

Korištenje alternativnih goriva na putničkim brodovima

Žarković, Dorian

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:663934>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-02**



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

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DORIAN ŽARKOVIĆ

**KORIŠTENJE ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM
BRODOVIMA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**KORIŠTENJE ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM
BRODOVIMA
USE OF ALTERNATIVE FUELS ON PASSENGER SHIPS**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Tehnologija putničkog prijevoza

Mentor: prof. dr. sc. Vlado Frančić

Student: Dorian Žarković

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082047

Rijeka, rujan 2024.

Student: Dorian Žarković

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082047

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
Korištenje alternativnih goriva na putničkim brodovima
(naslov završnog rada)

izradio samostalno pod mentorstvom
prof. dr. sc. Vlado Frančić

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

Student



(potpis)

Dorian Žarković

Student: Dorian Žarković

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

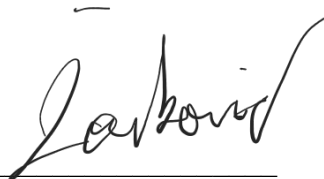
JMBAG: 0112082047

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student - autor



(potpis)

SAŽETAK

Rad se bavi primjenom alternativnih goriva na putničkim brodovima u cilju smanjenja emisija štetnih plinova i zaštite okoliša. Analiziraju se vrste alternativnih goriva kao što su tekući prirodni plin (LNG), vodik, metanol, biogoriva i električna energija, uz naglasak na njihove karakteristike, prednosti i izazove u primjeni. Poseban fokus stavlja se na dekarbonizaciju i tehnološke inovacije koje omogućuju tranziciju prema čistim izvorima energije. Rad obuhvaća i regulatorni okvir koji propisuje međunarodne standarde i smjernice za korištenje alternativnih goriva u pomorstvu. Također se razmatraju tehnički i infrastrukturni izazovi, uključujući visoke troškove i nedovoljno razvijenu mrežu za opskrbu. Zaključak rada naglašava potrebu daljnjeg razvoja tehnologije i infrastrukture kako bi alternativna goriva postala održivo rješenje u pomorskoj industriji.

Ključne riječi: Alternativna goriva. Putnički brodovi. Dekarbonizacija.

SUMMARY

The paper discusses the application of alternative fuels on passenger ships with the aim of reducing harmful emissions and protecting the environment. It analyzes types of alternative fuels such as liquefied natural gas (LNG), hydrogen, methanol, biofuels, and electric energy, focusing on their characteristics, advantages, and challenges in implementation. Special emphasis is placed on decarbonization and technological innovations that enable the transition to cleaner energy sources. The paper also covers the regulatory framework that outlines international standards and guidelines for the use of alternative fuels in maritime transport. Additionally, it examines the technical and infrastructural challenges, including high costs and the underdeveloped supply network. The conclusion highlights the need for further technological and infrastructural development to make alternative fuels a sustainable solution in the maritime industry.

Keywords: Alternative fuels. Passenger ships. Decarbonization.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. VRSTE I ZNAČAJKE ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA	3
2.1. TEKUĆI PRIRODNI PLIN (LIQUID NATURAL GAS – LNG).....	4
2.2. VODIK	6
2.3. METANOL.....	9
2.4. BIOGORIVA.....	10
2.5. ELEKTRIČNA ENERGIJA	13
2.5.1. Proizvodnja električne energije solarnom energijom.....	15
2.5.2. Proizvodnja električne energije energijom vjetra.....	17
2.6. NUKLEARNA ENERGIJA	20
3. PRAVNI OKVIR	21
3.1. PRAVNI OKVIR LNG-a KAO GORIVO	23
3.1.1. Standardi s visokom razinom spremnosti.....	23
3.1.2. Standardi s niskom razinom spremnosti.....	24
3.2. PRAVNI OKVIR VODIKA KAO GORIVO.....	24
3.2.1. Standard s visokom razinom spremnosti.....	24
3.2.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti.....	25
3.2.3. Standardi s niskom razinom spremnosti.....	26
3.3. PRAVNI OKVIR METANOLA KAO GORIVO	26
3.3.1. Standard s visokom razinom spremnosti.....	26
3.3.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti.....	26
3.3.3. Standardi s niskom razinom spremnosti.....	27
3.4. PRAVNI OKVIR BIOGORIVA	27
3.4.1. Standard s visokom razinom spremnosti.....	27
3.4.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti.....	29
3.4.3. Standardi s niskom razinom spremnosti.....	30

3.5. PRAVNI OKVIR ELEKTRIČNIH POGONA.....	30
4. PREDNOSTI I IZAZOVI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA.....	32
4.1. PREDNOSTI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA.....	32
4.2. IZAZOVI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA.....	33
5. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA	36
POPIS TABLICA.....	38
POPIS SHEMA.....	38

1. UVOD

Globalno razmišljanje se sve više okreće od fosilnih goriva, prema alternativnim vrstama goriva. Razlog tome je što su se fosilna goriva pokazala ne samo kao veliki zagađivač, već je i njihova iskoristivost relativno loša. Za primjer možemo uzeti motor s unutarnjim izgaranjem koji ima iskoristivost od 40% do 50%, što bi značilo da se 50% energije gubi uslijed kemijskog procesa i topline kao nusprodukta tog procesa, te u pretvorbi energije iz kemijske u mehaničku. Dok električna energija dobivena iz generatora ima veći postotak iskoristivosti, od 60% do 90%. Kod ove vrste energije nema gubitaka u obliku kemijske reakcije, ali se javljaju gubici radi razvoja topline uslijed rada i gubici kod mehaničkog prijenosa energije.

Pomorska industrija je zadnjih nekoliko desetljeća osuđivana od strane javnosti i medija kao veliki globalni zagađivač, iako brodovi od ukupnih svjetskih emisija štetnih plinova ispuštaju svega 3% do 4%.

Primjerice, putnički brodovi smatraju se velikim zagađivačima. Obzirom da su vrlo atraktivni te zalaze u velike gradove, čak i u zaštićena područja gdje su određene vrste emisija ispušnih plinova ili ispuštanja štetnih tvari zabranjena, našli su se pod velikim povećalom od strane vlasti, ali i javnosti općenito u ekološkom smislu. U današnje moderno doba, znatno i više nego prije, moguće je na razne načine pratiti „ekološke incidente“ obzirom na dostupnu tehnologiju i mogućnosti nadzora u svakom trenutku pa samim tim zagađenja koja stvaraju brodovi postaju javno dostupna informacija. Prijelaz na alternativna goriva za putničke brodove bio bi prekretnica a oni kao takvi mogli bi postati predstavnici korištenja alternativnih goriva u pomorskoj industriji.

Putnički brodovi u svijetu pomorstva smatraju se najmodernijim plovilima i opremljeni su najmodernijom tehnologijom. Sve ostale vrste brodova u industriji započnu s primjenom novih tehnologija s vremenskim odmakom u odnosu na putničke brodove. Upravo ovaj slijed događanja se odvija i sada s alternativnim gorivima, prvo će korištenje alternativnih goriva zaživjeti u potpunosti na putničkim brodovima kako bi od strane javnosti takva goriva bila klasificirana kao „poželjna“. U međuvremenu će se postepeno cijeli koncept korištenja alternativnih goriva proširiti i na ostatak brodarske industrije.

Jedan od glavnih problema prelaska na alternativna goriva je u razvijenosti infrastrukture za opskrbu brodova takvim „novim“ gorivima. Iako su alternativna goriva već neko vrijeme zastupljena u industriji, postoje poteškoće kod opskrbe određenim vrstama goriva. Putnički brodovi koji danas plove na tekući prirodni plin imaju ponekad problem s opskrbom plinom, pošto za punjenje svojih rezervoara moraju dogovoriti, uskladiti i organizirati dolazak tankera

koji će ih opskrbiti prirodnim plinom. Iako je u nekim dijelovima svijeta relativno jednostavno opskrbiti brod prirodnim plinom, dok se u nekim drugim dijelovima svijeta javlja problem sa opskrbom radi nedovoljno razvijene infrastrukture. Uz to i cijene variraju od lokacije do lokacije što bi moglo dovesti do velike potražnje na određenim mjestima, a uz to i nedostataka na drugim mjestima. Ovaj problem ne nastaje samo kod opskrbe prirodnim plinom već i kod opskrbe drugim vrstama alternativnih goriva. Razlog neprilagođenosti infrastrukture novim vrstama alternativnih goriva je taj što su se do sad koristila isključivo fosilna goriva, te se industrija razvijala u tom smjeru ne računajući da će jednog dana doći do promjene.

2. VRSTE I ZNAČAJKE ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

Alternativna goriva su goriva koja se dobivaju iz neke vrste obnovljivog izvora. Primjena alternativnih goriva na putničkim brodovima bi trebala doprinijeti dekarbonizaciji ispušnih plinova, te općenito smanjenju emisija štetnih plinova koji su nusproizvod sagorijevanja fosilnih goriva.

Fosilna goriva, iako nisu tema ovog rada, važna su za spomenuti pošto su alternativna goriva buduća zamjena fosilnih goriva. Fosilna goriva su goriva iz razloga što je njihov kemijski sastav na bazi ugljika ili ugljikovodika. Način na koji se dobiva energija iz fosilnih goriva je sagorijevanje energenta, a tim procesom se uz korisnu energiju ispuštaju i štetni plinovi. Najčešći štetni plinovi su ugljični monoksid (CO) i ugljični dioksid (CO₂), ali i štetni plinovi na bazi sumpora poput sumporovog dioksida (SO₂). Sumporni spojevi su najveći problem što se tiče štetnih emisija s brodova upravo iz razloga što su njihova goriva prije sadržavala velike količine sumpora. Ovo je bio značajan problem sve do 2020. godine kada je IMO organizacije putem MARPOL konvencije ograničila količinu sumpora u gorivima koja se koriste na brodu. Iako sada u prijelaznom razdoblju imamo i goriva koja se smatraju alternativnima, a ne dolaze iz obnovljivih izvora. Jedno od tih „alternativnih“ goriva koje dolazi iz neobnovljivih izvora je prirodni plin, a smatra se alternativnim gorivom jer sagorijevanjem plina kao nusprodukt nastaje voda, točnije vodena para uz manju količinu ugljičnog dioksida.

Trenutačno se alternativna goriva na putničkim brodovima većinom koriste kao nadopuna za fosilna goriva ili kao privremeni izvor energije u lukama. Razlog tome je i dalje svakako jeftinija cijena i laka dostupnost klasičnog fosilnog goriva. Mali je broj putničkih brodova koji se pokreću isključivo na alternativna goriva, ali daljnjim razvojem tehnologije takvi putnički brodovi će biti sve češći, dok u potpunosti ne zamijene klasične putničke brodove na fosilna goriva. Današnji „alternativni putnički brodovi“ najčešće imaju kombinirane pogone, u lukama se koriste alternativna goriva, a za plovidbu otvorenim morima i dalje se koristi dizel, a ponekad i teška fosilna goriva. Putnički brodovi krenuli su u smjeru korištenja prirodnog plina kao alternative pogona najviše radi dostupnosti i razvijenosti infrastrukture. Ostale vrste goriva poput primjerice biodizela su manje rasprostranjene baš iz razloga što nema dovoljne potražnje. Loša infrastruktura je glavni razlog zašto se brodari i dalje teško odlučuju za izgradnju brodova s izvorom energije od alternativnih goriva. Već kod samog naručivanja izgradnje novih putničkih brodova brodari imaju plan kojim su definirane rute za plovidbu novih brodova, što znači da već unaprijed okvirno znaju gdje će i u koje luke brod pristajati. Ako luke u koje brod

namjerava pristati nemaju razvijenu infrastrukturu za ukrcaj određene vrste goriva, brodaru bi to moglo predstavljati poteškoće u eksploataciji broda. Problem nastaje ako iz određenih razloga nema te vrste goriva ili dostava goriva kasni, a ovi brodovi plove po unaprijed određenim rasporedima koji se ne mogu samo tako mijenjati. Što znači da ako je gorivo nedostupno cijeli raspored plovidbe bi se morao mijenjati a time nastaju financijski troškovi.

2.1. TEKUĆI PRIRODNI PLIN (LIQUID NATURAL GAS – LNG)

Tekući prirodni plin ili poznatiji pod skraćenicom „LNG“ je pri atmosferskom tlaku plin, ali radi lakšeg transporta morem on se hladi kako bi se zadržao u tekućem stanju. Da bi ovaj plin pri atmosferskom tlaku prešao u tekuće stanje mora se hladiti na -162°C (-260°F). Ovim procesom se volumen plina smanji 600 puta. Proces ukapljivanja vrši se Modificiranim Brytonovim sustavom hlađenja. Kemijska formula ovog plina je CH_4 , što je kemijska formula za metan. Metan je plin bez boje i mirisa, te je iznimno zapaljiv. Prirodni plin se pronalazi najčešće kao smjesa plinova, te sadržava od 80%, pa sve do 99% metana. Ostali plinovi su alkani poput etana, propana i butana, pa čak i do 1% dušika. U procesu prerade prirodnog plina uklanjaju se svi složeniji ugljikovodici, zajedno s ugljikovim dioksidom i sumporovi spojevi.

Nakon sagorijevanja prirodnog plina nusprodukt je vodena para i ugljični dioksid. Temeljem navedenoga može se zaključiti da bi se LNG trebao ubrajati u fosilna goriva iz razloga što se crpi iz zemlje i nastaje na isti način kao i nafta, raspadanjem organskih tvari. Međutim, ostala fosilna goriva dobivena preradom sirove nafte, nakon izgaranja ispuštaju znatno više štetnih i otrovnih plinova, dok je kod LNG-a slučaj da od štetnih plinova ispušta samo ugljični dioksid (CO_2). LNG se ne može smatrati dugoročnom, točnije potpunom zamjenom za fosilna goriva, pošto je i sam fosilno gorivo. Međutim, iako je fosilno gorivo možemo ga smatrati alternativnim gorivom jer jednim dijelom doprinosi dekarbonizaciji atmosfere i smanjuje emisije sumporovih oksida, na način da se njegovim korištenjem ispušta značajno manja količina štetnih plinova u atmosferu.

Carnival Corporation je 2015. godine napravila veliki korak u smjeru korištenja LNG-a kao alternativno gorivo, tako da su brod koji su već posjedovali u svojoj floti, *AIDAsol*, djelomično prebacili na LNG. Točnije, brod dok je bio privezan u luci je bio pogonjen LNG-om, ali na način da bi se na njega privezala teglenica koja bi ga opskrbljivala energijom proizvedenom od LNG-a. Ovaj brod nije bio u početku projektiran za korištenje LNG-a što znači da nije imao vlastite motore za korištenje tekućeg plina. Nakon početnog pokusa s *AIDAsol* brodom, kompanija je nastavila u smjeru korištenja LNG-a kao alternativnog goriva, što se vidi po *AIDAprima* i *AIDAprila* brodovima. Ova dva broda su prvi veliki putnički

brodovi koji su imali dvojne motore za dvije vrste goriva, ali i dalje nisu imali svoje strukturalne tankove goriva.

Zatim se 2018. godine pojavljuje *AIDAnova* koja donosi nešto zaista revolucionarno u svijetu putničkog prijevoza. *AIDAnova* je prvi putnički brod pogonjen u potpunosti LNG-om u luci, ali i na otvorenom moru. Ovo je bio iznimno veliki poduhvat i veliki izazov za brodogradilište *MEYER WERFT* jer su morali proizvesti prvi brod ove vrste. Gotovo deset godina se usavršavala tehnologija i konstrukcija ovog broda. Brod porivnu silu stvara pomoću četiri *Caterpillar* hibridna motora na dva goriva, LNG i klasično dizel gorivo. Ovo je naravno velika prednost jer time omogućava da brod nije ovisan samo o jednoj vrsti goriva. Iako se mogu koristiti dva različita goriva, motori ne gube na snazi neovisno o kojem se gorivu radi. Svaki od ova četiri motora isporučuju 20998 konjskih snaga što je ukupno 83970 konjskih snaga ili 61760 kW. Promjena goriva koje motori koriste moguće je i bez prekida rada stroja čak i dok je stroj pod opterećenjem. Jedini manji problem dolazi kod samog paljenja, radi niske kvalitete zapaljivosti prirodnog plina pri početnom zapaljenju potrebno je dodati manju količinu dizela kako bi se stvorila početna iskra.



Slika 1. Prikaz opskrbe LNG-om putničkog broda AIDAnova

Izvor: <https://www.manifoldtimes.com/news/germany-kiel-port-enters-another-milestone-with-double-lng-bunkering-ops/>

LNG je pohranjen u tri spremnika u trupu broda koji mogu primiti oko 3500 kubičnih metara ukapljenog prirodnog plina, što je dovoljno goriva za dvotjedno krstarenje ili oko 4000

nautičkih milja. *Röchling* nosači spremnika goriva su potporni ležajevi izrađeni od plastičnih materijala i sprječavaju bilo kakvu izmjenu topline ili hladnoće između spremnika i susjedne konstrukcije broda. Svako zagrijavanje spremnika povećalo bi energiju potrebnu za hlađenje ukapljenog plina, a istovremeno bi oslobađanje hladnoće zaledilo strukturu broda. Ukupno je ugrađeno oko 350 *HEROSE* ventila, a to su ventili koji rade pod ekstremnim uvjetima temperature i tlaka. Ovi ventili u plinskom sustavu ispunjavaju važne zadatke: zatvaranje, upravljanje, regulacija tlaka, regulacija temperature, hitno isključivanje (ESD), upravljanje spremnikom, odzračivanje, sigurnosno rasterećenje i LNG opskrba. Ovi ventili se svi moraju servisirati svakih pet godina, ali putovanje ne staje dok se ventili servisiraju. To je moguće jer je sva tehnička oprema na brodu dupla što znači da dok se jedan dio sustava servisira drugi sustav upravlja svim funkcijama broda.

Porivni sustav na *AIDAnova* izveden je bez sustava kormila. Umjesto kormila predviđen je Azipod sustav manevriranja. Azipod je uređaj za manevriranje koji je pričvršćen na trup broda i ima mogućnost zakretanja 360° oko svoje osi. Električni motor svakog Azipoda ima snagu od 18.500 kW. Uz Azipode brod ima još četiri pramčana porivnika koji omogućuju brodu još bolja manevarska svojstva i mogućnost da pristaje na vez i odlazi s veza bez pomoći tegljača.

2.2. VODIK

Slično kao i prethodno spomenuti prirodni plin, vodik je pri atmosferskom tlaku plin bez boje, mirisa i okusa. Ali za razliku od prirodnog plina je neotrovan. Značajno je lakši od zraka i to 14,4 puta lakši. Zapaljiv je na zraku pri temperaturi od oko 560°C, te gori gotovo prozirnim plamenom.

Vodik je već neko vrijeme prepoznat kao dobra alternativa za fosilna goriva jer ga u našoj okolini ima u izobilju, no ne u čistom obliku. Najčešći izvor vodika dobiva se preradom prirodnog plina, a nešto rjeđe elektrolizom vode ili iz biomase. Mali problem kod vodika dobivenog putem prerade fosilnih goriva iz ekološkog aspekta nastaje iz razloga što se tim procesom ekstrakcije vodika ispuštaju staklenički plinovi, najviše ugljika. Tako je Europski parlament na svojim internetskim stranicama naveo činjenicu da se oko dva posto energije u Europi dobiva od vodika, ali pošto je 95% tog vodika dobiveno iz fosilnih goriva, ovaj vodik oslobađa gotovo 70 do 100 milijuna tona CO₂ godišnje. Iako su godišnje emisije CO₂ u milijardama tona, ni ovi milijuni nisu mali iznos.

Pravi vodik, točnije čisti vodik, bi se trebao dobivati elektrolizom vode. Elektroliza je postupak kojom se voda razdvaja na kisik (O₂) i vodik (H₂) na način da se dovede vanjski izvor napona koji će omogućiti da električna struja prolazi kroz vodu. No, da bi ovaj proces bio

potpuno bez stakleničkih plinova, dopremljeni napon koji prolazi kroz vodu mora doći iz nekog obnovljivog izvora energije, primjerice solarne ili hidro elektrane.

Vodik u gorivim ćelijama je ipak daleko najčišći način korištenja vodika kao izvora energije. U gorivim ćelijama događa se kemijska reakcija između vodika i kisika, a ovom kemijskom reakcijom nastaje električna energija i jedini nusprodukt su voda i toplina.

Primjer broda koji koristi gorive ćelije na bazi vodika kao djelomični izvor energije je *Viking Neptun*. Na ovom brodu je jedna takva tako zvana baterija snage oko 100 kW koja radi kao PEM gorivi članak. PEM gorivi članak je skraćena za engleski naziv *Proton exchange membrane fuel cell*. To su gorive ćelije s polimerskom membranom s platinom i služi kao elektrolit za izmjenu električnog naboja. Platina se koristi ovdje kao katalizator, točnije kako bi ubrzao kemijsku reakciju jer za sada nema drugih katalizatora koji djeluju toliko učinkovito na temperaturama od 80°C. S desne i lijeve strane membrane nalaze se elektrode anoda ili negativna strana, i katoda ili pozitivna strana. Prema anodi struji vodik, a prema katodi struji mlaz zraka s minimalnom zasićenošću od 21% kisika. Tokom ovog procesa dolazi do oksidacije na katodi i odvajanja elektrona od jezgre atoma vodika. Elektroni vodika zatim vodičem iz anode odlaze do potrošača, a protoni kroz elektrolitsku membranu prelaze u katodu i tamo se vezuju na molekule kisika. Rezultat ove elektrokemijske reakcije je topla voda. Važna prednost ove tehnologije je da u odnosu na druge gorive članke ima veliku snagu po jedinici volumena, a glavna mana da je ovaj sustav osjetljiv na ugljični monoksid i sumpor.



Slika 2. Putnički brod Viking Neptun

Izvor: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/vikings-new-cruise-ship-to-test-hydrogen-fuel-cells-73757>

Viking Neptun nije jedini brod koji koristi ovakvu tehnologiju, nedugo nakon njegovog predstavljanja kompanija *MSC* je predstavila svoj kruzer *World Europa*. Iako i ovaj brod koristi gorive članke, i to njih 2 svaki po 75 Kw, oni rade na nešto drugačijem principu. Koriste tehnologiju SOFC što je engleska skraćenica za *Solid oxide fuel cell*. Ovo je isto kao i PEM elektrokemijski uređaj za proizvodnju električne energije oksidiranjem određenog goriva. Ovaj sustav je karakterističan radi svojeg elektrolitskog materijala, jer kao elektrolit koristi čvrsti oksid ili određenu vrstu keramike kao što je elektrolit. U ovim ćelijama ioni kisika prolaze difuzijom kroz elektrolitni materijal čvrstog oksida pri visokoj temperaturi i reagiraju s vodikom na anodnoj strani. Za razliku od PEM sustava ovaj sustav radi bez katalizatora jer radi na temperaturama od 500°C do 1000°C. Radi tog što nemaju katalizator ovi sustavi mogu raditi na većem spektru goriva jer nema rizika od uništenja katalizatora ugljičnim monoksidom, ali sumpor se i dalje mora pročišćavati prije ulaska u ćeliju. Za razliku od drugih tipova gorivih članaka, SOFC može imati različite vrste izvedbe. Pločasta geometrija je najtipičnija geometrija koju rabi većina gorivih članaka pri kojoj je elektrolit između elektroda. SOFC mogu biti napravljeni u cjevastom obliku gdje zrak ili gorivo prolazi kroz unutrašnjost cijevi, a drugi plin prolazi s vanjske strane cijevi. Princip rada gorivih članaka s čvrstim oksidom je taj da su sastavljeni od četiri sloja, od kojih su tri keramika. Jedan članak sastavljen od ta četiri sloja i obično je debljine svega par milimetara. Stotine takvih članaka se zatim spajaju u serije. Keramika koja se koristi ne postaje električno i ionski aktivna dok ne dosegne visoke temperature. Redukcija kisika u kisikove ione događa se na katodi. Ioni zatim difuzijom prolaze kroz čvrsti oksidni elektrolit do anode, gdje elektrokemijski oksidiraju gorivo. Produkti ove reakcije su voda i dva elektrona. Oslobođeni elektroni teku kroz odvojeni krug u kojem mogu obavljati rad, a ciklus se ponavlja kada elektroni ponovno dođu u katodni materijal.

Prelazak putničkih brodova na vodik bio bi inovativan korak prema održivosti pomorskog prometa i smanjenju globalnog zagađenja. Pogotovo ako se koristi vodik dobiven elektrolizom pošto je tada emisija stakleničkih plinova gotovo jednaka nuli. No, nažalost to trenutno u praksi nije tako jer većina vodika koja je na tržištu dolazi od prerade prirodnog plina, a to znači da se događa emisija ugljika u atmosferu. Ne samo da ima emisija štetnih plinova, već je i sama cijena tog vodika ovisna o dostupnosti prirodnog plina. Idealno rješenje za brodove pogonjene na vodik bilo bi da takvi brodovi imaju uređaj za elektrolizu vode, te da sami proizvode potreban vodik. Kod ovakvog rješenja nastaje problem dobave početnog napona za kemijsku reakciju elektrolize vodika. Brodovi koji bi koristili „svoj“ vodik dobiven elektrolizom vode na samom brodu morali bi biti opremljeni još nekom dodatnom tehnologijom za proizvodnju električne energije kao što su primjerice solarni paneli.

2.3. METANOL

Metanol je pri sobnoj temperaturi bezbojna, zapaljiva i hlapljiva tekućina, iznimno neugodnog mirisa. Metanol je jednostavan alkohol koji je počeo sve više privlačiti pažnju radi potencijalnog smanjenja stakleničkih plinova njegovim korištenjem. Moguće ga je proizvesti iz raznih izvora, ali danas najrasprostranjeniji načini su iz prirodnog plina, ugljena, biomase, pa čak i iz CO₂. Ova tekućina je jako otrovna za ljude i samo 30 mililitara može prouzročiti smrt. Problem je što u organizam može ući kroz kožu, udisanjem i naravno gutanjem, te na organizam djeluje slično kao narkotik.

Kao i kod korištenja ostalih alternativnih goriva, pa tako i kod korištenja metanola kao goriva, cilj je doprinijeti ponajviše smanjenju dušikovih i sumpornih oksida. Prednost metanola nad prethodno spomenutim gorivima je taj da ima veliku energetska gustoću, što znači da je uz mali volumen moguće proizvesti veću količinu energije. To je iznimno korisno u transportu pomorskim prometom.

Danas je najčešći način proizvodnje metanola reformiranjem prirodnog plina. Ovim se procesom prirodni plin, koji se sastoji od metana, prvo pretvara u sintezni plin (mješavinu vodika, ugljičnog monoksida i ugljičnog dioksida), zatim se sintezni plin putem postupka poznatog kao parno reformiranje uz prisutnost katalizatora pretvara u metanol u visokotemperaturnim i visokotlačnim uvjetima. Metanol se također može dobiti iz biomase, što uključuje korištenje organskih materijala kao što su drvo, poljoprivredni otpad i drugi obnovljivi izvori. Proces se sastoji od nekoliko koraka:

1. Plinifikacija biomase: biomasa se zagrijava na visokim temperaturama u prisustvu ograničene količine kisika, stvarajući sintezni plin.
2. Sinteza metanola: sintezni plin se zatim, kao i u slučaju prirodnog plina, pretvara u metanol uz pomoć katalizatora.

Ovaj način proizvodnje je održiv jer koristi obnovljive izvore i smanjuje emisiju stakleničkih plinova. Jedna od naprednijih metoda za proizvodnju metanola uključuje korištenje ugljičnog dioksida i vodika. Metanol, iako je primarno u tekućem stanju i prilično je iskoristiv u toj formi, može se kao i vodik koristiti u kombinaciji s gorivim ćelijama za napajanje električnih sustava broda.

Glavni predstavnik putničkih brodova na metanol bio bi trajekt *Stena Germanica*. Brod je izgrađen 2001. godine te je naknadno 2015. godine rekonstruiran da koristi metanol kao pogonsko gorivo.



Slika 3. Prikaz opskrbe metanolom putničkog broda STENA GERMANICA

Izvor: <https://www.shippax.com/en/news/stena-germanica-first-non-tanker-vessel-in-the-world-to-be-ship-to-ship-bunkered-with-methanol-.aspx>

Opremljen je s 4 *Wärtsilä* četverotaktnim motorima koji koriste metanol, ali i dalje mogu koristiti klasično fosilno gorivo ako to bude potrebno. Svaki od ova 4 motora isporučuje oko 6000 kW snage. Problem ovog broda bio je kod skladištenja metanola jer je brod naknadno prenamijenjen za pogona na metanol, pa se balastni tank morao prenamijeniti u tank za skladištenje tekućeg metanola. Tank se morao premazati cinkovim silikatom kako metanol ne bi izazvao koroziju. Uz to brod je morao ugraditi visokotlačne cijevi i pumpe, potpuno nove električne instalacije i novi sustav upravljanja motorima. Promjenom goriva koje ovaj brod koristi za pogon smanjili su emisije sumporovog oksida na samo 1%, dušikovih oksida za 60%, a ugljikov dioksid za 25%.

2.4. BIOGORIVA

Biogoriva su goriva dobivena preradom biomase. Biomasa dolazi od šumarske industrije, i od poljoprivredne industrije, a uključuje tvari biljnog i životinjskog podrijetla. Nastaje razgradnjom proizvoda, otpada i ostataka biološkog podrijetla. Biogoriva su biorazgradiva, te nisu otrovna za žive organizme, a to dokazuje činjenica da se biogorivo koje dospije na tlo razgradi već u 28 dana, a ispuštanjem u vodu razgrađuju se već unutar nekoliko dana. U njihovom kemijskom sastavu nema sumpora niti teških metala. Tako postoje tri generacije biogoriva:

1. Biogoriva prve generacije su konvencionalna biogoriva poput bioetanol i biodizela. To su goriva proizvedene od biomase koja su se mogla koristiti kao prehrana živim bićima. Bioetanol se proizvodi od žitarica, škroba i šećera, dok se biodizel dobiva od uljarica i biljnog ulja.
2. Biogoriva druge generacije ili poznatija kao napredna biogoriva su za razliku od goriva prve generacije proizvedena od proizvoda koji nisu jestivi živim bićima. Nejestive sirovine i bio otpad glavni su izvor za proizvodnju ovih goriva.
3. Biogoriva treće generacije su goriva dobivena iz algi. Ova tehnologija je još u ranom razvoju tako da komercijalno još nije dostupna.

Od prve i druge generacije biogoriva koja su komercijalno dostupna najrasprostranjeniji su bioetanol i biodizel. Biodizel bi odgovarao današnjim dizelskim motorima jer je sličnih svojstva kao i dizel dobiven iz nafte. Biodizel ima temperaturu paljenja u rasponu od 100°C do 170°C (212°F do 338°F) i gustoću između 860 kg/m³ i 900 kg/m³. Naftnom dizelu temperatura paljenja je u rasponu od 50°C do 96°C (126°F do 205°F) i gustoće u prosjeku od 850 kg/m³. Temeljem ovih podataka može se zaključiti da je biodizel nešto sigurniji od fosilnog dizela jer ima višu temperaturu paljenja. Biodizel bi bio kompatibilan sa sadašnjim dizelskim motorima pošto kod procesa kompresije oba razvijaju temperature do 900°C. Biodizel se može koristiti u današnjim dizel motorima na fosilni dizel, ali samo ako se miješa s fosilnim dizelom. Kako bi se sadašnji dizelski motori prenamijenili na biodizel, potrebno je sve plastične dijelove koji dolaze u dodir s gorivom promijeniti u polietilen visoke gustoće. Svi bakreni materijali, cink, kositar, olovo i lijevano željezo su iznimno osjetljivi na biodizel, pa bi bilo poželjno zamijeniti ih s nehrđajućim čelikom i aluminijem. Tek kada se ove promjene naprave motor je potpuno prenamijenjen za rad na biodizel. Biodizel je i bolji za motor od fosilnog dizela zbog svoje mazivosti te time produljuje vijek trajanja motora. Važno je i za napomenuti kako je prvi dizelski motor davne 1893. godine, kojeg je proizveo znanstvenik Rudolf Diesela, bio na biodizel dobiven od ulja kikirikija.

Temperatura zapaljenja bioetanol za razliku od biodizela je mnogo niža, što čini bioetanol nešto opasnijim za skladištenje i manipulaciju. Temperatura zapaljenja bioetanol iznosi oko 13°C (55°F), sa gustoćom od 790 kg/m³. Ako se usporedi s njegovim fosilnim ekvivalentom benzinom, čija je temperatura zapaljenja od -45°C do -40°C (-49°F - -40°F) i gustoće u rasponu od 710 kg/m³ do 770 kg/m³, može se zaključiti da je bioetanol nešto sigurniji od samozapaljenja. Iako bi bioetanol trebao biti neka vrsta zamjene za benzin gotovo je nemoguće u benzinskim motorima koristiti bioetanol bez prethodnih preinaka. Preinake potrebne za ove motore su korištenje materijala otpornijih na koroziju, poboljšanje sustava

ubrizgavanja goriva kako bi se bioetanol pravilno miješao i sagorijevao, ugradnja senzora za prilagodbu smjese goriva i sustav za hladno pokretanje. Sustav za hladno pokretanje je potreban jer benzinski motori pri pokretanju koriste gorivu zračnu smjesu od para benzina. Pri niskim temperaturama bioetanol ne isparava dovoljno kako bi smjesa bila zasićena za početnu reakciju. Kod nižih temperatura sagorijevanje bioetnola je neučinkovito, to može rezultirati nepravilnim radom motora i povećanim trošenjem akumulatora pri paljenju.

Neke brodarske kompanije već neko vrijeme koriste biogoriva kao izvor energije, ali još uvijek većina tih brodova nije potpuno prešla na biogoriva. Nekoliko je razloga za to, ali glavni bi razlog bio da većina tih brodova u početku nije bila namijenjena za korištenje biogoriva. Takvi brodovi su bili namijenjeni za fosilna goriva, a kako ne bi morali radit preinake na njima koriste mješavinu fosilnog goriva i biogoriva. Najčešće mješavine koja se koristi je B30, što znači da u mješavini ima 30% biogoriva i 70% fosilnog goriva. *Norwegian cruise line holdings LTD* je jedan od predvodnika korištenja ove vrste goriva. Trenutačno eksperimentalno koristit ove mješavine biogoriva na 20% brodova svoje flote i tvrde da će do 2030. godine testirati ove mješavine na svim njihovim brodovima. Već spomenuti *Carnival Corporation* ujedno vlasnik *Holland America Line* i *AIDA Cruises* ipak čini najveći utjecaj u globalizaciji korištenja biogoriva, počevši od toga da su 2022. godine u svojoj floti imali prvi veliki putnički brod koji je bio opskrbljen B100 biogorivom. Tako je *AIDAprima* postala prvi brod s potpuno alternativnim izvorom energije, kombinirajući LNG i biogoriva.



Slika 4. Prikaz opskrbe putničkog broda AIDAprima sa 140mt B100 biodizela u luci Rotterdam

Izvor: <https://www.goodfuels.com/news/successful-second-delivery-of-sustainable-biofuel-to-aida-cruises>

Isto tako *Holland America Line* je počeo koristiti B100 ili potpuno čisto biogorivo, na svom brodu *Rotterdam*.

2.5. ELEKTRIČNA ENERGIJA

Današnji svijet bio bi neodrživ bez električne energije, te je sama električna energija kao izvor energije iznimno čista energija koja nema gotovo nikakvih emisija stakleničkih plinova. Nažalost, to ne možemo reći i za sam proces stvaranja električne energije jer većina proizvedene električne energije dolazi od fosilnih goriva, čak 80% svjetske električne energije. *International Energy Agency* je agencija koja surađuje s vladama država kako bi se osigurala održiva energija za budućnost a potiču čiste izvore energije. Predviđa se da neće doći do potpune eliminacije fosilnih goriva a smatra se kako će do 2050. godine ta goriva i dalje imati značajnu ulogu u proizvodnji globalne energije. Ali uz potporu ovakvih agencija i promoviranja alternativnih načina proizvodnje električne energije svijet će puno brže preći na izvore energije koji nisu toksični za okolinu. Elektrane koje proizvode električnu energiju pomoću fosilnih goriva odgovorne su za približno 25% emisija stakleničkih plinova. Glavni globalni cilj je smanjiti emisije stakleničkih plinova stoga se i potiče na prelazak proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora poput sunčeve energije, energije vjetra i hidro energije.

Kako bi brod kao prijevozno sredstvo ispuštao nula stakleničkih plinova pri pogonu na električnu energiju, vrlo je bitno odrediti način dobivanja električne energije. Ako je električna energija dobivena iz obnovljivog izvora onda je potpuno bez emisija štetnih plinova u atmosferu, ali nažalost to još uvijek nije tako jer je samo 20% proizvedene električne energije iz obnovljivog izvora. Elektrane funkcioniraju na način da proizvode energije koliko je trenutno potrebno potrošačima. Proces balansiranja mreže, da nije premalo ili previše električne energije, ponekad može biti kompleksan. U trenucima kada je premalo energije sustav ne zadovoljava sve potrebe potrošača što nije poželjno, a ukoliko ima previše energije nije dobro za sustav jer dolazi do prezasićenosti i nema se gdje isporučiti višak struje. Veće količine električne energije ne mogu se lako skladištiti, zato je važno uskladiti potrošnju i proizvodnju. Ako elektrana proizvodi više energije nego što je potrebno, višak se može puniti u baterije, ali to nije uvijek ekonomično i izvedivo, pa ta energija često zna biti izgubljena. Kako bi elektrana ostala u balansu potreban je sofisticiran sustav upravljanja i predviđanja kako bi se pravodobno moglo reagirati na promjenu potrošnje u realnom vremenu.

Kako imamo problem s održavanjem balansa mreže na kopnu tako bi nam ovaj balans mogao biti problem i na brodu koji se pogoni isključivo električnom energijom. Kako je veće količine električne energije teško skladištiti, tu je električnu energiju potrebno proizvesti na

brodu. Prva prepreka već nastaje kod proizvodnje električne energije na brodu. Današnji brodovi već polako i jesu pogonjeni električnom energijom na način da motor na fosilno gorivo proizvodi električnu energiju koja pogoni sve električne sustave na brodu, a tako i porivni sustav. Iako su ovi brodovi u realnosti pogonjeni električnom energijom, ta energija je došla od fosilnog goriva. Kako nije moguće skladištiti električnu energiju u većim količinama jedina opcija za brodove je da ju sami proizvode, a da bi ta energija bila bez stakleničkih plinova trebala bi doći od obnovljivog izvora, primjerice solarna energija ili energija vjetra. No, tu opet dolazi do problema što ove dvije vrste energije ovise o vremenskim uvjetima, a to znači da nisu stalno raspoložive.

Međutim, na brodu je nešto lakše za predvidjeti stalnu potrošnju nego na kopnu pošto brod konstantno radi, a za to mu je potrebna određena količina energije koja je predvidiva. Znamo koliko nam je potrebno energije za održavanje glavnih funkcija broda, ali problem nastaje kada se u mrežu uključuju dodatna trošila. Na putničkim brodovima dodatna potrošnja nije rijetkost niti ju je moguće ograničiti jer bi to značilo da se putnicima ograničavaju mogućnosti. A da mreža ne bi bila preopterećena i da ujedno bude održiva, potrebno je proizvoditi konstantno maksimalnu količinu električne energije koja bi se mogla potrošiti da su sva trošila prikopčana i upaljena. To bi dovelo do velikih gubitaka u energiji jer bi svaki proizveden višak završio kao gubitak. Eventualno bi se mogla određena količina skladištiti za potrebe u slučaju rizika. Kada bi mreža bila nedovoljno zasićena, točnije kada bi nedostajalo električne energije moglo bi doći do tako zvanog „*black out*“-a te bi se u tom trenutku izgubile sve glavne funkcije broda.

Putnički brodovi samo na električnu energiju su trenutno neisplativi. Razlog neisplativosti je ograničen domet i brzina punjenja današnjih baterija. Klasični brodovi na fosilna goriva mogu ploviti tjednima bez da staju po gorivo, a brodovi s baterijama ne bi mogli ploviti duže od nekoliko sati možda maksimalno jednog dana bez punjenja. Putnički brodovi zbog prirode svojeg posla su svaki dan u luci i plove pretežito noću, pa njima trajanje baterija čak i ne bi predstavljao toliko problem jer imaju mogućnost svakodnevnog punjenja.

Problem nastaje kod infrastrukture i punjenja brodskih baterija. Potrebno bi bilo izgraditi mrežu punionica u lukama kako bi se ovi brodovi mogli pri svakom pristajanju prikopčati na mrežu i puniti. Problem nastaje i kod brzine punjenja baterija, veće baterije mogle bi se puniti i po nekoliko sati, možda i dana, ako pričamo o velikim putničkim brodovima. Tada postoji mogućnost da bi se produljilo zadržavanje broda u luci a to može uzrokovati povećanje troškova što za brodaru nije isplativo. Problem isto nastaje ako mreža na koju se brod spaja ne može isporučiti potrebnu energiju.

Težina baterija za velike brodove bi isto mogla predstavljat problem jer uz dodatne težine brod bi izgubio na potrebnom prostoru za putnike. To bi za brodaru moglo biti neisplativo u ovoj još ranoj fazi razvoja brodova na električni pogon. Težina samih baterija morala bi biti isto i pravilno raspoređena zbog stabilnosti i naprezanja brodske konstrukcije.

Troškovi su naravno ključan pojam kad je u pitanju isplativost nekog sustava. Cijene električnih brodova su trenutačno prilično visoke, no cijene baterija pomalo se smanjuju što će u konačnici dovest do pojeftinjenja i samih brodova na električni pogon. Visoki troškovi nisu samo pri kupnji broda već i pri njegovom korištenju, točnije održavanju. Svaki put kad se brod puni morala bi se platiti potrošena električna energija, a cijene kao i s fosilnim gorivima variraju o području. Kako smo rekli da bi se ovi brodovi s trenutačnom tehnologijom morali punit gotovo svakodnevno, a oni su svaki dan u drugoj luci, možda i drugoj državi, znači da bi cijene operativnih troškova varirale ovisno o tome koliko je brod energije potrošio. Ovo se brodarima može činiti malo odbojno zato što, za razliku od brodova na fosilno gorivo koji staju svakih nekoliko tjedana na opskrbu gorivom, ovi brodovi bi morali svaki dan stajati za punjenje električnom energijom i tako svaki dan što brodaru stvara izniman trošak.

Većina navedenih problema rješivi su samo budućim razvojem tehnologije, osim po pitanju troškova. Troškovi vezani uz električnu energiju bi se čak mogli potpuno eliminirati tako da se na brodu stvara električna energija iz obnovljivih izvora energije poput sunca ili vjetra. Problem kod ove dvije vrste energije je što nisu konstantne, a brod mora imati konstantan izvor energije kako ne bi došlo do nedostatka i „*black out*“ -a. Čak je Sunce teže za dobiti kao konstantan izvor od vjetra jer se konstantnim kretanjem broda stvara lagani povjetarac, te bi to funkcioniralo kao neka regeneracija energije. Brodovi na solarnu energiju ili energiju vjetra bi s trenutačnom tehnologijom mogli biti samo brodovi koji elektrolizom vode stvaraju vodik na brodu, a tu energiju od vjetra ili Sunca da koriste kao izvor napona za proces elektrolize.

2.5.1. Proizvodnja električne energije solarnom energijom

Solarna energija može biti izvor električne energije za brod na dva načina. Prvi način bio bi da se solarni paneli koji prikupljaju sunčevu energiju nalaze na kopnu, te da se brod kada pristane u luku spoji na mrežu koja isporučuje tu struju dobivenu putem solarnih panela. Drugi način bi bio da se solarni paneli montiraju na sam brod.

Sami solarni paneli nisu dovoljni za dobivanje električne energije iz sunca već je potrebno imati takozvanu solarnu elektranu. Postoje dvije vrste solarnih elektrana:

1. Fotonaponska solarna elektranu - to su elektrane koje kao osnovnu komponentu koriste fotonaponske ćelije. Ove su ćelije napravljene od silicija koji u kontaktu s

fotonima oslobađa elektrone i stvara električni tok, a ovaj proces se naziva fotonaponski efekt. Problem kod ove struje je to što ovim procesom nastaje istosmjerna struja, a većina današnjih uređaja radi na principu izmjenične struje, stoga su nam potrebni inverteri koji pretvaraju dobivenu istosmjernu struju u izmjeničnu.

2. Termalne solarne elektrane rade na principu koncentriranja sunčeve energije na malu površinu pomoću zrcala ili leća. Svjetlost se usmjerava u neku tekućinu, najčešće ulje ili vodu, te zagrijavaju tu tekućinu na visoke temperature. Zagrijana tekućina služi kao prijenosnik topline do generatora pare, ali u nekim sustavima i zagrijana tekućina izravno isparava. Dobivena para pokreće turbine povezane s generatorom, te se rotacijom turbine pokreće generator i proizvodi se električna energija. Većina elektrana na fosilna goriva danas radi na ovom principu, samo ovdje izvor topline nije sagorijevanje fosilnih goriva već energija Sunca. Glavna prednost ovog sustava nad fotonaponskim je taj da se toplinska energija može pohraniti i iskorištavati za proizvodnju električne energije i kad nema Sunca.

Solarne elektrane jedino imaju štetan utjecaj na okoliš zbog samog procesa proizvodnje solarnih panela. Stakleničke plinove poput CO_2 u ovom procesu možemo zanemariti jer manje količine dolaze u samom procesu proizvodnje, većina dolazi od prijevoza koji dovozi materijal za izradu panela. Sumporni heksafluorid (SF_6) je manje poznati, ali isto jedan od stakleničkih plinova koji ima iznimno dobru sposobnost zadržavanja toplinske energije i upravo je glavni problem u proizvodnji solarnih panela. Ovaj plin se u atmosferi zadržava od 800 do 3200 godina.

Solarni paneli su kompleksni pri svojoj izradi i izrađuju se u nekoliko glavnih koraka. Sve započinje izradom silicijevih čipova od čistog silicija. Čipovi ili ploče se dobivaju na način da se silicij stavlja u posebne peći kako bi se očistio i pretvorio u plin iz kojeg se dobiju silicijevi kristali visoke čistoće, te se režu i tako dobijemo čip. Pri procesu čišćenja koristi se SF_6 kao plin za jetkanje. Jetkanje je proces uklanjanja površine materijala djelovanjem nagrizajuće tvari. Čipovima se zatim dodaju materijali poput fosfora ili bora, kako bi se stvorila električna polarizacija. Radi polarizacije se stvara energija kada sunce pogodi panele. Dalje se čipovi stavljaju između sloja zaštitnog stakla i nakon tog se opremaju s okvirima i svim potrebnim kablovima. SF_6 se može kasnije koristiti i u fazama testiranja i montaže solarnih panela zbog svojih dielektričnih svojstva. Ova tehnologija ima jednu glavnu manu, a to je da ako nema sunčeve svjetlosti neće biti ni električne energije. Isto s druge strane ako proizvedemo više energije nego što nam je potrebno teže ćemo ju skladištiti, barem u većim količinama.

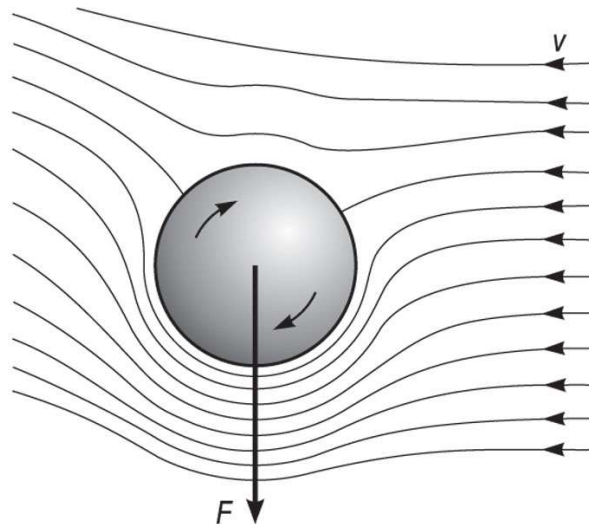
Na putničkim brodovima višak energije nije problem već njen nedostatak. *Celebrity Solstice* prvi ikad veći putnički brod koji je došao iz brodogradilišta sa 216 solarnih panela. Ovi paneli pružaju dovoljno energije za više od 7000 LED žarulja. Ostala energija se dobivala od dizel motora koji je mehaničku energiju pretvarao u struju uz pomoć generatora. Za brod izgrađen još 2008. godine ovo je prilično inovativno, a da je do sada došlo do boljeg razvoja ove tehnologije ovaj brod bi se vrlo jednostavno prilagodio zbog postojeće opreme. Trenutačno veliki putnički brodovi koji bi bili potpuno autonomni isključivo na solarnu energiju su nemogući. Jedino kako bi se sada solarni paneli mogli implementirati na putničke brodove, a da je to isplativo, je da se solarna energija koristi za proces elektrolize vode za dobivanje vodika kao goriva. Sadašnja tehnologija solarnih elektrana kao autonomnog izvora energije na većim putničkim brodovima neće biti održiva.

2.5.2. Proizvodnja električne energije energijom vjetra

Vjetar je začetnik globalnog pomorskog prometa. Najraniji brodovi su bili pokretani snagom vjetra, sve dok nije došlo vrijeme parobroda. Kao i sunčeva energija, vjetar ima jednu glavnu manu, nije konstantan niti smjerom niti brzinom. To u današnjem svijetu gdje brodovi plovo po rasporedima može stvarati velike probleme. Današnji jedrenjaci najčešće imaju rezervni motor na fosilno gorivo za situacije kada ne mogu koristiti energiju vjetra. Putničke brodove današnjih veličina teško bi bilo zamisliti da ovise isključivo o energiji vjetra. Srećom, danas jedra nisu jedini način kako se energijom vjetra može dobiti pogon, iako bi i jedrima trebalo dati novu priliku.

Vjetrenjače kakve se služe na kopnu su nepraktične za brod. Razlog tome je što bi vjetrenjača, da bi bila efikasna morala biti većih dimenzija, a to znači veći raspon njenih lopatica. Rotacija lopatica mogla bi prouzrokovati nepovoljnu stabilnost broda. Uređaj nešto praktičniji za brodove bio bi „*Flettnerov rotor*“.

Ovaj uređaj radi na principu Magnusovog efekta kako bi se stvorio potisak. Magnusov efekt je pojava koja dolazi kada rotirajući cilindar prolazi kroz zrak ili fluid, te tu nastaje bočna sila koja djeluje na rotirajuće tijelo. Radi rotacije dolazi do razlike u tlaku koja rezultira silom potiska gotovo okomitom na vjetar. Rotori su cilindri visine od nekoliko desetaka metara i postavljaju se na palubu broda, te pokreću elektromotore. Dok vjetar puše preko rotirajućih cilindara, stvara se potisak koji smanjuje potrebu za korištenjem glavnih motora broda, čime se smanjuje potrošnja goriva i štetne emisije. Ova tehnologija sama nije dovoljna za proizvoditi svu energiju koja je potrebna brodu, ali uz razvoj tehnologije postoji mogućnost je da će biti dostatna.



Slika 5. Magnusov učinak na valjak koji rotira u struji zraka, djelovanje bočne sile F usmjerena prema strani veće brzine strujanja v (odnosno nižega tlaka)

Izvor: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/magnusov-ucinak>

Prvi putnički brod koji je eksperimentalno isprobao ovu tehnologiju 2018. godine bio je trajekt *Viking Grace*. Ovaj brod nije izvorno koristio ovu tehnologiju već je naknadno ugrađena na njega, te je bilo potrebno dobiti nove svjedodžbe za brod. Na brod je postavljen samo jedan *Norsepower* rotor visine 24 metra i promjera 4 metra. Provedeno je istraživanje od strane tri nezavisna istraživačka tijela (*ABB*, *Chalmers University*, and *NAPA*) i analiza *Norsepower*-a. Sve četiri studije potvrdile su smanjenu potrošnju snage od 207-315 kW što je ekvivalentno 231 do 315 tona goriva godišnje, što je u okvirima postavljenog cilja projekta.



Slika 6. Instalacija Flettnerovog rotora na putnički brod Viking Grace

Izvor: <https://www.vikingline.com/press-room-old/press-releases/13FD02CF26327B45/>

Čini se teško spojiti jedra s današnjim putničkim brodovima, možda i nemoguće za brodove većih dimenzija. Ali danas postoje putnički brodovi koji koriste jedra, ali imaju i

motore s unutarnjim izgaranjem kao rezervu. Jedna od takvih kompanija je *Windstar Cruises*, koji u svojoj floti posjeduju tri putnička broda sa jedrima. Najveći u floti je *Wind Surf* s dužinom preko svega 187 metara i kapacitetom od 386 putnika.



Slika 7. Putnički brod Wind Surf

Izvor: <https://www.tauck.co.uk/ships/wind-surf>

Ovaj jedrenjak ima čak 5 jarbola i ukupno 21 jedro, što ga čini izuzetno impresivnim na otvorenom moru. Jedra na Wind Surfju pokrivaju površinu od oko 2.600 kvadratnih metara. Zahvaljujući ovoj ogromnoj površini jedara, Wind Surf može dosegnuti brzinu do 15 čvorova (oko 28 km/h) kada su uvjeti idealni. To ga čini ne samo ekološki prihvatljivim, jer koristi snagu vjetra, već i prilično brzim za brod takvih dimenzija. Posjeduje i sofisticirani sustav upravljanja jedrima. Umjesto tradicionalnog ručnog podizanja i spuštanja jedara, sve se upravlja elektronički, omogućujući posadi da brzo i učinkovito reagira na promjene vjetra.

2.6. NUKLEARNA ENERGIJA

Danas ne plovi niti jedan putnički brod koji je pogonjen nuklearnom energijom, što ne znači da u prošlosti takvih koncepta nije bilo. *NS Savannah* izgrađen 1962. godine, iako je bio kombinacija putničkog i teretnog broda zapamćen je u povijesti kao prvi putnički brod na nuklearni pogon. Kapacitet mu je bio svega 60 putnika i oko 10.000 tona tereta. Ovaj je brod kao jedinu prednost imao svoj domet koji je iznosio začuđujućih 336 000 nautičkih milja s jednim ukrcajem goriva. Bio je sposoban oploviti svijet 14 puta pri brzini od 20 čvorova bez da stane po gorivo. Ovaj brod nije bio izgrađen kako bi bio komercijalno isplativ već kako bi dokazao tadašnjem svijetu da je moguće nuklearnu energiju koristiti za nešto korisno a ne samo kao oružje. Brod je dokazao svojim ponašanjem na moru i evidencijama o sigurnosti da je ova vrsta goriva prihvatljiva i za komercijalno korištenje. Ni danas ekonomičnost nuklearne energije ne može nadmašiti niti jedan drugi izvor energije. Nuklearna energija je ujedno i najčišće gorivo što se tiče emisija ispušnih plinova, ali problem nastaje kod odlaganja nuklearnog otpada. No, najveći problem ovog broda bili su troškovi održavanja i proizvodnje.

Uzevši sve u obzir, brodare nije dojmio koncept brodova na nuklearni pogon jer su bili iznimno skupi pri izgradnji, a isto tako i za održavanje. Tu je isto tako bio rizik koji je naravno neizbježan, a to je da su ovi brodovi u konstantnoj opasnosti od eksplozije. Ne radi nuklearne fuzije kojom se stvara energija, već radi svakodnevnih operacija na brodu, mogućih požara, mogućeg sudara s drugim brodom i sličnih opasnih situacija. Moguće je da će u budućnosti jednom zaživjeti koncept nuklearnih brodova, no za sad to se čini nemogućim zbog velike količine opasnosti.

3. PRAVNI OKVIR

Koncept alternativnih goriva ne bi znatno došao do izražaja, da brodovlasnici odredbama nisu „prisiljeni“ na promjene. *International Maritime Organization (IMO)* je organizacija koja uvodi nova pravila, te kontrolira njihovu ispravnu primjenu u pomorskoj industriji.

Glavne konvencije koje reguliraju korištenje i primjenu alternativnih goriva, a propisane su od strane IMO-a, uključuju Međunarodnu konvenciju o sigurnosti života na moru (SOLAS), Međunarodnu konvenciju o sprječavanju onečišćenja s brodova (MARPOL), Međunarodni kodeks o kemikalijama u razlivenom stanju (IBC Kodeks), Međunarodni kodeks o sigurnosti brodova korištenje plinova ili drugih goriva s niskom točkom paljenja (IGF kodeks) i Međunarodni kodeks za konstrukciju i opremu brodova koji prevoze ukapljene plinove (IGC kodeks). Pregledom konvencija definirana su određena područja u kojima bi IMO mogao zahtijevati daljnji regulatorni rad, ali potencijalno i druge organizacije za standardizaciju i certifikaciju. Neka od tih područja uključuju daljnji razvoj sigurnosnih smjernica za upotrebu alternativnih goriva na brodovima, pitanja vezana uz kvalitetu alternativnih goriva, emisije stakleničkih plinova i razvoj standarda za motore, te procjenu mogućih utjecaja i rizika od izlivanja nekih alternativnih brodskih goriva.

Spremnost navedenih područja unutar svih regulativa na korištenje alternativnih goriva podijeljen je u tri jednostavne kategorije, a to su niska, srednja i visoka spremnost.

- Niska razina spremnosti označava nepostojanje povezanih pomorskih standarda, propisa ili privremenih/konačnih smjernica s potrebnim radom koji tek treba započeti. Valja napomenuti da identifikacija niske regulatorne razine spremnosti za određeno gorivo ne mora nužno ukazivati na potencijalnu prepreku za unos goriva, već jednostavno identificira budući razvoj regulativa koji trebaju razviti IMO i drugi sudionici prema potrebi.
- Srednja razina spremnosti označava dostupnost rada u tijeku ili odobrenih (koji čekaju usvajanje) povezanih pomorskih standarda, propisa ili odobrenih privremenih/konačnih smjernica.
- Visoka razina spremnosti označava dostupnost povezanih pomorskih standarda, usvojenih propisa i usvojenih privremenih/konačnih smjernica.

U nastavku je dana tablica kojom se analiziraju pravni okviri, naglašavajući spremnost i pravne standarde koji usmjeravaju njihovu primjenu u pomorskom sektoru. Tablica pruža uvid u to kako trenutni propisi podržavaju ili ograničavaju integraciju čistih goriva na putničkim brodovima, ističući potrebu za daljnjim razvojem kako bi se postigli ciljevi održivosti.

Tablica 1. Prikaz razina spremnosti pravnih okvira za alternativna goriva

	VISOKA RAZINA SPREMNOSTI	SREDNJA RAZINA SPREMNOSTI	NISKA RAZINA SPREMNOSTI
LIQUID NATURAL GAS	ISO 23306:2020 - standard kvalitete vodikovog goriva SOLAS poglavlje II-1 dio G (plin s niskom točkom paljenja) MARPOL aneks VI - regulacija emisija CO ₂ i NO _x	/	MARPOL aneks VI (fugitivne emisije)
VODIK	MARPOL aneks VI - regulacija emisija NO _x	SOLAS poglavlje II-1 dio G i dio F (plin s niskom točkom paljenja) MSC.1/Circ.1212/Rev.1 MSC.1/Circ.1455 MSC.420(97)	ISO 14687:2019 - standard kvalitete vodikovog goriva
METANOL	SOLAS poglavlje II-1 dio G i dio F (gorivo s niskom točkom paljenja < 60°C). MSC.1/Circ.1212/Rev.1 MSC.1/Circ.1455 MSC.1/Circ.1621 MARPOL aneks VI - regulacija emisija CO ₂ i NO _x	ISO/AWI 6583 - specifikacija metanola kao goriva	MARPOL prilog II (metanol spada prema IBC kodeksu u kategoriju Y opasnih tereta)
BIOGORIVA	SOLAS poglavlje II (goriva s točkom paljenja > 60°C) MARPOL aneks I - regulira izlivanje i ispuštanja ulja	ISO 8217 Naftni proizvodi – Goriva (klasa F) SOLAS Poglavlje II (goriva s niskom točkom paljenja <60°C) i II-1 dio G i dio F MSC.1/Circ.1212/Rev.1 MSC.1/Circ.1455 MARPOL Aneks VI regulira emisije CO ₂ , NO _x i PM MEPC.1/Circ.795/Rev.6	EN 14214:2012 - tekući naftni proizvodi – metilni esteri masnih kiselina (FAME) za upotrebu u dizelskim motorima i grijanju - Zahtjevi i metode ispitivanja EN 15940:2016 - automobilska goriva – parafinsko dizelsko gorivo iz sinteze ili hidroobrade, zahtjevi i metode ispitivanja
ELEKTRIČNA ENERGIJA	/	/	ISO 13297 - standard za brodske električne instalacije i električne pogonske sustave SOLAS (dizajn, instalaciju i održavanje električnih pogonskih sustava)

Izvor: Izradio autor

Nastavku rada fokusirat će se na detaljan pregled pravnih okvira za svako pojedino gorivo, s posebnim naglaskom na razine spremnosti standarda i propisa. Analizirat će se kako trenutni propisi podržavaju ili ograničavaju integraciju LNG-a, vodika, metanola, biogoriva i električnih pogona, te koje su dodatne mjere potrebne za poboljšanje regulative u skladu s ciljevima održivosti u pomorstvu.

3.1. PRAVNI OKVIR LNG-a KAO GORIVO

3.1.1. Standardi s visokom razinom spremnosti

ISO 23306:2020 je međunarodni standard koji definira zahtjeve za ukapljeni prirodni plin (LNG) kada se koristi kao gorivo u pomorstvu. Ovaj standard ima ključnu ulogu u osiguravanju kvalitete, sigurnosti i pouzdanosti LNG-a. Ovim standardom se definiraju minimalni zahtjevi za kvalitetu i sastav LNG-a kao što su metanski broj, kalorična vrijednost i sadržaj nečistoća poput sumpora, vode i teških ugljikovodika. Ovi parametri osiguravaju da LNG koji se koristi u pomorskim motorima zadovoljava visoke standarde, čime se sprječavaju operativni problemi koji bi mogli nastati zbog loše kvalitete goriva. Također propisuje sigurnosni aspekte uporabe LNG-a. S obzirom na njegovu hlapljivu prirodu, standard pruža smjernice za sigurno rukovanje, skladištenje i korištenje LNG-a. ISO 23306:2020 je ključan za brodograditelje, dobavljače LNG-a i operatore u pomorskoj industriji jer propisuje jasne smjernice i standarde koji olakšavaju primjenu LNG-a kao brodskog goriva.

Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS) je najvažniji međunarodni standard za sigurnost brodova i njihove posade. SOLAS Poglavlje II-1, Dio G, koji se bavi tekućim gorivima niskog plamišta ili plinovima, postavlja temelje za sigurno korištenje LNG kao brodskog goriva. Regulacija kroz Poglavlje II-1, Dio G, uključuje stroge zahtjeve za projektiranje, izgradnju, opremanje i rad brodova koji koriste LNG kao gorivo, kako bi se osigurala maksimalna sigurnost brodova, posade i okoliša.

IGF Kodeks pruža detaljne smjernice i tehničke zahtjeve za projektiranje i rad brodova koji koriste LNG, obuhvaćajući sve aspekte sigurnosti, od skladištenja goriva i opskrbe do sustava za izgaranje i evakuacije u hitnim slučajevima. Ovim kodeksom su propisani zahtjevi za obuku posade, osiguravajući da su svi koji su uključeni u operacije s LNG-om adekvatno obučeni i svjesni opasnosti koje ovo gorivo može predstavljati.

Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova (MARPOL) predstavlja okvir za zaštitu morskog okoliša od zagađenja s brodova. MARPOL Aneks VI ima ključnu ulogu u regulaciji emisija štetnih plinova, posebno ugljičnog dioksida (CO₂) i dušikovih oksida (NO_x). Kako bi se smanjio utjecaj pomorskog sektora na klimatske promjene uvodi se niz

mjera za regulaciju emisija CO₂ s brodova. Jedna od ključnih mjera je učinkovitost energetske dizajna (EEDI) i ona osigurava da brodovi budu projektirani na način koji smanjuje potrošnju goriva. Također je propisan i plan upravljanja energijom na brodu (SEEMP) što u suštini znači da operatori brodova bi trebali razvijati strategiju za poboljšanu energetske učinkovitost. Ovim poglavljem su propisani standardi za emisije NO_x iz brodskih motora, poznate kao NO_x Tehnički Kodeks, te su emisije prema ovom kodeksu podijeljene u tri razine (Tier I, II i III). Tier I je definiran kao minimalni standard brodova, a zato je Tier III najstroži standard.

3.1.2. Standardi s niskom razinom spremnosti

Iako MARPOL Aneks VI je ključan u reguliranju emisija stakleničkih plinova i drugih zagađivača iz pomorstva, tako zvane fugitivne emisije metana trenutno nisu obuhvaćene ovim propisom. Ove emisije odnose se na nenamjerne ili slučajne ispuštanja metana iz brodskih sustava, kao što su curenja iz spremnika za gorivo, ventila, cjevovoda i tijekom procesa rukovanja LNG-om. Razlozi za ne reguliranje ove vrste emisija je složenost mjerenja i kontrole emisija. Metan je plin s vrlo niskom molekularnom masom i može lako curiti kroz male procjepe, što ga čini teškim za detekciju i kvantifikaciju u realnom vremenu. Iako metan ima značajnu ulogu u globalnom zagrijavanju, njegov doprinos emisijama stakleničkih plinova još uvijek nije dovoljno istražen i priznat u okviru međunarodnih pomorskih propisa. Razlog za nereguliranje metanskih emisija je nedostatak međunarodnog konsenzusa, različite zemlje i dionici u pomorskoj industriji imaju različite stavove o potrebi za reguliranjem ovih emisija i smatraju kako bi to moglo prouzročiti dodatne troškove tokom manipulacije.

3.2. PRAVNI OKVIR VODIKA KAO GORIVO

3.2.1. Standard s visokom razinom spremnosti

MARPOL Aneks VI, kao međunarodni okvir za regulaciju emisija štetnih plinova ima visoku razinu regulatorne spremnosti za podršku integraciji vodika na brodove. Trenutačni regulativni okvir za prihvatanje i integraciju nove tehnologije za gorivo poput vodika je potpuno spreman bez nužnih većih promjena. Najviše se ova regulacija odnosi na ispuštanje NO_x ispušnih plinova, a njihovo ispuštanje je već strogo regulirano što se spominje i kod LNG-a. Kada se vodik koristi u gorivim ćelijama, proces elektrokemijske reakcije gotovo u potpunosti eliminira emisije NO, ali u motorima s unutarnjim izgaranjem vodika, emisije NO_x su gotovo ne postojeće, iako postoji mogućnost njihove pojave zbog visokih temperatura izgaranja. Najvažnije od ovog poglavlja je pojašnjenje upravljanja procesom izgaranja i korištenje

dodatnih tehnologija, kao primjerice selektivna katalitička redukcija (SCR) čime se postiže minimalna razina emisija.

3.2.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti

Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS), predstavlja temeljni okvir sigurnosti u pomorstvu. SOLAS Poglavlje II regulira korištenje goriva niskog plamišta, manje od 60°C, čime se postavljaju standardi za sigurnost brodova koji koriste takva goriva. Međutim, kod korištenja vodika kao goriva, postoje specifični izazovi koji su još u fazi razvoja smjernica.

SOLAS Poglavlje II-1, Dio G, regulira upotrebu tekućih goriva i plinova s niskim plamištem. Dio G definira tehničke zahtjeve i sigurnosne mjere koje brodovi moraju zadovoljiti kako bi se osigurala sigurna upotreba vodika kao gorivo. Na ovo poglavlje nadovezuje se i Međunarodni kodeks za sigurnost brodova koji koriste plinove ili druga goriva niskog plamišta (IGF Kodeks), a njime su definirane detaljne smjernice za dizajn, konstrukciju i operacije brodova koji koriste takva goriva. IGF Kodeks je ključan za visoku razinu sigurnosti, posebno s potencijalnim opasnostima kao što su eksplozije i požari.

U slučajevima kada brodovi koriste goriva ili su dizajnirani na način koji nije izravno obuhvaćeni postojećim propisima, SOLAS Poglavlje II-1, Dio F, omogućuje upotrebu alternativnih dizajna i rasporeda. Ovaj dio omogućuje brodovlasnicima da implementiraju inovativne tehnologije, uz uvjet da dokažu da ove alternative pružaju jednaku ili višu razinu sigurnosti u odnosu na standardne metode. Propisi MSC.1/Circ.1212/Rev.1 i MSC.1/Circ.1455 pružaju smjernice za procjenu i odobravanje alternativnih dizajna, osiguravajući da sigurnosni standardi nisu ugroženi.

MSC.1/Circ.1212/Rev.1 nudi smjernice za metode dokazivanja da su alternativni dizajni i aranžmani jednako sigurni kao i oni propisani SOLAS-om. MSC.1/Circ.1455 pruža smjernice za postupak odobravanja brodova i njihove opreme s alternativnim dizajnom i rasporedom. Također se bavi tehničkim pitanjima, sigurnosnim analizama, te procesima verifikacije i certificiranja ovih alternativnih rješenja.

Vodik kao gorivo trenutno nije obuhvaćen IGF Kodeksom zbog izazova u vezi s njegovom upotrebom, zbog njegovog vrlo niskog plamišta i visoke zapaljivosti, a to stvara potrebu za dodatnim smjernicama i regulacijama. Međunarodna pomorska organizacija (IMO) je putem Rezolucije MSC.420(97) usvojila privremene preporuke za prijevoz tekućeg vodika, pružajući osnovu za sigurnosne mjere dok se razvijaju trajni propisi.

3.2.3. Standardi s niskom razinom spremnosti

ISO 14687:2019 je standard propisan od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO), te su ovim standardom definirane specifikacije vezane uz kvalitetu vodika kao gorivo. U ovaj standard spadaju tehnički zahtjevi za čistoću vodika koji bi se koristio kao gorivo u gorivim ćelijama, a u to spada široki raspon primjesa koje mogu biti prisutne u vodiku i maksimalna koncentracija tih primjesa. Glavni cilj ove specifikacije je da vodik koji se koristi kao gorivo ne uzrokuje oštećenja ili degradaciju gorivih ćelija ili nekih sličnih sustava koji ga koriste. Primjena ISO 14687:2019 u praksi donosi određene izazove, uključujući potrebu za sofisticiranom opremom za analizu i kontrolu kvalitete vodika. Glavna mana je što nisu dovoljno razrađeni aspekti distribucije i skladištenja, već je standard više fokusiran na samu kvalitetu vodika koji dolazi do potrošača. Međutim najčešći uzrok kontaminacije ili čak gubitka kvalitete proizvoda dolazi upravo u procesu distribucije i skladištenja.

3.3. PRAVNI OKVIR METANOLA KAO GORIVO

3.3.1. Standard s visokom razinom spremnosti

Kao i kod prethodno spomenutih goriva MARPOL aneks VI definira tehničke i operativne standarde, a samim time i ograničenja vezana za emisije NO_x i CO₂. Brodovi moraju biti tehnički izvedeni na način da zadovoljavaju Energy Efficiency Design Index (EEDI) što u suštini znači da zahtijevaju veću energetska učinkovitost. Isto ovim pravilnikom su propisani strogi limiti na emisije NO_x.

SOLAS-om su propisane iste mjere kao i za vodik, poglavlje II-1 goriva s niskom točkom paljenja, od kojeg su najvažniji dio G i dio F. Isto kao i za vodik za metanol vrijede propisi MSC.1/Circ.1212/Rev.1 i MSC.1/Circ.1455, ali uz njih ima još MSC.1/Circ.1621.

MSC.1/Circ.1621 je privremena smjernica za sigurnost brodova koji plove na metanol i etanol jer IGF kodeks ne pokriva ovu vrstu goriva. Smjernice pružaju preporuke za projektiranje, izgradnju i upravljanje brodovima koji koriste metanol kao gorivo. S obzirom na to da ova goriva imaju specifična svojstva, uključujući nisko plamište, smjernice nude upute za sigurnosne mjere potrebne za sprječavanje požara i eksplozija. Isto tako su ovdje propisani sigurnosni zahtjevi pod koje se smatraju brodski sustavi, skladištenje goriva, sustavi opskrbe gorivom, motori i strojevi, pa tako i mjere za prevenciju curenja goriva i zagađenja.

3.3.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti

ISO/AWI 6583 je standard doveden na snagu od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO), te je standard još fazi razvoja. Standard propisuje specifikacije metanola

koji se koristi kao gorivo za pomorske primjene. Ovim standardom se definiraju kemijska i fizikalna svojstva metanola, to uključuje parametre poput čistoće, sadržaja vode i dopuštene razine kontaminacije. Sigurnosni aspekt koji propisuje smjernice za skladištenje, rukovanje i proces sagorijevanja kako bi se smanjila mogućnost nesreće kao što su požar ili eksplozija. Međunarodna asocijacija proizvođača i potrošača metanola (IMPCA) je u suradnji s ISO-om postavila specifikaciju metanola koja je priznata u industriji kao norma. Uz njih je i American Society for Testing and Materials (ASTM) propisala standard D1152 koji se bavi isključivo metanolom i tehničke smjernice i specifikacije za njegovu upotrebu u industrijske primjene.

3.3.3. Standardi s niskom razinom spremnosti

Prema Međunarodnom kodeksu za gradnju i opremu brodova koji prevoze opasne kemikalije u razlivenom stanju (IBC) metanol spada u kategoriju Y. Ova klasifikacija označava tvari koje predstavljaju značajan rizik za morski okoliš i ljusko zdravlje kada dođe do ispuštanja. Kemikalije ove kategorije zahtijevaju posebne mjere opreza prilikom, rukovanja, skladištenja i prijevoza sve kako bi se smanjio rizik od zagađenja i štetnog utjecaja na okoliš ili ljude.

MARPOL aneks II posebno se bavi kontrolom ispuštanja kemikalija u razlivenom stanju, ali ovim aneksom nije pokriveno ispuštanje metanola kada se koristi kao gorivo. Iako prema IBC kodeksu ova kemikalija predstavlja određenu razinu opasnosti u slučaju prolijevanja ili ispuštanja, MARPOL aneks II ne propisuje nikakve posebne smjernice za sprječavanje veće štete ako dođe do ovakvih situacija.

3.4. PRAVNI OKVIR BIOGORIVA

3.4.1. Standard s visokom razinom spremnosti

MARPOL Aneks I je aneks koji regulira izlivanje i ispuštanje nafte i njenih derivata u morski okoliš. S obzirom na sve veću upotrebu alternativnih goriva koja nisu na bazi nafte, postavlja se pitanje kako će ova goriva biti regulirana unutar postojećih MARPOL pravila. Radna skupina za procjenu sigurnosnih i ekoloških rizika kemikalija (ESPH) je preporučila IMO-u da se energetske bogata goriva koja nisu naftnog podrijetla, poput biogoriva i drugih obnovljivih izvora energije, uključe u regulativu aneksa I. Iako biogoriva nisu naftnog podrijetla, njihova svojstva mogu izazvati ekološke štete u slučaju izlivanja u more, pa su samim time obuhvaćeni aneksom I. Radi svrstavanja ovih goriva unutar aneksa I omogućuje se šira primjena biogoriva na raznim brodovima, pa tako i na putničkim brodovima. Ključni dio

aneksa I je sprječavanje onečišćenja uljima, te je propisano kakve sustave za kontrolu ispuštanja mora brod posjedovati, uključujući separatore ulja i vode, spremnike za otpadno ulje i opremu za motrenje ispuštanja. Iako nisu sva ispuštanja ulja zabranjena, pa se ovim aneksom propisuje metoda i količina ispuštanja. Svako ispuštanje namjerno ili ne namjerno mora se upisati u Oil record book. U Oil record book se upisuju svi podaci vezani za zauljenu tekućinu, kao što su rukovanje tom tekućinom, njen prijenos, skladištenje, čišćenje spremnika u kojem se nalazila ta tekućina i svako ispuštanje u more. Ovi su podaci važni radi inspekcija koje mogu tražiti na uvid podatke unesene u dnevnik. Također propisani su neki minimalni standardi koje ovi brodovi moraju zadovoljit što se tiče konstrukcijskih karakteristika. Ali najvažniji zahtjev je da svaki brod mora imati plan za upravljanje onečišćenjem, ovaj plan se naziva Shipboard Oil Pollution Emergency Plan (SOPEP). Ovim planom su propisane specifične mjere koje se moraju poduzeti u slučaju izlivanja zauljenih tekućina, kontakte za hitne slučajeve i postupke za minimiziranje štete.

SOLAS Poglavlje II-2 regulira uljna goriva s točkom paljenja većom od 60°C, te se ovo odnosi isključivo na biodizel, a ne na bioetanol. Ovo poglavlje sadrži sveobuhvatne sigurnosne standarde koji su dizajnirani za sprečavanje požara na brodovima, pa tako i za zaštitu putnika, posade i imovine u slučaju požara, ali i operativnih postupaka. Prostori za strojeve i kotlove imaju propisane posebne zahtjeve za ventilaciju, sustave za odvodnju, zaštitu od isparavanja goriva i prevenciju curenja kako bi se smanjila opasnost od požara u ovim prostorima. Također zahtjevi za konstrukciju brodova uključuju upotrebu vatrootpornih materijala, protupožarne pregrade, izolaciju i sustave ventilacije kako bi se smanjio rizik od požara i njegovo širenje. Od opreme za gašenje požara na svakom brodu koji koristi ovo gorivo trebao bi biti sustav za gašenje požara, a to uključuje automatski sustav gašenja požara, sustav stropnih prskalica za vodu, sustav gašenja s CO₂ i fiksne ili prijenosne uređaje za gašenje. Protupožarni aparati moraju biti rasprostranjeni po cijelom brodu. Propisano je i poseban sustav gašenja u prostorima gdje se gorivo skladišti, kao što su sustavi gašenja pjenom ili inertnim plinom. Izlazi u nuždi prema ovim zahtjevima moraju biti jasno označeni i mora biti dovoljan broj izlaza, što bi značilo više od jednog. Od evakuacijske opreme brod je dužan imati prsluke za spašavanje, čamce za spašavanje i uređaje za brzo spuštanje, pa tako i proceduru evakuacije koja varira o veličini broda. Naglašeno je da posada obavezno mora biti obučena za rukovanje opremom za gašenje, protupožarnim postupcima i vođenjem plana evakuacije.

3.4.2. Standard sa srednjom razinom spremnosti

Za bioetanol vrijedi SOLAS poglavlje II-1 goriva s niskom točkom paljenja, od kojeg su najvažniji dio G i dio F. Isto kao za vodik i metanol na bioetanol odnose se propisi MSC.1/Circ.1212/Rev.1 i MSC.1/Circ.1455. Ova regulacija nije dovoljno razrađena za bioetanol jer dosadašnja tekuća uljna goriva nisu imala temperaturu zapaljenja nižu od 60°C, točnije nema još nikojih specifičnih pravila za bioetanol, pa se primjenjuju postojeća pravila propisana za druga goriva sličnih karakteristika zapaljenja.

MARPOL Aneks VI regulira emisije CO₂, NO_x i PM, te pruža jedinstveno tumačenje (MEPC.1/Circ.795/Rev.6) gdje se navodi da mješavina loživog ulja koja sadrži manje od ili jednako 30% biogoriva ili sintetičkog goriva spada pod definiciju brodskog loživog ulja dobivenog preradom nafte (Uredba 18.3.1) i nije potrebno daljnje ispitivanje NO_x. Osim toga, mješavine loživog ulja koje sadrže više od 30% biogoriva ili sintetičkog goriva mogu se koristiti kada motor može raditi bez promjena kritičnih komponenti NO_x ili postavki/radnih vrijednosti izvan onih navedenih u odobrenoj tehničkoj datoteci tog motora.

Inače MEPC.1/Circ.795/Rev.6 je regulativa koja predstavlja važan set smjernica koje definiraju uvjete i okolnosti pod kojim brod može biti izuzet od obveza redovitih inspekcija i certificiranja kojim potvrđuju njihovu usklađenost s međunarodnim standardima zaštite okoliša. Primjerice to može uključiti neke karakteristike poput veličine broda, područja u kojem plovi ili posebni zahtjevi vezani uz MARPOL. Ovaj dokument uključuje potrebnu dokumentaciju, postupke evaluacije, te način na koji se takva izuzeća odobravaju.

ISO 8217 je međunarodni standard koji se odnosi na specifikacije brodskih goriva, a njegov cilj je osigurati kvalitetu goriva koja se koriste u brodskim motorima i sustavima. U okviru ovog standarda se ističe dopuštenje za dodavanje do 7% FAME (Fatty Acid Methyl Esters) u destilirana brodska goriva, koja spadaju u klasu DF (Destilate Fuel). FAME su esteri metilnih kiselina proizvedeni iz biljnih ulja ili životinjskih masti, a koriste se kao biodizel ili dodatak konvencionalnim dizelskim gorivima. Dodavanje do 7% FAME u destilirana goriva omogućuje prilagodbu brodske industrije u ekološki prihvatljivijim praksama, bez potrebe za značajnim promjenama u dizajnu ili operacijama brodskih motora. FAME donosi ekološke prednosti, ali njegovo prisustvo u gorivima može zahtijevati dodatnu pažnju zbog mogućnosti stvaranja naslaga, utjecaja na stabilnost goriva i povećanog rizika od mikrobiološke kontaminacije. ISO 8217 standard uključuje precizne specifikacije i testne metode koje osiguravaju da takva goriva zadovoljavaju potrebne kriterije kvalitete i pouzdanosti.

3.4.3. Standardi s niskom razinom spremnosti

EN 14214:2012 je europski standard koji definira specifikacije i metode ispitivanja za metilne estere masnih kiselina (FAME), biogorivo koje se koristi u dizelskim motorima i sustavima za grijanje. Kako bi se osiguralo da ovo biogorivo može uspješno zamijeniti ili dopuniti konvencionalni dizel, potrebno je osigurati da ispunjava standarde kvalitete. Postavljeni su kriteriji za čistoću, kemijski sastav i fizikalna svojstva FAME, uključujući ograničenja na sadržaj vode, oksidacijsku stabilnost, viskoznost i sadržaj sumpora. Ovi parametri ključni su za osiguranje da FAME ne oštećuje motore i sustave u kojima se koristi, te da može raditi učinkovito u različitim klimatskim uvjetima. Regulacija je nedovoljno razrađena u par nekoliko segmenata. Prvi problem je mogući promjenjiv sastav goriva radi raznih podrijetla i načina dobivanja, a regulacijom nije definirana performansa goriva. S obzirom da tehnologija konstantno napreduje i konstantno dolaze nove vrste motora na tržište teško je regulacijom pokriti sve radi ne definiranih performansi. EN 14214:2012 nije u potpunosti usklađen s propisima ili standardima drugih regija ili zemalja, što može stvarati probleme u međunarodnoj trgovini biogorivima.

EN 15940:2016 je europski standard koji definira specifikacije i metode ispitivanja za parafinsko dizelsko gorivo, točnije sintetička dizelska goriva koja se proizvode iz ne fosilnih izvora, poput obnovljivih sirovina ili sintetičkih procesa. Standard definira ključne fizičke parametre poput gustoće, viskoznosti, točke paljenja, točke smrzavanja i oksidacijske stabilnosti. Standardom su propisane i određene metode ispitivanja karakteristika i stabilnosti goriva. Međutim mana ovog standarda je da je fokusirano na parafinsko dizelsko gorivo, a to znači da druge vrste goriva ne spadaju u ovu kategoriju. Također ove regulativa ne propisuje standard za rad ovog goriva sa starijim vrstama motora već isključivo s modernijim motorima.

3.5. PRAVNI OKVIR ELEKTRIČNIH POGONA

IMO razmatra i razvija smjernice za električne i hibridne pogonske sustave kako bi se postigla njihova sigurnost i učinkovitost. Smjernice će uključivati zahtjeve za dizajn, instalaciju i održavanje električnih pogonskih sustava na brodovima. Naravno u kombinaciji sa SOLAS konvencijom koja uključuju sigurnosne zahtjeve koji se primjenjuju na električne i hibridne pogonske sustave, uključujući zahtjeve za električne instalacije i sustave zaštite od požara.

Trenutačno glavni standard za brodske električne instalacije i električne pogonske sustave je ISO 13297. Kao i svaki ISO-ov standard i ovaj pruža smjernice za dizajn, instalaciju i održavanje električnih sustava na brodovima, kako se ne bi narušila sigurnost, pouzdanost i učinkovitost. Standard propisuje zahtjeve za komponente i integraciju električnih pogonskih

sustava na brod. Pod ovo se smatraju materijali koji su dozvoljeni za korištenje na električnim instalacijama. Propisan je i pravilan način instalacije električnih sustava, kao što su metode povezivanja, montaže i zaštite od štetnih uvjeta. Zaštita je primarno vezana za kratke spojeve, pregorijevanje, požar i zaštita od električnog udara. I naravno propisani su načini ispitivanja i certificiranja, na način da su zadovoljene sve tehničke specifikacije i sigurnosni zahtjevi, a certifikacija omogućuje uporabu električnih sustava na brodovima tako da su u skladu s međunarodnim propisima.

4. PREDNOSTI I IZAZOVI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

4.1. PREDNOSTI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

Putnički brodovi suočavaju se s rastućim pritiskom za smanjenje emisija stakleničkih plinova i drugih zagađivača. Uvođenje alternativnih goriva kao što su tekući prirodni plin (LNG), vodik, metanol, biogoriva i električna energija nudi nekoliko značajnih prednosti u ovom kontekstu.

Putnički brodovi, koji su često pod povećalom zbog svog ekološkog utjecaja, mogu značajno smanjiti emisije štetnih plinova korištenjem LNG-a. U usporedbi s konvencionalnim brodskim gorivima, LNG smanjuje emisije CO₂ za oko 20-25%, što pomaže u smanjenju karbonskog otiska ovih brodova. Osim toga, LNG značajno smanjuje emisije sumpornih oksida (SO_x) i dušikovih oksida (NO_x), kao i čestica koje su štetne za zdravlje, što je od posebne važnosti za putničke brodove koji često pristaju u lukama blizu urbanih središta. Time se smanjuje lokalno zagađenje zraka i doprinosi poboljšanju kvalitete života u tim područjima.

Vodik nudi jedinstvenu priliku za potpunu dekarbonizaciju putničkog brodskog prometa. Kao gorivo koje ne proizvodi nikakve emisije CO₂, vodik može značajno smanjiti ekološki utjecaj velikih putničkih brodova, osobito na rutama koje prolaze kroz ekološki osjetljiva područja. Osim toga, vodik može biti korišten u gorivim ćelijama za stvaranje električne energije, što omogućuje mirniji i ekološki prihvatljiviji rad broda, što je posebno privlačno u putničkom segmentu.

Metanol se sve više prepoznaje kao održiva opcija za putničke brodove, posebno zbog svoje fleksibilnosti u proizvodnji iz obnovljivih izvora. S nižim emisijama NO_x i SO_x u usporedbi s konvencionalnim gorivima, metanol može pomoći u ispunjavanju sve strožih ekoloških standarda koji se nameću putničkim brodovima, dok istovremeno omogućuje sigurnu i učinkovitu plovidbu. Njegova primjena može biti posebno korisna na brodovima koji operiraju u područjima s visokom regulacijom emisija, kao što je Baltičko more ili Sredozemno more.

Biogoriva, kada se proizvode iz održivih izvora, mogu značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova putničkih brodova. Njihova kompatibilnost s postojećim brodskim motorima omogućuje prelazak na čišća goriva uz minimalne modifikacije, što je posebno važno za starije flote koje žele smanjiti svoj ekološki utisak bez velikih ulaganja. Biogoriva također mogu igrati ključnu ulogu u tranziciji prema zelenijem pomorskom prometu, posebno u kombinaciji s drugim alternativnim gorivima poput LNG-a ili metanola.

Putnički brodovi na električni pogon bi gotovo potpuno eliminirali emisije s brodova, uz minimalne operativne troškove. To ih čini idealnim rješenjem za kratke i srednje udaljenosti, posebno na kraćim linijama između otočnih destinacija ili u područjima s visokim ekološkim zahtjevima. Električni pogoni također nude značajnu prednost u smislu smanjenja buke, što poboljšava udobnost putnika i smanjuje utjecaj na morski život, osobito u područjima s osjetljivom florom i faunom.

4.2. IZAZOVI KORIŠTENJA ALTERNATIVNIH GORIVA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

Unatoč značajnim prednostima, postoje i brojni izazovi vezani uz korištenje alternativnih goriva na putničkim brodovima. Svako od ovih goriva ima specifične zahtjeve i prepreke koje je potrebno prevladati.

Glavni izazov kod LNG-a je njegova složena logistika i infrastruktura. Skladištenje LNG-a zahtijeva održavanje temperature od -162°C , što povećava troškove ulaganja u specijalizirane spremnike i sustave za skladištenje na brodu. Osim toga, postojeći globalni regulativni okvir za LNG još uvijek nije u potpunosti usklađen, što znači da operateri putničkih brodova moraju *navigirati* kroz različite standarde i zahtjeve ovisno o regiji u kojoj posluju.

Unatoč svojim ekološkim prednostima, vodik se suočava s velikim izazovima u kontekstu putničkih brodova. Proizvodnja vodika trenutno zahtijeva veliku količinu energije, koja često dolazi iz fosilnih goriva, što smanjuje ukupne ekološke koristi. Dodatno, sigurnosni aspekti skladištenja i rukovanja vodikom zbog njegove visoke zapaljivosti i niske gustoće energije predstavljaju značajan izazov, što zahtijeva složenu opremu i visoko obučenu posadu.

Metanol ima nižu energetska gustoću u usporedbi s LNG-om ili konvencionalnim gorivima, što zahtijeva veće spremnike za skladištenje i može utjecati na operativnu učinkovitost broda. Za putničke brodove koji trebaju veće količine goriva za duže rute, to može predstavljati problem, jer smanjuje dostupni prostor za putnike i teret. Dodatno, regulativni okvir za korištenje metanola kao brodskog goriva još uvijek nije u potpunosti razvijen, što stvara neizvjesnost za operatore koji razmatraju prijelaz na ovo gorivo.

Iako biogoriva nude mogućnost smanjenja emisija, njihova primjena na putničkim brodovima suočava se s izazovima poput ograničene dostupnosti i konkurencije s prehrambenim proizvodima, što povećava cijenu i smanjuje dostupnost. Osim toga, potrebna je stroža regulacija kako bi se osiguralo da se biogoriva proizvode na održiv način, bez negativnih učinaka na okoliš i ljude, posebno u područjima gdje se proizvode sirovine za biogoriva.

Putnički brodovi na električni pogon trenutno su ograničeni kapacitetom baterija, što je posebno izazovno za duža putovanja. Iako bi ovi brodovi bili idealni za kraće rute, poput onih između otoka ili u priobalnim područjima, njihova primjena na dugo oceanskim putovanjima još uvijek nije izvediva. Osim toga, infrastruktura za punjenje brodova električnom energijom u većini svjetskih luka nije dovoljno razvijena, što dodatno ograničava primjenu ove tehnologije na širem području.

5. ZAKLJUČAK

Korištenje alternativnih goriva na putničkim brodovima predstavlja ključan korak u smanjenju ekološkog otiska pomorskog prometa. Iako su prednosti tih goriva jasne, uključujući smanjenje emisija štetnih plinova, povećanu energetske učinkovitost i dugoročnu održivost, izazovi kao što su visoki troškovi, tehničke prepreke i nerazvijena infrastruktura ne mogu se zanemariti. Međutim, putnički brodovi imaju jedinstvenu priliku biti predvodnici u pomorskoj industriji, usvajanjem tehnologija koje ne samo da zadovoljavaju trenutne regulative, već postavljaju standarde za budućnost.

Razvoj globalne infrastrukture za opskrbu alternativnim gorivima, poput LNG-a, vodika i električne energije, ključan je za širu primjenu tih goriva. Luka i opskrbeni lanci moraju se prilagoditi kako bi omogućili jednostavan i ekonomičan pristup tim gorivima, što će smanjiti rizike za brodare.

Potrebno je nastaviti ulagati u istraživanje i razvoj tehnologija koje mogu povećati učinkovitost korištenja alternativnih goriva. Primjerice, poboljšanja u kapacitetu i trajanju baterija za električne brodove ili razvoj sigurnijih metoda za skladištenje i rukovanje vodikom mogla bi značajno unaprijediti primjenjivost tih goriva u praksi.

Daljnji razvoj međunarodnog regulativnog okvira ključan je za osiguravanje sigurnog i učinkovitog korištenja alternativnih goriva. Suradnja između regulatornih tijela, industrije i akademske zajednice potrebna je kako bi se uskladile standarde i smjernice na globalnoj razini, čime bi se olakšala tranzicija na čišće goriva.

Korištenje alternativnih goriva na putničkim brodovima zahtijeva nove vještine i znanja od strane posade. Potrebno je razviti specijalizirane programe obuke kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost u radu s novim tehnologijama. Edukacija ne bi trebala biti ograničena samo na posadu, već i na širu javnost, kako bi se povećala svijest o važnosti tranzicije na održiviji pomorski promet.

Putnički brodovi, kao jedni od najmodernijih plovila na moru, imaju potencijal postati predvodnici u korištenju alternativnih goriva. Njihova prilagodljivost i vidljivost u javnosti pružaju jedinstvenu priliku za demonstraciju održivih praksi koje mogu služiti kao model za ostatak pomorske industrije. Uspješna tranzicija zahtijevat će kontinuirano ulaganje u infrastrukturu, tehnologiju i regulativu, ali rezultati, uključujući smanjenje globalnog zagađenja i promicanje čistijeg transporta, vrijedit će uloženog truda.

LITERATURA

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hr/qanda_20_1257

<https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20210512STO04004/vodikova-energija-koje-su-koristi-za-eu>

https://keller-druck.com/en/company/blog/hydrogen-fuel-of-the-future?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwvIWzBhAIEiwAHHWgvYqCcd-Jfd5ujRW7oVZNP0YapefU40A5NjflUIJ84_q1F0ez1dpfhoCV2sQAvD_BwE

<https://www.ship-technology.com/features/future-fuel-the-pros-and-cons-of-lng-cruise-ships/?cf-view>

<https://www.aida.com/aida-cruises/company/facts-figures/history.19235.html>

<https://cen.acs.org/search.html?q=biodiesel&sortBy=relevance&rpp=10&startYear=1998&startMonth=08&startDay=01&endYear=2024&endMonth=6&endDay=8&topics=all>

<https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/future-proofing-fleets-alternative-propulsion-and-energy-sources>

https://www.ina.hr/app/uploads/2020/01/NOVO-bio-goriva-bro%C5%A1ura_4_1_2017_v01.pdf

<https://www.goodfuels.com/news/successful-second-delivery-of-sustainable-biofuel-to-aida-cruises>

<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

<https://www.iea.org/>

<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-co2-emissions-outlook>

<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy>

<https://www.advancedsciencenews.com/sf6-worries-the-most-potent-and-persistent-greenhouse-gas/>

<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/celebrity-solstice-goes-to-top-of-the-class-50934>

<https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/magnusov-ucinak>

<https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=2255>

<https://radiationworks.com/version2/NSSavannah.htm>

<https://www.valves-community.com/en/liquified-natural-gas/aidanova-lng-cruise-ship-pioneer/>

<https://www.herose.com/eng/>

https://meriteollisuus.teknologiateollisuus.fi/sites/meriteollisuus/files/file_attachments/Case%20example,%20CEF%20-funding%20for%20innovations%20-

[%20Ilkka%20Rytk%C3%B6l%C3%A4,%20W%C3%A4rtsil%C3%A4.pdf](https://www.ilkka.com/rytk%C3%B6l%C3%A4,%20W%C3%A4rtsil%C3%A4.pdf)

<https://www.norsepower.com/passenger/>

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1841.aspx>

<https://greenvoyage2050.imo.org/alternative-marine-fuels-regulatory-mapping/>

<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Future-Fuels-And-Technology.aspx>

<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>

<https://www.samgongustofa.is/media/english/SOLAS-Consolidated-Edition-2018.docx.pdf>

https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180227_184444_zec_ZMMO_.Marpol_v20.pdf

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz razina spremnosti pravnih okvira za alternativna goriva.....	22
--	----

POPIS SHEMA

Slika 1. Prikaz opskrbe LNG-om putničkog broda AIDAnova	5
Slika 2. Putnički brod Viking Neptun	7
Slika 3. Prikaz opskrbe metanolom putničkog broda STENA GERMANICA.....	10
Slika 4. Prikaz opskrbe putničkog broda AIDAprima sa 140mt B100 biodizela u luci Rotterdam	12
Slika 5. Magnusov učinak na valjak koji rotira u struji zraka, djelovanje bočne sile F usmjerena prema strani veće brzine strujanja v (odnosno nižega tlaka).....	18
Slika 6. Instalacija Flettnerovog rotora na putnički brod Viking Grace	18
Slika 7. Putnički brod Wind Surf	19