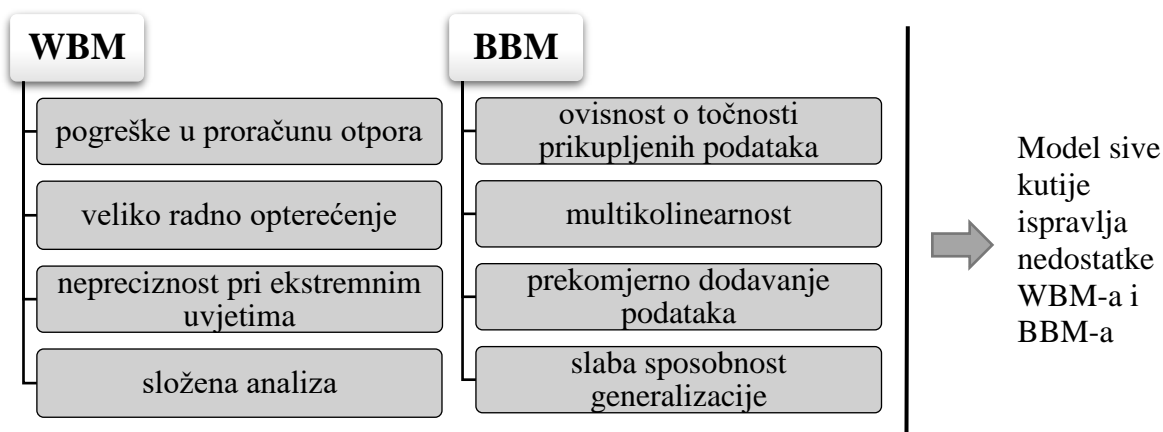


Slika 3. Model crne kutije [5]

### 2.1.3. Mogućnost poboljšanja i usporedba modela bijele i crne kutije

Određivanje otpora ključno je za WBM te zahtjeva daljnja istraživanja jer postoje razni nedostaci u njegovom proračunavanju. Također, potrebno je promatrati i čimbenike poput politike, cijene goriva i rasporeda otpreme zbog praktičnosti i povećavanja točnosti, iako se time povećava i radno opterećenje što model predviđanja potrošnje goriva čini težim za razumjeti. Prikupljanje podataka preduvjet je za izradu BBM-a. Metode za prikupljanje podataka koje se trenutno koriste su podnevna izvješća, dnevници plovidbe, sustavi za nadzor brodova i sustav automatske identifikacije (eng. *AIS - Automatic Identification System*). Na 70. sastanku odbora za zaštitu morskog okoliša (eng. *MEPC - Marine Environment Protection Committee*) usvojen je "Sustav prikupljanja podataka i izvještavanja o potrošnji brodskog goriva" kojim su propisani detalji sustava prikupljanja podataka [5]. Postoje tri prednosti

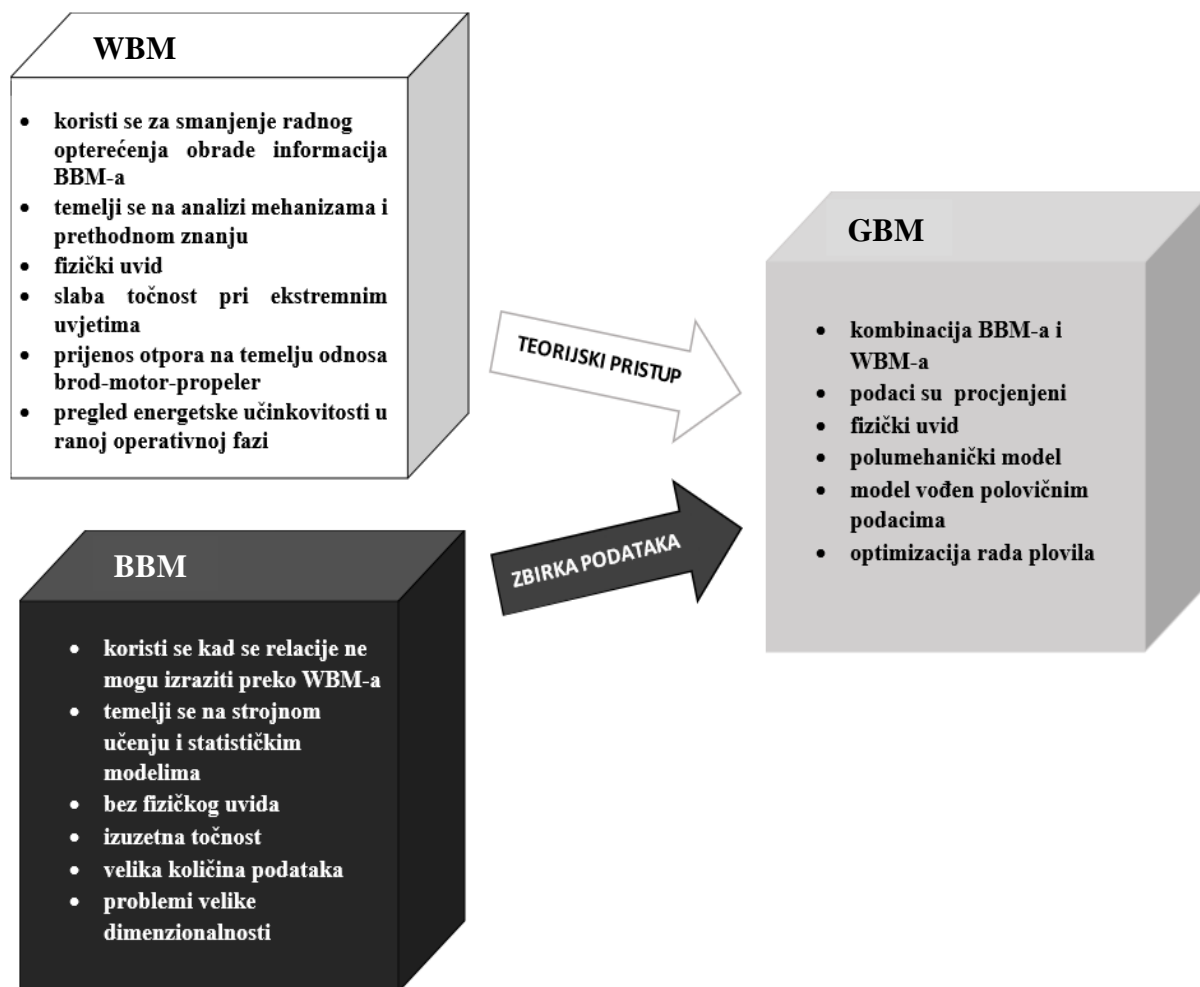
sustava praćenja: viši stupanj standardizacije, potrošnja goriva nije jedini kriterij za mjerenje snage broda te veća učestalost i točnost prikupljanja podataka [9]. Iako AIS često prenosi informacije, brodovi koji plove u područjima sa slabim signalima prikupljaju informacije u šumu. Nadalje, kvaliteta BBM-a ovisi o količini i preciznosti podataka. Istraživanja su pokazala da se točnost poboljšala za približno 1,5 % nakon prethodne obrade (na primjer, postupcima obrade buke), Mahalanobisovom udaljenošću i srednjim filtriranjem [5]. Osim toga, postoji i metoda nazvana "fuzija podataka" koja spaja meteorološke zapise s drugim izvorima podataka te se tako poboljšava kvaliteta skupa podataka. Pouzdanost BBM-a povećava se i unutarnjom optimizacijom, odnosno podešavanjem hiperparametara koji ovise o unutarnjim karakteristikama modela i ulaznim parametrima. Hiperparametri se obično podešavaju ručno, a postoji i softver koji omogućava pomoćno podešavanje (Matlab R202b). Često se primjenjuje i Bayesova optimizacija. BBM ima tri osnovna problema, multikolinearnost, prekomjerno prilagođavanje te sposobnost generalizacije. Za smanjenje multikolinearnosti uzrokovane osjetljivim i promjenjivim parametrima, koriste se laso i grebenska regresija. Učinkovita metoda za određivanje razine multikolinearnosti je faktor inflacije varijacije (eng. *VIF - Variance Inflation Factor*). Pretjerano prilagođavanje, odnosno dodavanje podataka, općenito dovodi do niske točnosti zbog previše općih čimbenika u SFC modelu, a za prevenciju koriste se laso i grebenska regresija. Slaba sposobnost generalizacije ograničava primjenu uspostavljenog SFC modela na jedan brod ili specifičnu situaciju. Za njeno sprečavanje koristi se metoda dodavanja ograničenja [5]. Sumirano, WBM se koristi za smanjenje radnog opterećenja obrade informacija BBM-a i provjeru izlaznih rezultata, a BBM se upotrebljava kad se odnosi ne mogu izračunati WBM-om te koristi bazu podataka za provjeru izlaznih rezultata. Kombiniranjem tih dvaju modela nastaje model sive kutije (GBM). Nedostaci modela bijele kutije i modela crne kutije navedeni su na Slici 4.



**Slika 4. Nedostaci modela bijele kutije i modela crne kutije**

#### 2.1.4. Model sive kutije

Model sive kutije obuhvaća teorijski pristup WBM-a te zbirku podataka BBM-a [6]. Kako bi se formulirao GBM, WBM i BBM mogu se kombinirati na dva načina. Prvi je uvođenje BBM-a temeljenog na WBM-u za odnose koji se ne mogu izraziti kao jednadžbe uz WBM, a BBM se može koristiti za provjeru točnosti izlaznih rezultata WBM-a. Drugi način je uvođenje WBM-a temeljenog na BBM-u, gdje se WBM-om kontrolira ispravnost izlaznih podataka BBM-a. Kako bi se smanjilo radno opterećenje obrade informacija, formula mehanizama može se dodati BBM-u. Iz tog razloga GBM se može koristiti za provjeru rezultata dobivenih korištenjem BBM-a i WBM-a. Provedene su razne studije vezane uz optimizaciju potrošnje goriva brodova koji koriste GBM. Istraživači su, nakon analiziranja potrošnje goriva tijekom vremena, koristili GBM za predviđanje potrošnje dizela te utvrdili da je model točan i da se može upotrebljavati za predviđanje potrošnje goriva generatorskih setova. Jedan primjer modela sive kutije je Gaussov procesni model. Prikupljanjem podataka o brzini broda, trimu, vjetru i valovima te unosom formula mehanizama mogu se poboljšati odnosi između reduciranja emisija, uštede energije i smanjenja potrošnje goriva. Za GBM mogu se koristiti i genetski algoritmi. Veliki skupovi podataka čine rješenja genetskog algoritma sporim, a to se može popraviti zamjenom osnovnih načela brodske propulzije. Do nekih podataka je teško i skupo doći, a GBM može dobiti iste rezultate kao BBM koristeći otprilike polovicu podataka. Štoviše, GBM je najprecizniji model za procjenu potražnje za električnom energijom broda [5]. Na Slici 5 prikazane su osnovne karakteristike sva tri SFC modela.



Slika 5. Pregled SFC modela

## 2.2. Provjera rezultata istraživanja

Posljednji korak svake studije o modelu potrošnje goriva broda, ključan za osiguranje visoke vjerodostojnosti, je provjera rezultata istraživanja. Kontrola SFC modela provodi se usporedbom predviđene vrijednosti potrošnje goriva s prikupljenim podacima o stvarnoj potrošnji goriva ili korištenjem softvera za provjeru. Postoje tri najčešća izvora podataka o potrošnji goriva, otpremnice bunkera (eng. *BDN - Bunker Delivery Note*), mjerači protoka i indikatori razine spremnika. BDN je dokument koji se prema zahtjevima IMO-a mora držati na brodu, a njegovom provjerom mogu se vidjeti podaci o gorivu u vezi s objektnim brodom. Najveća mana BDN-a je nesadržavanje podataka o performansama u stvarnom vremenu. Za dobivanje podataka o učinku u stvarnom vremenu koriste se mjerači protoka [5]. Međutim, njihova ugradnja zahtjeva procjenu strukture i okoliša cjevovoda u cilju određivanja najbolje mjerne točke, stoga je potrebno uravnotežiti ekonomske čimbenike i poteškoće ugradnje [10]. Pokazatelji razine spremnika nalaze se između BDN-a i mjerača protoka, u smislu izvedivosti.

Na potrošnju brodskog goriva prvenstveno utječu unutarnji čimbenici. Specifična potrošnja dizelskog goriva (eng. *SFOC - Specific Fuel Oil Consumption*) i vrsta glavnog motora utječu na razinu energetske učinkovitosti glavnog motora, što utječe na potrošnju goriva. Pomoćni strojevi, odnosno pomoćni generatori, kotlovi i upravljački uređaji troše velike količine goriva te ispuštaju stakleničke plinove i druge zagađivače. Potrošnja goriva pomoćnih strojeva nije izravno povezana sa brzinom i otporom broda pa se pri njihovoj uporabi u obzir mora uzeti potreba za energijom broda. Za predviđanja potrošnje goriva pomoćnih strojeva koristi se BBM, dok se za predviđanje emisija, ali i okvirni izračun potrošnje goriva koristi WBM. Potrebno je u obzir uzeti i potražnju za opterećenjem to jest radno vrijeme i snagu opterećenja. Prilikom pristajanja u luke, brodovi ne prestaju koristiti goriva s niskim sadržajem sumpora, a struje s obale zamjenjuju brodske pomoćne generatore. Na SFC modele značajno mogu utjecati i prilagodbe brzine plovidbe. Postoji još nekoliko čimbenika koji utječu na SFC, primjerice tipovi motora i goriva, vrijeme rada, otpor broda, politika i regulacija. Bottom-up model, odnosno metoda odozdo prema gore može pružiti točan prikaz stvarnosti, integrira specifične karakteristike aktivnosti broda i detaljno razmatra tehnologiju i troškove. Količina i zakon potrošnje goriva po jedinici vremena kvantificira se prema karakteristikama broda i okolišu. SFC modeli odozdo prema gore obično su BBM jer su količine podataka velike, a metode kombiniranja promjenjive [5]. Modeli odozdo prema gore posljednjih su godina stekli veliku popularnost u istraživanju brodskih emisija i potrošnje goriva jer su teoretski točni i odražavaju karakteristike potrošnje goriva koje se mijenjaju s vremenom [11]. BBM ima prednost jer se izračuni izvode pomoću računala. Metoda odozgo prema dolje (Top-down model) analizom prijašnjih podataka procjenjuje ukupnu razinu energetske učinkovitosti broda. Brod se promatra kao cjelina, ukupna potrošnja goriva na određenoj ruti ili regiji stavljena je u prvi plan. Top-down modeli ne mogu predvidjeti potrošnju goriva u stvarnom vremenu međutim, mogu se primijeniti na bilo koji brod stoga imaju širi raspon primjene [5]. SWOT (eng. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) analiza SFC modela prikazana je Tablicom 1.

**Tablica 1. SWOT analiza SFC modela**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• precizno i brzo predviđanje potrošnje goriva i isplativosti</li> <li>• omogućavaju planiranje i procjenu troškova za brodovlasnike</li> <li>• prilagodljivost raznim uvjetima plovidbe</li> <li>• simulacija različitih stanja plovidbe</li> <li>• velike količine prikupljenih podataka</li> <li>• pregled energetske učinkovitosti u ranim operativnim fazama</li> <li>• usporedba učinkovitosti različitih plovila omogućuje bitne informacije o ulaganju</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• složenost</li> <li>• veliki zahtjevi za podacima</li> <li>• potrebno predznanje za korištenje</li> <li>• ovisnost o točnosti ulaznih podataka</li> <li>• zahtjevaju korištenje skupih softvera i tehnologija</li> <li>• dizajnirani za specifične situacije, nepreciznost pri ekstremnim uvjetima</li> <li>• ne sadrže podatke o performansama u stvarnom vremenu</li> <li>• ne obuhvaćaju potpuni utjecaj potrošnje goriva na okoliš, poput emisija stakleničkih plinova i zagađivača zraka</li> </ul>					
<p><b>Snage- unutarnji pozitivni čimbenici</b></p>	<table border="1" style="text-align: center; width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6;">S</td> <td style="background-color: #FF4500;">W</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">O</td> <td style="background-color: #FFD700;">T</td> </tr> </table>	S	W	O	T	<p><b>Slabosti- unutarnji negativni čimbenici</b></p>
S	W					
O	T					
<p><b>Prilike- vanjski pozitivni čimbenici</b></p>	<table border="1" style="text-align: center; width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">O</td> <td style="background-color: #FFD700;">T</td> </tr> </table>	O	T	<p><b>Prijetnje- vanjski negativni čimbenici</b></p>		
O	T					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mogućnost smanjenja emisijskih faktora</li> <li>• smanjenje troškova</li> <li>• optimizacija operacija</li> <li>• kontinuirani razvoj dovodi do pouzdanijih predviđanja</li> <li>• integracija sa drugim digitalnim tehnologijama zbog praćenja u stvarnom vremenu</li> <li>• mogućnost korištenja za određivanje političkih propisa koji se odnose na brodogradnju i zaštitu okoliša</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ovisnost o ekonomskoj procjeni</li> <li>• utjecaj okolišnih čimbenika na proračun</li> <li>• politički faktori</li> <li>• neprihvaćenost metoda zbog nedostatka svijesti i otpora promjenama</li> <li>• potrebno prilagođavanje različitim vrstama brodova i radnim uvjetima</li> <li>• izazovi povezani sa dostupnošću i kvalitetom podataka posebice u zemljama u razvoju ili za starije brodove ograničene opremom</li> </ul>					

### **3. MJERENJE POTROŠNJE GORIVA NA BRODOVIMA**

#### **3.1. Mjerenje potrošnje temeljem računalnog sustava povezanog uz stroj**

Prilikom određivanja potrošnje goriva bitno je poznavati vrijednost otpora broda pri odabranoj brzini jer on utječe na samu potrošnju i operativne troškove. Računalnom dinamikom fluida (CFD) može se predvidjeti otpor broda. Brzim napretkom računala i računalnih metoda povećane su mogućnosti CFD simulacija pri procesu projektiranja. Primjena je jednostavna i ne oduzima puno vremena. Točnost korištenja CFD simulacija dokazano je visoka i većina brodograditelja koristi ovu metodu umjesto eksperimentalne metode tegljenja tanka koja je dugotrajna [12]. Zbog visokih troškova, nesigurnosti i ograničenog mjerenja na moru, CFD analize na razini modela predstavljaju aktivno područje istraživanja i pružaju mogućnost provjere valjanosti numeričkih metoda u odnosu na izmjerene podatke [13].

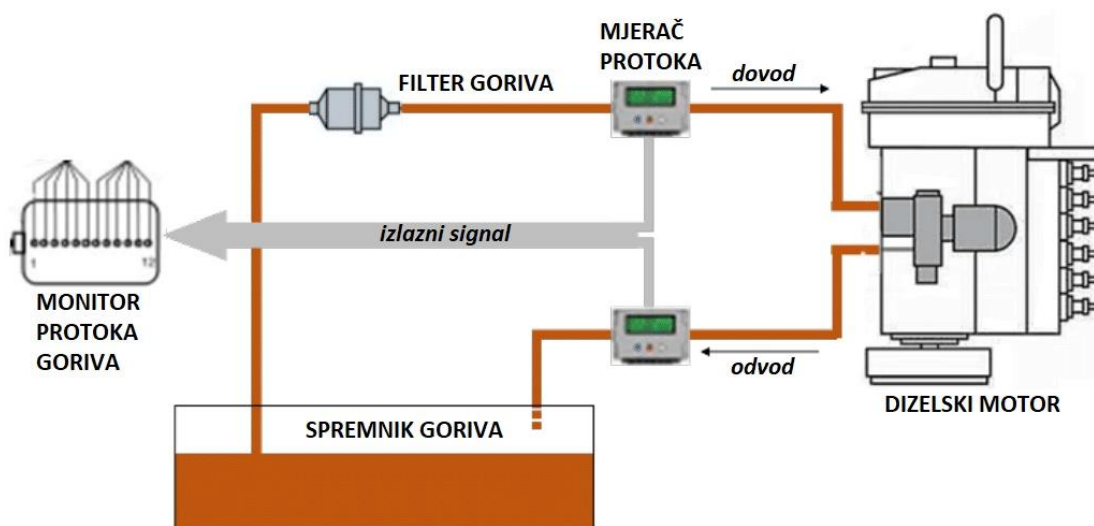
#### **3.2. Određivanje potrošnje goriva neovisnim mjernim sustavima**

Podaci o potrošnji goriva dobiveni modelima temelje se na procijenjenim vrijednostima, odnosno prikrivaju grešku. Pogreška je posebno izražena kod analize ribarskih brodova zbog različite potrošnje u različitim načinima rada. Ugradnja mjernih uređaja i senzora na plovila nužna je za verifikaciju rezultata dobivenih modelima potrošnje goriva. Oni omogućavaju izradu široke baze podataka koja sadrži rezultate o potrošnji goriva u stvarnom vremenu, režimu rada, brzini plovila, plovnoj ruti i ostalim podacima. Najčešće korišteni mjerni sustavi su mjeraci protoka te mjeraci razine tekućine u tanku [6].

##### **3.2.1. Mjerači protoka**

Količina i brzina protoka tekućine koja cirkulira u cijevi ili u otvorenom priključku mjeri se mjeračima protoka. Vrste mjeraca protoka koje postoje su ultrazvučni mjeraci, turbine, staklene cijevi, elektromagnetski mjeraci te otvor. Ultrazvučni mjerac protoka vrlo je popularan zbog niske cijene i mogućnosti da bude prijenosni mjerac, ali i jednostavnosti jer ga samo treba pričvrstiti na cijev na kojoj se bilježi mjerenje brzine protoka. Rezultati mjerenja čuvaju se u obliku memorijske kartice te se uz pomoć čitača kartica mogu izravno čitati na računalima. Ultrazvučne metode odlične su u određivanju brzih protoka, međutim nisu dovoljno istraženi za utvrđivanje protoka manjih brzina. Mjerači protoka sa staklenom cijevi nemaju široko područje primjene jer se koriste jedino u vertikalnim sustavima. Prednost je ta da se protok može očitati izravno u cijevi. Turbinski mjerac protoka sadrži lopatice, odnosno turbine ili impelere koji će se okretati pri protjecanju fluida. Elektromagnetski mjerac koristi se za

mjerenje vode, otpada i kemikalija te ima veliku izdržljivost u korozivnim uvjetima. Mjerač protoka s otvorom radi na principu razlike tlakova. Primjenjuje se pri visokim tlakovima i temperaturama te u korozivnim i kemijskim okruženjima [14]. Razlika u dovodu goriva u motor i povratnom toku u motor je osnova za mjerenje efektivne potrošnje goriva mjeracima protoka. Najčešće se bilježi protok između spremnika i niskotlačne pumpe goriva, kao što je prikazano na Slici 6 Podaci o potrošnji goriva dobivaju se u visokoj rezoluciji i znatnoj točnosti. Glavno ograničenje ovog mehaničkog tipa mjerenja je u krilima koja ograničavaju mjerenje na neki određeni interval unutar kojeg je senzor točan. Iako mjeraci protoka mogu dati ključne podatke o potrošnji goriva u određenom vremenu, bitno je detektirati greške koje se javljaju tijekom vibracija, promjena brzina, dinamičkih gibanja itd. [1]. Prilikom pojave vibracija, pogreška ultrazvučnog mjeraca protoka povećala se od 0,12 % do 0,5 %, dok se tijekom povećanja brzine greška povećala od 0,5 % do 2 % [15].



Slika 6. Sistem rada mjeraca protoka [1]

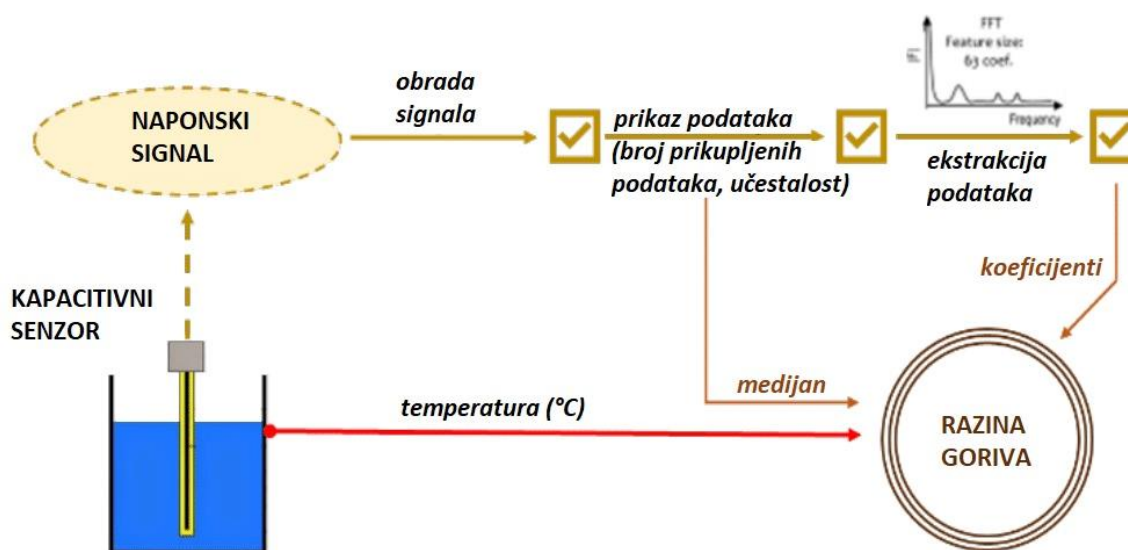
### 3.2.2. Mjerači razine tekućine u tanku

Senzor razine goriva je kapacitivni mjerni instrument koji je prilagođen i kalibriran za mjerenje dizelskih goriva. Kapacitivno mjerenje je uobičajena metoda mjerenja visine iz dielektričnih očitavanja, odnosno kapacitivni senzori pretvaraju promjenu položaja ili svojstava dielektričnog materijala u električni signal [1]. Senzori mjere promjene kapacitivnosti između vodljivih žica koje su uronjene u tekućinu, uzimajući u obzir dielektričnu konstantu medija koji se mjeri [16].

Za povećanje točnosti mjeraca neophodna je naknadna kalibracija sonde koja daje omjer visine



i volumena. Slika 7 prikazuje mjerni sustav koji se sastoji od kapacitivnog senzora zaduženog za slanje naponskog signala i pretvarača spojenog na jedinicu obrade signala kojom upravlja mikrokontroler. Mikrokontroler mjeri period izlaznog signala i filtrira podatke tijekom procesa istraživanja, uzimajući u obzir broj pohranjenih podataka i učestalost, te rezultira srednjom vrijednošću. Značajke signala dalje se komprimiraju pomoću specifičnih metoda ekstrakcije. Nemogućnost izračuna točnog odstupanja izmjenjenog rezultata od tehnološki definiranog jedan je od nedostataka ove vrste mjerenja, nastao uslijed kalibracije. Veća preciznost dobiva se postavljanjem većeg broja kalibracijskih točaka. Veliki nedostatak kapacitivnog mjerenja je njegovo standardiziranje za medij koji se mjeri, odnosno u ovom slučaju dizelsko gorivo. Do pogreške u mjerenju dolazi u slučaju nečistoća poput prljavštine, vode ili bilo koje druge kemijske kontaminacije goriva. Isto tako, kod kontinuiranog mjerenja tijekom plovidbe dolazi do greške u izmjerenoj ukupnoj količini zbog naginjanja ili ljuljanja fluida, posebice kad se sonda ne može postaviti u središte spremnika goriva. Prema iskustvu, očekuju se pogreške u mjerenju od 2 % do 5 % [1].



Slika 7. Kapacitivni senzor razine goriva [1]

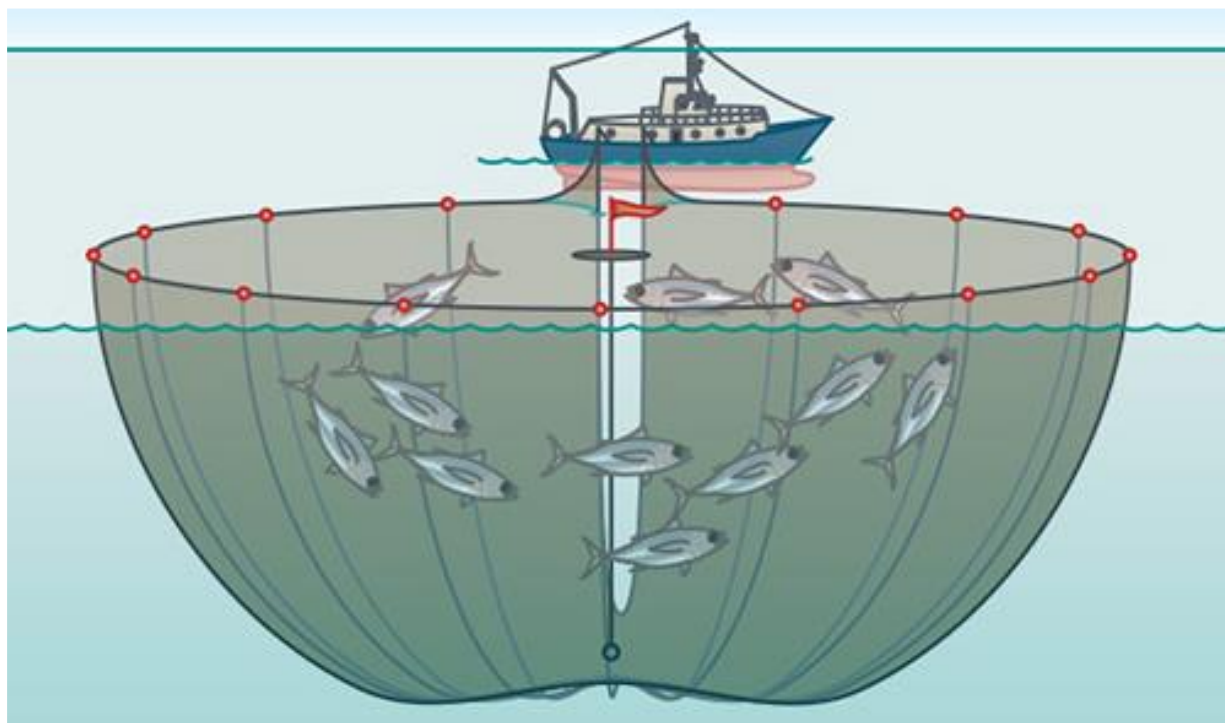
Unutarnji pozitivni i negativni čimbenici te vanjski pozitivni i negativni čimbenici mjernih uređaja prikazani su SWOT analizom u Tablici 2.

**Tablica 2. SWOT analiza mjernih uređaja**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• sadrže podatke o performansama u stvarnom vremenu</li> <li>• pružaju točno mjerenje potrošnje goriva</li> <li>• omogućavaju uštedu troškova u smanjenje utjecaja na okoliš</li> <li>• uređaji su izdržljivi</li> <li>• imaju niske zahtjeve za održavanje</li> <li>• mogućnost prijenosnih mjerača</li> <li>• izdržljivost određenih mjerača pri visokim tlakovima, u korozivnim i kemijskim uvjetima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zahtjevaju povremenu kalibraciju i podešavanje zbog održavanja točnosti</li> <li>• osjetljivi su na oštećenja pri izloženosti slanoj vodi ili ekstremnim temperaturama</li> <li>• standardiziranje za medij koji se mjeri kod kapacitivnog senzora</li> <li>• pogreške u mjerenju u slučaju nečistoća, vode ili drugih kontaminacija goriva</li> <li>• greške prilikom vibracija, promjena brzina, dinamičkih gibanja itd.</li> <li>• pogreške zbog nagibanja ili ljuljanja</li> </ul>			
<p><b>Snage- unutarnji pozitivni čimbenici</b></p>	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6; text-align: center;">S</td> <td style="background-color: #FF4500; text-align: center;">W</td> </tr> </table>	S	W	<p><b>Slabosti- unutarnji negativni čimbenici</b></p>
S	W			
<p><b>Prilike- vanjski pozitivni čimbenici</b></p>	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #90EE90; text-align: center;">O</td> <td style="background-color: #FFD700; text-align: center;">T</td> </tr> </table>	O	T	<p><b>Prijetnje- vanjski negativni čimbenici</b></p>
O	T			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• napredak tehnologije može dovesti do učinkovitijih i preciznijih rezultata</li> <li>• povećanje globalnog fokusa na smanjenje emisija ugljika</li> <li>• usvajanje digitalnih tehnologija u pomorskoj industriji može pružiti nove mogućnosti analize podataka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• poteškoće pri ugradnji</li> <li>• utjecaj ekonomskih čimbenika, ekonomski padovi mogu utjecati na potražnju uređaja</li> <li>• usvajanje alternativnih izvora goriva može smanjiti potrebu za mjernim uređajima</li> </ul>			

#### 4. ILUSTRATIVNI PRIMJER

Hrvatska ribarska flota sastoji se od 4039 plovila, od čega je 5 % udjela plivaričara, a 14 % koćarica [6]. Zbog čistoće i bogatstva Jadranskog mora, ribarstvo predstavlja posao sa velikom mogućnosti napretka i zarade [6]. Obzirom na ribolovne tehnike i alate razlikuju se brodovi za ribolov mrežama *stajačicama*, pridnenim i lebdećim povlačnim mrežama – *koćama* (koćari), mrežama *plivaricama* (plivaričari), *kombinirani* ribarski brodovi, brodovi za ribolov *parangalima*, *panulama*, *udicom* (udičari), *harpunima* (kitolovci), a među ribarske brodove ubrajaju se i *logistički* brodovi za prijevoz i preradbu ulova, tragači ribe i slično [17]. Najveći dio ulova, oko 89 %, ostvaruju plivaričari iako su malobrojni u hrvatskoj floti [18]. Plivaricama se lovi plava riba, tako da se jato plave ribe brzo okruži mrežom, a zatim se zatvori dno mreže kako riba ne bi pobjegla (Slika 8). Jata plave ribe uglavnom se kreću uz površinu mora, stoga plivarica ne pada na dno, već plovi. Za privlačenje ribe koriste se ferali, odnosno reflektori, a kako bi oni noću imali učinka, mjesec ne smije biti pun jer se ribe ne mogu odlučiti prema kojem izvoru svjetla bi se gibale. Nakon što se riba okruži mrežom, prstenovi koji su zakačeni na dnu, stegnu se čvrstim užem i na taj način se zatvori dno plivarice [19].



Slika 8. Tehnika lova ribe mrežom plivarice [20]

Razina korištenja goriva uvelike ovisi o ciljnoj vrsti i lokaciji na kojoj plovilo radi, a plivaričari troše preko 55 % ukupne potrošnje goriva na plovidbu [21]. Primjerice, godišnji troškovi goriva za plovila s plivaricom za ribolov tuna čine preko 70 % ukupnih troškova. Nadalje, potrošnja goriva za ribolov tuna raste ovisno o oceanskom bazenu, od 349 l/t u Pacifiku, 445 l/t u Atlantiku do 459 l/t u Indijskom oceanu [6]. Velika potrošnja goriva značajno utječe na morski okoliš ispuštanjem visoke razine štetnih plinova čije vrijednosti također variraju ovisno o oceanskom bazenu i ciljnoj vrsti ribe [22]. U daljim analizama koristit će se podaci preuzeti sa Katedre za strojeve i uređaje plovnih objekata na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

#### 4.1. Analiza podataka dobivenih sa uređaja za mjerenje instaliranih na plovilu s plivaricom

Analiza se fokusira na brod s plivaricom koje plovi u Jadranskom moru. Plovilo je usmjereno na ulov malih plavih vrsta, stoga se očekuju niže vrijednosti potrošnje goriva od onih koje se postižu za tunolovce s plivaricom. Izmjereni podaci omogućit će uvid u potrošnju goriva tijekom jednog ribolovnog ciklusa plivaričara uključujući plovidbu do mjesta ribolova, ribolovne aktivnosti poput postavljanja mreže i plovidbe natrag u luku [6]. Tehničke karakteristike promatranog broda "Briljant", prikazanog na Slici 9, dane su u Tablici 3.

**Tablica 3. Tehničke specifikacije plivaričara "Briljant"**

Dužina, m	32,28
Širina, m	7,40
GT	182
Snaga motora, kW	480
Generatori	2 x 185 kW

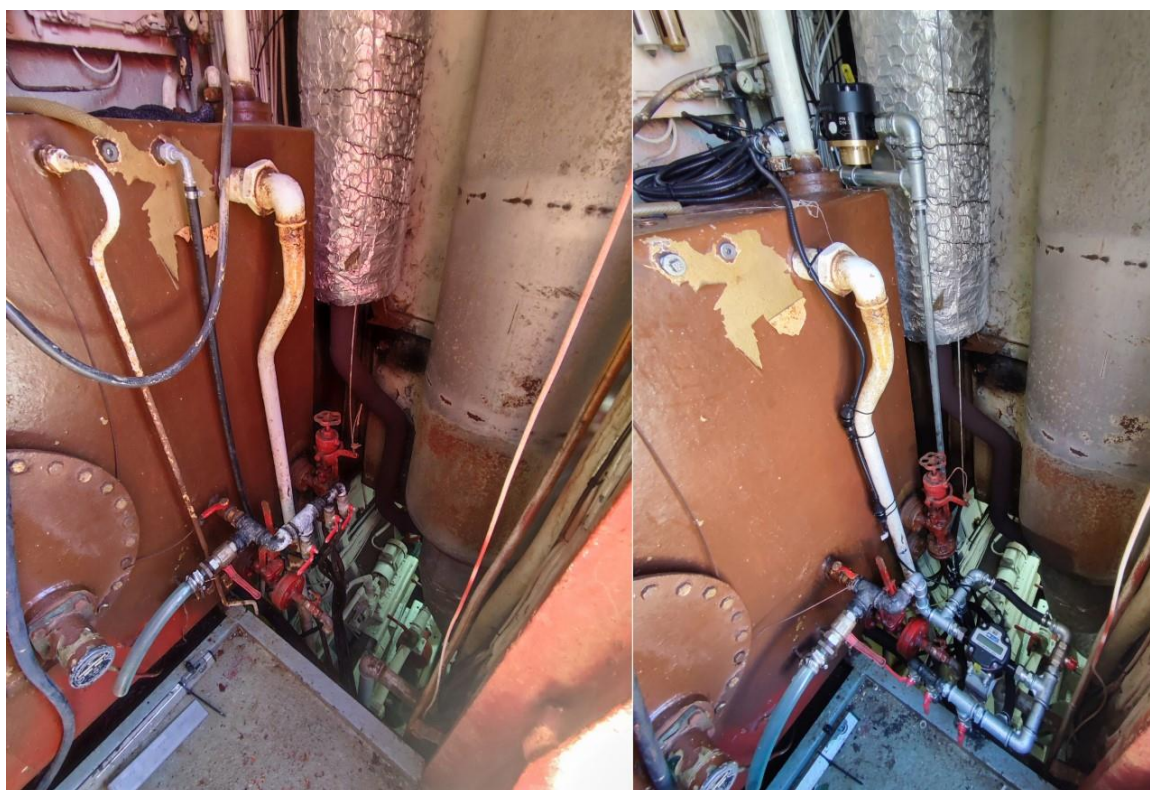


**Slika 9. Plivaričar Briljant [6]**

Instalacija senzora razine goriva i ostalih nadzornih uređaja završena je u svibnju 2022. Na Slici 10 prikazano je ugrađeno mjerilo stanja spremnika na plivaričaru "Noa", a Slika 11 prikazuje dnevni spremnik plivaričara "Briljant". Sustav nadzora povezan je sa serverom što omogućuje praćenje, analizu i izvoz podataka u bilo kojem trenutku. Kao uređaj za upravljanje voznim parkom koristi se aplikacija koja daje podatke o GPS lokaciji, potrošnji goriva, praćenju brzine, procijenjenoj emisiji CO<sub>2</sub>, prijednom vremenu i udaljenosti u određenom razdoblju i drugo [6]. U Tablici 4 prikazani su podaci plivaričara za razdoblje od 04. kolovoza do 05. kolovoza, odnosno razdoblje jednog ribolovnog ciklusa, dok Slika 12 prikazuje sažetak dobivenih podataka.



**Slika 10. Ugrađeno mjerilo stanja spremnika na plivaričaru "Noa"**



**Slika 11. Dnevni spremnik plivaričara "Briljant"**

Tablica 4. Izlazni podaci uređaja za praćenje goriva na plivaričaru "Briljant"

	Lokacije	Vrijeme	Datum
	590 m (7min)	10:00 - 10:07	04.08.2022
1	5CRH+92 Hvar, Croatia (1h 17min)	10:07 - 11:24	04.08.2022
	40.7 km (2h 47min)	11:24 - 14:11	04.08.2022
2	23VM+Q5 Komiža, Croatia (2h 53min)	14:11 - 17:05	04.08.2022
	69 m (<1min)	17:05 - 17:05	04.08.2022
3	23VM+VG Komiža, Croatia (2h 32min)	17:05 - 19:37	04.08.2022
	26.2 km (2h 4min)	19:37 - 21:41	04.08.2022
4	2X5Q+6Q Biševo, Komiža, Croatia (2h)	21:41 - 23:42	04.08.2022
	72 m (<1min)	23:42 - 23:42	04.08.2022
5	2X5R+83 Biševo, Komiža, Croatia (17min)	23:42 - 00:00	04.08.2022
6	2X5Q+6Q Biševo, Komiža, Croatia (43min)	00:00 - 00:43	05.08.2022
	139 m (<1min)	00:43 - 00:43	05.08.2022
7	2X5R+G7 Biševo, Komiža, Croatia (2h 56min)	00:43 - 03:40	05.08.2022
	1.4 km (18min)	03:40 - 03:59	05.08.2022
8	2X5V+XR Biševo, Komiža, Croatia (1h 23min)	03:59 - 05:22	05.08.2022
	411 m (6min)	05:22 - 05:28	05.08.2022
9	2X5X+RR Biševo, Komiža, Croatia (22min)	05:28 - 05:50	05.08.2022
	427 m (7min)	05:50 - 05:58	05.08.2022
10	2253+FV Biševo, Komiža, Croatia (23min)	05:58 - 06:22	05.08.2022
	43 km (2h 54min)	06:22 - 09:16	05.08.2022
11	5CWH+9Q Hvar, Croatia (23min)	09:16 - 09:39	05.08.2022
	693 m (9min)	09:39 - 09:48	05.08.2022
12	5CRG+6X Hvar, Croatia (1h 10min)	09:48 - 10:58	05.08.2022
	18 m (1min)	10:58 - 11:00	05.08.2022

SAŽETAK		GPS data	CAN data	Fuel sensor
Pređena udaljenost	↗ 154.4 km	Količina potrošenog goriva ⚙ 589.8 l (37.7 l/h)		
Vrijeme putovanja	↗ 11h 35min			
Vrijeme mirovanja	16h 23min			

Slika 12. Sažetak jednog ribolovnog ciklusa plivaričara "Briljant"

Ruta plivaričara prikazana Slikom 13, dijeli se u različita karakteristična razdoblja: plovidba prema otvorenom moru u cilju pronalaska kvalitetnog, ribom bogatog, mjesta za ulov, ribolovnih aktivnosti odnosno, bacanje i postavljanje mreže, skupljanje ulova i podizanje na brod te na kraju uplovljavanje natrag u luku. Tijekom ribolovnih aktivnosti plovila imaju vrlo nisku potrošnju goriva. Razlog tomu je što plovila moraju biti što tiša i neupadljiva kako se riba ne bi preplašila i pobjegla. Za vrijeme ovih aktivnosti, potrošnju goriva najviše uzrokuje sustav rasvjete koji je potreban tijekom ribolova. Povećanje brzine tijekom plovidbe od luke do mjesta ribolova i natrag praćeno je povećanjem potrošnje goriva. Analizom potrošnje goriva omogućuje se određivanje područja najveće potrošnje u svrhu optimizacije dijela ribolovnog ciklusa. Praćenjem brzine i optimizacijom njezine vrijednosti, odnosno smanjenjem brzine u praznom hodu plivaričara, mogla bi se postići značajna ušteda u potrošnji goriva, ali i smanjenje emisija [6].



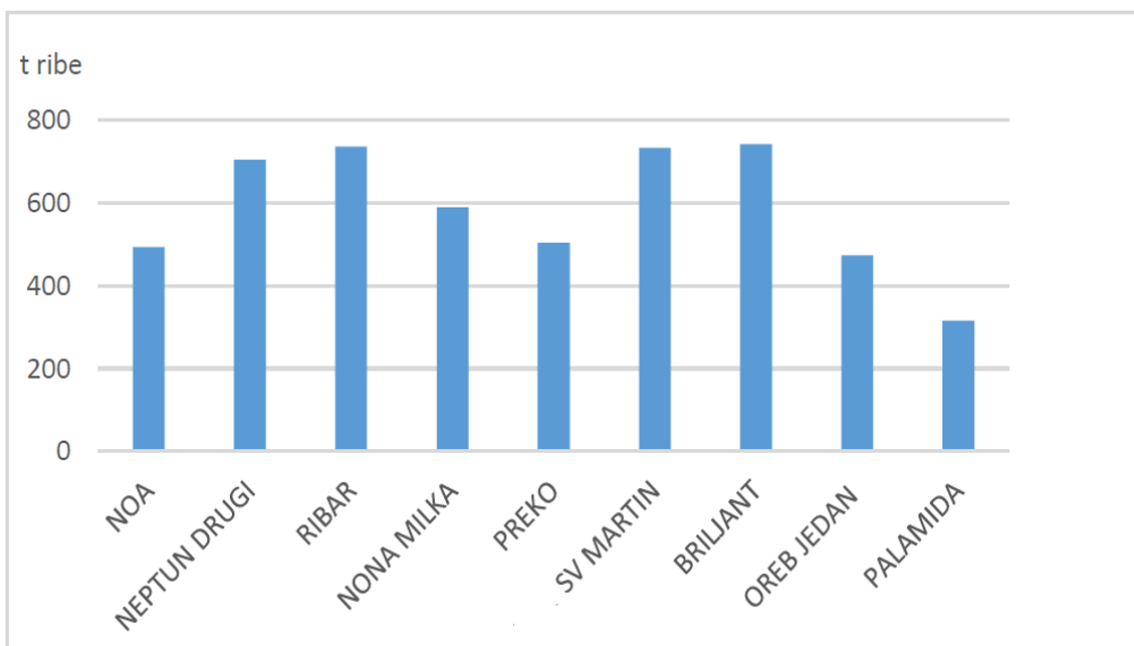
Slika 13. Ruta plivaričara "Briljant" za razdoblje 04.-05. kolovoza 2022.

#### 4.2. Određivanje CO<sub>2</sub> indeksa broda na temelju potrošnje goriva

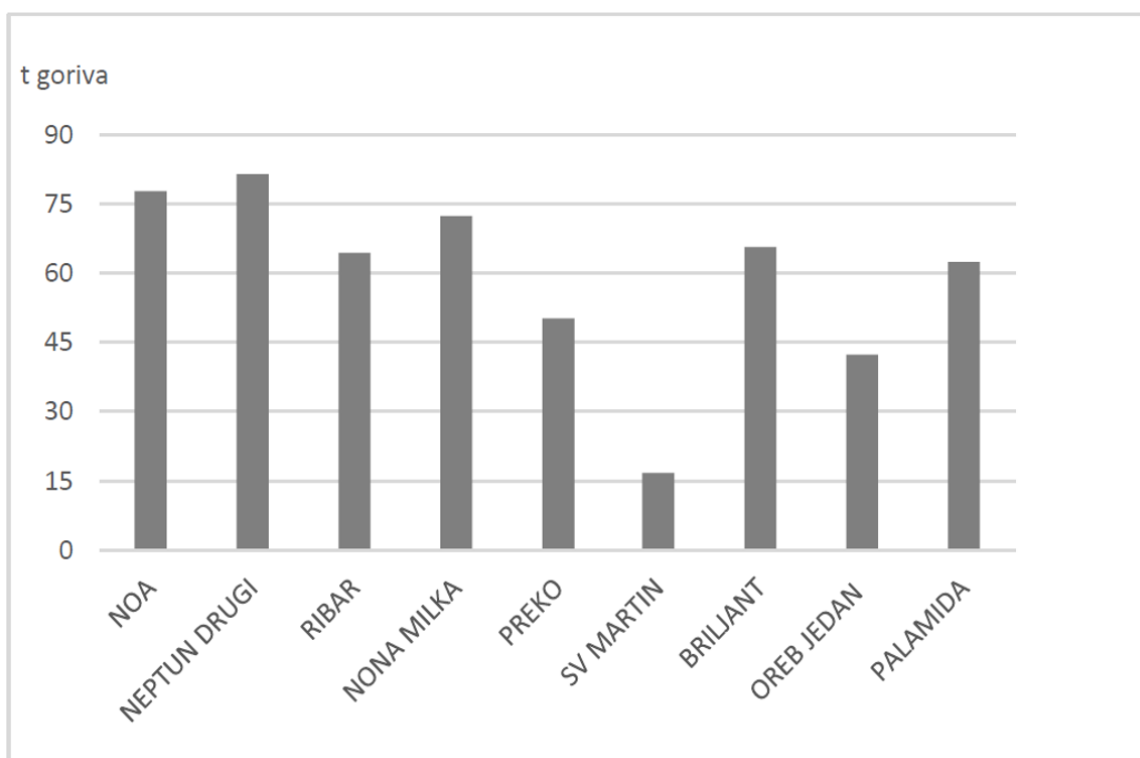
Emisija CO<sub>2</sub> bitan je podatak za izračun operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti broda, odnosno za procjenu utjecaja brodarstva na okoliš i za praćenje napretka prema smanjenju emisija stakleničkih plinova u pomorskoj industriji. CO<sub>2</sub> indeks mjera je količine ugljikovog dioksida koju brod ispušta za određenu udaljenost i od iznimne važnosti je poznavati ga obzirom na to da je ugljikov dioksid glavni staklenički plin koji pridonosi klimatskim promjenama. Rezultati proračuna emisija mogu varirati ovisno o čimbenicima poput vrste korištenog goriva, učinkovitosti motora, pređene udaljenosti ili prevezenog tereta. Za proračun



je bitno poznavati podatke o ulovu ribarskih brodova i potrošnji goriva. Slike 14 i 15 daju uvid u prosječni godišnji ulov ribe plivaričara i prosječnu godišnju potrošnju goriva plivaričara.



Slika 14. Prosječni godišnji ulov ribe plivaričara [18]



Slika 15. Prosječna godišnja potrošnja goriva plivaričara [18]

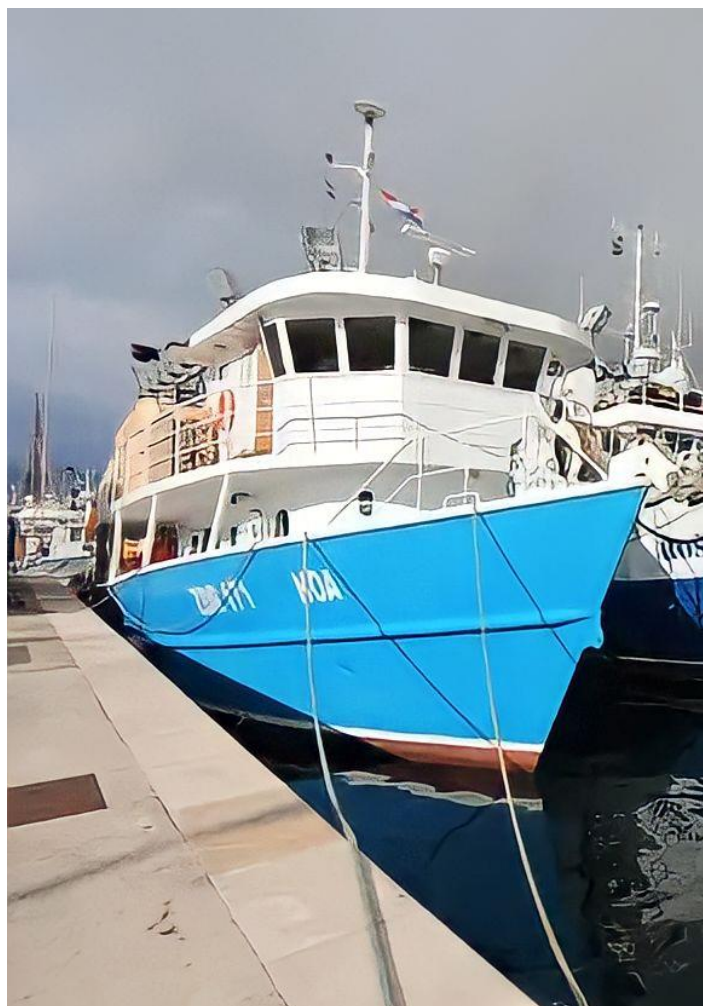
Za proračun emisija u ovom radu korišteni su podaci plivaričara "Noa" koji je prikazan na Slici 16, za jedan ribolovni ciklus. U Tablici 5 prikazane su tehničke značajke broda dok se u Tablici 6 nalaze podaci o vrsti i masi ulova za period od 01. srpnja do 02. srpnja 2022.godine.

**Tablica 5. Tehničke značajke plivaričara "Noa"**

Dužina [m]	27,4
Širina [m]	7
Gaz [m]	28,43
GT	142
Snaga motora [kW]	370

**Tablica 6. Podaci o ulovu od 01. srpnja do 02. srpnja 2022.godine**

<b>vrsta ribe</b>	<b>masa [kg]</b>
INĆUN	2071,00
PLAVICA	197,00
SRDELA GOLEMA	136,00
INĆUN	5801,00
PLAVICA	555,00
SRDELA GOLEMA	384,00
<b>UKUPNA MASA ULOVA</b>	<b>9144,00 kg</b>



Slika 16. Plivaričar "Noa"

Količina potrošenog goriva za jedan ribarski ciklus broda iznosila je 0,51 tona. Emisijski faktor  $c_F$  iznosi 3,206 tona<sub>CO<sub>2</sub></sub>/tona<sub>goriva</sub>.

Emisija CO<sub>2</sub> računa se prema jednadžbi (1):

$$EM = \frac{FC \cdot c_F}{m_{ULOV}} \quad (1)$$

$EM$  - relativna emisija CO<sub>2</sub>  $\left[ \frac{t_{CO_2}}{t_{ribe}} \right]$

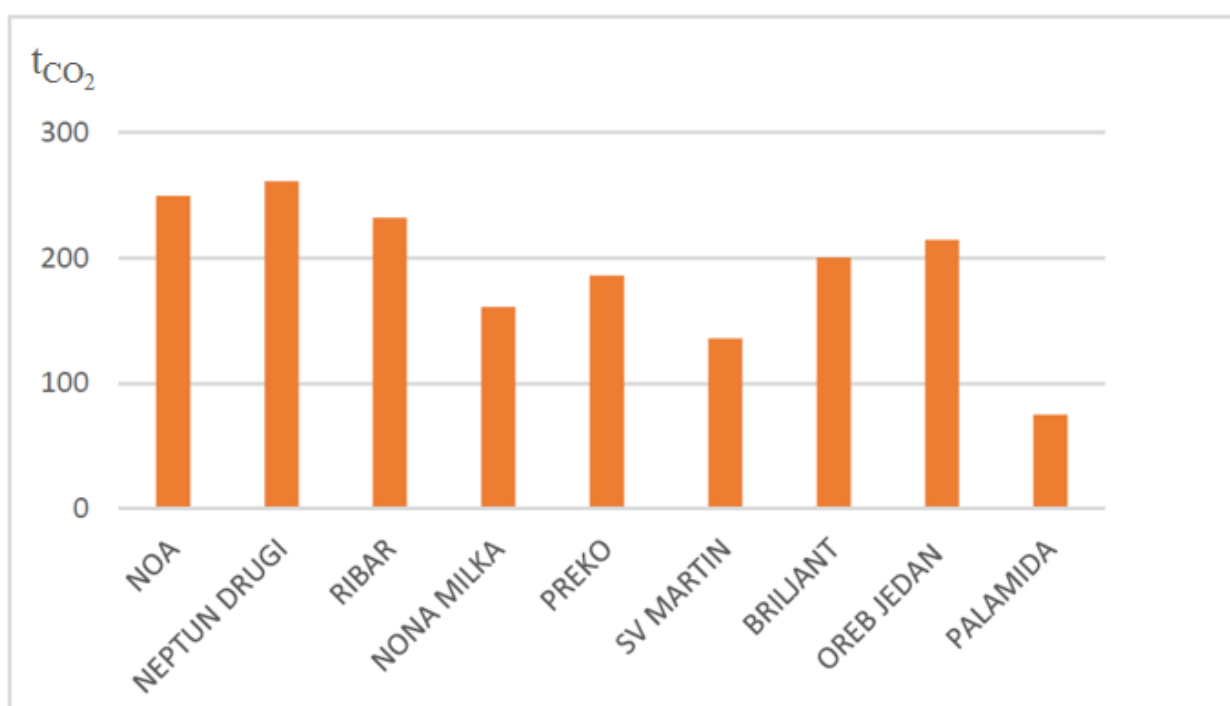
$FC$  - potrošnja goriva (eng. *Fuel Consumption*) [t]

$c_F$  - emisijski faktor  $\left[ \frac{t_{CO_2}}{t_{goriva}} \right]$

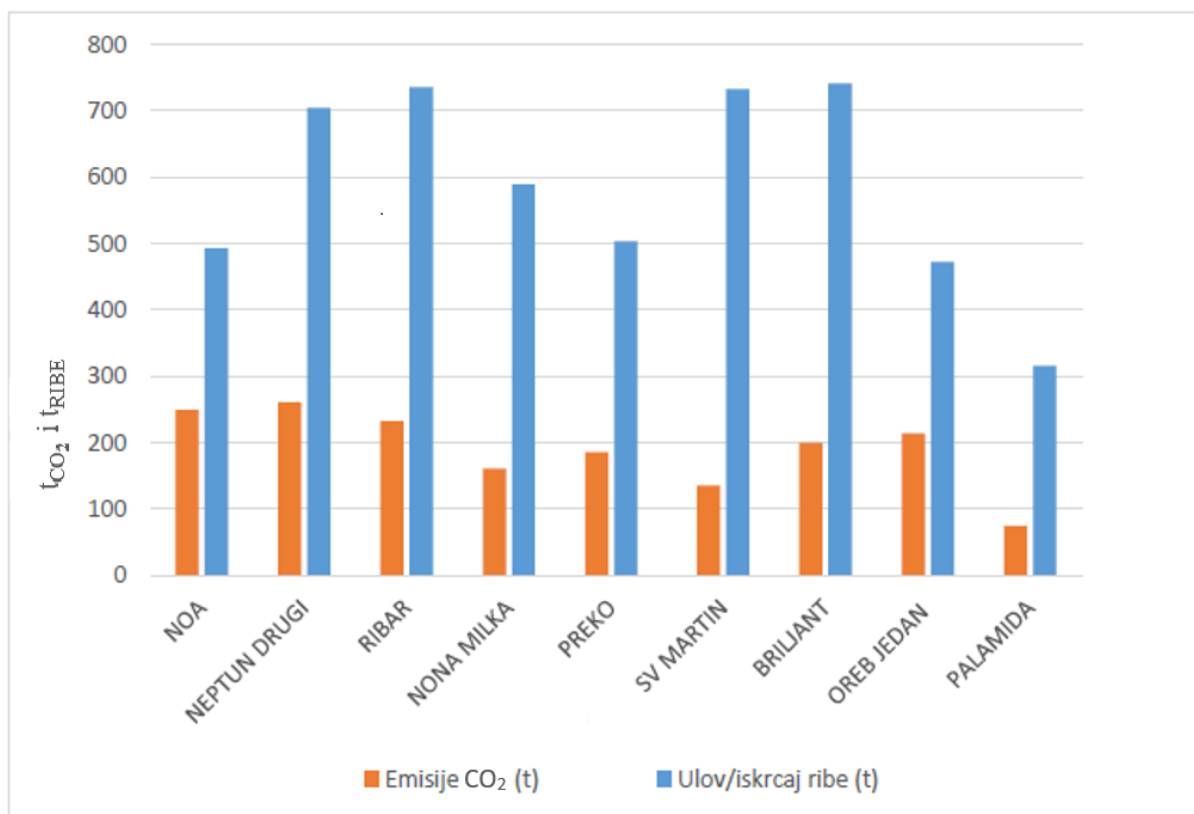
Na temelju poznatih podataka o potrošnji goriva, ulovu i uz poznat emisijski faktor može se izračunati emisija CO<sub>2</sub> u slučaju plivaričara "Noa" :

$$EM = \frac{0,51 \cdot 3,206}{9,144} = 0,1788 \frac{t_{CO_2}}{t_{RIBE}}$$

Prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> plivaričara prikazuje Slika 17, dok Slika 18 predstavlja usporedbu godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO<sub>2</sub> plivaričara.



Slika 17. Prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> plivaričara [18]



**Slika 18. Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO<sub>2</sub> plivaričara [18]**

Iz priloženih dijagrama vidi se da prosječne vrijednosti godišnjih emisija CO<sub>2</sub> plivaričara ne prelaze 300 tona, a prosječni godišnji ulov iznosi nekoliko stotina tona. Uspoređujući emisije CO<sub>2</sub>, ističe se plivaričar "Palamida" čiji su iznosi emisija jedini ispod 100 tona godišnje, međutim nema malu potrošnju goriva i ostvaruje najmanji ulov. Najbolje rezultate postiže brod "Sv. Martin", uz najmanju potrošnju goriva i veliku količinu godišnjeg ulova ribe, ispušta ispod 150 tona emisija CO<sub>2</sub>. Brod "Briljant" ima najveći prosječni godišnji ulov, a iako troši preko 60 tona goriva, ostvaruje dobar omjer ulova i proizvedenih emisija. Najviše emisija proizvode plivaričari "Noa", "Neptun drugi" i "Ribar" koji godišnje emitiraju oko 250 tona CO<sub>2</sub>, ali masa ulova broda "Noa" manja je za 200 tona od druga dva broda, stoga zaključujemo da on nema dobar omjer ispuštenih emisija i ostvarenog ulova. Prema izračunu, omjer količine emisija i mase ulova za jedan ribolovni ciklus plivaričara "Noa" iznosi 18 % što predstavlja veliki problem u ekološkom smislu.

## 5. ZAKLJUČAK

Određivanje potrošnje goriva složen je proces na kojeg utječu razni čimbenici poput veličine plovila, brzine kretanja, tereta, rute, valova ili vjetra. Nužno je poznavati potrošnju goriva zbog optimizacije iskoristivosti broda, smanjenja troškova i negativnih utjecaja na okoliš. Podaci također pomažu pri poboljšavanju učinkovitosti, radu broda, ali i usporedbi efikasnosti različitih plovila.

S obzirom na to da se brodska industrija suočava s pritiskom da smanji svoj utjecaj na okoliš, praćenje potrošnje goriva presudno je da bi se to ostvarilo. Postoje različiti načini određivanja potrošnje goriva, međutim obično se analiziraju podaci dobiveni SFC matematičkim modelima te podaci sakupljeni mjernim uređajima postavljenim na brod. Uvidom u SWOT analizu SFC modela i mjernih tehnika zaključuje se da korištenje naprednih tehnologija za mjerenje postaje sve nužnije jer nude veću točnost, učinkovitost i pouzdanost te omogućuju analizu podataka i izvještavanje u stvarnom vremenu.

Nadalje, rad sadrži proračun CO<sub>2</sub> indeksa za brod plivaričar "Noa". Prema dobivenim rezultatima, omjer količine ispuštenih emisija CO<sub>2</sub> i ukupnog iznosa ulova za jedan ribolovni ciklus iznosi 18 %. Ishod proračuna potiče na razmišljanje i zaista je potrebno osvijestiti se te uvidjeti koliki ekološki problem predstavljaju emisije uzrokovane brodskim prometom. Praćenjem rute i potrošnje goriva plivaričara, utvrđuje se da je potrošnja pri ribolovnim aktivnostima niska, tada najveću potrošnju uzrokuje sustav rasvjete. Tijekom plovidbe od luke do mjesta ribolova i natrag povećava se brzina broda i uzrokuje veću potrošnju goriva. Ušteda goriva mogla bi se postići boljom optimizacijom plivaričara za vrijeme plovidbe. Pored toga, smanjenjem prosječne brzine plovila, smanjila bi se i emisija CO<sub>2</sub>.

Iako je posljednjih godina postignut značajan napredak u smanjenju emisija, još uvijek je potrebno prilagođavati se i raditi na tome da se postignu ciljevi IMO-a i participirati u globalnim naporima u borbi protiv klimatskih promjena. Postoje različiti načini za smanjenje CO<sub>2</sub> emisija na brodovima, poput poboljšavanja dizajna broda, okretanje korištenju alternativnih goriva i optimiziranje operativnih ruta broda, međutim najveća kočnica brodovlasnicima za primjenu tih rješenja su veliki ekonomski troškovi. Veliki problem pri prihvaćanju metoda i modernih tehnologija koje bi doprinijele lakšem određivanju potrošnje goriva u svrhu reduciranja ekoloških zagađenja, predstavlja ljudski otpor prema promjenama kao i nedostatak znanja i svijesti. Obzirom na dominaciju financijskog aspekta naspram ekološkog, za smanjenje emisija

---

preostaje jedino podizanje ljudske svijesti o ubrzavanju globalnog zatopljenja ili postrožavanje zakona i regulativa koje ograničavaju količine ispuštenih emisija.

**LITERATURA**

- [1] Koričan M., Vladimir N., Haramina T., Slapničar V., Alujević N., Fan A.: *Investigation of energy efficiency of fishing vessels in the Adriatic Sea by fuel consumption measurements and catch analysis: Design and operation of data collection system*, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Halifax, NS, Canada, 2022.
- [2] UK Research and Innovation, [www.ukri.org/news/shipping-industry-reduces-carbon-emissions-with-space-technology/](http://www.ukri.org/news/shipping-industry-reduces-carbon-emissions-with-space-technology/) (pristup 20. veljače 2022.)
- [3] Perčić M., Vladimir N., Fan A.: *Life-cycle cost assessment of alternative marine fuels to reduce the carbon footprint in short-sea shipping: A case study of Croatia*, Applied energy, Volume 279, 115848, 2020.
- [4] International Maritime Organisation: *Fourth Greenhouse Gas Study 2020 – Full report and annexes*, Angewandte Chemie International Edition, Volume 6, 951-952, 2020.
- [5] Fan A., Yang J., Yang L., Wu D., Vladimir N.: *A review of ship consumption models*, Ocean engineering, Volume 264C, 112405, 2022.
- [6] Vladimir N., Koričan M., Alujević N., Slapničar V., Haramina T., Fan A.: *Real time fuel consumption measurements of a fleet of fishing vessels in the Adriatic Sea*, Proceedings of the 15th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS 2022), Halifax, Nova Scotia, Canada, 2022.
- [7] Isıklı E., Aydın N., Bilgili L., Toprak A.: *Estimating fuel consumption in maritime transport*, Journal of Cleaner Production, Volume 275, 124142, 2020.
- [8] Coraddua A, Onetob L., Baldic F., Anguita D.: *Vessels fuel consumption forecast and trim optimisation: A data analytics perspective*, Ocean Engineering, Volume 130, 351-370, 2017.
- [9] Ahlgren F., Mondejar M.E., Thern M.: *Predicting dynamic fuel oil consumption on ships with automated machine learning*, Energy Procedia, Volume 158, 6126-6131, 2019.
- [10] Qi.J., *Research method of white-box-texting*, Harbin Engineering University, 2008.
- [11] Yan, Y., Zhou, S., Yang, X.: *An estimation of carbon emissions in transportation sectors with backcasting method*, East China Jiaotong University, 29 (5), 62–67, 2012.
- [12] Elkafas, Ahmed, G., Elgohary, et al.: *Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model*, AEJ- Alexandria Engineering Journal, Volume 58, Issue 3, 849-859, 2019.



- [13] Jasak H., Vukčević V., Gatin I., Lalović I.: *CFD validation and grid sensitivity studies of full scale ship self propulsion*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 11, Issue 1, 33-43, 2019.
- [14] Faturachman D., Febrian S., Novita T.D., Djaeni A., Alva Oktavia T.: *Main engine fuel oil consumption by using flow meter on tug boat*, International Journal of Mechanical Sciences, Volume 10, 7–13, 2016.
- [15] Lee S.H., Choi H.-J., Choi H.M., Yoon B.-R., Kang W.: *Performance tests of flowmeters for fuel consumption measurements in fishing vessels*, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 80, 101959, 2021.
- [16] Terzic E.: *Capacitive Fuel Level Sensor Development in Automotive Applications Submitted by Edin Terzic Doctor of Philosophy ( PhD ), Swinburne University of Technology*, 2012.
- [17] *Hrvatska tehnička enciklopedija*, <https://tehnika.lzmk.hr/ribarski-brod/> (pristup 16. veljače 2023.)
- [18] Rebić L.A.: *Analiza energetske učinkovitosti ribarskih brodova* [diplomski rad], Fakultet Strojarsstva i Brodogradnje, Zagreb, 2021.
- [19] Mudronja L.: *Osnivanje tunolovca* [diplomski rad], Fakultet Strojarsstva i Brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [20] *World Ocean Review*, <https://worldoceanreview.com/en/wor-2/fisheries-policy/mangement/different-fishing-techniques-and-their-impacts-on-the-environment/> (pristup 12. veljače 2023.)
- [21] Koričan, M., Vladimir, N., Perčić, M., Jovanović, I.: *Decarbonization of Fishing Operations in Purse Seine Fisheries*, 20th International Conference on Transport Science (ICTS2022) “Maritime, Transport and Logistics Science”, Portorož, Slovenia, 2022.
- [22] Terzic, E.: *Capacitive Fuel Level Sensor Development in Automotive Applications*, Doctoral thesis, Swinburne University of Technology, 2012.