

# Analiza energetske učinkovitosti ribarskih brodova

---

Rebić, Lovro Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:235:927732>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Lovro Ante Rebić**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Nikola Vladimir

Student:

Lovro Ante Rebić

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Nikoli Vladimiru na pomoći, sugestijama i strpljenju prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojoj djevojci, obitelji i prijateljima na ukazanoj podršci i razumijevanju.

Također se zahvaljujem svim kolegama, profesorima, asistentima i ostalim djelatnicima Fakulteta na suradnji, pomoći i razumijevanju tijekom studija.

Lovro Ante Rebić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Lovro Ante Rebić**

JMBAG: 0035205197

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza energetske učinkovitosti ribarskih brodova**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of energy efficiency of fishing vessels**

Opis zadatka:

Zakonska regulativa u pomorskom sektoru, s ciljem povećanja energetske učinkovitosti brodskih energetskih sustava, za većinu brodova (posebice za nove brodove koji plove u međunarodnoj plovidbi), propisuje obvezne proračune projektnog indeksa energetske učinkovitosti i njihovo udovoljavanje propisanim vrijednostima. Brodovi priobalne plovidbe u pravilu ovoj regulativi ne podliježu, no smanjenje njihovih emisija, odnosno povećanje njihove energetske učinkovitosti važno je posredno, zbog smanjenja potrošnje goriva, a time i redukcije operativnih troškova. Indeksi energetske učinkovitosti u pomorskom sektoru se definiraju kao omjer emisija ugljik-dioksida i društvene koristi (količina prevezenog tereta, broj prevezenih putnika, vozila i sl.). U diplomskom radu potrebno je analizirati energetske učinkovitost plivaričara iz hrvatske ribarske flote, na temelju podataka o potrošnji goriva i ulovu ribe u petogodišnjem razdoblju, kao i mogućnosti poboljšanja energetske učinkovitosti putem tehničkih i operativnih mjera preporučenih od Međunarodne pomorske organizacije (IMO). Za tu svrhu potrebno je obraditi prikupljene podatke, formulirati operativni indeks energetske učinkovitosti ribarskih brodova, analizirati njegove vrijednosti za osnovne konfiguracije brodskih energetskih sustava s dizelskim motorima kao prvopokretačima, te na temelju vrijednosti izračunatih za alternativne konfiguracije, dati smjernice za osuvremenjivanje hrvatske ribarske flote.

Diplomski rad treba sadržavati:

- analizu tehnika ulova ribe na Jadranskom moru,
- analizu raspoloživih podataka o ulovu ribe i potrošnji goriva, te tehničkih značajki brodova kojima je to ostvareno,
- formulaciju operativnog indeksa energetske učinkovitosti ribarskih brodova i njegov proračun za odabrani skup brodova,
- prijedlog poboljšanja operativnog indeksa energetske učinkovitosti, vodeći računa o ekonomskoj održivosti predloženih rješenja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

30. rujna 2021.

2. prosinca 2021.

13. – 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Nikola Vladimirović

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. RIBARSTVO U HRVATSKOJ .....	3
2.1. Općenito o ribolovu u Republici Hrvatskoj .....	3
2.2. Usporedba ulova i prodaje ribe u Hrvatskoj u 2019. i 2020. godini .....	4
2.3. Hrvatska ribarska flota .....	5
2.3.1. Ribari koji obavljaju gospodarski i mali obalni ribolov .....	6
2.3.2. Podjela plovila prema tipovima .....	7
2.4. Podjela ribolovnih tehnika na temelju alata za lov .....	10
2.4.1. Ribolov mrežama plivaričama .....	10
2.4.2. Ribolov povlačnim mrežama (koćama) .....	11
3. OPERATIVNI POKAZATELJ ENERGETSKE UČINKOVITOSTI .....	13
3.1. Formuliranje operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti .....	13
3.2. Izračun operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti .....	13
4. ANALIZA CJELOŽIVOTNIH EMISIJA PLIVARIČARA NEPTUN DRUGI.....	20
4.1. LCA.....	20
4.2. Programski alat GREET.....	22
4.2.1. WTP (eng. Well-to-Pump).....	22
4.2.2. PTW (eng. Product/pump-to-Well).....	22
4.2.3. Proračun emisija u programskom paketu GREET .....	23
4.2.3.1. LCA dizelskog pogonskog sustava.....	24
4.2.3.2. LCA elektromotornog pogonskog sustava.....	28
4.2.3.3. LCA pogonskog sustava na metanol.....	30
4.2.3.4. LCA pogonskog sustava na DME.....	32
4.2.3.5. LCA pogonskog sustava na LNG .....	34
4.2.3.6. LCA pogonskog sustava na vodik .....	35
4.2.3.7. LCA pogonskog sustava na biodizel (B20) .....	37
5. ANALIZA CJELOŽIVOTNIH TROŠKOVA PLIVARIČARA NEPTUN DRUGI .....	41
5.1. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog dizelskim gorivom .....	42
5.2. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog elektromotorom.....	44
5.3. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog metanolom .....	44
5.4. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog na DME.....	45
5.5. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog na LNG .....	45
5.6. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog na vodik .....	46
5.7. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog na biodizel.....	46

---

5.8. Rezultati LCA i LCCA .....	47
6. ZAKLJUČAK.....	50
LITERATURA.....	51

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Podjela ribolovnog mora Republike Hrvatske na ribolovne zone[4].	3
Slika 2.	Usporedba broja plivaričara i kočara za 2018. i 2019. godinu [7].	6
Slika 3.	Podjela Hrvatske ribarske flote po gradovima [8].	7
Slika 4.	Snaga ribarske flote po područnim jedinicama, od 2013. do 2019. godine [8].	8
Slika 5.	Iskrcaj i vrijednost iskrcaja Hrvatske ribarske flote [8].	8
Slika 6.	Podjela iskrcaje ribe u 2018. godini [8].	9
Slika 7.	Vrijednost prodaje prema vrsti male plave ribe, u 2018. godini [8].	9
Slika 8.	Tehnika lova ribe mrežom plivaricom [11].	10
Slika 9.	Kočarenje lebdećom mrežom [11].	11
Slika 10.	Kočarenje pridnenom mrežom [11].	12
Slika 11.	Prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe plivaričara.	13
Slika 12.	Prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe kočara.	14
Slika 13.	Prosječna godišnja potrošnja goriva plivaričara.	14
Slika 14.	Prosječna godišnja potrošnja goriva kočara.	15
Slika 15.	Prosječne godišnje emisije CO <sub>2</sub> plivaričara.	15
Slika 16.	Prosječne godišnje emisije CO <sub>2</sub> kočara.	16
Slika 17.	Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO <sub>2</sub> plivaričara.	16
Slika 18.	Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO <sub>2</sub> kočara.	17
Slika 19.	Prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti plivaričara.	17
Slika 20.	Prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti kočara.	18
Slika 21.	Operativni pokazatelji energetske učinkovitosti plivaričara.	19
Slika 22.	Operativni pokazatelji energetske učinkovitosti dvaju kočara.	19
Slika 23.	Životni ciklus i faze proizvoda [15].	20
Slika 24.	Plivaričar Neptun Drugi [5].	21
Slika 25.	LCA dizelskog pogonskog sustava [14].	24
Slika 26.	Shema prijevoza sirove nafte do Rafinerije Rijeka [16].	24
Slika 27.	Shema prijevoza dizelskog goriva do crpke [16].	25
Slika 28.	WTP faza dizelskog pogonskog sustava [16].	25
Slika 29.	Ulazni podaci za dizelski pogonski sustav [16].	26
Slika 30.	Prikaz GREET sučelja za očitavanje rezultata [16].	27
Slika 31.	LCA elektromotornog pogonskog sustava [3].	28
Slika 32.	WTP faza elektromotornog pogonskog sustava [16].	29
Slika 33.	Ulazni podaci za elektromotorni pogonski sustav [16].	29
Slika 34.	LCA pogonskog sustava na metanol [3].	30
Slika 35.	Shema prijevoza metanola [16].	30
Slika 36.	WTP faza pogonskog sustava na metanol [16].	31
Slika 37.	Ulazni podaci za metanol pogonski sustav [16].	31
Slika 38.	LCA pogonskog sustava na DME [3].	32
Slika 39.	Shema prijevoza DME goriva [16].	33
Slika 40.	WTP faza DME pogonskog sustava [16].	33
Slika 41.	LCA pogonskog sustava na LNG [3].	34
Slika 42.	Shema prijevoza LNG goriva [16].	34
Slika 43.	WTP faza pogonskog sustava na LNG [16].	35
Slika 44.	LCA pogonskog sustava na vodik [3].	35
Slika 45.	Shema prijevoza fosilnog vodika [16].	36



---

Slika 46.	WTP faza pogonskog sustava na vodik [16].	36
Slika 47.	Ulazni podaci za pogonski sustav na vodik [16].	37
Slika 48.	LCA pogonskog sustava na biodizel [3].	38
Slika 49.	Shema prijevoza sojinog biljnog ulja [16].	38
Slika 50.	Shema prijevoza biodizela do crpke [16].	38
Slika 51.	WTP faza pogonskog sustava na biodizel [16].	39
Slika 52.	Ulazni podaci za pogonski sustav na biodizel [16].	39
Slika 53.	Scenariji troška ugljičnih emisija do 2050. godine.	41
Slika 54.	Emisije na ispuhu tokom PTW faze.	43
Slika 55.	Rezultati LCA plivaričara Neptun Drugi.	47
Slika 56.	Rezultati LCCA plivaričara Neptun Drugi.	48
Slika 57.	Rezultati LCA za pogonsko gorivo metanol.	49
Slika 58.	Rezultati LCCA za pogonsko gorivo metanol.	49

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehničke značajke ribarske flote.....	5
Tablica 2. Usporedba broja plovila prema vrsti ribolova, za 2019. i 2020. godinu [6]. .....	6
Tablica 3. Usporedba broja plovila prema tipu, za 2019. i 2020. godinu [6].....	7
Tablica 4. Karakteristike pogonskih sustava.....	23
Tablica 5. Mase pojedinih materijala dizelskog motora.....	26
Tablica 6. Rezultati LCA za pogonski sustav na dizelsko gorivo.....	27
Tablica 7. Rezultati LCA za elektromotorni pogonski sustav.....	29
Tablica 8. Rezultati LCA za pogonski sustav na metanol.....	32
Tablica 9. Rezultati LCA za pogonski sustav na DME.....	33
Tablica 10. Rezultati LCA za pogonski sustav na LNG. ....	35
Tablica 11. Materijali PEM članka s pripadajućim masama.....	36
Tablica 12. Rezultati LCA za pogonski sustav na vodik. ....	37
Tablica 13. Rezultati LCA za pogonski sustav na biodizel.....	40
Tablica 14. Cijene goriva .....	42
Tablica 15. Cijene održavanja.....	43

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
<i>BC</i>	kWh	Kapacitet baterije
<i>CA</i>	EUR/t CO <sub>2</sub>	Trošak ugljičnih emisija
<i>CF</i>	kg CO <sub>2</sub>	Ugljični otisak
<i>EC</i>	kWh/nm	Potrošnja energije po nautičkoj milji
<i>FC</i>	kg/nm	Potrošnja goriva po nautičkoj milji
<i>IC</i>	EUR	Trošak investicije
<i>LCCEC</i>	EUR	Troškovi emisije ugljika tijekom životnog ciklusa
<i>LCFC</i>	EUR	Trošak goriva tijekom životnog ciklusa
<i>LCMC</i>	EUR	Trošak održavanja tijekom životnog ciklusa
<i>LM</i>	god	Ukupni prijeđeni put tijekom životnog ciklusa
<i>LT</i>	god	Eksploatacijski vijek
<i>m</i>	kg	Masa
<i>P</i>	kW	Snaga
<i>WTP</i>	t CO <sub>2</sub>	Faza od izvora do pumpne stanice
<i>PTW</i>	t CO <sub>2</sub>	Faza od pumpne stanice do kotača (propulzora)
<i>WTW</i>	t CO <sub>2</sub>	Faza od izvora do kotača (propulzora)
<i>SFC</i>	g/kWh	Specifična potrošnja goriva
<i>TE</i>	kg/god	Emisije na ispuhu
<i>GT</i>	-	Bruto tona
<i>BSE</i>	kg/kWh	Specifična energija baterije
<i>L<sub>OA</sub></i>	m	Duljina preko svega

## SAŽETAK

Zakonska regulativa u pomorskom sektoru, s ciljem povećanja energetske učinkovitosti brodskih energetskih sustava, za većinu brodova (posebice za brodove u međunarodnoj plovidbi), propisuje obvezne proračune projektnog indeksa energetske učinkovitosti (eng. *Energy Efficiency Design Index - EEDI*) i njihovo udovoljavanje propisanim vrijednostima. Brodovi priobalne plovidbe u pravilu ovoj regulativi ne podliježu, no smanjenje njihovih emisija, odnosno povećanje energetske učinkovitosti važno je zbog smanjenja potrošnje goriva, a time i redukcije operativnih troškova. Pokazatelji energetske učinkovitosti u pomorskom sektoru definiraju se kao omjer emitiranog ugljik-dioksida i društvene koristi (masa prevezenog tereta, broj prevezenih putnika, vozila i sl.).

U prvom dijelu rada provedena je analiza tehnika ulova ribe u Jadranskom moru. Prema prikupljenim podacima o ulovu ribe i potrošnji goriva, u petogodišnjem razdoblju, provedena je analiza energetske učinkovitosti odabranih plivaričara iz hrvatske ribarske flote. Mogućnost poboljšanja energetske učinkovitosti analizirana je prema tehničkim i operativnim mjerama preporučenim od strane Međunarodne pomorske organizacije (IMO). Na temelju prikupljenih podataka formuliran je operativni pokazatelj energetske učinkovitosti ribarskih brodova. Operativni pokazatelj energetske učinkovitosti izračunat je podrazumijevajući dizelske motore kao prvopokretače, s obzirom na činjenicu da je ovaj tip pogona dominantan na ribarskim brodovima. Također, provedene su cjeloživotne analize emisija (LCA) i troškova (LCCA) za jedan plivaričar, za osnovnu dizel-motornu ali i nekoliko alternativnih konfiguracija energetskog sustava. Na kraju je dan prijedlog suvremenog i ekonomski održivog rješenja za poboljšanje operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti.

Ključne riječi: ribarstvo, ribarski brod, potrošnja goriva, emisije ugljik-dioksida, projektni pokazatelj energetske učinkovitosti, operativni pokazatelj energetske učinkovitosti, LCA, LCCA

## **SUMMARY**

Regulations in the maritime sector, with the aim of increasing the energy efficiency of marine power systems, for most of ships (especially for those in international navigation), prescribe mandatory calculations of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) and its compliance with the prescribed values. For the time being, coastal ships are not subject to this regulation, but the reduction of their emissions, i.e. the increase of energy efficiency is important due to the reduction of fuel consumption, and thus the reduction of operating costs. Energy efficiency indices in maritime sector are defined as the ratio of carbon dioxide emissions to social benefit (mass of transported cargo, number of transported passengers, vehicles, etc.).

In the first part of the paper, an analysis of fishing techniques in the Adriatic Sea was performed. According to the collected data on catch of and fuel consumption, in the period of five years, an analysis of the energy efficiency of seiner ship from the Croatian fishing fleet was made. The possibility of improving energy efficiency was analyzed according to technical and operational measures recommended by the International Maritime Organization (IMO). Based on the collected data, the energy efficiency operational indicator of fishing vessels was formulated. The energy efficiency operational indicator was calculated first, considering diesel engines as the first starters, given the fact that this type of drive is dominant on the vessels of the Croatian fishing fleet. Also, lifecycle emission assessments (LCAs) as well as costs assessments (LCCAs) were conducted for one seiner ship, for a basic diesel engine power system but also for several alternative power system configurations. Finally, a proposal for an economically viable modern solution for improving the energy efficiency operational indicator was given.

Key words: fishing, fishing vessel, fuel consumption, carbon dioxide emissions, energy efficiency design indicator, energy efficiency operational indicator, LCA, LCCA

## 1. UVOD

Energetska učinkovitost i ekološka prihvatljivost postaju važni aspekti svih transportnih grana koje uključuju dizelske motore kao prvopokretače. Isto vrijedi i za sektor ribarstva, gdje se osim osiguranja održivosti nastoje minimizirati operativni troškovi kroz smanjenje potrošnje fosilnih goriva [1]. Osnovni problem kod fosilnih goriva je što su ograničena količinom i njihovim izgaranje emitiraju se štetni plinovi te se zagađuje okoliš. Ugljikov dioksid smatra se najutjecajnijim stakleničkim plinom, jer povećanjem njegovog udjela u atmosferi dolazi do stvaranja efekta staklenika i nepoželjnog zagrijavanja zemlje tj. globalnog zatopljenja.

Pomorski sektor konzumira 330000 tona goriva godišnje od kojeg 77 % otpada na teško gorivo. Energetske potrebe pomorskog sektora za posljedicu imaju od 2 do 6 % globalnih emisija CO<sub>2</sub>, a predviđa se da će ta brojka do 2050. godine narasti za 270 % u odnosu na 2007. godinu [2].

Međunarodna pomorska organizacija (IMO) preporučuje niz mjera za sprječavanje i kontrolu emisija štetnih plinova, tj. zagađenja okoliša. Međutim, većina tih mjera odnosi se na velike trgovačke brodove (tankere, brodove za rasuti teret, kontejnerske brodove, putničke brodove), dok ribarski i drugi priobalni brodovi nisu uzeti u obzir. Sam ribarski sektor zaslužan je za emitiranje 134 milijuna tona CO<sub>2</sub> godišnje [3].

U okviru ovog diplomskog rada provedena je analiza energetske učinkovitosti ribarskih brodova. Za zadani skup brodova prikupljeni su podaci o godišnjem ulovu/iskrcaju ribe i potrošnji goriva.

U prvom dijelu diplomskog rada izračunat je operativni pokazatelj energetske učinkovitosti koji u principu predstavlja omjer emisija CO<sub>2</sub> i društvene koristi (broj putnika, masa tereta, broj vozila i sl.). Projektni pokazatelj energetske učinkovitosti koristan je podatak koji služi za međusobnu usporedbu učinkovitosti različitih brodova, pri čemu je takve usporedbe nužno provoditi unutar istog tipa broda.

U drugom dijelu diplomskog rada napravljena je cjeloživotna analiza ugljičnog otiska konvencionalnih energetske sustava s dizelskim motorom kao prvopokretačem te određenih alternativnih rješenja među koje spadaju elektromotorni pogon, metanol, dimetil-eter (DME), ukapljeni prirodni plin (LPG), vodik i biodizel. Za navedene varijante napravljena je i cjeloživotna analiza troškova, uzimajući u obzir i troškove ugljičnih emisija prema modelu održivog razvoja.

Na kraju, kao alternativa dizelskom, dan je prijedlog za ekološki i financijski najprihvatljiviju opciju energetske sustava. Podaci o tehničkim značajkama plovila koja su obrađena u ovom diplomskom radu, njihovim operativnim režimima, potrošnji goriva i ulovu, prikupljeni su na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, u okviru projekta MORZ (Mreža organizacija ribara i znanstvenika), financiranog iz Operativnog programa za pomorstvo i ribarstvo EU, koji se provodi u okviru mjere I.3. „Partnerstva između znanstvenika i ribara“.

## 2. RIBARSTVO U HRVATSKOJ

### 2.1. Općenito o ribolovu u Republici Hrvatskoj

Ribolov na Jadranu odvija se na prostoru ribolovnog mora, u ribolovnim zonama i podzonama. Jadransko more Republike Hrvatske podijeljeno je na 11 ribolovnih zona i 37 podzona. Ribolovne zone vidljive su na Slici 1.



Slika 1. Podjela ribolovnog mora Republike Hrvatske na ribolovne zone[4].

Uvjeti ribolova definirani su pojedinim vrstama ribolova sukladno Zakonu o morskom ribarstvu te se tako razlikuju gospodarske i negospodarske vrste ribolova.

Gospodarsko i komercijalno orijentirano morsko ribarstvo je profitno usmjerena djelatnost pod kojom se podrazumijeva ulov ribe uz korištenje dopuštenih ribolovnih alata i adekvatnih plovila s ciljem prodaje na tržištu. Danas se na komercijalnim plovilima ne odvija samo ulov ribe, već se riba izravno obrađuje na plovilu, a suvremeni ribarski alati omogućavaju ulov na sve većim dubinama.



Povećanje učinkovitosti u komercijalnom ribolovu proizlazi prvenstveno iz primjene čvrstih sintetičkih mreža koje imaju izuzetnu otpornost na velika naprezanja.

Kategorija nekomercijalnog ili negospodarskog ribolova podrazumijeva ulov ribe uz korištenje dopuštenih ribolovnih alata i adekvatnih plovila za vlastitu uporabu kojom se ne generira profit niti utječe na sustav ponude i potražnje na ribolovnom tržištu.

Ribolov je tradicijski značajna gospodarska djelatnost u svim mediteranskim zemljama, pa tako i u priobalnom pojasu Republike Hrvatske. Udio ribarstva u BDP-u Republike Hrvatske ne prelazi 1 %, a broj samozaposlenih i zaposlenih iznosi ukupno do 10000 osoba. Značaj ribolova nije isključivo u ekonomskim parametrima, već i u držanju tradicijskog načina života stanovništvo uz morsku obalu Jadrana.

Osnovna podjela gospodarskog ribolova je na kočarski, plivaričarski i priobalni ribolov. Kočarski ribolov odvija se povlačnom mrežom kočom po morskom dnu za lov bijele ribe i rakova. Okružujućom mrežom plivaricom izlovljava se plava riba. U sitnu spada srdela, incun, skuša, a od krupne plave ribe najznačajnija je vrsta plavoperajna tuna. Priobalni ribolov uključuje mreže stajačice, potegače i ostale ribarske alate [5].

## **2.2. Usporedba ulova i prodaje ribe u Hrvatskoj u 2019. i 2020. godini**

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (DZS) Hrvatska je u 2020. povećala ulov i uzgoj morske ribe i drugih morskih organizama u odnosu na godinu ranije za 9 %. U 2020. godini je prodano 66535 tona plave ribe, što je 7054 tona više nego 2019. godine. Istodobno je vrijednost prodane plave ribe porasla za 13,7 %, na 518,2 milijuna kuna. U 2020. godini su prodane i 18321 tone ostale ribe, a vrijednost te prodaje dosegla je iznos od 774,8 milijuna kuna, što je u odnosu na godinu prije porast za 13,5 %.

U 2020. godini broj ribara u morskom ribarstvu smanjen je 0,4 %, na 6582. Pritom je broj ribara koji obavljaju gospodarski ribolov u morskom ribarstvu smanjen za 1,5 %, na 3030, dok je broj ribara u malom obalnom ribolovu porastao za 0,6 %, na njih 3552.

Broj ribarskih plovila u 2020. godini je smanjen za 0,8 %, na 7555. Ukupan ulov i uzgoj (proizvodnja) morske ribe i drugih morskih organizama u 2020. je porastao za 9 % u odnosu na godinu ranije, na 88536 tona. U ukupnom ulovu 2020. godine dominira plava riba sa 65055 tona, a doda li se 2611 tona plave ribe iz uzgoja, ukupan je ulov i uzgoj plave ribe iznosio 67666 tona, ili 11,4 % više nego 2019. godine.

Najveći udio u ulovu plave ribe u 2020. godini ima srdela, koje je ulovljeno 50134 tone ili 11,1 % više nego godinu prije.

Statistika morskog ribarstva u 2020. godini pokazuje da je ulov i uzgoj ostale ribe iznosio 18341 tonu, što je 5,4 % više nego godinu ranije [6].

### 2.3. Hrvatska ribarska flota

U ovom diplomskom radu analiza energetske učinkovitosti napravljena je za flotu od 12 ribarskih brodova. Među njima se nalaze dva tipa brodova koji obavljaju većinu ulova i iskrcaja ribe na Jadranu, a to su plivaričari i kočari.

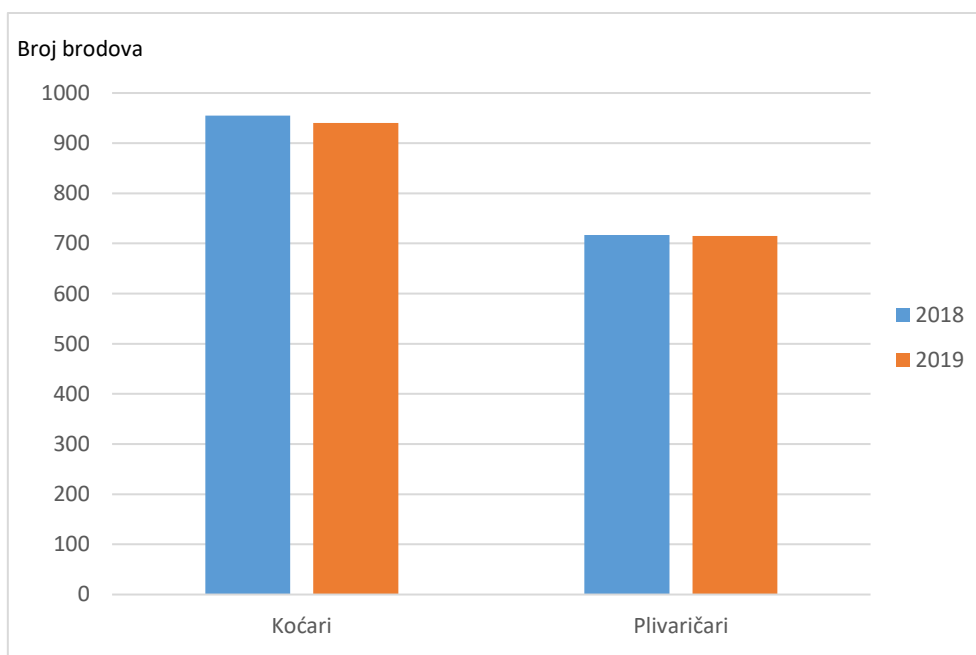
Prikupljene tehničke značajke ribarske flote prikazane su u Tablici 1. U stupcu „Tip plovila“, slovo P odnosi se na plivaričare, a slovo K na kočare. Razlika između plivaričara i kočara detaljno je objašnjena u poglavlju 2.4.

**Tablica 1. Tehničke značajke ribarske flote.**

Ime broda	Tip plovila	CFR	Duljina (L <sub>OA</sub> ) (m)	Snaga glavnog stroja (kW)	GT	Glavni stroj
Noa	P	HRV000003585	27,40	404	142	CATERPILLAR 3412D-540
Neptun Drugi	P	HRV000002458	23,71	477	124	CUMMINS KTA 19M3
Jadran Tri	K	HRV000000958	22,10	223	65	CUMMINS NT 855 M
Ribar	P	HRV000002568	26,90	403	122	CATERPILLAR 3412TA
Nona Milka	P	HRV000015209	29,03	537	178	CATERPILLAR 3412
Preko	P	HRV000001680	27,74	526	96	CATERPILLAR 3508 DITA
Srebrobrugac	P	HRV000001694	17,80	242	30	CUMMINS NTA 855 C 400
Lokarda	K	HRV000001962	26,00	386	88	/
Sv. Martin	P	HRV000001549	25,27	221	141	DEUTZ SBA 8 M 816R
Briljant	P	HRV000001049	32,28	480	182	MITSUBISHI S6R2-MPTK
Oreb Jedan	P	HRV000011846	26,00	530	142	DOOSAN V222TI
Palamida	P	HRV000000968	22,30	220	67	CUMMINS QSM 11

Plivaričari čine oko 5 % ukupnog broja ribarskih brodova i zaslužni su za većinu ulova ribe, dok kočari čine oko 14 % ukupnog ulova ribe. Međutim, zbog ulova različite vrste ribe, plivaričari i kočari ostvaruju sličan profit [1]

Na Slici 2. prikazana je usporedba broja kočara i plivaričara na Jadranu, za 2018. i 2019. godinu.



**Slika 2.** Usporedba broja plivaričara i kočara za 2018. i 2019. godinu [7].

Iz Slike 2. vidi se da se broj kočara i plivaričara u godinu dana gotovo nije promijenio.

### 2.3.1. Ribari koji obavljaju gospodarski i mali obalni ribolov

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku, u Tablici 2. prikazana je usporedba broja plovila za gospodarski i mali obalni ribolov za 2019. i 2020. godinu [6].

**Tablica 2.** Usporedba broja plovila prema vrsti ribolova, za 2019. i 2020. godinu [6].

	2019.	2020.
Gospodarski ribolov	3075	3030
Mali obalni ribolov	3532	3552
<b>Ukupno</b>	<b>6607</b>	<b>6582</b>

### 2.3.2. Podjela plovila prema tipovima

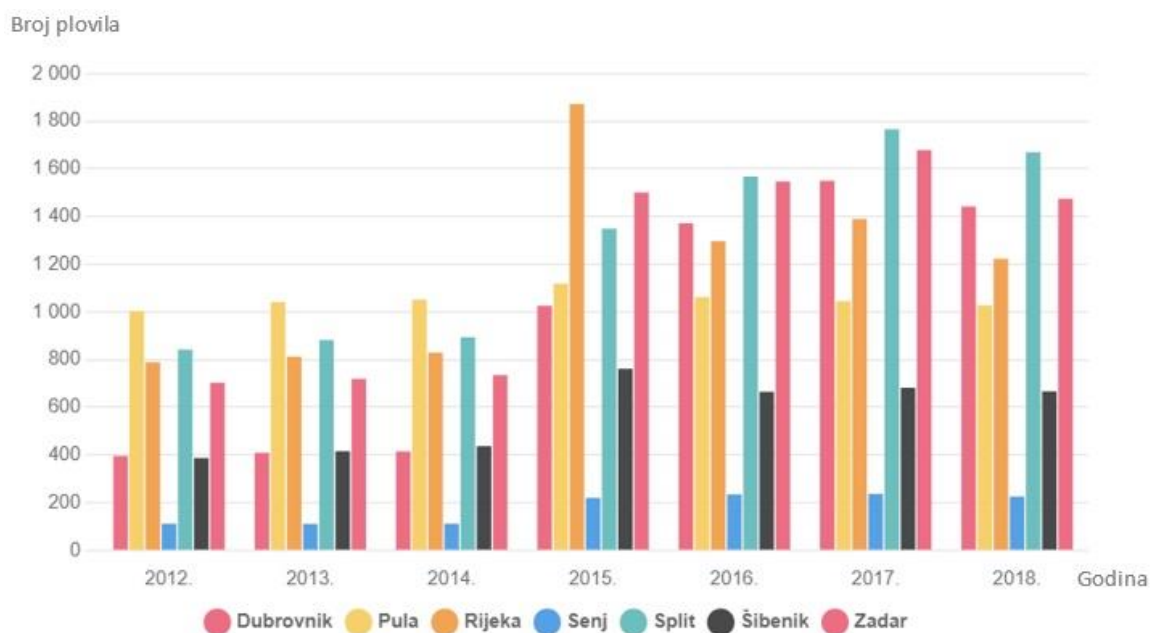
Prema definiciji, brod je plovni objekt namijenjen za plovidbu morem, čija je duljina trupa veća od 15 m, ili je ovlašten prevoziti više od 12 putnika.

Brodica je plovni objekt namijenjen za plovidbu morem koji je ovlašten prevoziti najviše 12 putnika, čija je duljina trupa veća od 2,5 m, a manja ili jednaka 15 m, ili ukupne snage porivnih uređaja veće od 5 kW [6]. Usporedba brodova i brodice prema tipu dana je u Tablici 3.

**Tablica 3. Usporedba broja plovila prema tipu, za 2019. i 2020. godinu [6].**

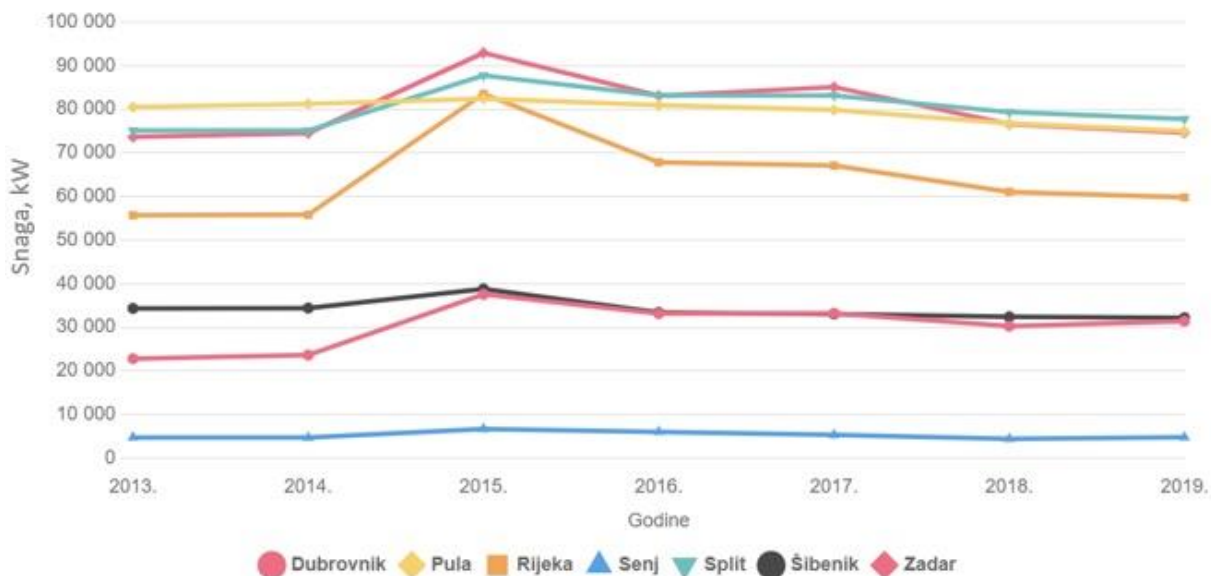
	Broj plovila		Ukupna snaga pogonskog stroja, kW		Ukupna veličina plovila, BT	
	2019.	2020.	2019.	2020.	2019.	2020.
Brodovi	336	325	112053	110810	27897	27621
Brodice	7278	7230	236073	237645	16617	16686
Ukupno	7614	7555	348126	348455	44514	44307

Hrvatska ribarska flota u 2018. godini sastojala se od 7731 plovila, ukupne bruto tonaže 46 tisuća tona i ukupne instalirane snage motora od 360883 kW [8]. Na Slici 3. prikazana je podjela Hrvatske ribarske flote prema gradovima.



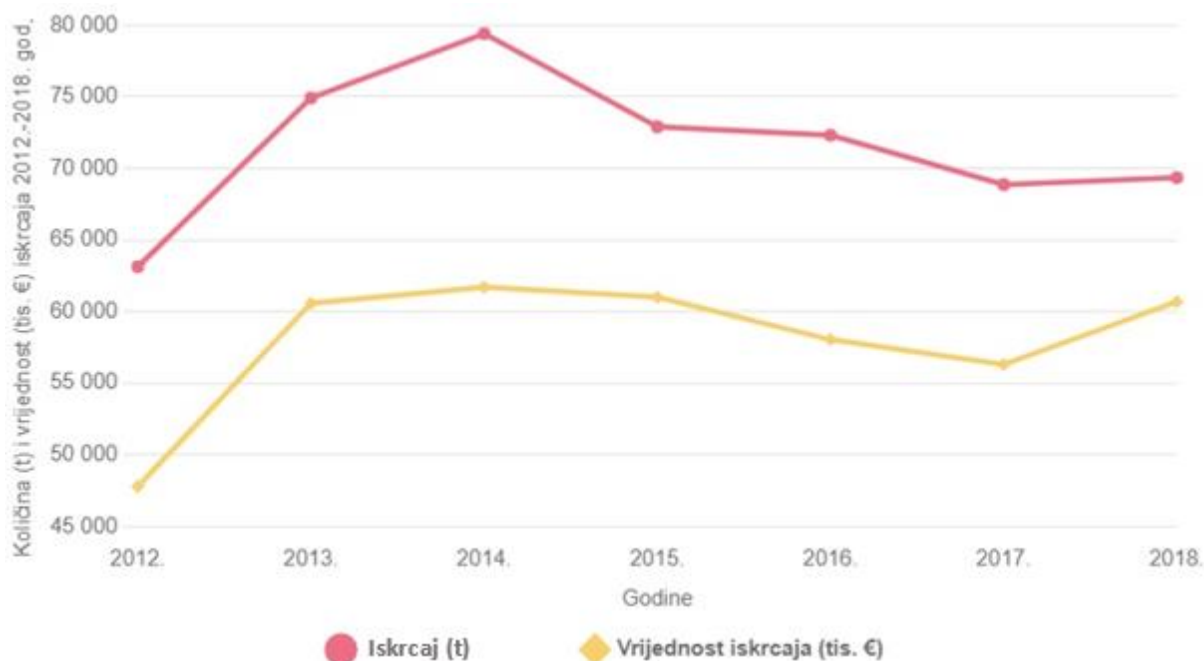
**Slika 3. Podjela Hrvatske ribarske flote po gradovima [8].**

Na Slici 4. prikazana je snaga hrvatske ribarske flote po područnim jedinicama.



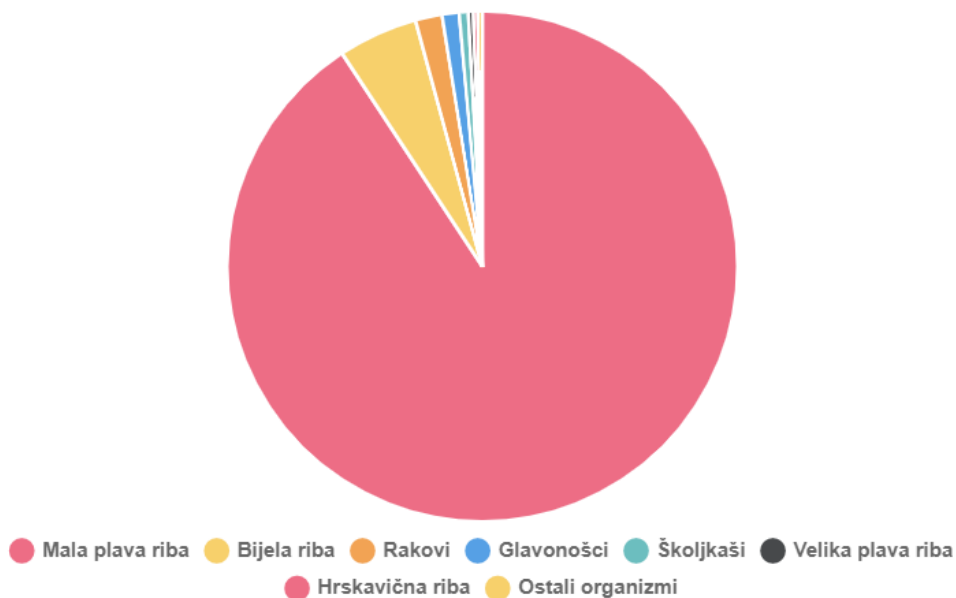
**Slika 4. Snaga ribarske flote po područnim jedinicama, od 2013. do 2019. godine [8].**

Ukupan iskrcaj ribe u 2018. godini iznosio je 69 tisuća tona, a ukupna vrijednost iskrcane ribe iznosila je oko 61 mil. EUR, kao što je prikazano na Slici 5.. Povećanje iskrcaja u 2018. godini za 0,8 % rezultiralo je povećanjem ukupne vrijednosti iskrcaja za 2018. godinu od 7,5 %.



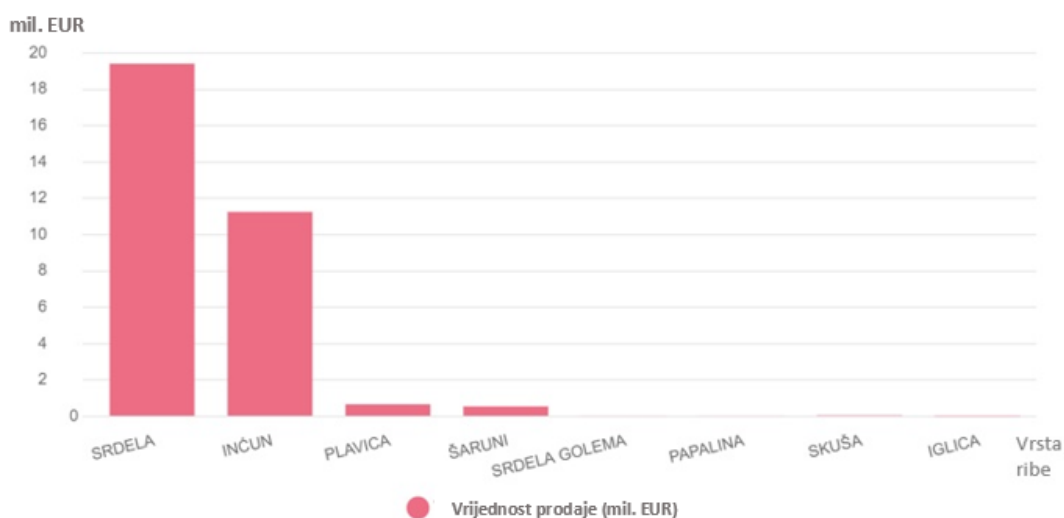
**Slika 5. Iskrcaj i vrijednost iskrcaja Hrvatske ribarske flote [8].**

Ukupan iskrcaj u 2018. godini iznosio je 69401 tonu, od čega je 62973 tone ili 90,74 % mala plava riba, 3497 tona ili 5,04 % bijela riba te 1178 tona ili 1,70 % rakovi, prikazano na Slici 6.



**Slika 6. Podjela iskrcane ribe u 2018. godini [8].**

Na Slici 7. prikazan je ukupan iskrcaj male plave ribe, 46267,11 tona ili 73,5 % količine čini srdela, 13250,82 tone ili 21 % inćun, šaruni i plavica čine 3269,74 tone (5 %). Srdela čini i 60,5 % vrijednosti prodaje male plave ribe, odnosno 19,4 mil. EUR, dok je vrijednost prodaje inćuna 11,2 mil. EUR, odnosno 35,1 % ukupne vrijednosti prodaje male plave ribe. Od ostalih vrsta male plave ribe zabilježeno je po između 50 i 100 tona srdele goleme, papaline i skuše te oko 2 tone iglice ukupne vrijednosti 143 tis. EUR [8].



**Slika 7. Vrijednost prodaje prema vrsti male plave ribe, u 2018. godini [8].**

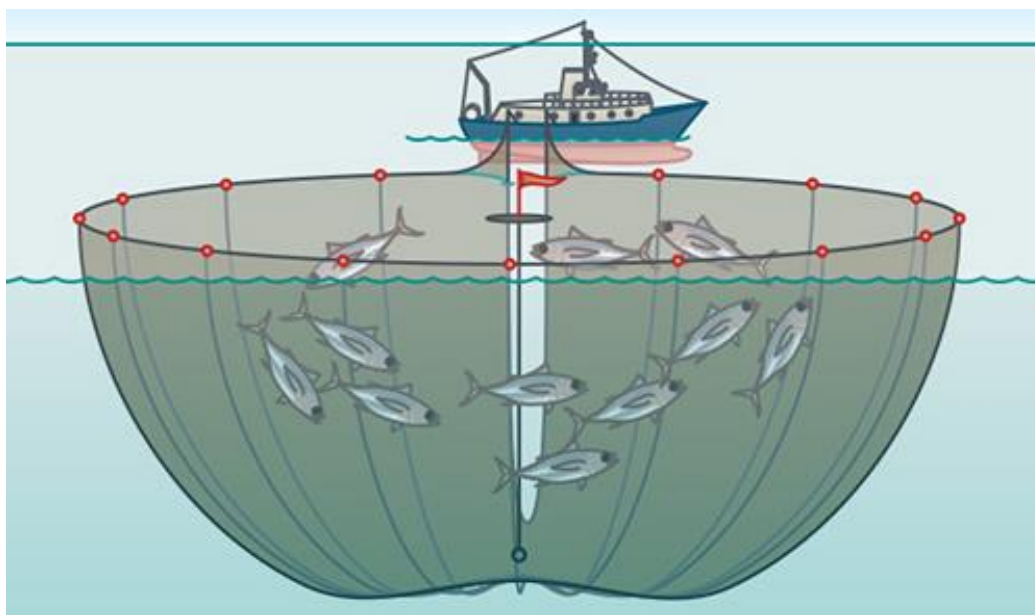
## 2.4. Podjela ribolovnih tehnika na temelju alata za lov

Ribarski brodovi razlikuju se uglavnom prema ribolovnoj tehnici i alatu. Postoje 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 [9].

### 2.4.1. Ribolov mrežama plivaricama

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.). Pošto se jata plave ribe uglavnom kreću uz površinu mora, plivarica ne pada na dno, već pliva što joj i ime govori. Srdelu ili incune se mora nekako namamiti, a za to služe ferali (u novije vrijeme reflektori) koji privlače ribu. Da bi ferali imali učinka svijetli se noću, a mjesec ne smije biti pun jer se ribe ne mogu odlučiti prema kojem izvoru svjetla bi se gibale.

Uoči svitanja brod oko jata ribe brzo utopi mrežu, tako da se ona nađe okružena mrežom. Kako dno mreže ostaje otvoreno, na dnu plivarice su zakačeni prstenovi kroz koje prolazi čvrsto uže kojeg ribari s broda stegnu i na taj način se zatvori dno plivarice [10].



Slika 8. Tehnika lova ribe mrežom plivaricom [11].

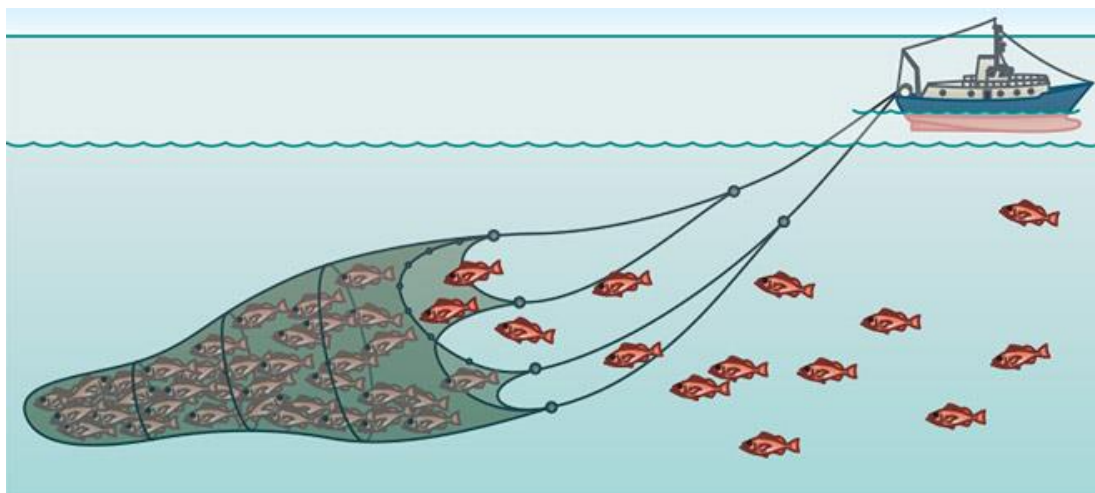
### 2.4.2. Ribolov povlačnim mrežama (koćama)

Koće su mreže konusnog oblika, u prednjem dijelu produžene krilima, a na kraju zatvorene vrećom (sakom). Povlače se s jednim ili dva broda koćara po dnu ili pelagijalu. To je skupina ribolovnih mreža koje imaju zajedničku karakteristiku, da se njima obavlja ribolov na način, da se povlače. Njihovim povlačenjem "pokupi" se riba ili drugi ulov, koji je prethodno detektiran, ili se vuče "na pamet". Ovisno o tome kako i čime se povlače, mogu imati širilice tj. dodatke koji drže otvorena usta mreže [12].

Gledano u svjetskim razmjerima, povlačne su mreže (koće) postale dominantan ribolovni alat, te se njihovom primjenom ulovi više od polovice ukupnog ulova ribe.

Koće se dijele na lebdeće i pridnene mreže:

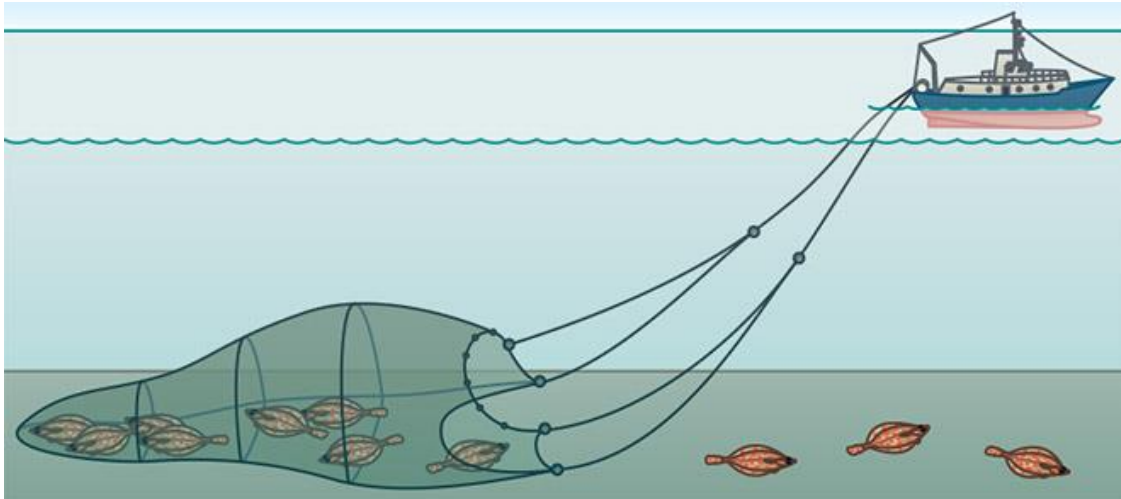
- Koća za pučinski ribolov naziva se lebdećom koćom. Ona „lebdi“ iznad dna, a dubina lova može se po volji regulirati. Učinkovitost lova povećava se upotrebom sonara za otkrivanje ribljih jata. Lov koćom naziva se koćarenje ili vučarenje, prikazano na Slici 9. Ono se sastoji od tzv. koćarskih poteza, a svaki potez obuhvaća: spuštanje, povlačenje i istežanje koće [13].



Slika 9. Koćarenje lebdećom mrežom [11].



- Na Slici 10. prikazan je ribolov pridnenim mrežama, a jedna je od najvažnijih tehnika koja se koristi u dubokom morskom ribolovu. Plijen se lovi na način da se mreža vuče po morskom dnu. Negativna strana ove tehnike je što mreže mogu oštetiti podvodna staništa morskih organizama.



**Slika 10. Koćarenje pridnenom mrežom [11].**

### 3. OPERATIVNI POKAZATELJ ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

Kao faktor za međusobnu usporedbu energetske učinkovitosti ribarskih brodova, u ovom diplomskom radu upotrijebljen je Operativni pokazatelj energetske učinkovitosti. (eng. *Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI*).

#### 3.1. Formuliranje operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti

On je u načelu definiran kao omjer ugljikovog dioksida koji brod emitira i društvene koristi (masa prevezenog tereta, broj prevezenih putnika, broj vozila i sl.), u ovom slučaju kao referentna veličina koja predstavlja društvenu korist, uzeta je masa ulovljene/iskrcane ribe. Veličine emisija ugljik-dioksida i ulova/iskrcaja ribe uzete su za period od godine dana.

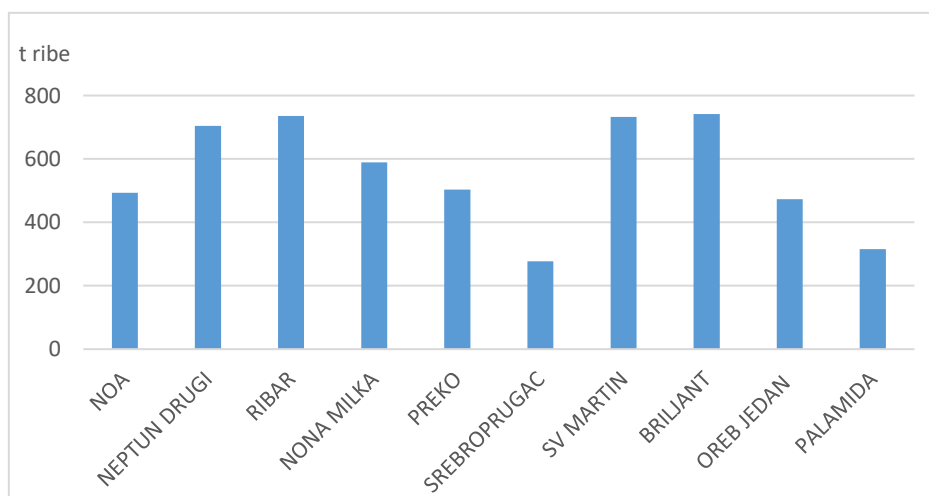
Operativni pokazatelj energetske učinkovitosti prikazan je jednadžbom (1):

$$EEOI = \frac{\text{tona CO}_2}{\text{tona ribe}} \quad (1)$$

#### 3.2. Izračun operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti

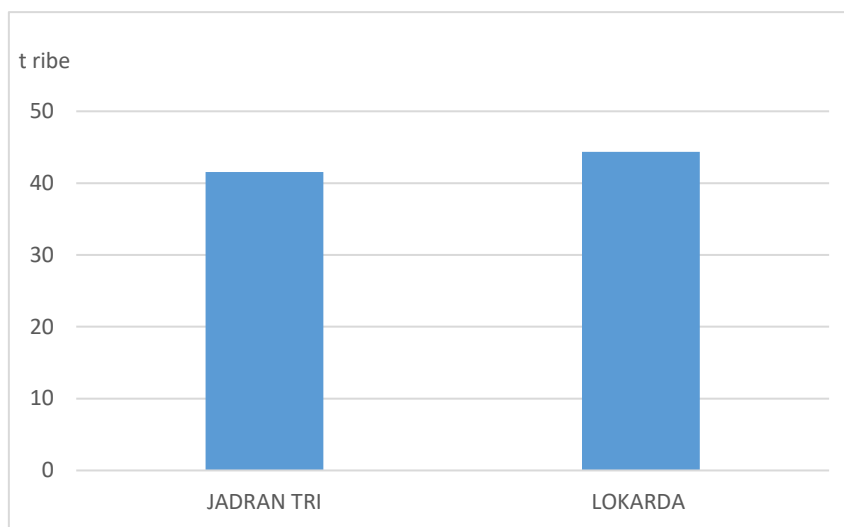
Prvi podatak potreban za izračun operativnog pokazatelja je ulov/iskrcaj ribe. Prikupljeni su podaci o ulovu/iskrcaju ribe u periodu od 2015. do 2019. godine.

Na Slici 11. prikazan je prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe plivaričara.



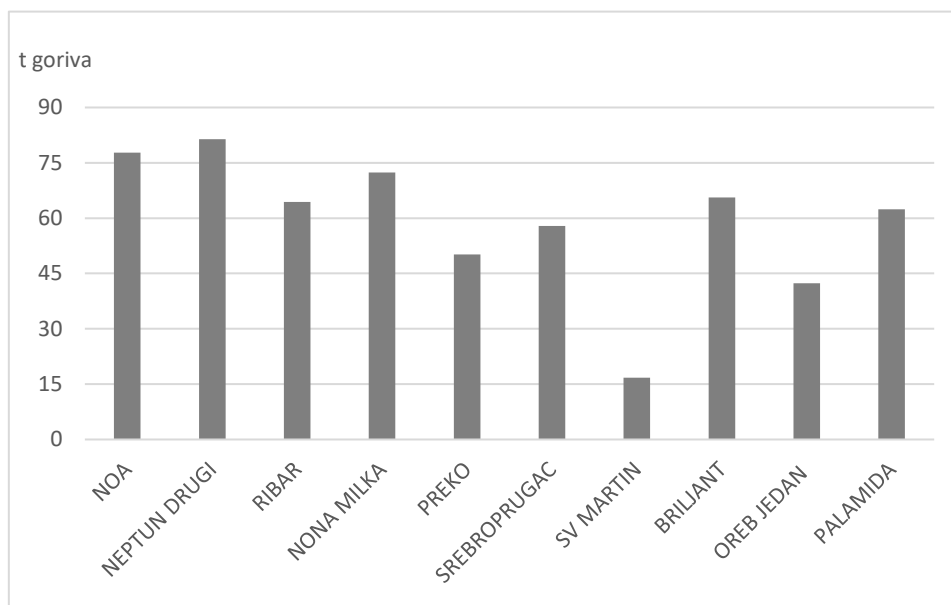
Slika 11. Prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe plivaričara.

Na Slici 12. prikazan je prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe kočara.



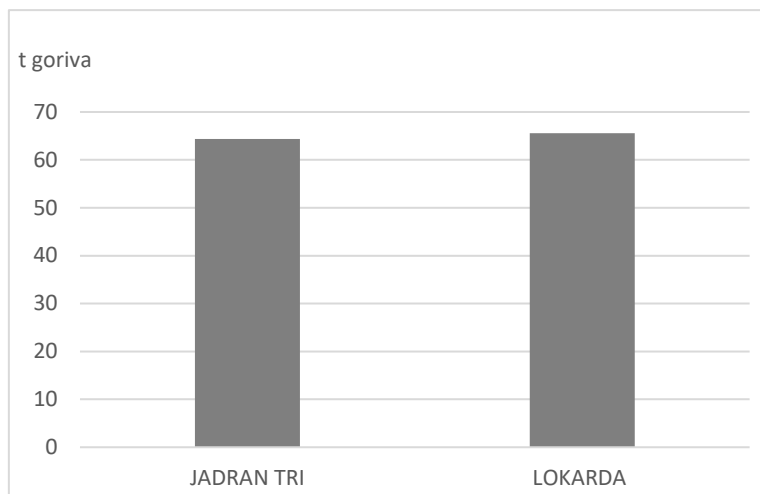
**Slika 12. Prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe kočara.**

Drugi podatak potreban za izračun operativnog pokazatelja energetske učinkovitosti je emisija CO<sub>2</sub>. Kako bi se izračunala emisija CO<sub>2</sub> potreban je podatak o vrsti i potrošnji goriva i emisijskom faktoru za CO<sub>2</sub>. Prikupljeni podaci o potrošnji goriva u periodu od 2015. do 2019. godine prikazan isu na Slici 13.



**Slika 13. Prosječna godišnja potrošnja goriva plivaričara.**

Na Slici 14. prikazana je prosječna godišnja potrošnja goriva kočara.



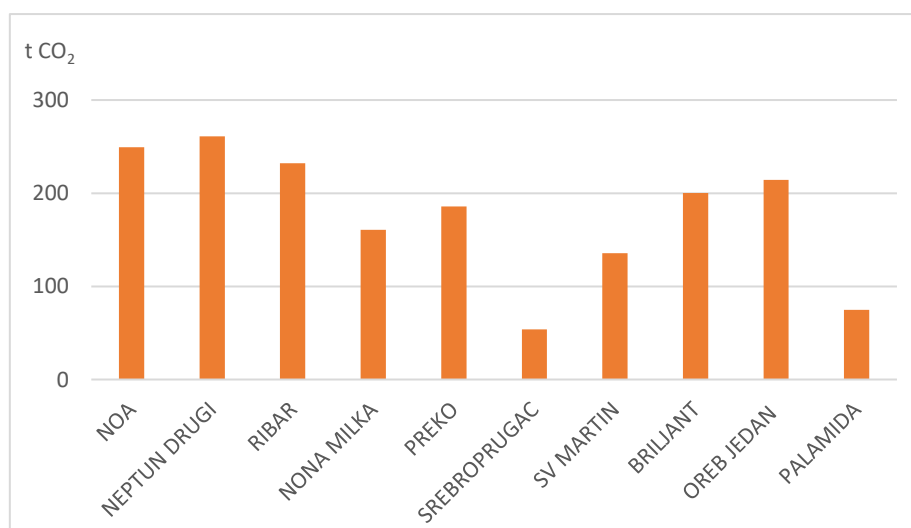
**Slika 14** Prosječna godišnja potrošnja goriva kočara.

Emisija CO<sub>2</sub> izračunata je prema jednadžbi (2):

$$\text{Emisija CO}_2 = \text{Potrošnja goriva} \cdot \text{Emisijski faktor}$$

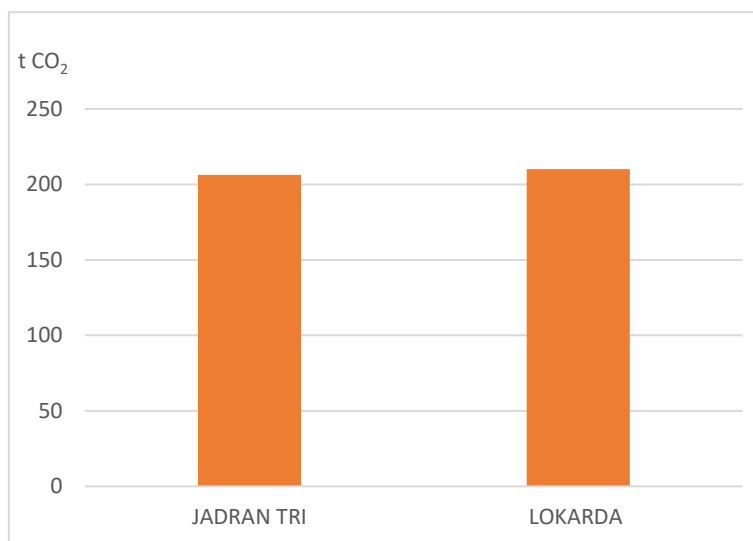
$$\frac{\text{t CO}_2}{\text{god}} = \frac{\text{t goriva}}{\text{god}} \cdot 3,206 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t goriva}}. \quad (2)$$

Na Slici 15. prikazana je prosječna godišnja emisija CO<sub>2</sub> plivaričara.



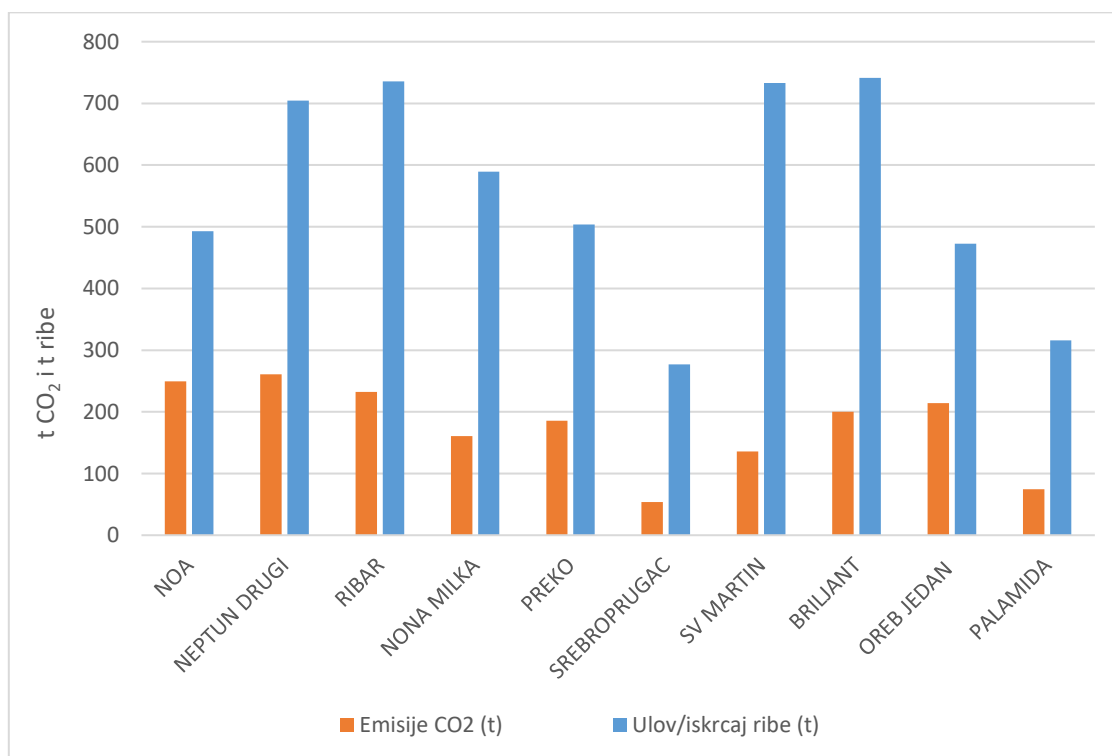
**Slika 15.** Prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> plivaričara.

Na Slici 16. prikazane su prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> kočara.



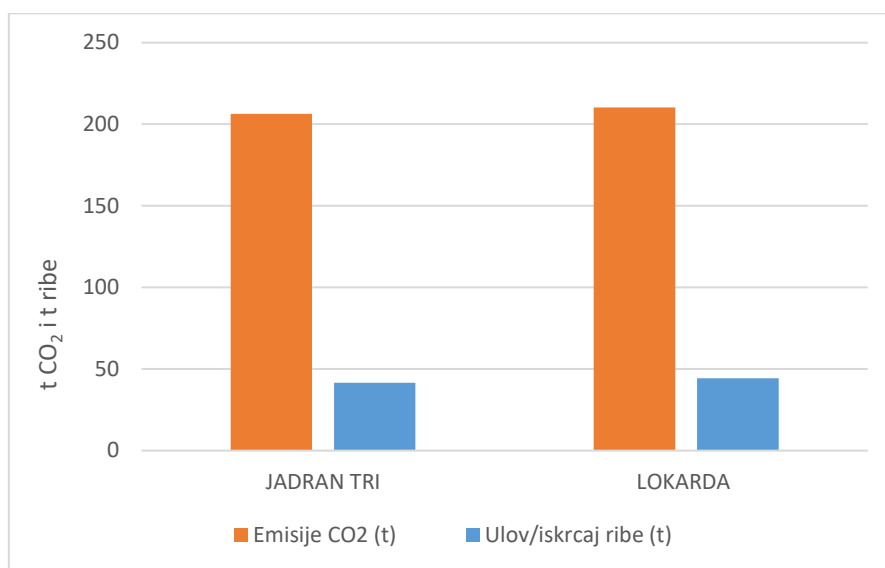
**Slika 16. Prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> kočara.**

Na Slici 17. prikazana je usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i godišnje emisije CO<sub>2</sub> plivaričara. Omjer ove dvije vrijednosti predstavlja operativni pokazatelj energetske učinkovitosti.



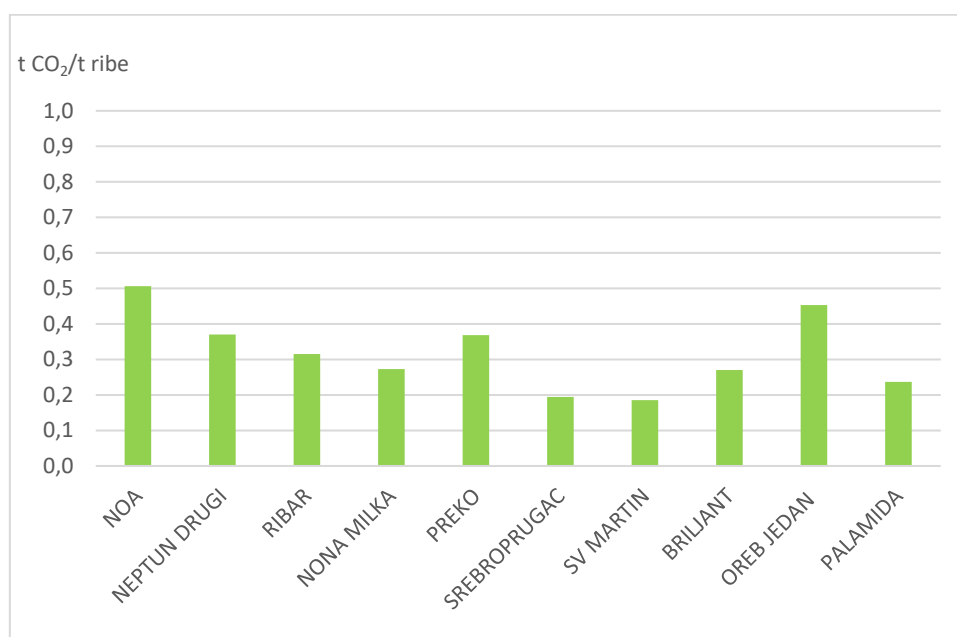
**Slika 17. Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO<sub>2</sub> plivaričara.**

Na Slici 18. prikazana je usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i godišnje emisije CO<sub>2</sub>, kočara.



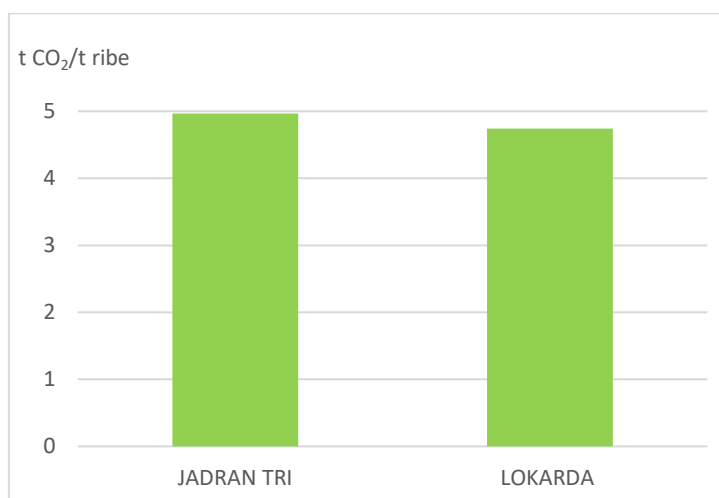
**Slika 18. Usporedba godišnjeg ulova/iskrcaja ribe i emisija CO<sub>2</sub> kočara.**

Operativni pokazatelj izračunat je prema jednadžbi (1), a na Slici 19. prikazane su vrijednosti prosječnih operativnih pokazatelja energetske učinkovitosti plivaričara u periodu od 2015. do 2019. godine.



**Slika 19. Prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti plivaričara.**

Na Slici 20. prikazani su prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti kočara.



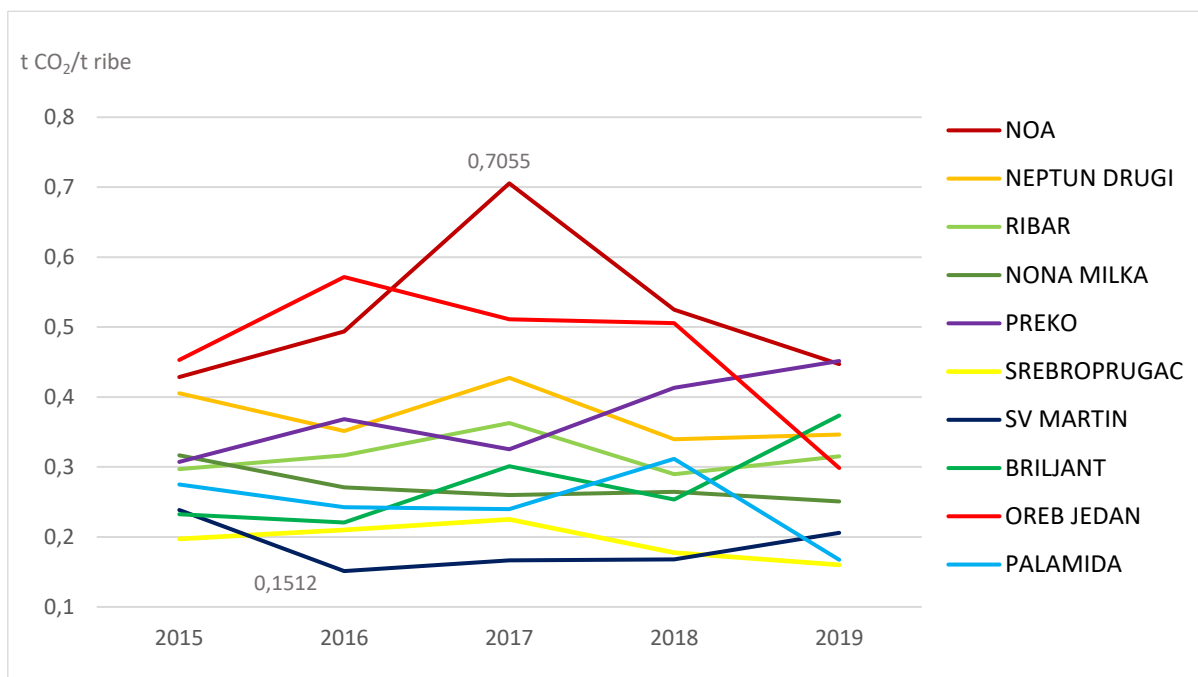
**Slika 20. Prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti kočara.**

Na Slikama 19. i 20. vidljivo je da su prosječni operativni pokazatelji energetske učinkovitosti kočara nekoliko puta veći od onih plivaričara.

To se događa iz razloga što kočari imaju prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe nekoliko puta manji nego plivaričari, dok su emisije CO<sub>2</sub> u rangu onih od plivaričara.

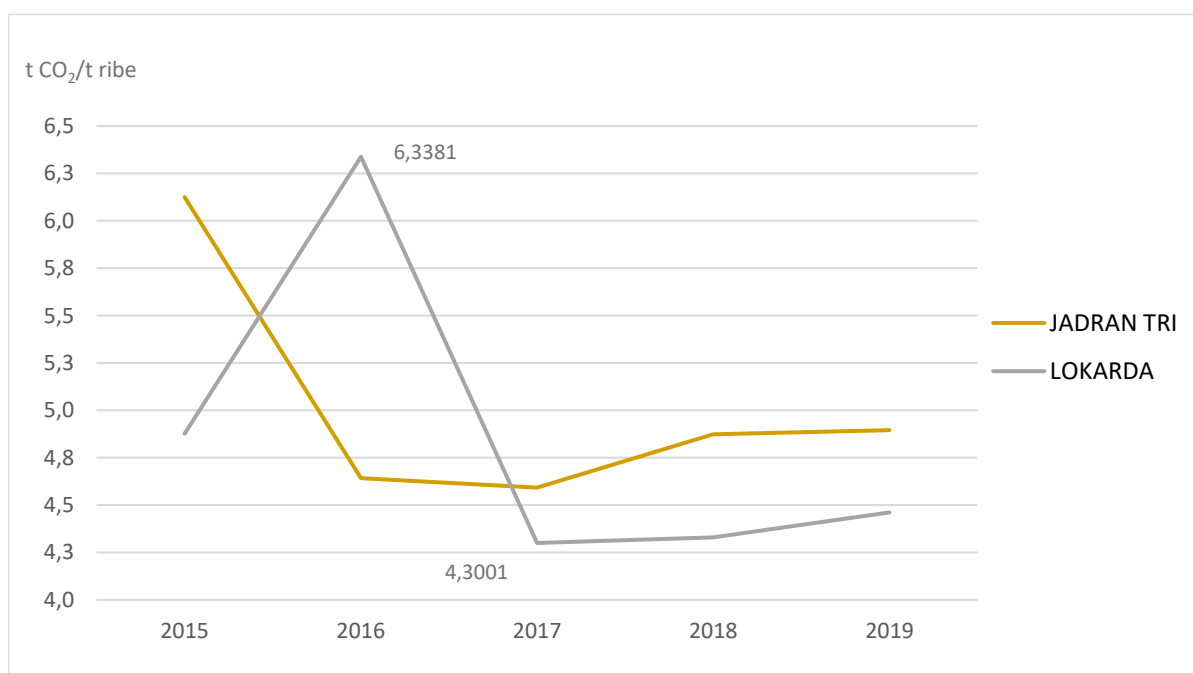
Prosječne vrijednosti godišnjih emisija CO<sub>2</sub> plivaričara i kočara ne prelaze 300 tona. Prosječni godišnji ulov/iskrcaj ribe plivaričara iznosi nekoliko stotina tona, dok je kod kočara manji od 50 tona.

Na Slici 21. prikazani su linijski grafovi operativnih pokazatelja energetske učinkovitosti plivaričara te se kreću u vrijednostima od 0,15 do 0,71.



Slika 21. Operativni pokazatelji energetske učinkovitosti plivaričara.

Na Slici 22. prikazani su linijski grafovi operativnih pokazatelja energetske učinkovitosti kočara, a kreću se u vrijednostima od 4,3 do 6,4.



Slika 22. Operativni pokazatelji energetske učinkovitosti dvaju kočara.



## 4. ANALIZA CJELOŽIVOTNIH EMISIJA PLIVARIČARA NEPTUN DRUGI

### 4.1. LCA

Povećanje svijesti o globalnom zatopljenju i strogi propisi o zaštiti okoliša potaknuli su globalnu zajednicu da istraži utjecaj proizvoda na okoliš te emisije tvari koje su s njim povezane. Ova procjena poznata je kao analiza životnog ciklusa (eng. *Life Cycle Assessment* – LCA) [3].

LCA se odnosi na procjenu ekološkog utjecaja proizvoda tijekom njegovog životnog ciklusa, a to uključuje [14]:

- Eksploataciju sirovine,
- Proizvodnju i preradu proizvoda,
- Uporabu proizvoda,
- Recikliranje i zbrinjavanje proizvoda.

Na Slici 23. prikazan je životni ciklus proizvoda i njegove faze.



Slika 23. Životni ciklus i faze proizvoda [15].

U ovom radu napravljena je LCA analiza energetskeg sustava plivaričara Neptun Drugi. Analiza je provedena za nekoliko različitih brodskih energetskeg sustava, pri čemu je naglasak bio na emisijama CO<sub>2</sub> emitiranim tijekom pretpostavljenog životnog vijeka broda od 20 godina. Cilj analize je ponuditi tehno-ekonomski prikladnu opciju pogonskog goriva koja bi bila zamjena za tradicionalno dizelsko gorivo.

Na Slici 24. prikazan je plivaričar Neptun Drugi.



**Slika 24. Plivaričar Neptun Drugi [5].**

## 4.2. Programski alat GREET

Pod pokroviteljstvom američkog Ureda za energetska učinkovitost i obnovljive izvore energije, Argonne je razvio model cjeloživotne analize pod nazivom GREET (eng. *Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation*).

GREET je programski alat koji ima mogućnost ispitivanja utjecaja tehnologije, goriva, proizvoda i energetskih sustava na emisije tijekom životnog ciklusa. Pruža transparentnu platformu putem koje proizvođači energije, vozila, istraživači i regulatori mogu procijeniti energetske i okolišne učinke tehnologija vozila, energetskih i proizvodnih sustava.

Za bilo koji zadani sustav energije i vozila GREET može izračunati ukupnu emisiju štetnih tvari u zraku, emisiju stakleničkih plinova i potrošnju vode [16].

Proračun u programskom alatu GREET podijeljen je u dvije osnovne faze [14]:

### 4.2.1. WTP (eng. *Well-to-Pump*)

Prva faza je WTP faza koja uzima u obzir emisije nastale tijekom životnog ciklusa goriva, od eksploatacije sirovina za proizvodnju goriva, prijevoza sirovina, prerade sirovina u konačni željeni oblik goriva te prijevoza goriva do crpke.

### 4.2.2. PTW (eng. *Product/pump-to-Well*)

Druga faza je PTW faza koja predstavlja emisiju štetnih plinova za vrijeme korištenja proizvoda. Kako bi pravilno definirali PTW fazu, potrebno je odabrati vrstu potrošača, u ovom slučaju brod. Prilikom konfiguracije PTW faze potrebno je definirati vrstu pogonskog stroja, gorivo (lako dizelsko, biodizel, vodik, metanol, LNG i sl.), potrošnju goriva, potrošnju energije, predviđeni životni vijek broda i emisijske faktore.

WTW (eng. *Well-to-Wheel*) sastoji se od WTP i PTW faze. Pod WTW fazu ubrajaju se emisije štetnih plinova ispuštene tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda, od eksploatacije i prerade sirovina, prijevoza, korištenja proizvoda, sagorijevanja goriva u motoru do zbrinjavanja motora.

### 4.2.3. Proračun emisija u programskom paketu GREET

U okviru ovog diplomskog rada, LCA analiza napravljena je za sedam različitih konfiguracija pogonskog sustava. Svaka konfiguracija ima različite emisijske faktore (EF), specifičnu potrošnju goriva (SFC) i udjele goriva (X), koji su prikazani u Tablici 4.

**Tablica 4. Karakteristike pogonskih sustava**

Pogonski sustav	SFC (g/kWh)	SFC <sub>pil</sub> (g/kWh)	EF (g CO <sub>2</sub> /g goriva)	X <sub>gor</sub>	X <sub>pil</sub>
<b>Dizelski</b>	230,00	0,00	3,206	1,00	0,00
<b>Elektromotorni</b>	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
<b>Metanol</b>	327,20	10,10	1,38	0,95	0,05
<b>DME</b>	280,00	8,50	1,93	0,97	0,03
<b>LNG</b>	154,40	1,80	2,75	0,99	0,01
<b>Vodik</b>	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
<b>B20</b>	230,00	0,00	3,21	0,20	0,80

Iz podataka o godišnjoj i specifičnoj potrošnji goriva te gustoći, prema jednadžbi (3) izračunata je godišnja potrošnja energije na brodu.

$$EC_A = \frac{FC_A \cdot \rho}{SFC_D} \quad (3)$$

To je osnovni podatak iz kojeg kasnije proizlaze rezultati potrošnje goriva te emisija CO<sub>2</sub>.

Potrošnja goriva računa se prema jednadžbi (4).

$$FC_i = x_i \cdot EC_i \cdot SFC_i \quad (4)$$

Za PTW fazu emisije CO<sub>2</sub> na ispuhu (eng. *Tailpipe emissions*) računaju se prema jednadžbi (5).

$$TE = \sum_{i=1}^n FC_i \cdot EF_i \quad (5)$$

Suma se odnosi na pogonske sustave s dvojnim gorivom.

#### 4.2.3.1. LCA dizelskog pogonskog sustava

Emisije u PTW fazi izračunate su prema jednadžbama (3) i (4).

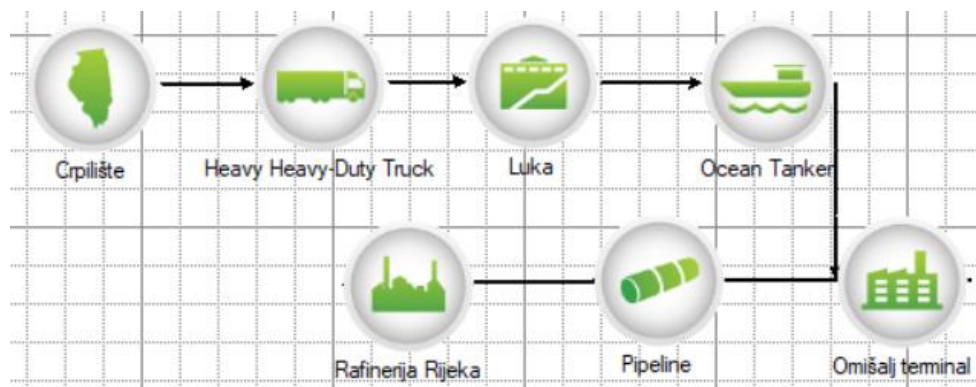
Na Slici 25. prikazane su komponente LCA analize za dizelski pogonski sustav, pri čemu se WTP faza goriva dizelskog motora sastoji od ekstrakcije nafte, njezinog prijevoza do rafinerije gdje se rafinira u dizelsko gorivo i konačnog prijevoza dizelskog goriva do crpke za punjenje.

Sirova nafta uvozi se s Bliskog istoka. Pretpostavljeni postupak prijevoza sirove nafte uključuje prijevoz cisternama od mjesta eksploatacije do luke (500 km) gdje se sirova nafta utovara u tanker koji plovi prema Hrvatskoj (4000 km) do terminala Omišalj odakle se cjevovodom prevozi do Rafinerije Rijeka (7 km). Od Rafinerije Rijeka dizelsko gorivo kamionima se prevozi do crpke (300 km).



Slika 25. LCA dizelskog pogonskog sustava [14].

Sheme prijevoza sirove nafte i dizelskog goriva prikazane su na Slikama 26. i 27.

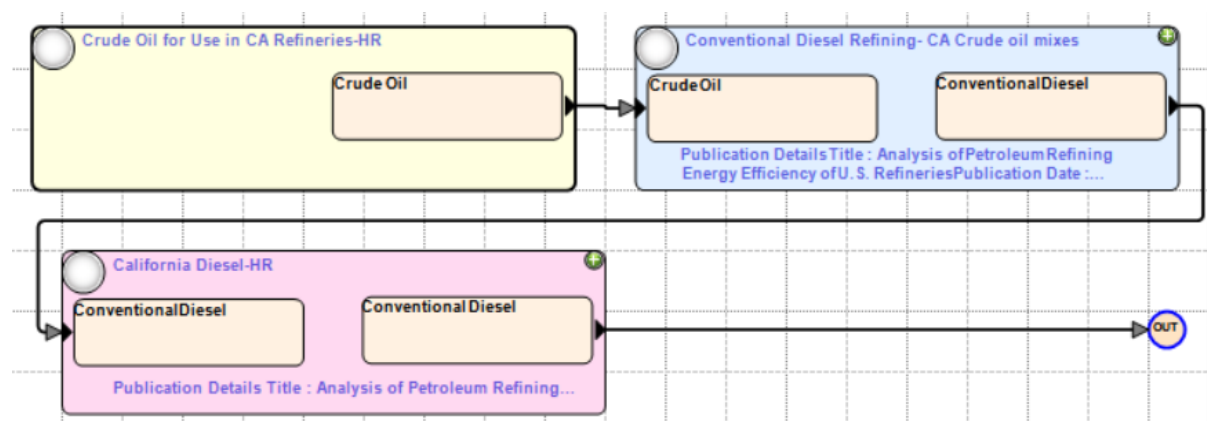


Slika 26. Shema prijevoza sirove nafte do Rafinerije Rijeka [16].



Slika 27. Shema prijevoza dizelskog goriva do crpke [16].

Na Slici 28. prikazan je put (eng. *pathway*) WTP faze dizelskog pogonskog sustava.



Slika 28. WTP faza dizelskog pogonskog sustava [16].

Za rezultate emisija CO<sub>2</sub> uzrokovanih proizvodnjom pogonskog stroja, u GREET-u je potrebno kreirati novo vozilo (eng. *vehicle*) za svaku vrstu pogonskog sustava.

Za svaki pogonski sustav potrebno je navesti udjele goriva koje koristi, mase materijala od kojih se sastoji, period u kojem ga je potrebno zamijeniti, godišnju potrošnju energije i životni vijek trajanja.

Životni vijek izražen je u nautičkim miljama zato što je godišnja potrošnja energije izražena u kWh/nmi.

Na Slici 29. prikazane su karakteristike vozila na dizelski pogon.

Slika 29. Ulazni podaci za dizelski pogonski sustav [16].

U Tablici 5. navedeni su materijali dizelskog pogonskog stroja s pripadajućim masama.

Tablica 5. Mase pojedinih materijala dizelskog motora.

Materijal	Masa (kg)
Kovano željezo	975,2
Čelik	848,0
Aluminij	169,6
Ulja i masti	63,6
Plastika	19,08
Guma	19,08
Bakar i cink	4,24
Olovo	2,12

Nakon što su svi podaci upisani, u GREET-u se mogu očitati rezultati emisija CO<sub>2</sub> za WTP i fazu proizvodnje (prikazano na Slici 30.)

Plivaričar Neptun drugi-Diesel

Fuel Blend: Conventional Diesel      Simulation Year: 2018  
 Technolog: 2018

Functional unit:  /MJ    /100 km    /mi    /ton mi    /tonne km    /passenger

If consumed fuel contains biogenic carbon, the generated biogenic CO2 credits are shown as CO2

	Name	WTP	Mode - Plivaričar - Diesel	Non-Exhaust Emissions	Operation Only
	PM10 (kg/mi)	2,5305			
	PM2.5 (kg/mi)	2,1637			
	SOx (kg/mi)	13,2938	10,2576		10,2576
	CH4 (kg/mi)	129,3444			
▶	CO2 (kg/mi)	18846,0393	81333,8932		81333,8932
	N2O (kg/mi)	0,3504			
	BC (kg/mi)	0,3842			
	POC (kg/mi)	0,6040			

**Slika 30. Prikaz GREET sučelja za očitavanje rezultata [16].**

Rezultati su izraženi po jedinici kopnene milje (mi), pa ih je potrebno preračunati u nautičku milju (nmi).

U Tablici 6. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na dizelsko gorivo

**Tablica 6. Rezultati LCA za pogonski sustav na dizelsko gorivo.**

Gorivo	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
Dizelsko	21688,041	433,761	224763,731	5173,166	278,298	5,566



#### 4.2.3.2. LCA elektromotornog pogonskog sustava

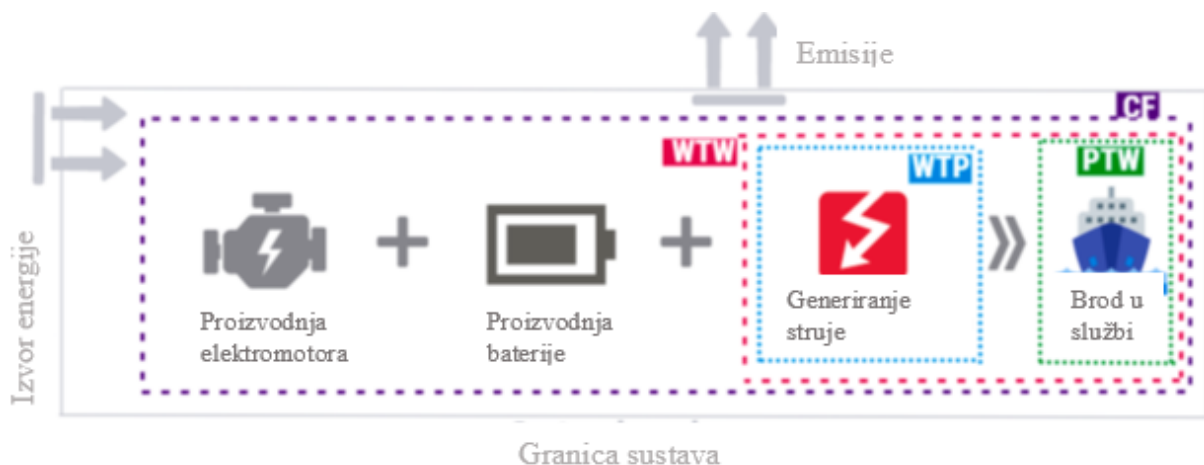
Za skladištenje energije elektromotornog pogonskog sustava odabrana je litij-ionska baterija iz razloga jer ima najveću specifičnu energiju, *BSE* (0,15-0,22 kWh/kg). Kapacitet baterije izračunat je prema jednadžbi (6) uz pretpostavku da je vrijeme trajanja baterije između dva punjenja, osam sati.

$$BC = \frac{1,2 \cdot EC_A}{t_A} \cdot 8. \quad (6)$$

Masa baterija izračunata je prema jednadžbi (7):

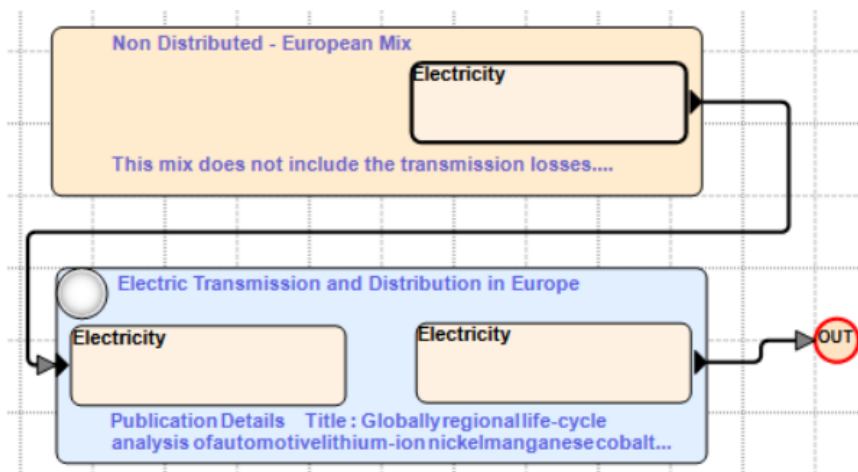
$$m_{\text{BATERIJE}} = \frac{BC}{BSE}. \quad (7)$$

Na Slici 31. prikazana je LCA elektromotornog pogonskog sustava koja uključuje generiranje struje tokom WTP faze i proizvodnju baterije i električnog pogona. Emisije PTW faze jednake su nuli.



Slika 31. LCA elektromotornog pogonskog sustava [3].

Na Slici 32. prikazan je put WTP faze elektromotornog pogonskog sustava.



Slika 32. WTP faza elektromotornog pogonskog sustava [16].

Na Slici 33. prikazane su karakteristike vozila na elektromotorni pogon.

Screenshot softverske aplikacije za konfiguraciju vozila. Na lijevoj strani, pod naslovom 'Vehicle Powerplant', vidljivi su podaci: 'Plant Name: Plivaričar - Electricity', 'Base Plant: Base is not set.', 'Energy sources: Electricity' (izabran), 'Consumption: 350780,0000 kWh/r', 'Charging or Refueling efficiency: 85,0000 %', 'Energy source (upstream pathway or mix): Pathway: Distributed - European Electricity'. Na desnoj strani, pod naslovom 'Quantities are for the FULL vehicle lifetime', vidljivi su podaci za bateriju: 'ADR: Battery', 'Components: Fluids Others', 'Drag and Drop Battery Below', 'Lithium-ion Battery Bill-of-material', 'Unitary quantity: 10,4070 t', '# of units: 1,0000', 'Replacements: 1,0000', 'Pathway: Lithium-ion Battery Bill-of-material for EV'. Svaki broj ima mali zeleni grafikon uz njega.

Slika 33. Ulazni podaci za elektromotorni pogonski sustav [16].

Kao ulazni podatak uzet je kapacitet baterije od 85 % jer nakon određenog vremena baterija izgubi puni kapacitet.

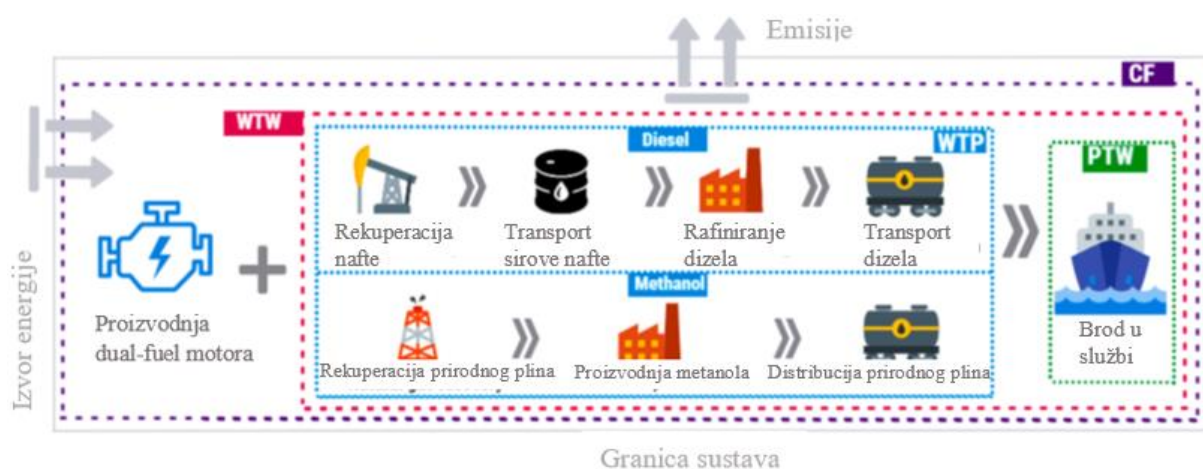
U Tablici 7. prikazani su rezultati LCA elektromotornog pogonskog sustava

Tablica 7. Rezultati LCA za elektromotorni pogonski sustav.

	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
Elektromotor	174522,418	3490,448	0,000	0,000	7977,617	159,552

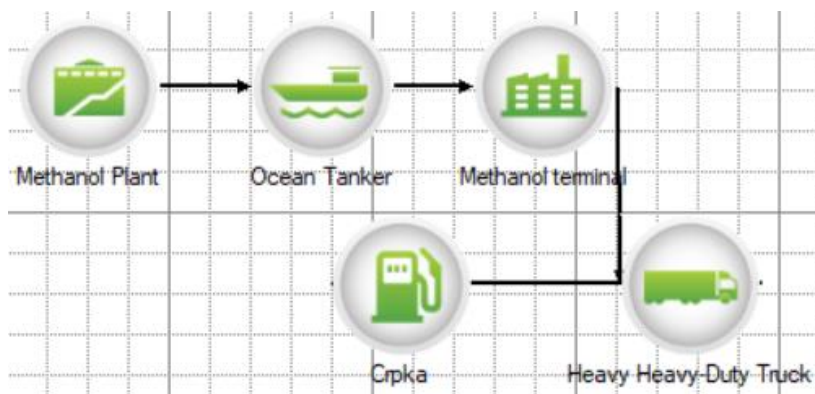
### 4.2.3.3. LCA pogonskog sustava na metanol

Metanol je dosta sličan konvencionalnom brodskom gorivu zbog svog tekućeg stanja. Baš zbog toga je pogodan za korištenje u postojećoj infrastrukturi na dizelsko gorivo bez većih preinaka. Metanol je biorazgradivo gorivo koje se može koristiti u konfiguraciji dvojnog goriva (eng. *duel-fuel*), pri čemu je udio metanola 95 %, a dizelskog kao pilot goriva, 5 %. Snaga pogonskog sustava s dvojnim gorivom odgovara snazi normalnog dizelskog motora. U LCA metanola, kao što je prikazano na Slici 34., ubraja se proizvodnja pogonskog sustava s dvojnim gorivom, WTP faza za metanol i dizelsko gorivo i faza izgaranja goriva u PTW fazi.



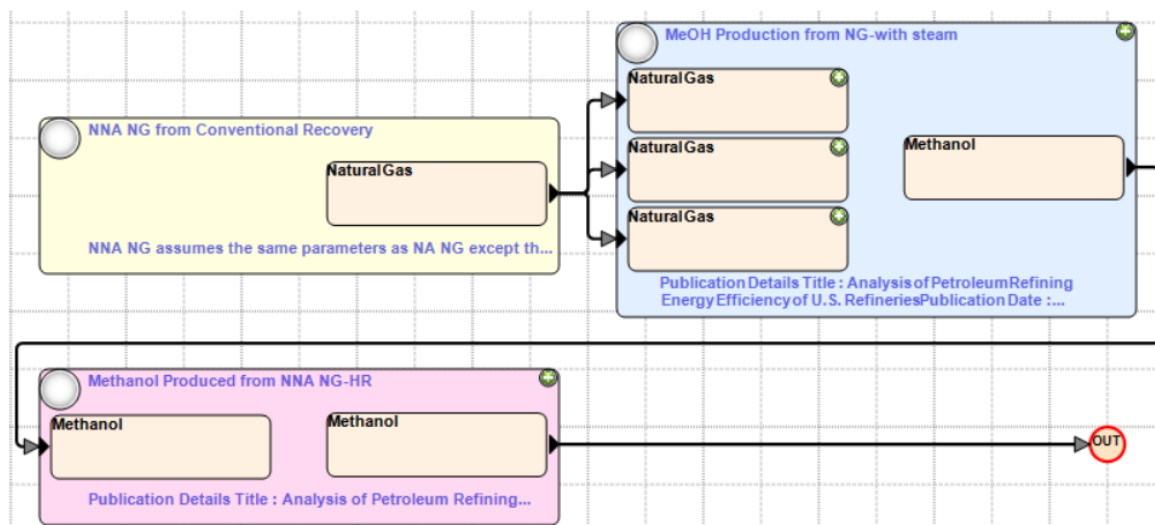
Slika 34. LCA pogonskog sustava na metanol [3].

U WTP fazi, nakon rekuperacije prirodnog plina i proizvodnje metala, metanol se tankerom iz Egipta (3000 km) prevozi do terminala za iskrcavanje. Tamo se ukrcava na teretne kamione i prevozi (300 km) do crpke. Na Slici 35. prikazana je shema prijevoza metanola.



Slika 35. Shema prijevoza metanola [16].

Na Slici 36. prikazan je put WTP faze pogonskog sustava na metanol.



Slika 36. WTP faza pogonskog sustava na metanol [16].

Mase materijala odgovaraju onima iz dizelskog pogonskog sustava (Tablica 5.).

Na Slici 37. prikazani su izvori goriva za pogonski sustav na metanol. Pošto se radi o sustavu s dvojnim gorivom, uračunata su dva goriva s odgovarajućim udjelima snaga.

The screenshot shows the 'Vehicle Powerplant' configuration interface for 'Plivačar - Methanol'. The 'Base Plant' is set to 'Base is not set.'. Under 'Energy sources', two options are listed:
 

- Conventional Diesel**: Selected with 'Consumption' (radio button). Value: 17539,0000 kWh/r. Efficiency: 100,0000 %. Pathway: Conventional Diesel from Crude C.
- Methanol**: Selected with 'Consumption' (radio button). Value: 333241,0000 kWh/r. Efficiency: 100,0000 %. Pathway: Methanol from NNA NG-with stea.

 Each energy source entry includes a small green bar chart icon.

Slika 37. Ulazni podaci za metanol pogonski sustav [16].

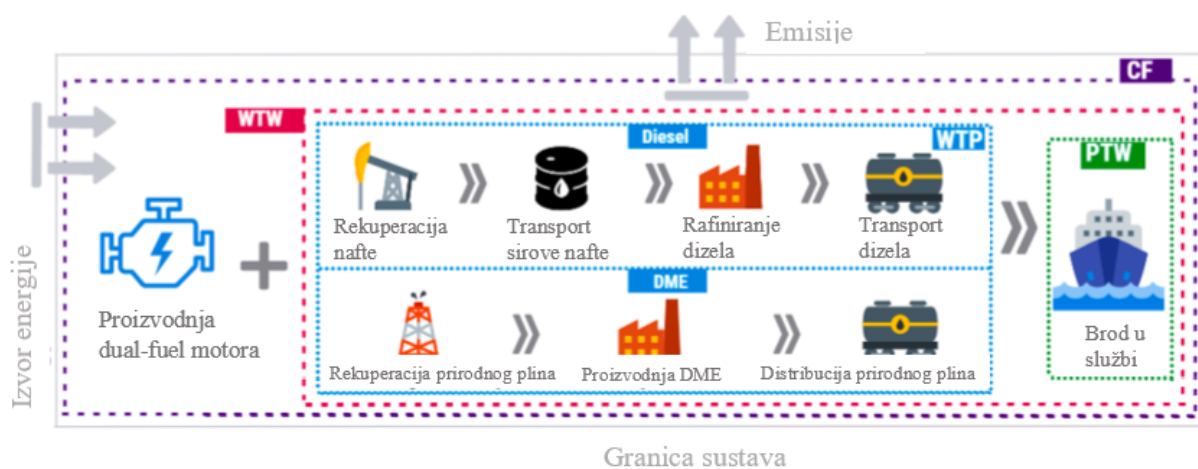
U Tablici 8. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na metanol.

**Tablica 8. Rezultati LCA za pogonski sustav na metanol**

Gorivo	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
Metanol	23421,101	468,422	131246,263	3020,767	278,298	5,566

#### 4.2.3.4. LCA pogonskog sustava na DME

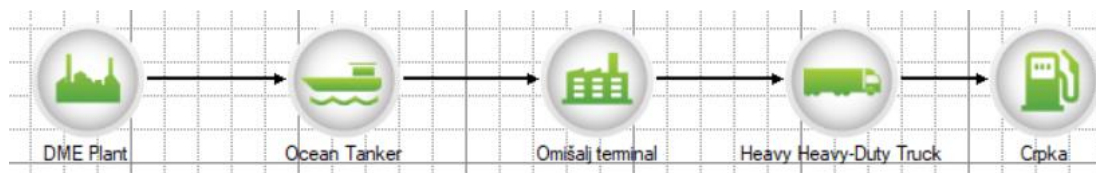
Ključna razlika između etanola i dimetil-etera (DME) je u tome da je etanol bezbojna tekućina na sobnoj temperaturi koja ima visoku isparljivost, a dimetil-eter je bezbojni plin na sobnoj temperaturi [17]. DME zahtjeva tlak od 5 bara kako bi ostao u tekućem stanju. Upravo zbog toga su zahtjevi za rukovanje DME-om slični onima za propan, jer se oba, pri okolišnoj temperaturi, moraju držati u spremnicima pod tlakom [18]. Zahvaljujući takvim svojstvima, DME se može koristiti u konfiguraciji s dvojnim gorivom namijenjenoj LPG infrastrukturi. Svi potrebni podaci o DME gorivu dani su u Tablici 4. Na Slici 38. shematski su prikazane komponente LCA pogonskog sustava na DME.



**Slika 38. LCA pogonskog sustava na DME [3].**

U WTP fazi, nakon rekuperacije prirodnog plina i proizvodnje DME-a, DME se tankerom (1450 km) prevozi do terminala za iskrcaj. Tamo se ukrcava na teretne kamione i prevozi (300 km) do crpke.

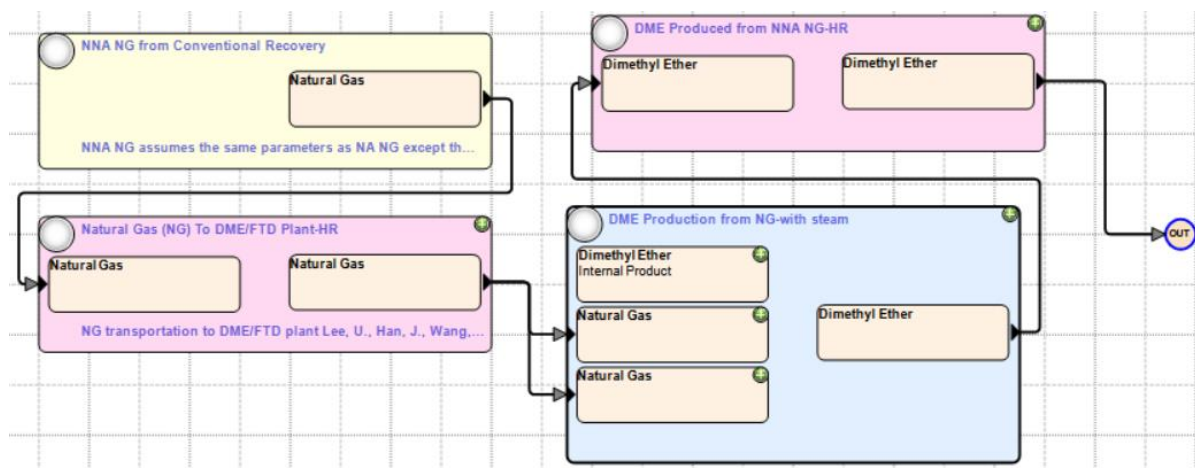
Na Slici 39. prikazana je shema prijevoza DME-a.



Slika 39. Shema prijevoza DME goriva [16].

Ekološki utjecaj motora pogonjenog na DME sličan je dizelskom motoru.

Na Slici 40. prikazan je put WTP faze pogonskog sustava na DME-a.



Slika 40. WTP faza DME pogonskog sustava [16].

U Tablici 9. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na DME.

Tablica 9. Rezultati LCA za pogonski sustav na DME

Gorivo	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
DME	29538,759	590,775	159780,661	3677,515	278,298	5,566

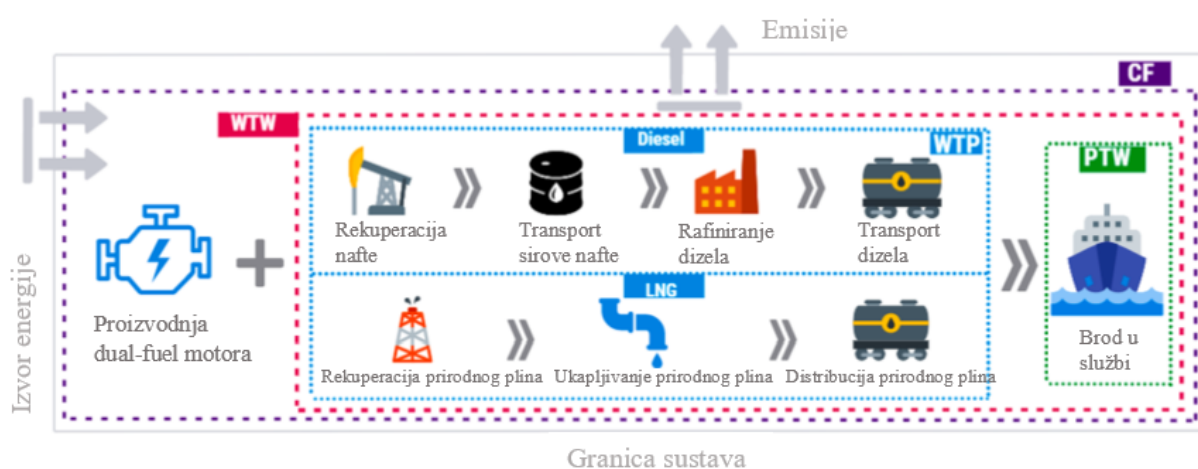


#### 4.2.3.5. LCA pogonskog sustava na LNG

LNG je bezbojna i netoksična tekućina koja nastaje hlađenjem prirodnog plina na -162 °C, pri atmosferskom tlaku. Procesom hlađenja volumen se smanjuje do 600 puta što ga čini lakšim i sigurnijim za skladištenje i prijevoz.

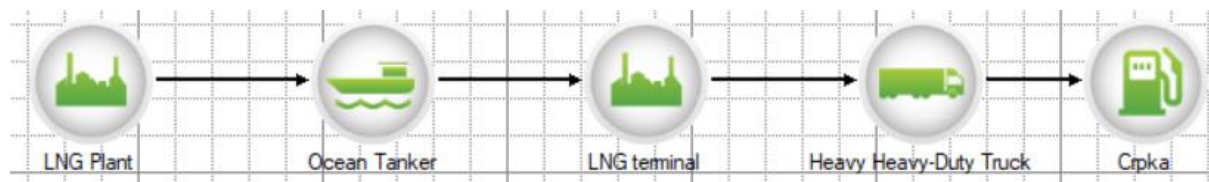
Kada se LNG otpremi na željeno odredište, opet se pretvara u plinovito stanje kako bi se njegovim spaljivanjem dobila energija. LNG predstavlja čišću i cjenovnu konkurenciju ostalim gorivima te se sve češće koristi kao pogonsko gorivo za brodove i teretna vozila [19].

Na Slici 41. shematski su prikazane komponente LCA pogonskog sustava na LNG.



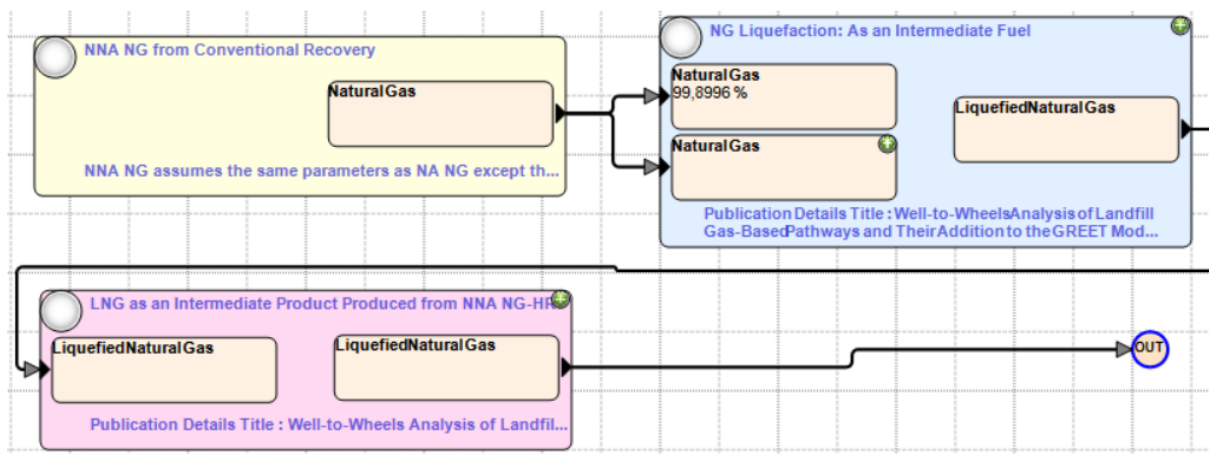
Slika 41. LCA pogonskog sustava na LNG [3].

Nakon rekuperacije i ukapljivanja prirodnog plina, LNG se tankerom iz Katara (7000 km) prevozi do LNG terminala, odakle se kamionom (300 km) prevozi do crpke (Slika 42.).



Slika 42. Shema prijevoza LNG goriva [16].

Na Slici 43. prikazan je put WTP faze pogonskog sustava na LNG.



Slika 43. WTP faza pogonskog sustava na LNG [16].

U Tablici 10. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na LNG.

Tablica 10. Rezultati LCA za pogonski sustav na LNG.

Gorivo	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
LNG	14889,063	297,781	128147,365	2949,442	278,298	5,566

#### 4.2.3.6. LCA pogonskog sustava na vodik

U okviru ovog diplomskog rada, kao alternativno gorivo pogonskog sustava, napravljena je LCA za fosilni vodik kojim se opskrbljuje PEM gorivni članak pogonskog stroja. LCA za fosilni vodik prikazana je na Slici 44.



Slika 44. LCA pogonskog sustava na vodik [3].



Pod pretpostavkom da se vodik proizvodi u zapadnoj Europi, nakon ukapljivanja prevozi se kamionima (1450 km) do crpke (Slika 45.)



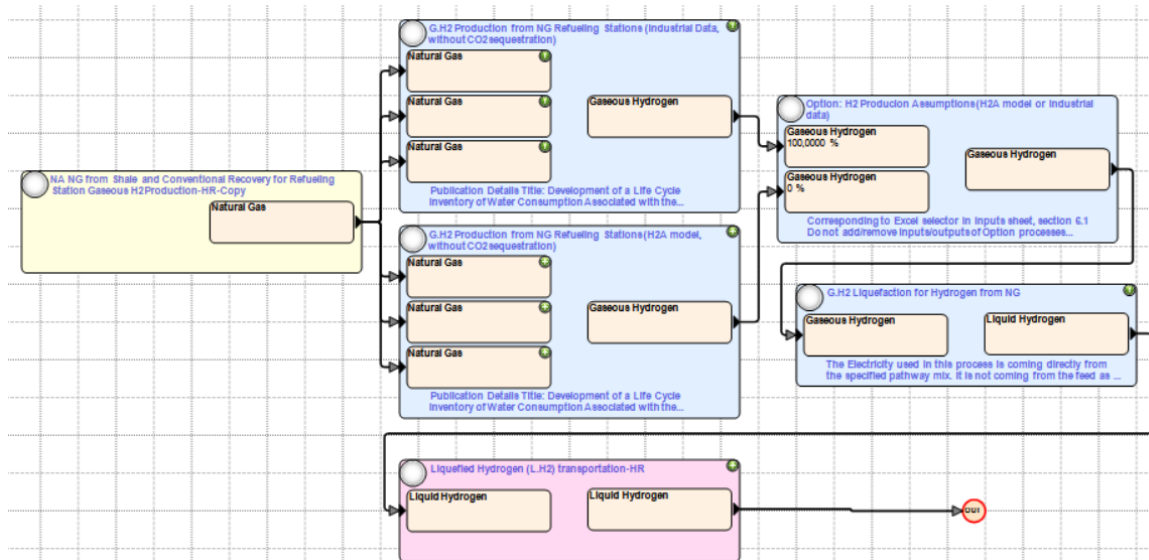
Slika 45. Shema prijevoza fosilnog vodika [16].

U Tablici 11. prikazane su mase pojedinih materijala PEM gorivnog članka koje predstavljaju ulazni podatak za proračun LCA u programskom alatu GREET.

Tablica 11. Materijali PEM članka s pripadajućim masama.

Materijal	Masa (kg)	Materijal	Masa (kg)
Karbonski papir	14,31	Čelik	4293,0
EPDM	9,54	Nafion polimer	1,19
PVC	1311,75	Aluminij	954,0
Platina	1,19	Grafit	1431,0
Bakar	1192,5		

Na Slici 46. prikazan je put WTP faze pogonskog sustava na vodik.



Slika 46. WTP faza pogonskog sustava na vodik [16].

U Tablici 12. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na vodik.

**Tablica 12. Rezultati LCA za pogonski sustav na vodik.**

Gorivo	WTP		PTW		Proizvodnja	
	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /nmi	t CO <sub>2</sub>
Vodik	391088,197	7821,764	0,000	0,000	1399,374	27,987

Na Slici 47. prikazani su ulazni podaci pogonskog sustava na vodik.

**Vehicle Powerplant**

Plant Name: Plivaričar - Hydrogen

Base Plant: Base is not set.

**Energy sources**

Liquid Hydrogen

Consumption  MPG-Gasoline  MPG-Diesel

730792,0000 kWh/r

Charging or Refueling efficiency: 100,0000 %

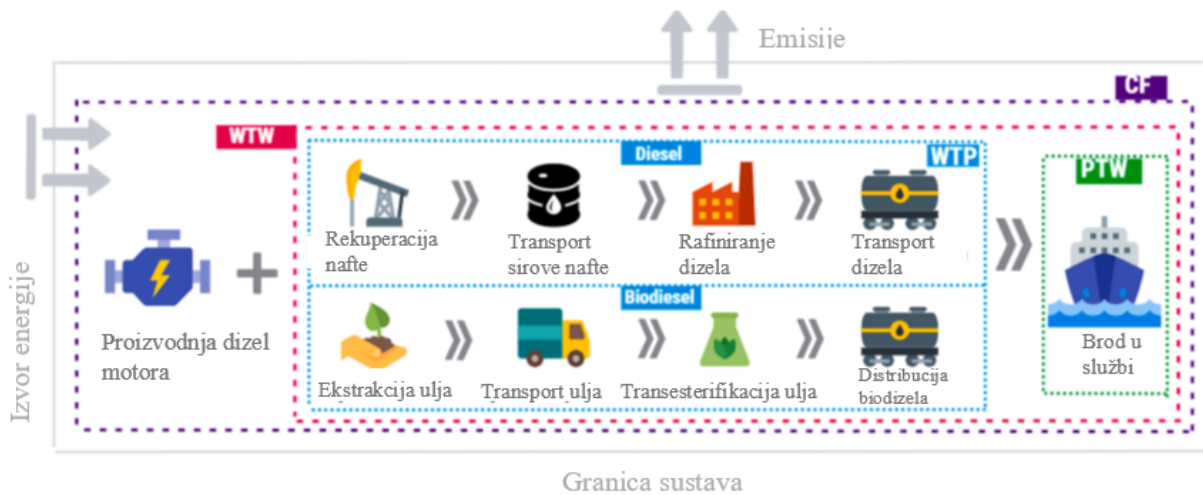
Energy source (upstream pathway or mix): Pathway: Refueling Stations: L.H2 from NA

**Slika 47. Ulazni podaci za pogonski sustav na vodik [16].**

#### 4.2.3.7. LCA pogonskog sustava na biodizel (B20)

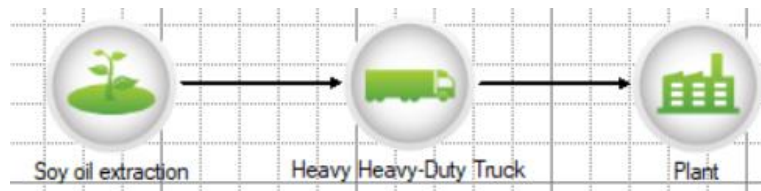
Biodizel je alternativno gorivo slično konvencionalnom dizelskom gorivu. Biodizel može se proizvesti iz čistog biljnog ulja, životinjskog ulja ili masti, loja i otpadnog jestivog ulja. Proces koji se koristi za pretvorbu ulja u biodizel naziva se transesterifikacija. Najveći mogući izvor odgovarajućeg ulja dolazi iz biljki uljarica poput uljane repice, palme ili soje koja je obrađena u ovom diplomskom zadatku [20]. Smjesa biodizela korištena u LCA sastoji se od 80 % konvencionalnog dizelskog goriva i 20 % biodizela odakle dolazi kratica „B20“.

Na Slici 48. shematski su prikazane komponente LCA pogonskog sustava na biodizel.



Slika 48. LCA pogonskog sustava na biodizel [3].

Nakon ekstrakcije, sojino ulje prevozi se kamionom (50 km) do tvornice, gdje dolazi do transesterifikacije i pretvorbe u biodizel (Slika 49.)



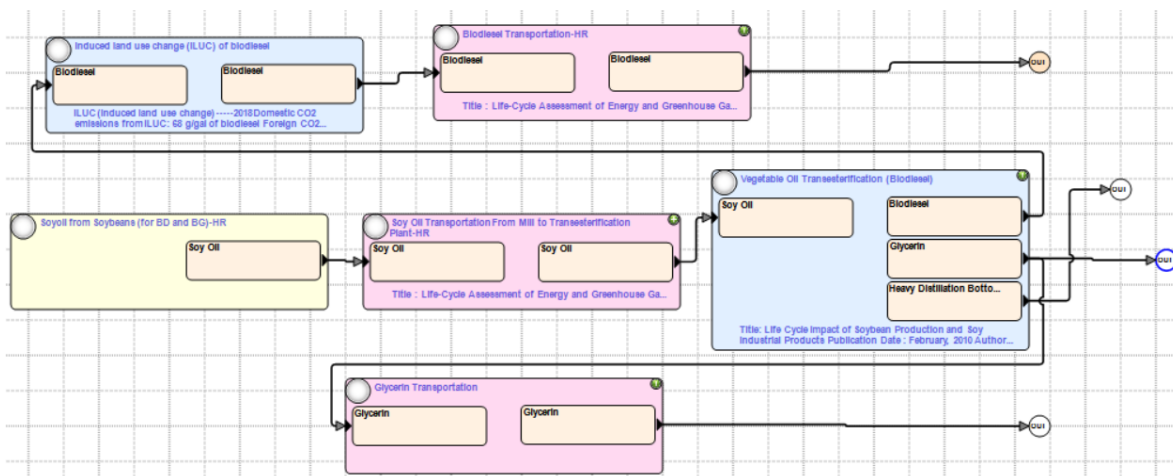
Slika 49. Shema prijevoza sojinog biljnog ulja [16].

Na Slici 50. prikazana je shema transporta biodizela kamionom (600 km) do crpke.



Slika 50. Shema prijevoza biodizela do crpke [16].

Na Slici 51. prikazan je put WTP faze pogonskog sustava na biodizel.



Slika 51. WTP faza pogonskog sustava na biodizel [16].

Na Slici 52. prikazani su ulazni podaci pogonskog sustava na biodizel.

**Vehicle Powerplant**

Plant Name

Base Plant

**Energy sources**

Conventional Diesel

Consumption  MPG-Gasoline  MPG-Diesel

280624,0000 kWh/r

Charging or Refueling efficiency

Energy source (upstream pathway or mix)

Pathway: Conventional Diesel from Crude C

Biodiesel

Consumption  MPG-Gasoline  MPG-Diesel

70156,0000 kWh/r

Charging or Refueling efficiency

Energy source (upstream pathway or mix)

Pathway: Biodiesel Production from Soybea

Slika 52. Ulazni podaci za pogonski sustav na biodizel [16].

U Tablici 13. prikazani su rezultati LCA pogonskog sustava na biodizel.

**Tablica 13. Rezultati LCA za pogonski sustav na biodizel.**

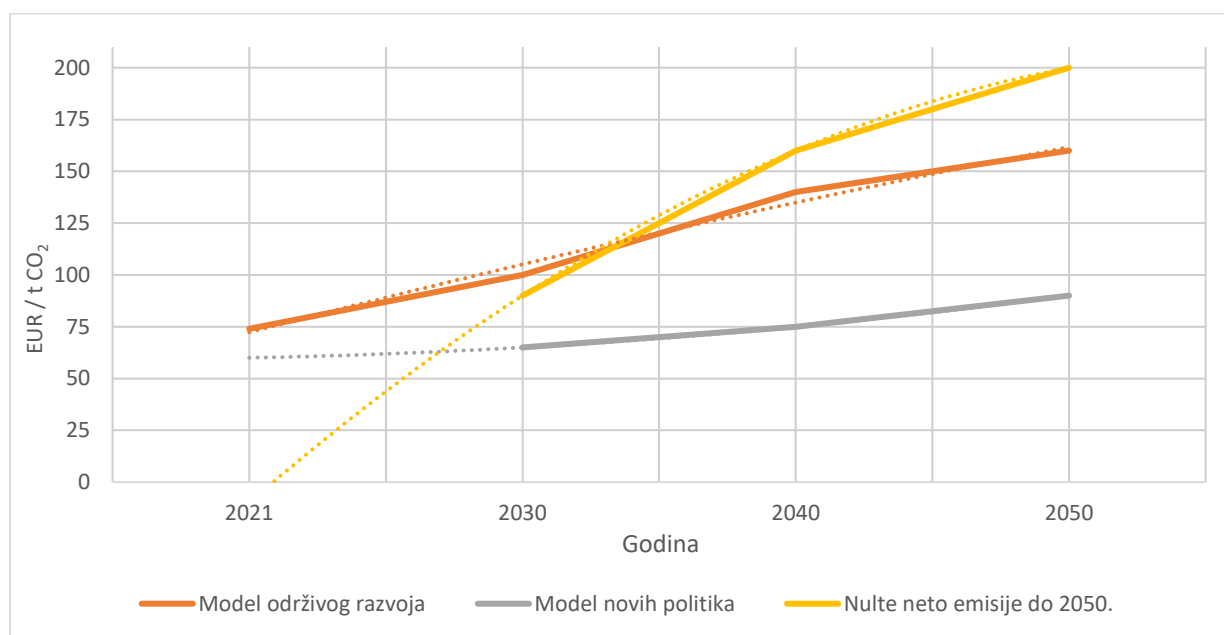
<b>Gorivo</b>	<b>WTP</b>		<b>PTW</b>		<b>Proizvodnja</b>	
	<b>kg CO<sub>2</sub>/nmi</b>	<b>t CO<sub>2</sub></b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/nmi</b>	<b>t CO<sub>2</sub></b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/nmi</b>	<b>t CO<sub>2</sub></b>
B20	21135,610	422,712	179810,985	4138,533	278,298	5,566

## 5. ANALIZA CJELOŽIVOTNIH TROŠKOVA PLIVARIČARA NEPTUN DRUGI

Analiza cjeloživotnih troškova (eng. *Life-Cycle Cost Assessment - LCA*) je metoda za procjenu ukupnog troška nabavke uporabe proizvoda. Uzima u obzir sve troškove koji se sastoje od investicijskih troškova (eng. *investment costs*) i eksploatacijskih troškova koji se dijele na troškove održavanja (eng. *Life-Cycle Maintenance Cost, LCMC*), troškove goriva (eng. *Life-Cycle Fuel Cost, LCFC*) i troškove emisije štetnih plinova (eng. *Life-Cycle Carbon Emission Cost, LCCEC*).

U obzir su uzete mogućnosti uvođenja troškova emisije štetnih plinova (karbonske takse) pri čemu su razmatrani sljedeći modeli (Slika 53.):

- 1.) Model održivog razvoja prema kojem će cijena tone CO<sub>2</sub> u 2040. godini iznositi 140 EUR,
- 2.) Model novih politika (NP),
- 3.) Nulte neto emisije do 2050. godine.



Slika 53. Scenariji troška ugljičnih emisija do 2050. godine.

### 5.1. Troškovi brodskog energetskeg sustava pogonjenog dizelskim gorivom

Trošak investicije novog dizelskog motora računa se kao umnožak ukupne prosječne snage ( $P_{ave}$ ) i cijene snage po kW (250 EUR/kW).

$$IC_D = P_{ave} \cdot 250 \frac{\text{EUR}}{\text{kW}} .$$

Trošak goriva računa se kao umnožak ukupnog prijeđenog puta tijekom 20 godina života (LM), potrošnje goriva (FC) i cijene goriva (PR). U ovom slučaju ulazni podatak je bio godišnja potrošnja goriva, pa LM iznosi 20 godina.

$$LCFC = LM \cdot FC_i \cdot PR_i .$$

Cijene goriva dane su u Tablici 14. Cijena struje iznosi 0,078 EUR/kWh.

**Tablica 14. Cijene goriva**

Gorivo	Cijena (PR <sub>i</sub> )	
Dizelsko	0,78	EUR/kg
Metanol	0,325	EUR/kg
DME	0,325	EUR/kg
LNG	1,1	EUR/kg
Vodik	9,5	EUR/kg
B20	1,48	EUR/kg

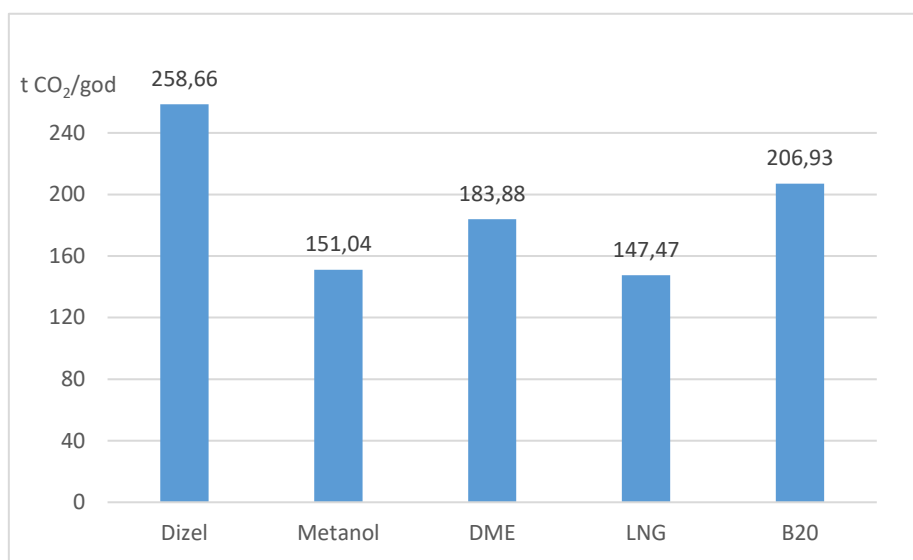
Troškovi održavanja računaju se kao umnožak ukupnog prijeđenog puta broda tijekom 20 godina života, potrošnje energije i cijene u EUR po kWh.

$$LCMC_{DIZ} = LM \cdot EC_A \cdot PR_{ME} .$$

Cijene troškova održavanja dane su u Tablici 15.

**Tablica 15. Cijene održavanja.**

Pogonski sustav	Cijena (PR <sub>ME</sub> )	
Dizelski	0,014	EUR/kWh
Elektromotorni	169	EUR/kWh
Metanol	0,014	EUR/kWh
DME	0,014	EUR/kWh
LNG	0,015	EUR/kWh
Vodik	368	EUR/kW
B20	0,014	EUR/kWh



**Slika 54. Emisije na ispuhu tokom PTW faze.**

Trošak emisija štetnih plinova računa se kao umnožak godišnjih emisija na ispuhu ( $TE_i$ ), Slika 54. i troškove ugljičnih emisija ( $CA_i$ ) za tu godinu.

$$LCCEC = \sum_{i=1}^{20} TE_i \cdot CA_i.$$



## 5.2. Troškovi brodskog energetskog sustava pogonjenog elektromotorom

U trošak investicije novog elektromotora ubraja se kapacitet baterije  $BC$  i cijene baterije ( $PR_B$ ) koja iznosi 200 EUR/kWh.

$$IC_{EL} = \frac{BC \cdot PR_B}{0,45}.$$

Kapacitet baterije računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$BC_{EL} = \frac{1,2 \cdot EC_A}{t_A} \cdot 8.$$

Trošak goriva računa se kao umnožak godišnje potrošnje energije i cijene struje:

$$LCFC_{EL} = EC_A \cdot PR_{EL}.$$

Troškovi održavanja računaju se kao umnožak kapaciteta baterije ( $BC$ ) i cijene baterije nakon 10 godina ( $PR_{B,2031}$ ), koja je dana u Tablici 15.

$$LCMC_{EL} = PR_{B,2031} \cdot PR_{ME}.$$

Trošak emisija štetnih plinova jednak je nuli jer su emisije u PTW fazi jednake nuli.

## 5.3. Troškovi brodskog energetskog sustava pogonjenog metanolom

Trošak investicije računa se prema istoj formuli kao i za dizelsko gorivo, samo je drukčiji iznos cijene po jedinici snage (EUR/kWh) jer se koristi tehnologija s dvojnim gorivom.

$$IC_{ME} = P_{ave} \cdot 750 \frac{\text{EUR}}{\text{kW}}.$$

Trošak goriva računa se kao umnožak životnog vijeka ( $LM$ ) i sume umnoška pojedinačnih potrošnji goriva ( $FC_i$ ) s pojedinačnim cijenama goriva danim u Tablici 14.

$$LCFC = LM \cdot \left( \sum_{i=1}^n FC_i \cdot PR_i \right).$$

Troškovi održavanja jednaki su troškovima održavanja dizelskog pogonskog sustava.

$$LCMC_{MET} = LCMC_{DIZ}.$$

Trošak emisija štetnih plinova računa se prema istoj formuli kao i za brodski energetska sustav pogonjen na dizelsko gorivo.

#### 5.4. Troškovi brodskog energetska sustava pogonjenog na DME

Trošak investicije jednak je trošku za brodski energetska sustav pogonjen na metanol.

$$IC_{DME} = IC_{ME}.$$

Trošak goriva računa se analogno trošku za energetska sustav pogonjen na metanol prema jednadžbi:

$$LCFC_{DME} = LM \cdot (FC_{DME} \cdot PR_{DME} + FC_{p-NG} \cdot PR_{DIZ}).$$

Troškovi održavanja jednaki su troškovima održavanja dizelskog pogonskog sustava.

$$LCMC_{DME} = LCMC_{DIZ}.$$

Trošak emisija štetnih plinova računa se prema istoj formuli kao i za brodski energetska sustav pogonjen na dizelsko gorivo.

#### 5.5. Troškovi brodskog energetska sustava pogonjenog na LNG

Trošak investicije infrastrukture za LNG energetska sustav računa se prema formuli:

$$IC_{LNG} = P_{ave} \cdot 1160 \frac{\text{EUR}}{\text{kW}}.$$

Trošak goriva računa se analogno trošku za energetska sustav pogonjen na metanol prema jednadžbi:

$$LCFC_{LNG} = LM \cdot (FC_{LNG} \cdot PR_{LNG} + FC_{p-NG} \cdot PR_{DIZ}).$$

Troškovi održavanja računaju se prema istoj formuli kao i za dizelski pogon:

$$LCMC_{LNG} = LM \cdot EC_A \cdot PR_{ME}.$$

Trošak emisija štetnih plinova računa se prema istoj formuli kao i za brodski energetska sustav pogonjen na dizelsko gorivo.

### 5.6. Troškovi brodskog energetskog sustava pogonjenog na vodik

Trošak investicije infrastrukture za energetska sustav pogonjen na vodik računa se prema formuli:

$$IC_{\text{VODIK}} = P_{\text{ave}} \cdot 552 \frac{\text{EUR}}{\text{kW}}.$$

Trošak goriva računa se prema istoj formuli kao i za dizelski pogonski sustav:

$$LCFC_{\text{VODIK}} = LM \cdot FC_i \cdot PR_i.$$

Troškovi održavanja odnose se samo na zamjenu gorivog članka (PEM) čija je cijena dana u Tablici 15.

$$LCMC_{\text{VODIK}} = P_{\text{ave}} \cdot P_{\text{ME}}.$$

Trošak emisija štetnih plinova jednak je nuli jer su emisije u PTW fazi jednake nuli.

### 5.7. Troškovi brodskog energetskog sustava pogonjenog na biodizel

Trošak investicije jednak je trošku investicije za brodski energetska sustav pogonjen na metanol.

$$IC_{\text{B20}} = IC_{\text{DIZ}}.$$

Trošak goriva računa se prema jednadžbi:

$$LCFC_{\text{B20}} = LM \cdot FC_{\text{B20}} (x_{\text{B20}} \cdot PR_{\text{B20}} + x_{\text{DIZ}} \cdot PR_{\text{DIZ}}).$$

Udio biodizela iznosi 20 %, dok je udio dizelskog goriva 80 %.

Troškovi održavanja jednaki su troškovima održavanja dizelskog pogonskog sustava.

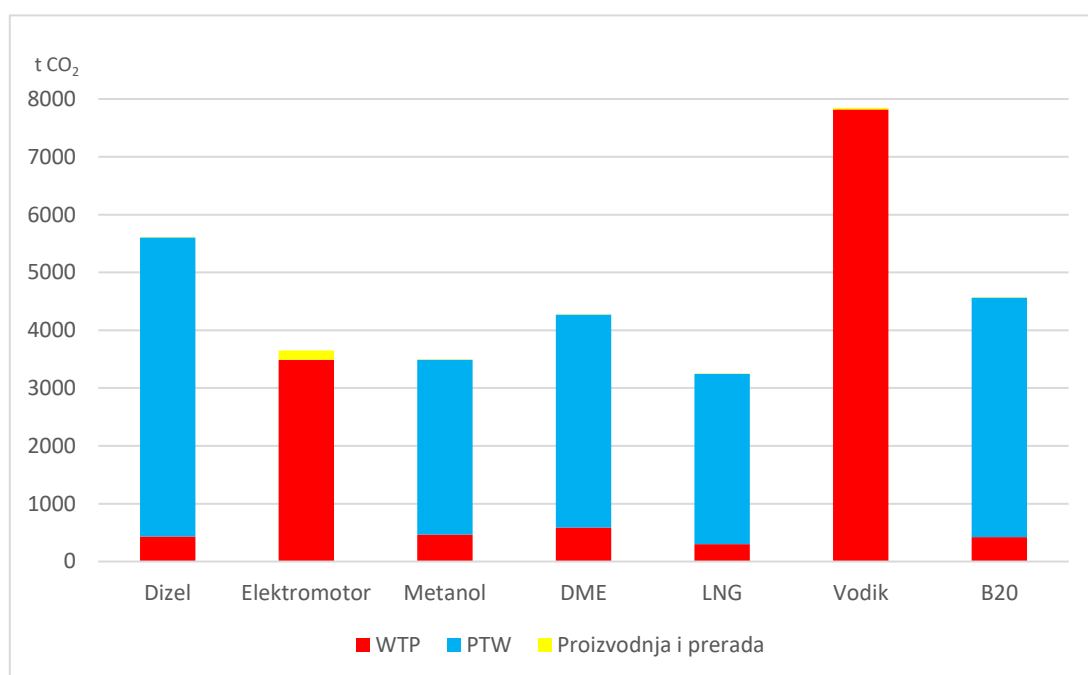
$$LCMC_{B20} = LCMC_{DIZ}.$$

Trošak emisija štetnih plinova računa se prema istoj formuli kao i za brodski energetska sustav pogonjen na dizelsko gorivo.

$$LCCEC = \sum_{i=1}^{20} TE_i \cdot CA_i.$$

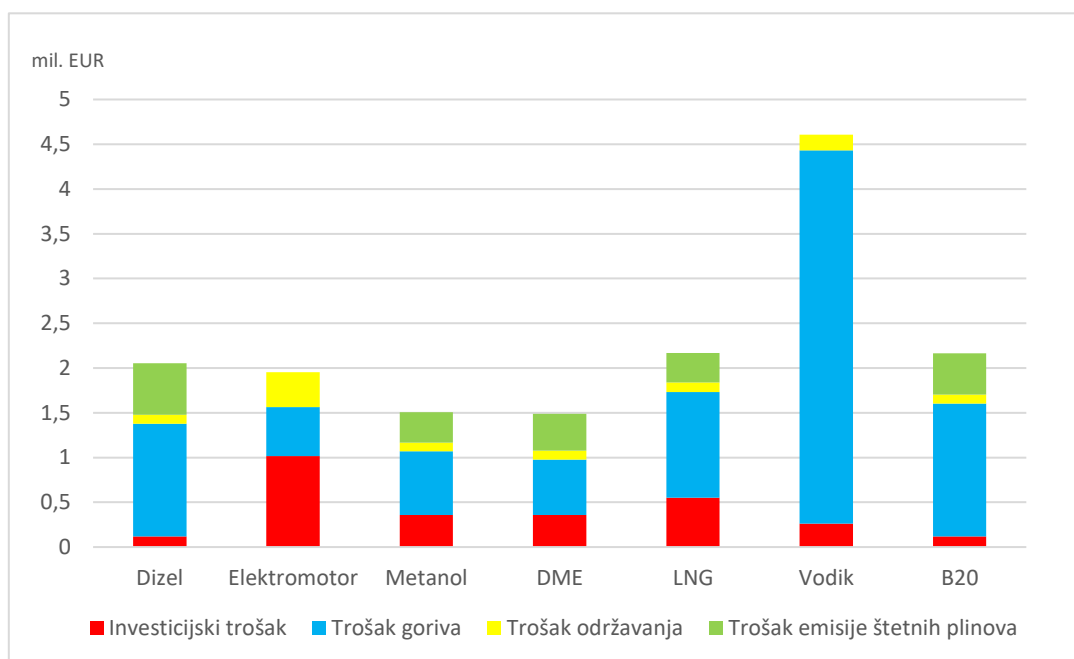
### 5.8. Rezultati LCA i LCCA

Na Slici 55. prikazani su rezultati cjeloživotne analize emisija plivaričara Neptun Drugi za nekoliko vrsta pogonskog sustava.



Slika 55. Rezultati LCA plivaričara Neptun Drugi.

Na Slici 56. prikazani su rezultati cjeloživotne analize troškova plivaričara Neptun Drugi za nekoliko vrsta pogonskog sustava.



**Slika 56. Rezultati LCCA plivaričara Neptun Drugi.**

Na temelju dobivenih rezultata prikazanih na Slikama 55. i 56. može se zaključiti, da vodik kao alternativno gorivo, najlošije kotira. Cjeloživotne emisije CO<sub>2</sub>, unatoč tome što su emisije PTW faze jednake nuli, gotovo su za 50 % veće od sljedećeg najbližeg alternativnog goriva, u ovom slučaju konvencionalnog dizelskog goriva.

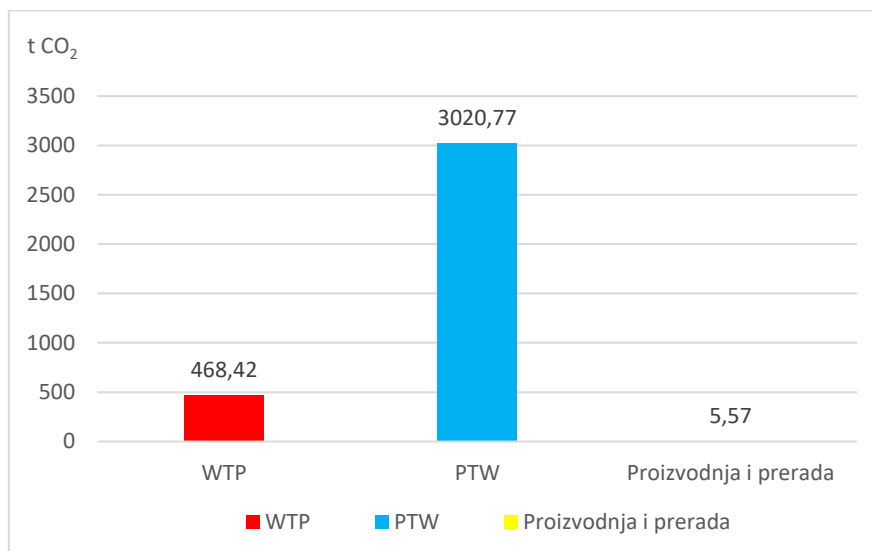
Drugi alternativni izvor energije koji se ističe među ostalima je baterija, tj. elektromotorni pogon. Kod elektromotornog pogona, emisije CO<sub>2</sub> u PTW fazi također su jednake nuli, međutim ukupne cjeloživotne emisije i dalje su u rangu nekim drugim alternativnim gorivima.

Životne emisije CO<sub>2</sub> ostalih alternativnih goriva kreću se između 3300 i 6600 tona godišnje, među kojima najviše emitira dizelsko gorivo, a najmanje LNG.

Cjeloživotni trošak pogonskog sustava na vodik također je puno veći od ostalih pogonskih sustava. Razlog tome je izrazito visoka cijena vodika, koja je i do nekoliko desetaka puta veća od ostalih goriva. Vrijednosti životnih troškova ostalih goriva kreću se između 2,2 i 1,5 mil. EUR, dok za vodik iznose preko 4,5 mil. EUR.

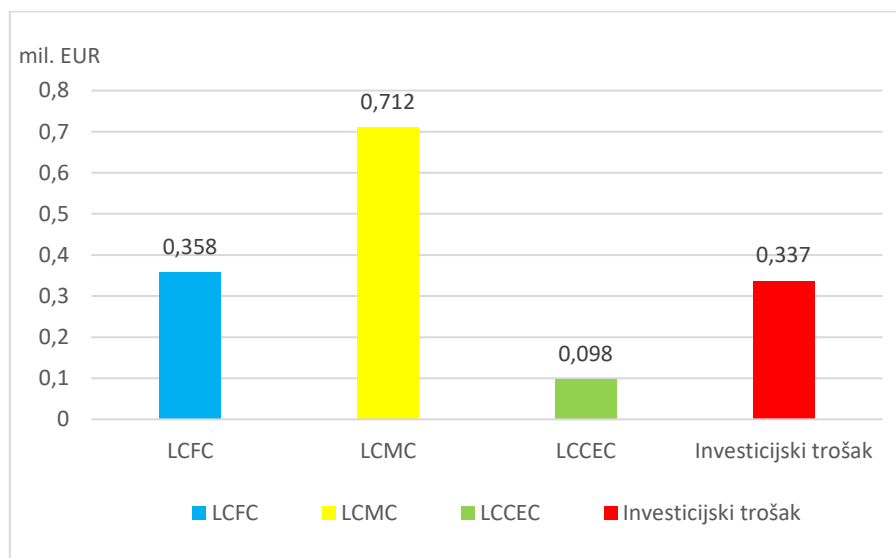
Uzimajući u obzir sve navedene faktore, ekonomski održivo i ekološki prihvatljivo alternativno gorivo za pogon broskog energetskeg sustava je metanol.

Na Slici 57. prikazani su rezultati cjeloživotne analize emisija za pogonsko gorivo metanol.



**Slika 57. Rezultati LCA za pogonsko gorivo metanol.**

Na Slici 58. prikazani su rezultati cjeloživotne analize troškova za pogonsko gorivo metanol.



**Slika 58. Rezultati LCCA za pogonsko gorivo metanol.**

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu obrađen je vrlo aktualan problem emisija ispušnih plinova ribarskih brodova. Uvodno je dan pregled tehnika ulova ribe na Jadranskom moru, kao i pregled hrvatske ribarske flote, pri čemu je utvrđeno da se većina ribarskog ulova u Republici Hrvatskoj ostvari plivaričarima i kočarima. Pri tome plivaričari dominantno izlovljavaju plavu ribu, a kočari bijelu ribu.

Nadalje, na temelju ulaznih podataka o ulovu ribe i potrošnji goriva, te emisijama CO<sub>2</sub> izračunat je operativni pokazatelj energetske učinkovitosti. Prema dobivenim rezultatima, operativni pokazatelj energetske učinkovitosti kočara kreće se između 4 i 5, dok su mu vrijednosti za većinu plivaričara manji od 0,5.

Direktna usporedba iznosa operativnih pokazatelja energetske učinkovitosti za plivaričare i kočare, prema formulaciji koja je uzeta u obzir u ovom radu, nije prikladna. Naime, spomenuti pokazatelj formuliran je kao omjer mase emisija ugljik-dioksida i mase ulovljene ribe, pri čemu sama masa adekvatno reprezentira društvenu korist samo unutar iste kategorije ulova, odnosno unutar istog tipa broda. U tom smislu, prikladna korekcija bi bila konverzija koristi za društvo u novčane jedinice, pri čemu treba voditi računa da je cijena ribe tržišna kategorija, te je izložena fluktuacijama u relativno kratkim vremenskim intervalima

Rezultati cjeloživotnih emisija plivaričara Neptun drugi pokazali su kako vodik ima daleko veće emisije CO<sub>2</sub> od ostalih alternativnih goriva. Razlog tome su visoke emisije u WTP fazi koje iznose preko 7800 tona CO<sub>2</sub>, dok za ostala alternativna goriva iznose nekoliko stotina tona. Elektromotorni pogon također ima izrazito veće WTP emisije CO<sub>2</sub> od ostalih goriva, a one iznose oko 3500 tona CO<sub>2</sub>.

Cjeloživotni trošak pogonskog sustava na vodik opet je znatno veći od ostalih pogonskih sustava. Vrijednost cjeloživotnih troškova vodika je preko 4,5 mil. EUR, dok za sva ostala goriva iznosi manje od 2,5 mil. EUR.

Može se zaključiti da vodik kao gorivo ne predstavlja prikladnu alternativu brodskom energetsom sustavu pogonjenom na dizelsko gorivo. Ostala alternativna goriva dolaze u obzir, a financijski i ekološki prihvatljiva opcija je metanol.

## LITERATURA

- [1] Vladimir N, Koričan M, Perčić M, Alujević N, Hadžić N. Analysis of enviromental footprint of a fishing trawler with overview of emission reduction techologies: International Conference on Applied Energy 2021, Bangkok, Thailand.
- [2] Prussi M., Scarlat N., Acciaro M., Kosmas V., 2021, Potential and limiting factors in the use of alternative fuels in the European maritime sector, Journal of Cleaner Production 291, 125849.
- [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. 2020; 279: 115848.
- [4] Pravilnik o granicama u ribolovnom moru Republike Hrvatske, Karta 1.
- [5] Lučev A. Ribolov na Jadranu [završni rad], Specijalistički diplomski stručni studij, Šibenik; 2018.
- [6] [https://www.dzs.hr/Hrv\\_Eng/publication/2021/01-04-01\\_01\\_2021.htm](https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2021/01-04-01_01_2021.htm) (pristup 10. listopada 2021.).
- [7] <https://www.dzs.hr/> (pristup 20. listopada 2021.).
- [8] <https://podaci.ribarstvo.hr/> (pristup 10. listopada 2021.).
- [9] <https://tehnika.lzmk.hr/ribarski-brod/> (pristup 10. listopada 2021.).
- [10] Mudronja L. Osnivanje tunolovca [diplomski rad], Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Zagreb; 2010.
- [11] <https://worldoceanreview.com/en/wor-2/fisheries-policy/mangement/different-fishing-techniques-and-their-impacts-on-the-environment/> (pristup 13. listopada 2021.).
- [12] <http://www.podvodni.hr/ribolov/1766-povlacni-ribolovni-alati> (pristup 15. listopada 2021.).
- [13] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=32201> (pristup 20. listopada 2021.).
- [14] Piljić D. Vodik kao gorivo u brodskim energetskim sustavima [diplomski rad], Fakultet strojарstava i Brodogradnje, Zagreb; 2020.
- [15] [https://www.researchgate.net/figure/The-life-cycle-of-products\\_fig1\\_280824727](https://www.researchgate.net/figure/The-life-cycle-of-products_fig1_280824727) (pristup 28. listopada 2021.).
- [16] GREET 2020. LCA software. <https://greet.es.anl.gov/> (pristup 10. studenog 2021.).



- 
- [17] <https://hr.sawakinome.com/articles/science--nature/difference-between-ethanol-and-dimethyl-ether-2.html> (pristup 28. studenog 2021.).
- [18] [https://afdc.energy.gov/fuels/emerging\\_dme.html](https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_dme.html) (pristup 28. studenog 2021.).
- [19] <https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-ling.html> (pristup 28. studenog 2021.).
- [20] [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/02-03/biofuels/what\\_biodiesel.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_biodiesel.htm) (pristup 29. studenog 2021.).