

Obnovljivi izvori energije u brodarstvu

Mihaljević, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:733107>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

NIKOLA MIHALJEVIĆ

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U BRODARSTVU

DIPLOMSKI RAD

DUBROVNIK, 2024.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
DIPLOMSKI STUDIJ POMORSTVO

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U BRODARSTVU

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
doc. dr. sc. MATKO BUPIĆ

Student:
NIKOLA MIHALJEVIĆ

DUBROVNIK, 2024.

IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora.

Nikola Mihaljević

SAŽETAK

Industrija pomorskog transporta doprinosi značajnom dijelu globalnih emisija stakleničkih plinova, što stvara hitnu potrebu za prelaskom na održive prakse u sektoru. Ovaj rad istražuje različite oblike obnovljivih izvora energije koji se mogu primijeniti u brodarstvu, uključujući solarnu energiju, vjetroenergiju, energiju vodika, energiju biomase te energiju vode i geotermalnu energiju. Analiziraju se prednosti i izazovi svakog od ovih izvora, kao i njihova sposobnost da podrže ciljeve održivosti pomorske industrije. Prikazani su i primjeri inovativnih brodova koji koriste obnovljive izvore, poput *MS Tûranor PlanetSolar*, koji je prvi brod na solarni pogon koji je oplovio svijet, te *MV Canopée*, hibridni teretni brod koji integrira vjetroenergiju. Ovi primjeri ilustriraju praktične primjene obnovljivih izvora energije i potencijal za smanjenje emisija u pomorstvu. U svjetlu međunarodnih regulativa, kao što je *FuelEU Maritime*, rad naglašava nužnost suradnje između industrije i regulatornih tijela kako bi se osigurao uspješan prijelaz na tehnologije s niskim udjelom ugljika.

Ključne riječi: Obnovljivi izvori energije, brodarstvo, smanjenje emisija stakleničkih plinova

ABSTRACT

The maritime transport industry significantly contributes to global greenhouse gas emissions, creating an urgent need for a transition to sustainable practices within the sector. This paper explores various forms of renewable energy that can be applied in shipping, including solar energy, wind energy, hydrogen energy, biomass energy, as well as water and geothermal energy. The advantages and challenges of each of these sources are analyzed, along with their ability to support the sustainability goals of the maritime industry. Examples of innovative vessels utilizing renewable energy, such as MS Tûranor PlanetSolar, the first solar-powered ship to circumnavigate the globe, and MV Canopée, a hybrid cargo ship integrating wind energy, are also presented. These examples illustrate the practical applications of renewable energy sources and their potential to reduce emissions in shipping. In light of international regulations, such as FuelEU Maritime, the paper emphasizes the necessity for collaboration between the industry and regulatory bodies to ensure the successful transition to low-carbon technologies.

Key words: Renewable energy sources, shipping, reduction of greenhouse gas emissions.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. FuelEU MARITIME	2
3. VRSTE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	4
4. SUNČEVA ENERGIJA	6
4.1. Prednosti korištenja sunčeve energije u brodarstvu	7
4.1.1. Održivost.....	7
4.1.2. Smanjenje troškova goriva	8
4.1.3. Dostupnost	8
4.2. Negativne strane solarne energije	9
4.3. Fotonapon i Fotonaponske ćelije	10
4.4. Primjeri brodova koji koriste solarnu energiju	13
4.5. Potencijal sunčeve energije	15
5. ENERGIJA VJETRA	16
5.1 Povijest korištenja vjetra kao pogona u brodarstvu	16
5.1.1. Drevni Egipat i prva upotreba jedara.....	17
5.1.2. Antička Grčka i Rim.....	18
5.1.3. Srednji vijek	19
5.1.4. Razdoblje otkrića.....	20
5.1.5. Prekretnica – 19. stoljeće	21
5.1.6. Moderno pomorstvo	21
5.2. Vjetroturbine	22
5.2.1. Princip rada	22
5.2.2. Proces pretvorbe vjetroenergije u električnu energiju	23
5.2.3. Sustavi praćenja vjetra	24
5.3. Primjeri korištenja vjetra kao izvor energije i pogona na brodovima	25
5.3.1. <i>Shofu Maru</i>	25
5.3.2. <i>MV Canopée</i>	26
5.3.3. <i>Anemos</i>	28
5.4. Potencijal vjetroenergije	29

6. ENERGIJA VODE – HIDROENERGIJA	30
6.1. Energija plime i oseke	30
6.1.1. Turbine za plimu	30
6.1.2. Plimne brane	31
6.2. Energija valova	32
6.2.1. <i>Point absorbers</i>	32
6.2.2. <i>Oscillating Water Columns (OWC)</i>	34
6.2.3. <i>Attenuatori</i>	35
6.2.4. Termalni konvertori	37
6.3. Primjena hidroenergije na brodovima	38
7. ENERGIJA VODIKA	40
7.1. Principi rada vodikovih sustava	40
7.1.1. Gorivne ćelije	40
7.1.2. Izgaranje vodika	42
7.2. Prednosti korištenja vodika u brodarstvu	42
7.3. Negativne strane korištenja vodika	43
7.4. Primjeri primjene vodika na brodovima	44
7.4.1. <i>Energy Observer</i>	45
7.4.2. <i>MV Sea Change</i>	46
7.4.3. <i>BeHydro</i> motor i uporaba na brodovima.....	47
7.4.4. Prvi vodikov vanbrodski pomorski motor Yamaha	50
7.5. Potencijal vodika	51
8. ENERGIJA BIOMASE	52
8.1 Proizvodnja biomase	52
8.2. Korištenje energije biomase u brodarstvu	53
9. GEOTERMALNA ENERGIJA	54
9.1. Vrste geotermalnih ležišta	55
9.2. Upotreba geotermalne energije	55
9.3. Geotermalne dizalice topline	56
9.3.1. Vrste geotermalnih dizalica topline	56
9.3.2. Geotermalne toplane	58
9.3.3. Geotermalne elektrane	59

10. BUDUĆNOST KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	61
10.1. <i>Sea Zero</i>	61
10.2. <i>Oceanbird</i>	62
10.3. <i>Bioship</i>	63
11. ZAKLJUČAK	64
LITERATURA	65
POPIS SLIKA	71
POPIS TABLICA	72

1. UVOD

Pomorska industrija trenutno doprinosi oko 3% globalnih emisija stakleničkih plinova. Unatoč zakonodavnim promjenama i međunarodnim ciljevima za smanjenje emisija, većina alternativnih goriva poput metanola, vodika i amonijaka još uvijek je u fazi tehničkog razvoja i nije dovoljno regulirana.

Perspektive razvoja i primjene koncepta obnovljive energije u brodarstvu usklađene su s IMO-ovom strategijom za smanjenje emisija stakleničkih plinova s brodova iz 2023. godine, koja naglašava potrebu za prelaskom na održiva i niskougljična goriva kako bi se smanjile emisije iz pomorske industrije. Specifični elementi strategije ističu važnost razvoja alternativnih niskougljičnih ili gotovo nultougljičnih goriva, značaj istraživanja i razvoja u postizanju ciljeva smanjenja emisija, te ulogu inovacija i tehnologije u stvaranju privlačnih brodova s nultom emisijom. Fokus IMO-a na biogoriva, alternativna goriva i inovativne tehnologije nadopunjuje raspravu o perspektivama obnovljive energije u brodarstvu. Dodatno, metodologija procjene životnog ciklusa (LCA) koja se spominje u IMO-ovoj strategiji usklađena je s razmatranjem ekološkog otiska različitih opcija obnovljive energije.

Uz to, važnu ulogu igra i FuelEU (uspostavljanje maksimalne granice za sadržaj stakleničkih plinova u energiji koja se koristi na brodovima koji pristaju u europskim lukama), koji također naglašava šire implikacije EU obveza za smanjenje emisija stakleničkih plinova, posebno kroz mjere poput uključivanja pomorskih emisija u *EU ETS* (Europski sustav trgovanja emisijama). Financijski doprinos EU-a projektu energetske učinkovitosti EC-IMO naglašava praktičnu primjenu koncepta obnovljive energije. Stoga, ispitivanje načina na koji ta podrška doprinosi implementaciji tehnologija s niskim udjelom ugljika i obnovljive energije u pomorskom prijevozu, nudi vrijedne uvide u napore EU-a i IMO-a u promicanju obnovljive energije u brodarstvu.¹

Jedan od izazova u primjeni obnovljivih izvora energije u brodarstvu je trošak. Implementacija tehnologija poput solarnih panela, vjetroturbina i gorivih ćelija zahtijeva značajna ulaganja. Međutim, dugoročne uštede kroz smanjenje potrošnje fosilnih goriva i niže troškove održavanja mogu nadmašiti početne troškove.

¹ <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/fueleu-maritime/>

2. FuelEU MARITIME

FuelEU *Maritime Regulation* (*Regulation* (EU) 2023/1805), usvojena u srpnju 2023., ima za cilj smanjenje emisija stakleničkih plinova u EU za najmanje 55% do 2030. godine. Ova regulativa promiče korištenje obnovljivih i niskougljičnih goriva te čistih energetski tehnologija za brodove, što je ključno za podršku dekarbonizaciji pomorskog sektora.²

Regulativa postavlja maksimalne granice za godišnji prosjek intenziteta stakleničkih plinova (GHG) energije korištene brodovima iznad 5.000 bruto tona koji pristaju u europske luke, bez obzira na njihovu zastavu. Ciljevi će osigurati da intenzitet stakleničkih plinova goriva korištenog u sektoru postepeno opada, počevši od smanjenja od 2% do 2025. godine, s konačnim smanjenjem do 80% do 2050. godine. Ovi ciljevi postat će ambiciozniji tokom vremena kako bi potaknuli i odražavali potrebne tehnološke inovacije i rast proizvodnje obnovljivih i niskougljičnih goriva. Ti ciljevi obuhvaćaju ne samo CO₂, već i emisije metana i dušikovog oksida tijekom cijelog životnog ciklusa goriva korištenog na brodovima, temelji se na "Well-to-Wake" (WtW) pristupu.³

Regulativa također uvodi dodatne zahtjeve za nulte emisije za brodove koji su usidreni, obavezujući korištenje obalne opskrbe električnom energijom (OPS) ili alternativnih tehnologija nulte emisije u lukama, za putničke brodove i kontejnerske brodove, s ciljem smanjenja emisija zagađenja zraka u lukama, koje su često blizu gusto naseljenih područja.

Glavne odrednice regulative FuelEU *Maritime* uključuju⁴:

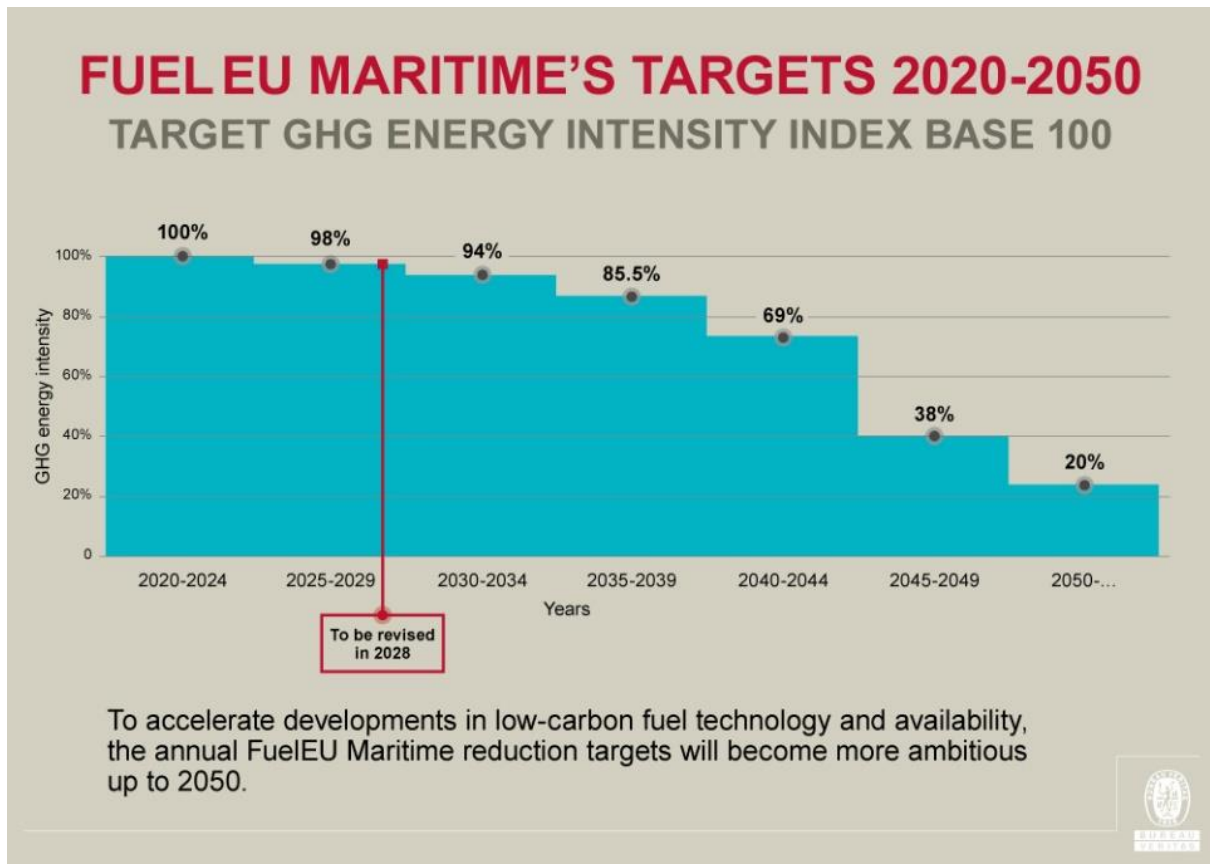
- Smanjenje emisija: regulativa postavlja specifične ciljeve za smanjenje emisija CO₂ iz brodskog prometa i pruža smjernice za ispunjavanje tih ciljeva.
- Korištenje održivih goriva: FuelEU *Maritime* promovira prelazak na alternativna goriva, uključujući biogoriva, vodik, amonijak i druge zelene izvore energije, koji mogu značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova.
- Usklađivanje s *EU ETS*: ova regulativa je povezana s Europskim sustavom trgovanja emisijama (*ETS*), što omogućava brodovima trgovanje emisijskim dozvolama, potičući ih na smanjenje emisija kako bi izbjegli dodatne troškove.

² https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en

³ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805>

- Izvještavanje: brodari će biti obvezni izvještavati o svojim emisijama, što omogućava praćenje napretka prema postavljenim ciljevima.
- Ulaganje u infrastrukturu: regulativa naglašava potrebu za razvojem potrebne infrastrukture za opskrbu plovila održivim gorivima, osiguravajući da su alternativna goriva dostupna u lukama i sidrištima.



Slika 1. Ciljevi FuelEU *Maritime*⁵

FuelEU *Maritime* stupa na snagu 1. siječnja 2025., koji će se primjenjivati od 31. kolovoza 2024. Cilj FuelEU *Maritime* je značajno smanjiti ugljični otisak pomorske industrije, koja doprinosi globalnim emisijama, dok istovremeno podržava inovacije i održivost u ovom sektoru.

⁵ <https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55/fueleu-maritime>

3. VRSTE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Postoje više oblika obnovljivih izvora energije koje su mogu koristit u brodarstvu u svakodnevnoj uporabi. Sve se više teži korištenju istih zbog promicanja važnosti očuvanja okoliša i smanjenja emisija plinova sa brodova. Vrste obnovljivih izvora energija su⁶:

- Sunčeva energija
- Energija vjetra
- Energija vode (valova, plime i oseke)
- Energija vodika
- Energija biomase
- Geotermalna energija



Slika 2. Vrste obnovljivih izvora energije ⁷

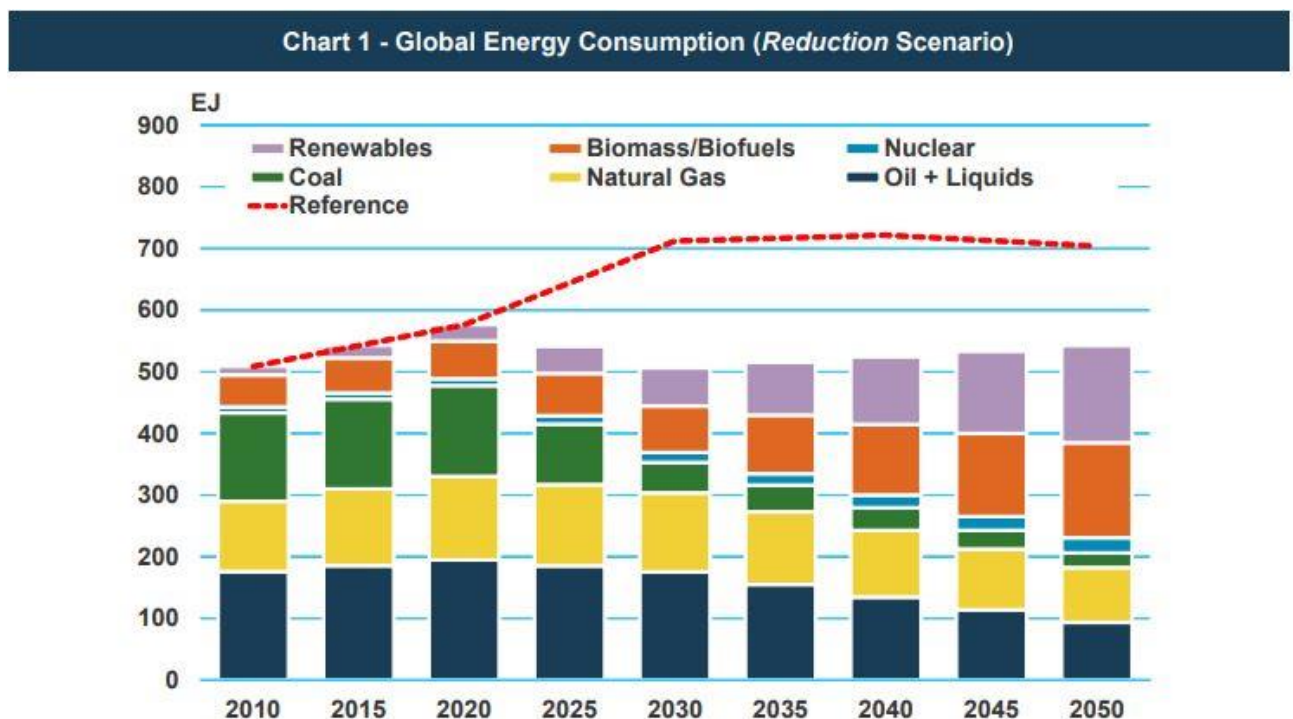
Postoje i plovila koja koriste hibridne sustave koji objedinjuju različite oblike obnovljivih izvora energije. U pravilu, većina hibridnih brodova koristi kombinaciju tradicionalnog motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora koji se napaja iz baterija. S obzirom na potrebu za punjenjem baterija, najbolje ekološko rješenje uključuje korištenje obnovljivih izvora energije.

⁶ <https://solarneelektrane.wordpress.com/category/obnovljivi-izvori-energije/>

⁷ <https://vocal.media/earth/pioneering-a-sustainable-energy-revolution>

Na tim plovilima je moguće instalirati solarne panele te male vjetroturbine. Moguće su razne kombinacije korištenja hibridnih sustava na plovilima, uključujući⁸:

- punjenje baterija energijom iz vjetroturbine,
- punjenje baterija energijom iz fotonaponskih ćelija,
- punjenje baterija energijom koja se dobiva kombinacijom vjetroturbin i fotonaponskih ćelija.



Slika 3. Cilj povećanja korištenja obnovljivih izvora energije u brodarstvu⁹

Obnovljivi izvori energije zabilježit će najveći neto porast tijekom predviđenog razdoblja, povećavajući svoju zastupljenost s 5% u 2020. godini na 16% u 2050. godini, dok biomasa/bioenergija bilježe značajan rast do 2030. godine, dosegnuvši 12% globalne potražnje, ali nakon toga bilježe mali razmjerni porast.¹⁰

⁸ Šljivac, D.; Topić, D. (2018.) Obnovljivi izvori električne energije, Osijek, FERIT Osijek

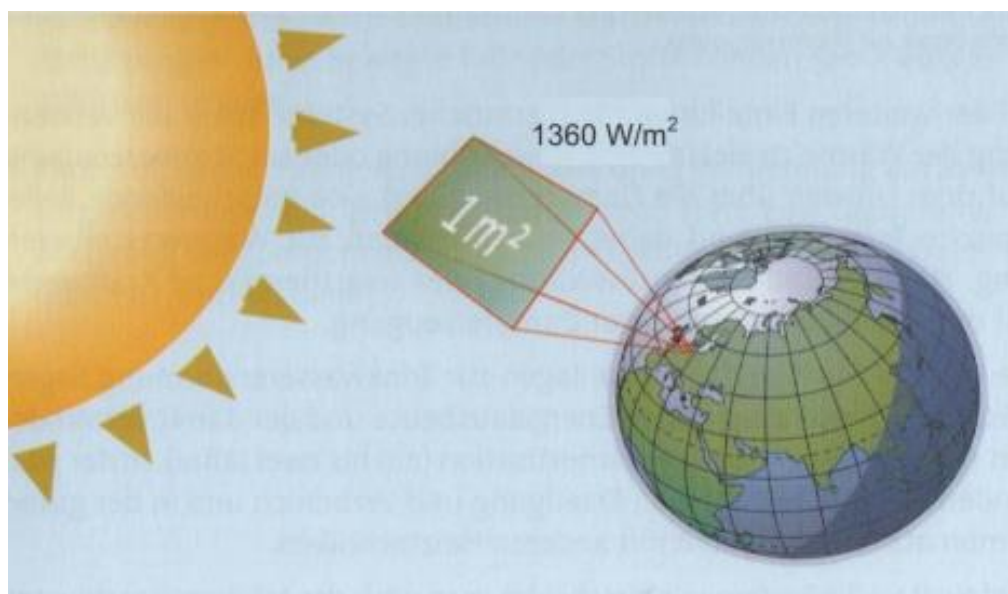
⁹ <https://www.hellenicshippingnews.com/global-shipping-industry-most-exposed-to-low-carbon-energy-shift/>

¹⁰ <https://www.hellenicshippingnews.com/global-shipping-industry-most-exposed-to-low-carbon-energy-shift/>

4. SUNČEVA ENERGIJA

Sunčeva energija je obilni izvor energije koja dolazi od Sunca. Kao glavni izvor toplinske i svjetlosne energije, Sunce oslobađa ogromne količine energije u obliku elektromagnetskog zračenja. Ova energija se može iskoristiti na različite načine za generiranje električne energije, grijanja i druge energetske potrebe. Ukupna količina sunčevog zračenja na horizontalnu površinu naziva se ukupno ili globalno zračenje. Globalno zračenje se sastoji od direktnog, difuznog i odbijenog sunčevog zračenja. Mjerna jedinica globalnog zračenja je W/m^2 . Za mjerenje energije sunčevog zračenja koriste se radiometri u koje spadaju: pirheliometri, piranometri i solarimetri.¹¹

Energija Sunčeva zračenja kontinuirano pristizuje na Zemlju koja se okreće oko svoje osi i oko Sunca. Snaga Sunčeva zračenja na ulazu u Zemljinu atmosferu, pri srednjoj udaljenosti od Sunca, iznosi $1321 W/m^2$ - do $1412 W/m^2$. Ovaj podatak predstavlja sunčevu ili solarnu konstantu koja se mjeri umjetnim satelitima. Mjerenjem satelitima, utvrđeno je da solarna konstanta i nije konstantna, te se mijenja ovisno o aktivnostima Sunca.¹²



13

Slika 4. Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu¹⁴

¹¹ <https://www.enciklopedija.hr/clanak/solarna-konstanta>

¹² <http://solarsystem.nasa.gov/planets/sun/facts>

¹³ https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina_ravnate%C5%BEa_Sun%C4%8Devog_zra%C4%8Denja

¹⁴ https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina_ravnate%C5%BEa_Sun%C4%8Devog_zra%C4%8Denja

4.1. Prednosti korištenja sunčeve energije u brodarstvu

Prednosti korištenja sunčeve energije u brodarstvu imamo u sljedećim aspektima, a to su: održivost, smanjenje troškova goriva i dostupnost.

4.1.1. Održivost

Neke od ključnih aspekata, a tiču se održivosti povezanih s korištenjem energije sunca u pomorskoj industriji su:

Smanjenje emisija stakleničkih plinova

Jedna od glavnih prednosti korištenja energije sunca je smanjenje emisija stakleničkih plinova. Kada brodovi koriste fosilna goriva poput dizela ili benzina, ispuštaju velike količine ugljičnog dioksida (CO₂) i drugih štetnih plinova u atmosferu. Korištenje solarnih panela za generiranje električne energije na brodovima smanjuje potrebu za fosilnim gorivima i time smanjuje emisije stakleničkih plinova. Ovo je izuzetno važno u pomorskoj industriji koja ima veliki udio u ukupnim globalnim emisijama.¹⁵

Smanjenje onečišćenje mora

Jedan od velikih izazova u pomorskoj industriji su pitanja koja su vezana uz onečišćenje mora, na kojoj se pridaje sve veća važnost i poduzima se sve više mjera da ne dođe do istog. Fosilna goriva koja se tradicionalno koriste na brodovima često uzrokuju onečišćenje mora zbog curenja ili ispuštanja nafte i drugih kemikalija. Korištenje energije sunca kao izvora energije smanjuje rizik od onečišćenja mora povezanog s gorivom.

Smanjenje potrošnje resursa

Pomorska industrija ima visoku potrošnju resursa, poput fosilnih goriva i slatke vode. Korištenje energije sunca može smanjiti tu potrošnju. Na primjer, solarna energija može se koristiti za pogon sustava za desalinizaciju, pretvarajući morsku vodu u slatku vodu bez upotrebe tradicionalnih energijskih izvora. Također, korištenje solarnih panela umanjuje potrebu za fosilnim gorivima, čime se štedi ovo ograničeno prirodno bogatstvo.¹⁶

¹⁵ <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20180305STO99003/smanjenje-emisija-ugljicnih-plinova-ciljevi-i-mjere-eu-a>

¹⁶ <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fkit:90/preview>

Dugoročna održivost

Solarna energija je neiscrpn i izvor energije. Sunce je izvor energije koji će trajati milijarde godina. Ova dugoročna održivost solarnih izvora čini ih idealnim za pomorsku industriju koja zahtijeva trajne izvore energije. Iskorištavanje energije sunca može osigurati dugoročno i stabilno snabdijevanje energijom za različite pomorske aktivnosti.

4.1.2. Smanjenje troškova goriva

Pomorska industrija je poznata po visokim troškovima goriva. Korištenje energije sunca može smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima i smanjiti operativne troškove povezane s gorivom. Smanjenje troškova goriva je upravo jedan od ključnih prednosti korištenja sunčeve energije u pomorstvu. Važni aspekti koji podupiru tu prednost su¹⁷:

1. Eliminacija ili smanjenje potrebe za fosilnim gorivima - korištenje energije sunca omogućuje pomorskoj industriji da smanji ili potpuno eliminira potrebu za fosilnim gorivima poput dizela ili benzina. Solarni paneli pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju koja može napajati električne sustave na brodovima. To znači da brodovi mogu smanjiti ili čak potpuno izbjeći troškove goriva.
2. Smanjenje operativnih troškova - fosilna goriva često predstavljaju veliki operativni trošak u pomorskoj industriji. Cijene goriva mogu biti promjenjive i podložne fluktuacijama na tržištu. Korištenje energije sunca umanjuje ovisnost o kupovini goriva, čime se smanjuju operativni troškovi i povećava predvidljivost troškova.

Na ovaj način pomorska industrija može postati ekonomičnija i konkurentnija, dok se istovremeno smanjuje negativan utjecaj na okoliš i smanjuje se zagađenje.

4.1.3. Dostupnost

Dostupnost energije sunca predstavlja još jednu značajnu prednost korištenja solarnih tehnologija u pomorstvu, a prednosti su sljedeće¹⁸:

1. Obilje izvora energije: sunce je neiscrpan i široko dostupan izvor energije. Iako intenzitet varira s lokacijom i vremenom, solarni paneli mogu proizvoditi energiju čak i pri manjem intenzitetu, čineći sunčevu energiju dostupnom većini pomorskih područja.

¹⁷ <https://dailyboats.com/hr/boat-types/power-solar>

¹⁸ <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1426>

2. Mobilnost i fleksibilnost: solarni paneli su prilagodljivi i mogu se instalirati na razne vrste plovila i objekata, omogućujući korištenje sunčeve energije u različitim uvjetima.
3. Neovisnost o energetskej infrastrukturi: solarni sistem omogućuje brodovima veću neovisnost od tradicionalne energetske infrastrukture, proizvodnjom energije na licu mjesta, što je posebno korisno u udaljenim područjima s ograničenim pristupom električnoj mreži.

Dostupnost energije sunca omogućuje pomorskoj industriji da iskoristi ovaj obnovljivi izvor energije gotovo svugdje. Mobilnost i fleksibilnost solarnih tehnologija pružaju mogućnost prilagodbe različitim pomorskim objektima, dok neovisnost o energetskej infrastrukturi i smanjeni rizik od prekida snabdijevanja dodatno povećavaju njihovu vrijednost za pomorsku industriju.

4.2. Negativne strane solarne energije

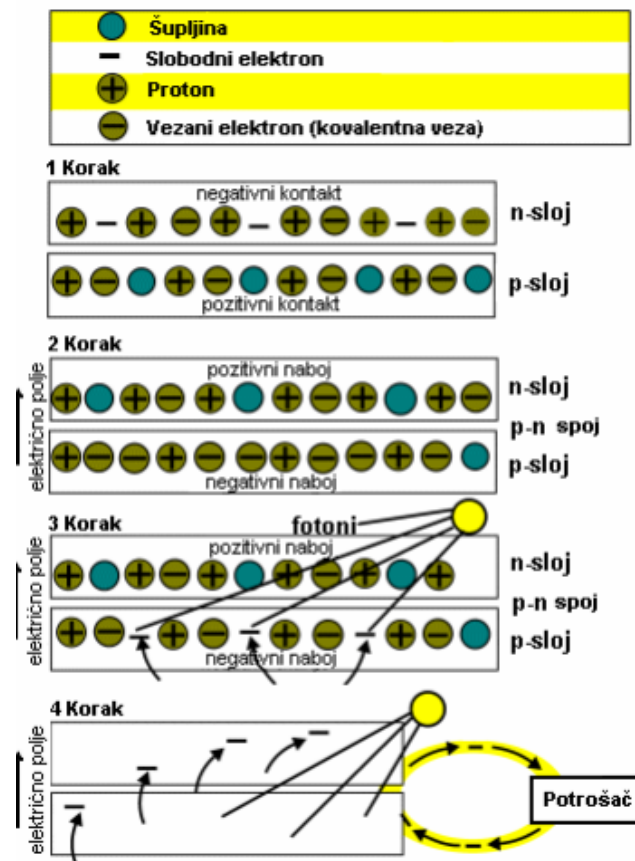
Korištenje solarne energije na brodovima ima mnoge prednosti, ali postoje i određene mane i izazovi¹⁹:

- Ovisnost o vremenskim uvjetima - solarni paneli najefikasnije rade kada su izloženi izravnoj sunčevoj svjetlosti. Oblaci, kiša i nepovoljni vremenski uvjeti mogu smanjiti učinkovitost.
- Prostor i težina - solarna tehnologija zahtijeva značajnu površinu za instalaciju panela kako bi proizvela dovoljno energije, što može biti problem na brodovima s ograničenim prostorom.
- Početni troškovi – instalacija solarnih sustava može biti skupa zbog cijene panela i potrebne infrastrukture za skladištenje energije, poput baterija.
- Skladištenje energije - s obzirom na to da solarna energija nije stalna, potrebni su sistemi za skladištenje energije (baterije) kako bi se energija koristila kada sunce ne sija. Ovi sistemi mogu biti skupi i zahtijevaju redovito održavanje.
- Ograničena snaga i efikasnost - solarni paneli možda neće moći proizvesti dovoljno energije za pogon većih brodova ili za dulja putovanja bez dopune iz drugih izvora energije.

¹⁹ <https://www.bluettipower.com/blogs/news/all-you-need-to-know-about-marine-solar-panels>

4.3. Fotonapon i Fotonaponske ćelije

Pojava koja ima za posljedicu "oslobađanje" slobodnih nosioca naboja pod djelovanjem svjetlosti te stvaranje električnog toka naziva se fotonaponski efekt, koji je prikazan na slici 5. Prvi korak prikazuje stanje fotonaponske ćelije prije nego što se p-tip i n-tip poluvodiča spoje. Iako su oba poluvodička materijala električki neutralna, spajanjem p-tipa i n-tipa poluvodiča nastaje takozvani p-n spoj koji za posljedicu ima stvaranje električnog polja. U trenutku kada se n-tip Si poluvodiča i p-tip Si poluvodiča spoje, višak elektrona od strane n-tipa kreće se ka p-tip strani. Rezultat navedenih događaja je nagomilavanje pozitivnog naboja na n-tip strani ćelije, odnosno nagomilavanje negativnog naboja na p-tip strani ćelije (korak 2).



Slika 5. Fotonapon ²⁰

Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju oni se mogu reflektirati, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Samo apsorbirani fotoni daju energiju za proizvodnju struje. Kada poluvodič

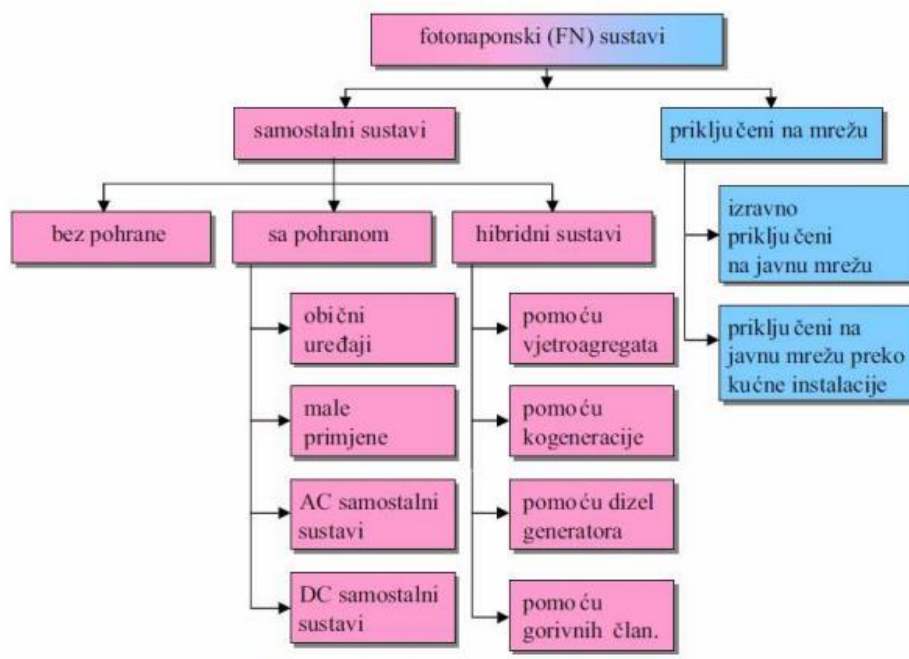
²⁰ https://www.ieee.hr/_download/repository/DR081Cvrk.pdf

apsorbira dovoljno svjetla elektroni se istiskuju iz atoma materijala, sele se ka prednjem (negativnom) kontaktu ćelije dok se u isto vrijeme šupljine kreću u suprotnom smjeru ka donjem (pozitivnom) kontaktu ćelije gdje očekuju elektrone (korak 3). Napon na vanjskim kontaktima p-n spoja može se povezati sa potrošačima pri čemu će se stvarati naboj i teći DC struja sve dok postoji upadni tok svjetlosti.²¹

Povezivanje ćelija može biti izvedeno na dva načina:

1. Paralelno – paralelnim spajanjem dolazi do povećanja jakosti struje s povećanjem površine, izvodi se tako da se svi (+) polovi spoje na isti vodič, analogno i za (-) vodiče.
2. Serijski – serijskim spajanjem dolazi do povećanja napona s povećanjem površine, izvodi se tako da se naizmjenično spajaju (+) i (-) pol ćelija u nizu.²²

Podjela foto-naponskih sustava



Slika 6. Podjela fotonaponskih sustava²³

Solarni fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine: fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. *off-grid*), a često se nazivaju i samostalnim sustavima

²¹ http://www.ieee.hr/_download/repository/DR08ICvrk.pdf

²² https://www.fer.unizg.hr/_download/forum/Panelsun%C4%8Darih_%C4%87elija-seminar.pdf

²³ <https://www.hsuse.hr/?tehnologija>

(engl. *stand-alone systems*), i fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. *on-grid*).

Plovila različitih namjena koriste se različitim uređajima i opremom s određenom potrošnjom električne energije, i to su:

Tablica 1. Prikaz trošila na brodovima

Uređaj	Snaga (W)
Rasvjeta, žarulje (12V)	Oko 12 W
LED žarulje	1 do 2 W
Radio uređaj	25 W
Radio-komunikacijska oprema	25 W
Kaljužna pumpa	100 do 200 W
Hladnjak (mali, brodski)	Oko 50 W
Klimatizacija	300 do 500 W
Televizor	300 W
Računalo, laptop	150 W
Sidreno vitlo	300 W

Za većinu navedenih trošila karakteristična je nestalnost rada. Primjerice, sidreno vitlo upotrebljava se svega par puta dnevno, i to u vrlo kratkom vremenskom periodu, kaljužna pumpa također se uključuje po potrebi, dok je rasvjeta u funkciji pretežito noću. Kao primjer uzeli smo brodicu od 7m koja plovi u ljetnom periodu između 13,30h-23,00h u dubrovačkom akvatoriju. Prosječna dnevna potrošnja takve brodice iznosi 960 W/h.

Na krovu kabine ima dostatno prostora da se postavi fotonaponski panel koji bi imao prosječnu snagu od 100 W, što odgovara površini od 0,67 m² fotonaponskog panela. Što se tiče osunčanosti, poznato je da se hrvatski jug ubraja u najsunčanije područje, s najvećim brojem sunčanih sati godišnje. U prosjeku, dubrovačko područje ima više od 250 sunčanih dana godišnje, a sunčanih sati oko 2 500²⁴.

²⁴ Klimatske informacije i obnovljivi izvori energije: Sunčeva energija; Melita Perčec Tadić, Odjel za klimatološka istraživanja i primijenjenu klimatologiju, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2011

Pozitivna je strana i to što se brodicom plovi ljeti, kada insolacija poprima najviše vrijednosti. Za prosjek će se uzeti da paneli rade 100% od 11 do 15 sati, 80% od 10 do 11 i od 15 do 17 sati, a 60% ujutro od 7 do 10 sati i predvečer od 17 do 20 sati.²⁵

4.4. Primjeri brodova koji koriste solarnu energiju

Jedan primjer broda koji koristi solarnu energiju i električni pogon je "*MS Tûranor PlanetSolar*", ujedno i prvi brod na solarni pogon koji je oplovio svijet. Ovaj katamaran dugačak 31 metar pokreću isključivo solarni paneli smješteni na površini broda. *MS Tûranor PlanetSolar* je opremljen s više od 500 četvornih metara solarnih panela koji generiraju dovoljno električne energije da napajaju četiri elektromotora. Solarna energija se pohranjuje u litij-ionske baterije koje omogućuju brodu da plovi i noću ili tijekom oblačnih dana. Ovaj inovativni solarni brod ima minimalan utjecaj na okoliš jer ne koristi fosilna goriva i ne emitira štetne plinove ili onečišćenja. *MS Tûranor PlanetSolar* je obišao svijet između 2010. i 2012. godine, istražujući mogućnosti solarne plovidbe i promovirajući obnovljive izvore energije.²⁶



Slika 7. *MS Turanor*²⁷

²⁵ Lale, D., Bajo, I.: Upotreba vjetroagregata i fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije na brodicu

²⁶ <https://www.theverge.com/2013/6/22/4454980/ms-turanor-planetsolar-solar-powered-boat-photo-essay>

²⁷ <https://www.designboom.com/technology/ms-turanor-planetsolar-worlds-largest-solar-powered-boat/>

Plovila za prikupljanje smeća

Plovila za prikupljanje smeća su specijalizirana plovila koja koriste solarnu energiju za prikupljanje i uklanjanje otpada iz vodenih tijela. Ova plovila imaju integrirane solarni panele kako bi generirali električnu energiju koja pokreće njihove sustave za prikupljanje i obradu otpada. Neke od prednosti korištenja solarne tehnologije te princip rada je sljedeći²⁸:

- Kao izvor napajanja koriste solarnu tehnologiju - plovila za prikupljanje smeća koriste solarnu energiju kao glavni izvor napajanja. Solarni paneli na krovu plovila pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju koja se koristi za napajanje elektromotora i ostalih električnih sustava plovila.
- Sustavi za prikupljanje smeća - plovila su opremljena s posebnim sustavima za prikupljanje i obradu otpada iz vode. To može uključivati mreže, skupljače, usisne sustave ili druge mehanizme za sakupljanje plutajućeg smeća, algi ili drugih zagađivača iz vode.
- Obrada otpada - nakon što je smeće prikupljeno, plovila imaju integrirane sustave za obradu otpada. To može uključivati sortiranje, komprimiranje ili recikliranje otpada. Solarna energija se koristi za pokretanje ovih sustava obrade otpada, smanjujući potrebu za konvencionalnim gorivima i smanjujući emisije štetnih plinova.
- Imaju ekološki učinak - plovila za prikupljanje smeća koja koriste solarnu energiju pružaju ekološki održiv način upravljanja otpadom u pomorskom okruženju. Korištenje solarnih tehnologija smanjuje emisije stakleničkih plinova i ovisnost o fosilnim gorivima. Također, čiste vode od smeća pomažu u očuvanju morskog ekosustava i sprječavaju onečišćenje voda.

Jedan od primjera takvog broda je „MANTA“ koji koristi solarnu energiju za prikupljanje plastike iz vodenih tijela. "MANTA" je autonomni brod za prikupljanje smeća koji koristi solarnu energiju za pogon. Opremljen je s velikim solarnim panelima koji prikupljaju sunčevu energiju i pretvaraju je u električnu energiju koja pokreće brod. Solarna energija napaja električne motore i druge sustave broda. Brod je posebno dizajniran za prikupljanje plastičnog otpada iz mora. Ima otvore u prednjem dijelu koji omogućuju prikupljanje plutajuće plastike. Nakon što je plastika prikupljena, ona se pohranjuje u spremnike na brodu kako bi se kasnije

²⁸ <https://theogm.com/2023/02/22/solar-powered-manta-plastic-garbage-collecting-ship/#:~:text=The%20MANTA%20is%20an%20autonomous,and%20electric%20motors%20to%20operate.>

pravilno obradila i reciklirala. "MANTA" je zamišljena kao učinkovito i ekološki prihvatljivo rješenje za smanjenje plastičnog otpada u morima. Kombinacija solarnog napajanja i autonomne tehnologije omogućuje brodu da radi bez emisija stakleničkih plinova i s minimalnim utjecajem na okoliš.²⁹



Slika 8. Autonomni brod za prikupljanje smeća MANTA ³⁰

4.5. Potencijal sunčeve energije

U zaključku, korištenje obnovljivih izvora energija, kao što je sunce, donosi brojne prednosti u smislu održivosti, smanjenja troškova i dostupnosti kako u pomorskoj industriji tako i u drugim granama. Mogućnost implementiranja je velika, no pitanje je ekonomičnosti zbog ograničenja prostora radi ugrađivanja solarnih panela i raznih drugih tehnologija da bi se iskoristio sunčev potencijal u cijelosti. U većini se koriste kao pomoćni izvori energije za napajanje električnih motora ili nekih manjih električnih uređaja koji se ne koriste prečesto pa je dovoljan izvor energije upravo sunčeva energija.

²⁹ <https://theogm.com/2023/02/22/solar-powered-manta-plastic-garbage-collecting-ship/>

³⁰ <https://www.theseacleaners.org/the-manta-innovation/>

5. ENERGIJA VJETRA

U potrazi za klimatskim ciljevima, pomorska industrija implementirala je nekoliko strategija štednje energije, poput premaza koji smanjuju trenje na trupovima brodova, usvajanja sporije plovidbe, kao i istraživanja inovativnih tehnologija za smanjenje emisija ugljika te obnovljivih izvora energije u pomorstvu. Jedan od alternativnih izvora energije koji se razmatra je vjetroenergija. Vjetar, kao gotovo neograničen izvor, smatra se bitnim dodatkom ostalim izvorima energije. Vjetroenergija se odnosi na energiju koja se dobiva pretvaranjem kinetičke energije zraka u mehaničku energiju. Vjetroturbine i vjetroelektrane hvataju ovu energiju i pretvaraju je u električnu energiju koristeći aerodinamičku silu koju generiraju njihovi rotori. Kao lako dostupan, čist, besplatan i neograničen resurs, vjetar je održiv izvor električne energije. Zbog toga se povećavaju ulaganja u razvoj ove obnovljive energije u pomorstvu.³¹

Vjetar kao alternativni izvor energije igra značajnu ulogu u dekarbonizaciji pomorske industrije. Neke pomorske kompanije već istražuju mogućnost korištenja brodova koji se isključivo napajaju vjetrom. Međutim, stručnjaci upozoravaju da će puna tranzicija na flote pokretane vjetrom zahtijevati značajno vrijeme i trud. Ipak, vjetroenergija se već uspješno integrira kao dodatni izvor energije zajedno s konvencionalnim metodama, kako bi se smanjila potrošnja goriva i emisije stakleničkih plinova u pomorskim operacijama.³²

5.1 Povijest korištenja vjetra kao pogona u brodarstvu

Vjetar je od davnina bio neizostavan faktor u pomorstvu, predstavljajući jedan od prvih i najvažnijih izvora energije korištenih za plovidbu. Kroz povijest, jedra su omogućila ljudima da istražuju oceane, uspostavljaju trgovinske rute, te povezuju različite kulture i civilizacije. Od starih egipatskih brodova na Nilu do kompleksnih jedrenjaka iz razdoblja otkrića, energija vjetra oblikovala je razvoj globalnog brodarstva. Postupno, s razvojem tehnologije i prelaskom na motorizirana plovila, vjetroenergija je postala manje dominantna, no s rastućom sviješću o potrebama za održivim alternativnim izvorima, interes za korištenje vjetra u pomorstvu ponovno dobiva na značaju.³³

³¹ Šljivac, D.; Topić, D. (2018.) Obnovljivi izvori električne energije, Osijek, FERIT Osijek, str. 55.

³² <https://www.naucat.com/hr/vijesti/nauticka-industrija/energija-vjetra-na-brodu>

³³ <https://www.learnz.org.nz/spiritofadventure181/bg-standard-f/a-brief-history-of-sailing>

5.1.1. Drevni Egipat i prva upotreba jedara

Drevni Egipat, jedna od najranijih i najnaprednijih civilizacija u povijesti, nastao je uz obale rijeke Nil, koja je bila ključna za život i gospodarstvo ovog društva. Rijeka Nil je godišnje u proljeće izlivala, stvarajući plodne obale koje su omogućavale poljoprivredu. U takvom okruženju, transport i trgovina postali su neizbježni za prijenos dobara, hrane i resursa.³⁴

Prvi brodovi i jedra

U razdoblju oko 3000. godine pr. Kr., Egipćani su počeli koristiti brodove za plovidbu Nilom. Ovi rani brodovi, poznati kao "*papyrus boats*" (brodovi od papirusa), izrađivali su se od trske ili drva, a imali su jednostavne konstrukcije. Egipćani su koristili materijale poput papirusovih stabala za izradu plovila, koja su bila lagana i omogućavala brzu plovidbu. Ovi brodovi su često bili u obliku duguljastih čamaca, idealnih za istraživanje i trgovinu po rijeci. Prvo korištenje jedara na ovim brodovima omogućilo je bržu i učinkovitiju plovidbu.³⁵



Slika 9. Projekcija prvog broda na jedra – Egipat ³⁶

Jedra su bila izrađena od tkanina, kao što su lanene ili pamučne, i bila su jednostavna, ali efektivna. Upotreba jedara je omogućila Egipćanima da iskoriste prirodnu snagu vjetra, što je smanjilo njihovu ovisnost o veslanju. Korištenje jedara značajno je transformiralo egipatsko

³⁴https://www.researchgate.net/publication/283462349_The_Earliest_Sailboats_in_Egypt_and_Their_Influence_on_the_Development_of_Trade_Seafaring_in_the_Red_Sea_and_State_Development#:~:text=Based%20on%20iconography%20and%20trade,fringes%20to%20the%20Nile%20floodplain.

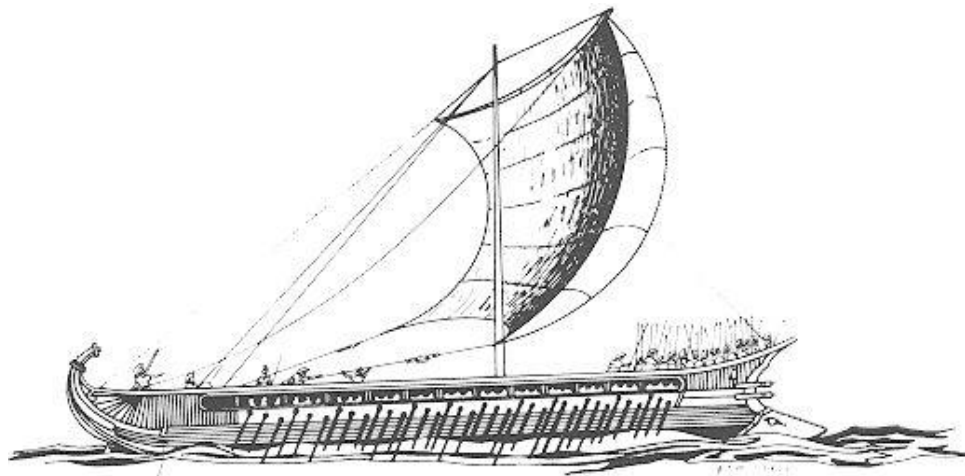
³⁵ Ibid.

³⁶ https://www.mozaweb.com/hr/Extra-3D_scene-Jedrenjak_u_drevnom_Egiptu-147993

brodarstvo i trgovinu. Upotreba vjetra kao pogonske snage omogućila je bržu i jednostavniju plovidbu po Nilu. Ovime su trgovci mogli brže i efikasnije prevoziti robu, uključujući tekstil, stoku, hranu, zlato i druge dragocjenosti, što je povećalo trgovinsku razmjenu među različitim regijama Egipta.³⁷

5.1.2. Antička Grčka i Rim

Antička Grčka, koja je trajala otprilike od 8. do 5. stoljeća pr. Kr., i Rimsko Carstvo, koje se protezalo od 27. pr. Kr. do 476. godine n.e., bili su ključni dionici u razvoju sredozemnog pomorstva. Ove civilizacije su postavile temelje za pomorske tradicije, trgovinu i ratne strategije, pri čemu su jedra i vjetroenergija igrali vitalnu ulogu. Tijekom ovog razdoblja, brodovi su postali složeniji i funkcionalniji.³⁸



Slika 10. Trirema³⁹

Grčki trgovački brodovi, poznati kao "trireme", koji su imali tri reda vesala i jedra, omogućili su brzu i učinkovitu plovidbu. Ovi brodovi su bili dizajnirani za brze pomorske bitke i istraživanja, a jedra su bila neizostavan dio njihove opreme. Grčka brodogradnja razvila je različite tipove jedara, poput kvadratnih jedara i latinskih jedara. Kvadratna jedra su omogućavala plovidbu s vjetrom, dok su latinska jedra, koja su bila u obliku trokuta, omogućavala bolje upravljanje brodom, posebno kada je vjetar puhao iz različitih smjerova.⁴⁰

³⁷ Ibid.

³⁸ http://www.dgt.uns.ac.rs/materijali/istorijska_geografija/Istorijska-geografija-Vezbe-2.pdf

³⁹ <https://sh.wikipedia.org/wiki/Trirema>

⁴⁰ <https://ba.izzi.digital/DOS/95621/199304.html>

5.1.3. Srednji vijek

Srednji vijek, koji traje od otprilike 5. do 15. stoljeća, bio je razdoblje velikih političkih, društvenih i ekonomskih promjena u Europi. U ovom vremenskom okviru, pomorstvo je igralo ključnu ulogu u razvoju trgovine, istraživanja novih ruta i kultura. Upotreba vjetera u pomorstvu postala je još učinkovitija u ovom razdoblju, s inovacijama u dizajnu brodova i upotrebi jedara.⁴¹

Tijekom srednjeg vijeka razvijeni su različiti tipovi brodova, kao što su koge, nave, fregate karavele. Ovi brodovi su se razlikovali po veličini, obliku i konstrukciji, a svaki tip broda imao je specijalizaciju ovisno o svrsi — bilo za trgovinu, ribolov ili pomorske bitke. U srednjem vijeku, struktura i dizajn jedara su se značajno poboljšavali. Korištena su razna vrste jedara, uključujući kvadratna jedra koja su omogućila plovidbu s vjetrom (idealna za pomorstvo u otvorenim vodama) i latinska jedra, koja su bila u obliku trokuta i omogućila boljim upravljanjem brodovima tokom navigacije s vjetrom iz različitih smjerova. Upotreba jačih materijala poput vune, lana i sličnih tkanina doprinijela je izdržljivosti brodova i učinkovitosti jedara.⁴²



Slika 11. Koga⁴³

⁴¹ <https://povijest.hr/znanostitehnologija/kako-dijelimo-srednji-vijek/>

⁴² https://croatianhistory.net/etf/zuh/do1874/srv/srv_3.htm

⁴³ https://www.mozaweb.com/hr/Extra-3D_scene-Santa_Maria_15_stoljece-12045

5.1.4. Razdoblje otkrića

Razdoblje otkrića, koje se proteže otprilike od 15. do 17. stoljeća, obilježeno je intenzivnom pomorskom aktivnošću i istraživačkim putovanjima koja su dramatično promijenila svijet. Europski pomorci, motivirani ekonomskim interesima, željom za širenjem religije i potrebom za novim trgovinskim rutama, krenuli su u plovidbe izvan poznatog svijeta i istraživali nova mora i kontinente.⁴⁴

Tijekom razdoblja otkrića, brodogradnja je doživjela značajne promjene. Razvili su se novi tipovi brodova, uključujući karake i galijske. Ove jedrilice bile su veće, stabilnije i sposobnije za duža putovanja. Karake su imale dvije ili tri palube i bile su opremljene s nekoliko jedara, dok su galijske, s jednim ili dva jedra, plovile s ujednačenom brzinom. Upotreba kombinacije kvadratnih i latinskih jedara postala je uobičajena. Kvadratna jedra omogućila su plovidbu s punim vjetrom, dok su latinska jedra omogućila veću fleksibilnost u navigaciji s vjetrom iz različitih pravaca, što je bilo od odlučujuće važnosti za istraživačka putovanja.⁴⁵



Slika 12. Karaka⁴⁶

⁴⁴ https://hr.wikipedia.org/wiki/Velika_geografska_otkri%C4%87a

⁴⁵ <https://www.regate.com.hr/index.php/strucna-literatura/jedrenje-mornarske-vjestine/67-1-podigni-jedro-uhvati-vjetar/1533-otkrivanje-svijeta>

⁴⁶ <https://www.rinatavel.com/en/incentives/karaka/>

5.1.5. Prekretnica – 19. stoljeće

19. stoljeće bilo je razdoblje revolucionarnih promjena u tehnologiji i industriji, kao i period intenzivnog razvoja i transformacije u pomorstvu. Tijekom ovog vremena, industrijska revolucija počela je utjecati na brodogradnju, a razvoj parobroda značajno je promijenio paradigmu pomorskog prijevoza. Ipak, jedra i dalje su igrala važnu ulogu u pomorstvu, posebno u određenim sektorima. U 19. stoljeću, jedrilice su postale sve popularnije za trgovinu i putovanje. Veliki trgovački brodovi, poput klipera, dizajnirani su za brza putovanja, koristeći vjetar na najefikasniji način. Ovi brodovi imali su velike površine jedara i brze trupove, što je omogućavalo optimalno korištenje vjetra. Dok su parobrodi preuzeli primat u pomorstvu, galije i jedrenjaci su nastavili biti važne za trgovačke rute, posebno na rutama gdje je bilo potrebno manevriranje. Mnogi brodovi su kombinirali vesla i jedra, omogućujući fleksibilniju navigaciju prilagođenu uvjetima vjetra.⁴⁷

Razvoj inovativnih modela jedrenjaka i sposobnost kombinacije parne i vjetroenergije označavali su prelazak prema modernom pomorstvu. Upotreba vjetra kao obnovljivog izvora energije omogućila je održivi razvoj pomorske trgovine i ratnih strategija.

5.1.6. Moderno pomorstvo

Pomorski sektor suočava se s izazovima kao što su zagađenje, iscrpljivanje resursa i klimatske promjene, što je dovelo do ponovnog interesa za korištenje obnovljivih izvora energije, uključujući energiju vjetra.

Razvoj moderne brodogradnje

U 20. stoljeću, jedrilice su postale popularne za rekreaciju i natjecanja. Razvijeni su različiti modeli jedrilica, od malih jahti do velikih regatnih brodova, koji koriste vjetroenergiju kao glavni izvor pokreta. Brodovi za jedrenje ponovno su zadobili popularnost zbog ekoloških, sportskih i turističkih aspekata.⁴⁸

Moderni materijali kao što su kompoziti i lagani metali omogućili su izradu brodova koji su lakši, brži i izdržljiviji. Učinak jedara i dizajn su usavršeni, omogućavajući bolji kapacitet za hvatanje vjetra i smanjenje otpora.

⁴⁷ <https://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/pomgeograf/Brodarstvo%20svijeta%20i%20Hrvatske.pdf>

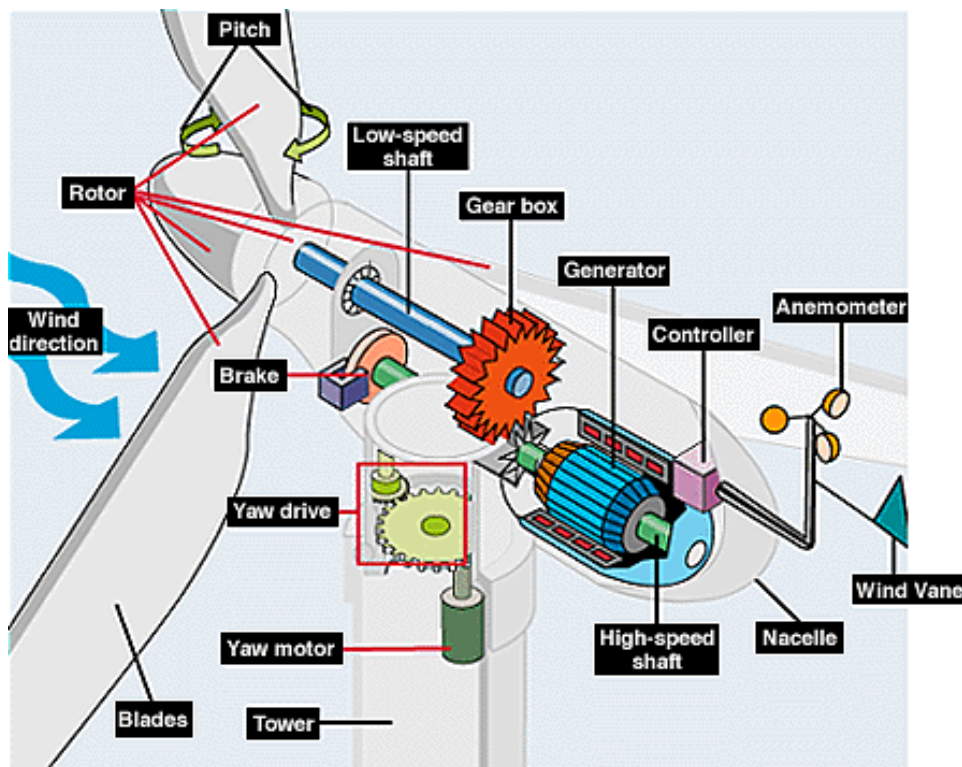
⁴⁸ <https://hrcak.srce.hr/file/12347>

5.2. Vjetroturbine

U današnjem svijetu, gdje se suočavamo s izazovima klimatskih promjena i iscrpljivanjem fosilnih goriva, vjetroenergija postaje sve važniji izvor čiste i obnovljive energije. Vjetroturbine, kao ključna tehnologija u iskorištavanju vjetroenergije, igraju vitalnu ulogu u proizvodnji električne energije.

5.2.1. Princip rada

Vjetroturbine su uređaji koji pretvaraju kinetičku energiju vjetra u mehaničku energiju, koja se zatim koristi za proizvodnju električne energije. Vjetroturbina se sastoji od nekoliko ključnih komponenti koje zajedno funkcioniraju kako bi pretvorile kinetičku energiju vjetra u električnu energiju.⁴⁹



Slika 13. Prikaz komponentni vjetroturbine ⁵⁰

- Rotor: sastoji se od lopatica koje su izrađene od laganih, ali čvrstih materijala (poput kompozita ili staklo-plastike). Rotor je odgovoran za hvatanje vjetra.

⁴⁹ https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroturbine#cite_note-1

⁵⁰ <https://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?start=3>

- Glavna osovina: osovina povezuje rotor s generatorom. Kada rotor rotira, osovina također počinje rotirati.
- Generator: ova komponenta pretvara mehaničku energiju rotacije osovine u električnu energiju putem elektromagnetne indukcije.
- Kontrolni sustav: ovaj sustav prati uvjete vjetra i automatski regulira smjer i nagib lopatica.
- Stub ili platforma: vjetroturbine su obično postavljene na visoke stubove kako bi se povećala učinkovitost hvatanja vjetra dajući bolji pristup sporazumu.⁵¹

5.2.2. Proces pretvorbe vjetroenergije u električnu energiju⁵²

Korak 1: Uzimanje vjetra

Kada vjetar puše, on zahvaća lopatice rotora. Ovisno o brzini vjetra, lopatice mogu biti dizajnirane tako da se zakreću pod pravim kutom prema smjeru vjetra kako bi maksimalno iskoristile kinetičku energiju.

Korak 2: Rotacija rotora

Lopatica rotora koja se okreće potiskuje zrak kroz njen oblik, stvarajući lift (smanjenje pritiska) na gornjoj strani lopatice. Ovo uzrokuje rotaciju rotora.

Korak 3: Okretanje glavne osovine

Površina rotora povezana je s glavnom osi. Kada rotor rotira, ta rotacija se prenosi na glavnu osovinu.

Korak 4: Aktivacija generatora

Glavna osovina je povezana s generatorom. Rotacijom osovine, generator počinje raditi. Većina generacijskih sustava koristi princip elektromagnetne indukcije, pri čemu se magnetsko polje kreće kroz zavojnice u generatoru, generirajući električnu energiju.

⁵¹ https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_turbine

⁵² <https://core.ac.uk/download/pdf/270102267.pdf>

Korak 5: Proizvodnja električne energije

Električna energija koju generira generator nakon toga se može prenijeti izravno u električni sustav ili pohraniti za kasniju upotrebu. Ako je turbina povezana s mrežom, generirana energija može se distribuirati potrošačima.

5.2.3. Sustavi praćenja vjetra

Vjetroturbine mogu imati sustave za praćenje vjetra koji omogućavaju optimizaciju performansi turbine:⁵³

- *Yaw* sustav: mehanizam koji omogućava turbini da se okreće u pravcu vjetra, osiguravajući da lopatice uvijek budu okrenute prema vjetru. To se obično postiže automatskim sustavima koji koriste anemometre za mjerenje brzine vjetra i vjetromjere za određivanje smjera vjetra.
- *Pitch* sustav: sustav za podešavanje nagiba lopatica (*pitch control*) omogućava promjenu kuta lopatica kako bi se maksimizirao pritisak u ovisnosti o uvjetima vjetra. U uvjetima s jakim vjetrom, lopatice se mogu zakrenuti kako bi se smanjila opterećenja, dok se pri slabijem vjetru zakreću tako da hvataju više kako bi se povećala efikasnost.

Prednosti i nedostaci korištenja vjetroenergije u brodarstvu

Tablica 2. Prednosti i nedostaci vjetroenergije u brodarstvu

Prednosti vjetroenergije	Nedostaci vjetroenergije
Smanjenje emisija	Ovisnost o vjetrovitim uvjetima
Smanjenje potrošnje goriva	Potreba za skladištenje dodatne opreme
Održivost	Mogući troškovi održavanja
Energetska sigurnost	Utjecaj na brzinu i rute
Poboljšanje imidža	Ograničena primjenjivost za velike brodove
Tehnološki napredak	Početni troškovi instalacije

⁵³ <https://www.keba.com/en/news/industrial-automation/pitch-and-yaw-systems-wind-turbine#:~:text=Currently%2C%20almost%20all%20wind%20turbines,the%20greatest%20possible%20energy%20yield.>

Korištenje vjetroenergije na brodovima ima niz prednosti. Prvo, smanjuje emisije jer je vjetar čist izvor energije, što znači manje stakleničkih plinova u usporedbi s fosilnim gorivima. Korištenje vjetra također smanjuje potrošnju goriva, što može rezultirati nižim operativnim troškovima. Budući da je vjetar obnovljiv i neiscrpan resurs, omogućava dugoročnu održivost i pruža konstantan izvor energije, smanjujući ovisnost o tržišnim cijenama fosilnih goriva.

Tehnološki napredak u području vjetroenergije, poput rotirajućih jedara, poboljšava učinkovitost iskorištavanja vjetra. Korištenje obnovljivih izvora energije može poboljšati imidž brodarskih kompanija među kupcima i investitorima, pokazujući njihovu posvećenost ekološkoj odgovornosti. Dodatno, moderni sustavi za vjetroenergiju su inovativni i prilagodljivi, što omogućava lakšu integraciju u postojeće brodove bez potrebe za potpunom rekonstrukcijom plovila.

Međutim, postoje i izazovi. Učinkovitost vjetroenergije ovisi o prisutnosti dovoljno jakog i stalnog vjetra, što može biti nepredvidivo i ovisno o vremenskim uvjetima. Sustavi za vjetroenergiju također zahtijevaju dodatnu opremu, što može predstavljati problem s prostorom na brodu. Održavanje ovih sustava može biti skupo i zahtjevno. Osim toga, oslanjanje na vjetar može utjecati na brzinu plovidbe i zahtijevati promjene u planiranju pomorskih ruta.

Početni troškovi instalacije vjetroenergetskih sustava su visoki, što predstavlja značajno početno ulaganje. Ovi sustavi također možda neće biti potpuno dovoljni za ispunjavanje energetske potrebe velikih teretnih brodova, što ograničava njihovu primjenjivost.

5.3. Primjeri korištenja vjetra kao izvor energije i pogona na brodovima

5.3.1. Shofu Maru

Brod *Shofu Maru* opremljen je sustavom *Wind Challenger*, koji iskorištava energiju vjetra putem teleskopskog jedra od staklo-plastike, produžujući se do 55 metara. Dovoljno je velik da transportira više od 80.000 tona ugljena, istovremeno kombinirajući gorivo i snagu vjetra za svoje kretanje. Očekuje se da će na putu od brodogradilišta u Japanu do Australije smanjiti potrošnju goriva za 5%, što odgovara količini od 25.000 litara goriva. Štoviše, procjenjuje se da bi na ruti prema Sjedinjenim Američkim Državama, zahvaljujući povoljnijim uvjetima vjetra na sjevernoj hemisferi, moglo doći do smanjenja potrošnje goriva i do 8%. Ovaj projekt ne

samo da dokazano doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova, već i predstavlja novi smjer u razvoju održivog brodarstva, pokazujući potencijal inovativnih rješenja u energetskej tranziciji.⁵⁴



Slika 14. Shofu Maru⁵⁵

Tijekom otprilike 18 mjeseci od isporuke *Shofu Maru* u listopadu 2022., *MOL (TOKYO-Mitsui O.S.K. Lines)* je kontinuirano mjerio performanse *Wind Challenger* sustava na stvarnim putovanjima i potvrdio da je *Wind Challenger* jedro smanjilo dnevnu potrošnju goriva do 17%, te u prosjeku od 5% do 8% po putovanju, kako je ranije najavljeno. *MOL* je postavio cilj postizanja neto nultih emisija stakleničkih plinova (GHG) do 2050. godine u okviru "*MOL Group Environmental Vision 2.2.*" Među glavnim akcijama za postizanje ovog cilja je "uvođenje dodatnih tehnologija za uštedu energije," a grupa planira lansirati 25 brodova opremljenih *Wind Challengerom* do 2030. godine, s povećanjem na 80 do 2035. godine.⁵⁶

5.3.2. *MV Canopée*

Inspiriran profilima krila zrakoplova iz aeronautičke industrije, *OceanWings* je patentirani, automatizirani sustav vertikalnih jedara koji se samostalno podižu i spuštaju, a omogućuje

⁵⁴ <https://swzmaritime.nl/news/2024/05/23/wind-challenger-saves-fuel-for-coal-carrier-shofu-maru/>

⁵⁵ <https://ship.energy/2022/10/07/mol-takes-delivery-of-hard-sail-equipped-coal-carrier/>

⁵⁶ <https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24063.html>

novim ili postojećim brodovima značajno smanjenje potrošnje goriva i pripadajućeg ugljičnog otiska, koristeći snagu prirode.⁵⁷

MV Canopée je Prvi svjetski hibridni teretni brod na vjetar, lansiran 2022. godine, posebno je dizajniran za transport elemenata rakete Ariane 6 iz europskih luka do Svemirskog centra Guiana u Kourou, Južna Amerika. Izvršio je svoje prvo transatlantsko putovanje u prosincu 2022. godine. Upravljan od strane francuske tvrtke Alizés, brod je dug 121 metar i širok 22 metra, s četiri krilna jedra koja se sastoje od dva kraka, jednog sprijeda i jednog straga. Ova jedra se mogu okretati 360 stupnjeva kako bi uhvatila vjetar pod pravim kutom, a njihovi dizajneri tvrde da generiraju daleko veću snagu od konvencionalnih jedara. Prema riječima graditelja broda, korištenje jedara omogućava brodu uštedu do 30% potrošnje goriva po putovanju. Brod koristi i vjetar i gorivo za pogon i prvi je hibridni teretni brod na jedra velike razmjere ikada konstruiran.⁵⁸



Slika 15. *MV Canopée*⁵⁹

⁵⁷ <https://www.vplp.fr/en/specials/oceanwings/>

⁵⁸ <https://www.offshore-energy.biz/worlds-first-hybrid-wind-powered-cargo-vessel-visits-port-canaveral-gallery/>

⁵⁹ <https://www.vplp.fr/en/maritime/canopee/>

5.3.3. *Anemos*

Anemos, najveći teretni brod na svijetu koji plovi sa jedrima, započeo je svoje inauguralno putovanje preko Atlantika, čime se označava značajan korak prema održivom brodarstvu. Brod je otputovao iz Francuske, a isporučio je 1.000 tona konjaka i šampanjca u New York. Ova moderna plovila ističu se ekološkim otiskom koji iznosi samo 10% emisija standardnih kontejnerskih brodova. Dug 81 metar, *Anemos* koristi napredne tehnologije pogona uz pomoć vjetra i funkcioniра uz minimalnu ljudsku intervenciju, oslanjajući se na automatizirane sustave i računalno dizajnirana riganja. Ova inovativna rješenja omogućuju transport jedne tone tereta na jedan kilometar s manje od 2 grama emisija ugljika, što je znatno manje od 20 grama po toni po kilometru koje emitiraju konvencionalni kontejnerski brodovi. Prema izjavama izvršnog direktora TOWT-a, francuske tvrtke koja stoji iza *Anemos*a, napredak u satelitskoj komunikaciji i tehnologiji usmjerenja učinio je vjetar pouzdanim izvorom pogona. Brod plovi brzinom od oko 19 kilometara na sat, s mogućnošću postizanja većih brzina pod različitim uvjetima.⁶⁰



Slika 16. *Anemos*⁶¹

Anemos je dio šire inicijative za razvoj osam plovila sposobnih za prijevoz ukupno 200.000 tona tereta širom svijeta, što bi moglo rezultirati smanjenjem emisija ugljika za procijenjenih

⁶⁰ <https://en.channeliam.com/2024/09/05/anemos-sustainable-cargo-ship/>

⁶¹ <https://www.marineinsight.com/shipping-news/worlds-largest-sailing-cargo-ship-completes-1st-crossing-across-atlantic/>

40.000 tona. Iako je puni ekološki utjecaj ovih brodova još uvijek u analizi, nedavna izvješća *Lloyd's Registera* ističu potrebu za standardiziranim kriterijima za validaciju ušteda ugljika, dok se predviđa da će 100 plovila u sljedećih nekoliko godina uključivati vjetrovi pogon. Brod također ima dva dizelsko-električna motora kao rezervu, no njegov glavni izvor pogona je vjetar.⁶²

5.4. Potencijal vjetroenergije

Energija vjetra u brodarstvu predstavlja ključan korak prema održivoj pomorskoj industriji i dekarbonizaciji globalnog transporta. U potrazi za postizanjem klimatskih ciljeva, pomorska industrija implementirala je različite strategije za smanjenje potrošnje energije i emisija štetnih plinova, među kojima se vjetroenergija ističe kao jedan od najperspektivnijih alternativnih izvora. Od drevnih vremena kada su jedra omogućavala istraživanje oceana, do modernih inovacija poput sustava Wind Challenger i broda Shofu Maru, vjetar je uvijek igrao bitnu ulogu u razvoju brodarstva.

S povijesnom perspektivom, jasno je da je korištenje vjetra evoluiralo. Iako su u prošlosti brodovi bili isključivo jedrilice, danas tehnološki napredni sustavi omogućuju kombinaciju vjetra s drugim izvorima energije, čime se postiže veća efikasnost i smanjenje potrošnje goriva. Primjeri kao što su MV Canopée i Shofu Maru pokazuju konkretne primjene vjetroenergije u riječnim i pomorskim operacijama, a njihova uspješna integracija s konvencionalnim metodama postavlja temelje za budućnost pomorskog transporta.

Iako puna tranzicija na flote pokretane vjetrom zahtijeva značajno vrijeme i trud, ulaganja u razvoj ovakvih tehnologija rastu. Pomorske kompanije aktivno istražuju mogućnosti korištenja vjetra kao dodatnog izvora energije, smanjujući tako svoj ugljični otisak i troškove. Zaključno, vjetroenergija predstavlja održivu i ekološki prihvatljivu alternativu koja ima potencijal značajno transformirati pomorsku industriju u skladu s globalnim ekološkim ciljevima.

⁶² <https://en.channeliam.com/2024/09/05/anemos-sustainable-cargo-ship/>

6. ENERGIJA VODE – HIDROENERGIJA

U današnjem svijetu, energija vode predstavlja značajan i održiv izvor energije za pomorsku industriju, koja se suočava s izazovima poput zagađenja i klimatskih promjena. Voda se može koristiti kao izvor energije u različitim aspektima brodarstva, bilo kroz primjenu hidroenergije za opskrbu brodova električnom energijom, bilo kroz inovativna rješenja kao što su sustavi za energiju plime, oseke i valova.⁶³

6.1. Energija plime i oseke

Energija plime i oseke koristi prirodne promjene razine mora uzrokovane gravitacijom Mjeseca i Sunca kako bi generirala energiju. Ova energija se smatra jednim od najpredvidljivijih obnovljivih izvora energije, jer su plimni ciklusi redoviti i lako se mogu modelirati.⁶⁴

Plima i oseka nastaju zbog gravitacijskih sila koje Mjesec i Sunce djeluju na Zemlju. Kada Mjesec prolazi iznad ili ispod određenih dijelova Zemlje, njegova gravitacijska privlačnost uzrokuje porast razine vode (plimu). Kada se Mjesec udaljava, razina vode opada (oseka). Ovaj ciklus se ponavlja otprilike svakih 12 sati.⁶⁵

6.1.1. Turbine za plimu

Turbine za plimu su uređaji dizajnirani za pretvaranje kinetičke energije vode, koja nastaje pomicanjem mora zbog plime i oseke, u električnu energiju. Postoji nekoliko vrsta turbina koje se koriste za ovaj cilj.⁶⁶

- Horizontalne turbine – ove turbine su slične vjetroturbinama, pri čemu vjetrovi pokreću rotor s lopaticama. Kada voda teče kroz turbine, ona pokreće rotor, koji je povezan s generatorom koji proizvodi struju. Kada voda prolazi kroz turbinu zbog promjene razine, smjer protoka može se prilagoditi. Ove turbine su obično postavljene na

⁶³ <https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works#:~:text=Hydropower%2C%20or%20hydroelectric%20power%2C%20is,or%20other%20body%20of%20water.>

⁶⁴ <https://www.ekologija.com.hr/energija-plime-i-oseke/>

⁶⁵ <https://www.hhi.hr/o-nama/projekti/morske-mijene-i-razina-jadrana-on-line#:~:text=Plima%20se%20definira%20kao%20vrijeme,jedan%20metar%20u%20sjevernom%20Jadranu.>

⁶⁶ https://hr.wikipedia.org/wiki/Plimne_turbine

morskom dnu u plimnim ušćima ili blizu obale gdje se očekuju velike promjene u razini vode.

- Vertikalne turbine - ove turbine imaju vertikalno postavljene osi i mogu se koristiti za učinkovito iskorištavanje plimnih struja iz svih smjerova. Idealne su za područja s promjenjivim ili turbulentnim strujama, jer mogu generirati energiju bez obzira na smjer vjetra ili plimne struje.

Orbital 2 je najsnažnija plimna turbina na svijetu, tvrtke *Orbital Marine Power*. Usidrena je na lokaciji *Fall of Warness* gdje podmorski kabel povezuje ovu jedinicu od 2 megavata s lokalnom električnom mrežom na kopnu. Ova plimna turbina može osigurati električnu energiju za 2.000 domaćinstava na godišnjem nivou.⁶⁷



Slika 17. *Orbital 2*⁶⁸

6.1.2. Plimne brane

Plimne brane su infrastrukturni objekti koji koriste razliku između plime i oseke za generiranje energije. One obično sadrže turbinske sustave unutar brane, koja se postavlja preko plimnog kanala ili ušća.

⁶⁷ <https://www.bug.hr/energetika/najmocnija-plimna-turbina-na-svijetu-strujom-ce-napajati-2000-domova-21069>

⁶⁸ <https://www.klix.ba/scitech/tehnologija/najsnaznija-plimna-turbina-na-svijetu-pocela-s-radom/210729012>

Plimne brane zadržavaju vodu u rezervoaru kada se razina mora podiže, a tijekom oseke putem turbina ispuštaju vodu. Ovo omogućava prolazak vode kroz turbine, generirajući električnu energiju. U vrijeme plime, voda se skuplja unutar brane, dok se pri oseci voda ispušta, prolazeći kroz turbinu i pokrećući generator.⁶⁹

6.2. Energija valova

Energija valova koristi kinetičku energiju valova na morskoj površini, koja nastaje zbog vjetra koji djeluje na vodu. Ovaj oblik obnovljive energije ima ogroman potencijal kao ekološki prihvatljiv izvor električne energije, koji može pomoći u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Energija koja se stvara kada valovi udaraju u obalu ili se kretanje vode prema gore i dolje koristi za pokretanje turbina ili generatora. Postoji nekoliko tehnologija koje se koriste za pretvaranje energije valova u električnu energiju.⁷⁰

Postoji nekoliko glavnih vrsta tehnologija koje se koriste za iskorištavanje energije valova, a to su: *Point absorbers*, *Oscillating water columns (OWC)*, *Attenuators* i Termalni konvertori.

6.2.1. *Point absorbers*

To su uređaji koji koriste energiju valova koji se nalaze na morskoj površini za generiranje električne energije. Ovi sustavi koriste pokrete vode, koji se javljaju zbog valova, kako bi generirali električnu energiju putem različitih mehaničkih sustava. Funkcioniraju koristeći uzgon (plutajuće pokrete) ili oscilacije, i sastoje se od dva dijela:⁷¹

- Plutajući dio - vrh uređaja, koji je obično ploveći, pomiče se gore-dolje ili naprijed-natrag pod utjecajem valova. Ovi pokreti se prenose na mehanizam koji proizvodi energiju.
- Generator - pretvaraju mehaničku energiju (pokrete valova) u električnu energiju.

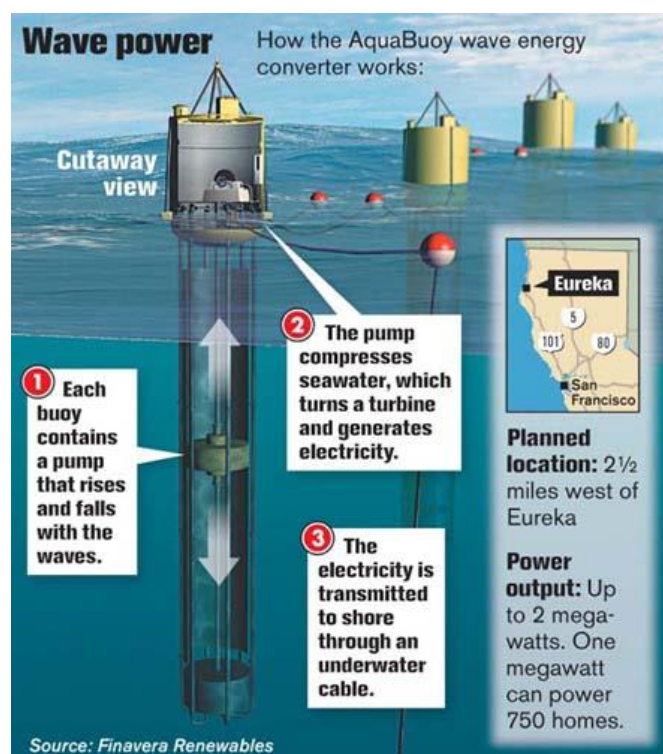
⁶⁹ https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_plimu_i_oseku

⁷⁰ <https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/wave-energy/>

⁷¹ <https://tethys-engineering.pnnl.gov/technology/point-absorber>

Primjer apsorbera

AquaBuOY je slobodno ploveći točni apsorber koji koristi energiju valova za proizvodnju električne energije. Ovaj uređaj reagira protiv podvodne reakcijske cijevi, koristeći pokret vode uzrokovan valovima kako bi generirao električnu energiju. Ovaj sustav uključuje različite tehničke aspekte koji omogućuju učinkovito iskorištavanje morskih resursa. *Point apsorberi* aerosoliziraju energiju valova kroz plovne dijelove povezane s hidrauličnim sustavima koji pokreću generatore. *AquaBuOY* uključuje ploveći dio koji se pomiče s valovima, povezan s hidrauličnim pumpama, koje zatim koriste energiju za generiranje električne energije.⁷²



Slika 18. *AquaBuOY*⁷³

AquaBuOY se sinkronizira s mrežom koristeći AC-DC-AC pretvarač s varijabilnom brzinom, a napon se povećava pomoću transformatora za povećanje napona. Fleksibilni kablovi povezuju uređaje s razdjelnikom na morskom dnu. Ovaj aspekt je standardan i ne izaziva značajne zabrinutosti. Budući da je *AquaBuOY* relativno mali uređaj, može se lako vući u obližnju luku

⁷² https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-AquaBuOY-wave-energy-technology_fig8_262116355

⁷³ https://www.reddit.com/r/ThingsCutInHalfPorn/comments/gtv5qo/the_aqua_buoy_wave_energy_converter_455_x_500/

radi glavnih aktivnosti održavanja. Da bi se odvio u obližnju luku, potrebno je da se dovede u horizontalni položaj. To se može postići korištenjem dizalice za dovođenje cijevi protiv reakcije u horizontalni položaj ili ispumpavanjem zraka u podvodne komore.⁷⁴

6.2.2. *Oscillating Water Columns (OWC)*

Sustavi koji koriste oscilacije (ljudanje) vode uzrokovane valovima za generiranje električne energije. Ovi sustavi su jednostavni u dizajnu i funkcionalnosti, a mogu se koristiti na različitim mjestima, uključujući obalu i *offshore* lokacije. OWC tehnologija je među najstarijim i najrazvijenijim sustavima za iskorištavanje energije valova.⁷⁵

OWC sustavi se sastoje od sljedećih komponenti: komora, turbina, generator i kontrola prozračivanja.

Princip rada

OWC sustavi temelje se na jednostavnom principu: kada valovi ulaze u komoru, oni uzrokuju promjene razine vode, što dovodi do promjene tlaka zraka unutar komore. Ovi tlakovi pokreću turbine, koje stvaraju električnu energiju. Radni ciklus OWC sustava:⁷⁶

- Ulaz valova: kada val uđe u komoru, voda se pomiče gore-dolje. Ova oscilacija rezultira promjenom tlaka u komori.
- Povećanje tlaka: kada se razina vode podiže, tlak se povećava i prisiljava zrak kroz turbinu koja generira energiju.
- Smanjenje tlaka: kada se val povlači, voda se spušta, stvarajući područje niskog tlaka koje ponovno omogućuje skretanje zraka kroz turbinu u suprotnom smjeru, stvarajući električnu energiju.

Primjeri OWC sustava

Portlandska industrijska kompanija Vigor završila je izgradnju prvog obnovljivog uređaja za energiju valova, *OE35 Buoy*, koja je razvijena u suradnji s irskom kompanijom Ocean Energy.

⁷⁴ https://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/14-15/Wave_Energy/point-absorber.html

⁷⁵ <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oscillating-water-column>

⁷⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121007590>

Ova plutača teži 826 tona i dimenzija je 125 stopa u dužinu i 59 stopa u širinu, s gazom od 31 stopu. Ima potencijalnu kapacitet od do 1,25 megavata električne energije.⁷⁷



Slika 19. OE35 Buoy⁷⁸

Plutača je dizajnirana u obliku "L", s dugom otvorenom komorom koja je smještena ispod razine mora i turbinom iznad vode. Donji dio uređaja otvoren je prema moru, što zarobljava veliki volumen zraka unutar uređaja. Dok valovi osciliraju, to prisiljava zračni tlak unutar uređaja, koji se koristi za pokretanje ugrađene turbine za proizvodnju električne energije. Osim toga, OE35 može generirati električnu energiju ne samo kada valovi udaraju u njega, već i kada se povlače, zahvaljujući komponenti poznatoj kao Wells turbina. Kada se voda povuče, stvara se vakuum i zrak ulazi kako bi ga ispunio, održavajući turbinu u pokretu u istom smjeru, a ciklus se ponavlja. Jedini pokretni dio je rotor turbine, koji se nalazi iznad valova.⁷⁹

6.2.3. Attenuatori

Attenuatori su uređaji koji koriste pokrete i oscilacije valova kako bi generirali električnu energiju. Oni se sastoje od više povezanih dijelova koji se pokreću svaki put kada val prolazi. Kada val uzburka površinu, dijelovi sustava se pomiču, stvarajući relativne pokrete unutar

⁷⁷ <https://wedusea.eu/wave-energy/our-wave-energy-technology/>

⁷⁸ <https://newatlas.com/energy/oceanenergy-oe35-wave-power/>

⁷⁹ Ibid.

sustava. Sastav *attenuatora* obično se sastoji od segmenata ili dijelova koji su vezani jedni za druge s fleksibilnim spojevima. Ovi dijelovi su slobodni da se kreću u odnosu jedni na druge, što omogućuje hvatanje više kinetičke energije.⁸⁰

Kada val udari u *attenuator*, dolazi do pomaka dijelova, što uzrokuje pokret mehaničkih sustava unutar uređaja. Ovi pokreti mogu aktivirati hidraulične sustave ili direktno pokrenuti turbine. Pokreti koji se generiraju tijekom osciliranja vode koriste se za pokretanje generatora, koji proizvodi električnu energiju.

Primjer Attenuatora

Uređaj *Wavestar* crpi energiju iz valne energije pomoću plutača koje se dižu i spuštaju s pokretima valova. Plutače su povezane rukama s platformom koja stoji na nogama učvršćenim na morskom dnu. Kretanje plutača prenosi se putem hidraulike na rotaciju generatora, što rezultira proizvodnjom električne energije.



Slika 20. Wavestar Attenuator ⁸¹

⁸⁰ <https://www.nrel.gov/news/program/2022/new-tool-helps-researchers-make-the-most-of-wave-power.html#:~:text=Attenuators%E2%80%94multisegment%20devices%20that%20float,rotation%20or%20a%20hydraulic%20pump>

⁸¹ <https://wavestarenergy.com/>

Wave Star prikuplja energiju prateći kretanje valova. Valovi se kreću duž uređaja, uzdižući 20 plutača redom. Na taj način pokreće motor i generator, što omogućuje neprekidnu proizvodnju energije i glatki izlaz. Ovo je radikalno novi standard i jedinstven koncept u energiji valova; to je jedan od rijetkih načina za pretvaranje fluktuirajuće snage valova u brzu rotaciju potrebnu za generiranje električne energije.⁸²

6.2.4. Termalni konvertori

Termalni konvertori koriste razlike u temperaturi između površinskih i dubokih slojeva oceana za proizvodnju električne energije. Ova tehnologija se najčešće koristi u *ocean-thermal energy conversion* (OTEC) sustavima, a predstavljaju jedan od načina iskorištavanja obnovljivih izvora energije iz mora.⁸³

Princip rada

Ocean-Thermal Energy Conversion (OTEC) sustavi koriste temperaturne razlike koji se javljaju u oceanu⁸⁴:

- Hladna voda: Ova voda dolazi iz dubokih slojeva oceana, gdje je temperatura znatno niža.
- Topla voda: Ova voda dolazi s površine oceana gdje se zagrijava sunčevom energijom.

Proces konverzije se odvija u 3 ciklusa⁸⁵:

- Ciklični proces: OTEC sustavi koriste vodu za pokretanje sustava. Topla voda iz površinskog sloja koristi se za isparavanje specifičnog radnog fluida (npr. amonijaka), koji ima nisku temperaturu isparavanja.

⁸² <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/wave-star-hansthalm#:~:text=%C2%A9%20OpenStreetMap%20contributors%20Description,secured%20to%20the%20sea%20floor.>

⁸³ <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-conversion#:~:text=The%20thermal%20conversion%20processes%20use,fuel%20wood%20grows%20more%20quickly.>

⁸⁴ [https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/otec/#:~:text=Ocean%20Thermal%20Energy%20Conversion%20\(OTEC,between%20cold%20and%20warm%20water.](https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/otec/#:~:text=Ocean%20Thermal%20Energy%20Conversion%20(OTEC,between%20cold%20and%20warm%20water.)

⁸⁵ [https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/ocean-thermal-energy-conversion.php#:~:text=Ocean%20thermal%20energy%20conversion%20\(OTEC,surface%20water%20of%20the%20ocean.](https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/ocean-thermal-energy-conversion.php#:~:text=Ocean%20thermal%20energy%20conversion%20(OTEC,surface%20water%20of%20the%20ocean.)

- Isparavanje: kada topla voda uđe u isparivač, radni fluid isparava i prelazi u plinovito stanje. Ovaj plin pokreće turbinu koja je povezana s generatorom, proizvodeći električnu energiju.
- Kondenzacija: nakon prolaska kroz turbinu, hladni radni fluid se kondenzira u tekuće stanje pomoću hladne duboke morske vode. Ovaj tekući radni fluid se zatim vraća u isparivač, ponavljajući ciklus.

6.3. Primjena hidroenergije na brodovima

Provedeno je mnoštvo istraživanja ali još uvijek nije pronađen pravi način iskorištavanja energije valova kao pogona broda. Jedan od takvih pokušaja dogodio se 2007. godine kada je Kenichi Horie, aktivist za zaštitu okoliša i promicatelj "zelene" energije, konstruirao katamaran od recikliranog materijala opremljen mehanizmom za iskorištavanje energije valova.⁸⁶



Slika 21. Katamaran koji iskorištava energiju valova⁸⁷

⁸⁶<https://web.archive.org/web/20100909112258/http://afp.google.com/article/ALeqM5g0JoaEAMTHqfOtI2MAFNrhmW646A>

⁸⁷ <https://www.proboat.com/2010/02/wave-power-february-2010/>

Ovaj katamaran bio je dug 9,5 metara, širok 3,5 metra i imao je istisninu od 3 tone. Horie je s ovim plovilom prešao 3,780 nautičkih milja od Havaja do Japana u razdoblju od 110 dana, koristeći isključivo energiju valova, pri čemu je postigao prosječnu brzinu od 1,5 čvorova.⁸⁸

Projekat *ArchiSolar* dizajniran je da koristi energiju valova za pogon broda. Kroz inovativni dizajn, brod pretvara kretanje i uzburkanost mora u energiju koja pokreće brod. Ovaj koncept uključuje sustav koji omogućava da se relativni pokreti *floata* (plovnih tijela) na brodu pretvaraju u hidraulički pritisak, koji se zatim koristi za pokretanje motora i generiranje električne energije. Također, brod je opremljen dodatnim sustavima, poput vjetroturbina i solarnih panela, koji dodatno doprinose proizvodnji energije.⁸⁹



Slika 22. *ArchiSolar*⁹⁰

⁸⁸<https://web.archive.org/web/20100909112258/http://afp.google.com/article/ALeqM5g0j0aEAMTHqfOtI2MAFNrhmW646A>

⁸⁹ <https://www.voileetmoteur.com/bateaux-a-moteur/actualites/archisolar-le-pentamaran-houlomoteur/19191>

⁹⁰ <https://www.voileetmoteur.com/bateaux-a-moteur/actualites/archisolar-le-pentamaran-houlomoteur/19191/attachment/archisolar-pentamaran-navire-du-futur-energie-vagues>

7. ENERGIJA VODIKA

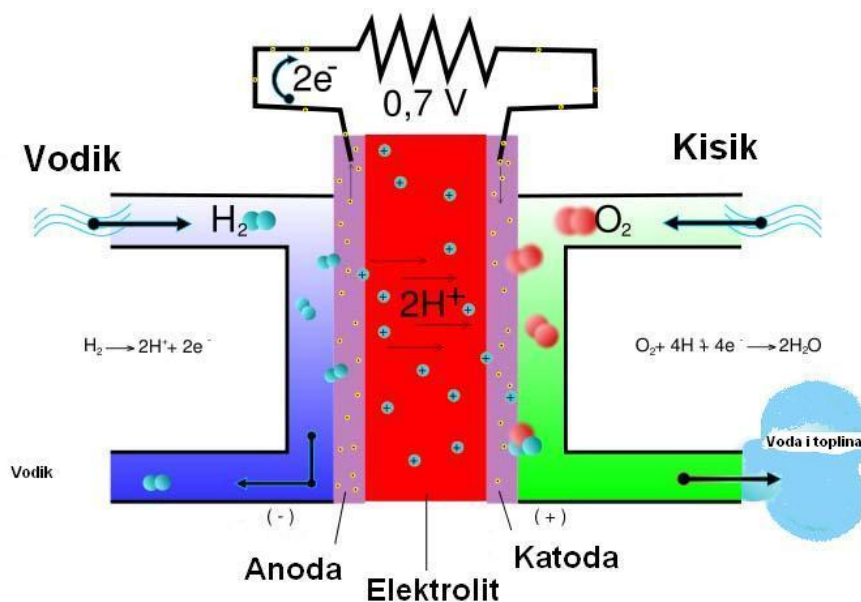
Energija vodika se smatra jednim od najperspektivnijih obnovljivih izvora energije za brodarstvo, zbog svoje sposobnosti da smanji emisije stakleničkih plinova i poveća održivost u pomorskoj industriji. Vodik, kao čisti izvor energije, može se koristiti u brodovima kao gorivo za pogon motora ili u gorivnim ćelijama za generaciju električne energije.⁹¹

7.1. Principi rada vodikovih sustava

Vodik se može koristiti u gorivnim ćelijama za proizvodnju električne energije ili kao pogonsko gorivo u konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem.

7.1.1. Gorivne ćelije

Gorivne ćelije su uređaji koji pretvaraju kemijsku energiju vodika i kisika iz zraka u električnu energiju putem elektrokemijske reakcije. Gorivne ćelije se sastoje od anode, katode i elektrolita. Anoda je pozitivna elektroda, dok je katoda negativna elektroda. Elektrolit je materijal koji provodi ione, ali ne provodi električnu struju.⁹²



Slika 23. Prikaz rada gorivne ćelije⁹³

⁹¹https://www.vanis.hr/hr/vodik/vodikova_energija.htm

⁹²<https://www.fchea.org/fuelcells#:~:text=A%20fuel%20cell%20is%20a,electricity%2C%20heat%2C%20and%20water.>

⁹³ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Goriva%C4%87elija.JPG>

U gorivnim ćelijama, vodik (H_2) ulazi u anodu, dok kisik (O_2) ulazi u katodu. Na anodi, vodik se razgrađuje na protone i elektrone. Elektroni putuju kroz vanjski krug (generirajući električnu energiju), dok protoni prolaze kroz protonsku membranu koja ih odvaja od katode. Na katodi, protoni se spajaju s elektronom iz vanjskog kruga i kisikom, stvarajući vodu (H_2O) kao otpadni produkt. Ovaj proces ne emitira štetne tvari, čime je gorivna ćelija ekološki prihvatljiva. Električna energija stvorena kroz ovaj proces može se koristiti za napajanje brodskih sustava, elektromotora ili drugih električnih uređaja na brodu.⁹⁴

Tablica 3. Prednosti i nedostaci gorivnih ćelija

PREDNOSTI	
Visoka učinkovitost	Gorivne ćelije postižu učinkovitost konverzije od 40% do 60%, a ponekad i više u kombinaciji s drugim tehnologijama.
Niska emisija	Kao jedini nusproizvod, vodena para čini ih čistim izvorom energije, smanjujući emisije stakleničkih plinova.
Fleksibilnost	Mogu se koristiti u raznim aplikacijama, uključujući automobile, javni prijevoz, pomorske sustave i industrijske primjene.
Brzo punjenje	Omogućuju brzo punjenje u usporedbi s baterijama, što ih čini pogodnim za aplikacije s ograničenim vremenom punjenja.
NEDOSTACI	
Troškovi	Visoki troškovi materijala, poput platine za katalizator, otežavaju razvoj i proizvodnju gorivnih ćelija.
Infrastruktura	Nedostatak razvijene infrastrukture za opskrbu vodikom može otežati širu primjenu.
Skladištenje vodika	Vodik zahtijeva posebne spremnike zbog niske gustoće i zapaljivosti, što predstavlja logistički izazov

⁹⁴ Ibid.

7.1.2. Izgaranje vodika

Izgaranje vodika u motorima s unutarnjim izgaranjem (ICE) predstavlja alternativni način korištenja vodika kao goriva u brodovima. Vodik se može koristiti kao "drop-in" gorivo u postojećim motorima, ali zahtijeva modifikacije zbog različitih fizičkih svojstava vodika u usporedbi s dizelom ili benzinom. Kada se vodik miješa sa zrakom i zapali u motoru, on stvara visoke temperature i pritisak, svojstva koja pokreću klipne ili turbine. Ovaj proces stvara energiju koja se može koristiti za pogon broda. Dok izgaranja vodika proizvodi nula emisija CO₂, može doći do stvaranja dušikovih oksida (NO_x) u procesu izgaranja uz prisutnost dušika iz zraka, što zahtijeva dodatne troškove kontrole emisija.⁹⁵

Vodik se može proizvesti elektrolizom vode, što uključuje korištenje električne energije za razdvajanje vode na vodik i kisik. Kada se koristi energija iz obnovljivih izvora, kao što su solarni ili vjetroenergetski sustavi, proizvodnja vodika postaje održiva. Vodik se može dobiti iz prirodnog plina putem procesa reformiranja, ali ova metoda nije dekarbonizirana jer emitira CO₂.⁹⁶

7.2. Prednosti korištenja vodika u brodarstvu

Korištenje vodika kao pogonskog goriva nudi brojne prednosti, koje se protežu od smanjenja negativnog utjecaja na okoliš do povećanja energetske učinkovitosti i ekonomske održivosti, a te prednosti su⁹⁷:

Smanjenje emisija stakleničkih plinova

Korištenje vodika, posebno kada se proizvodi putem obnovljivih izvora (npr. elektrolizom s energijom iz vjetra ili sunca), rezultira u gotovo nultim emisijama stakleničkih plinova. Kada se vodik sagorijeva ili koristi u gorivim ćelijama, jedini otpadni produkt je voda, što značajno smanjuje utjecaj brodova na globalno zagrijavanje.

⁹⁵ <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2020-11-hydrogen-combustion-explained#:~:text=In%20the%20case%20of%20hydrogen,replaces%20its%20fossil%20fuel%20counterpart.>

⁹⁶ <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m05/j03/index.html>

⁹⁷ <https://www.plugpower.com/hydrogen/hydrogen-adoption/benefits-of-hydrogen-power/#:~:text=Hydrogen%20is%20an%20optimal%20energy,compared%20to%20internal%20combustion%20engines.>

Povećanje energetske učinkovitosti

Vodik ima visoku energetska gustoću po kilogramu. To znači da može pružiti veliku količinu energije u usporedbi s fosilnim gorivima, čime se smanjuje potreba za velikim skladištem goriva na brodovima.

Održiva proizvodnja

vodik se može proizvoditi iz raznih obnovljivih izvora, poput solarne, vjetroenergije i biomasne energije, čime se povećava energetska neovisnost i smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima.

Potencijalna ekonomska prednost

Kako se tehnologije za proizvodnju i skladištenje vodika razvijaju, očekuje se da će cijena vodika opadati, čineći ga ekonomičnijim izborom u usporedbi s konvencionalnim gorivima. Dugoročno, brodovi koji koriste vodik mogu ostvariti značajne uštede na troškovima goriva.

Fleksibilnost primjene

Vodik se može koristiti za pogon raznih vrsta plovila, uključujući putničke brodove, teretne brodove i ribarske brodove, čime se otvara širok spektar mogućnosti za njegovu primjenu.

Povezanost s drugim obnovljivim izvorima energije

Vodik se može koristiti u kombinaciji s drugim obnovljivim izvorima energije, kao što su solarni i vjetroenergetski sustavi, stvarajući hibridne energetske sustave koji koriste porast različitih izvora energije za optimizaciju operacija brodova.

7.3. Negativne strane korištenja vodika

Industrija se mora fokusirati na razvoj mjera sigurnosti i rješenja za skladištenje prije nego što vodik postane održivo i skalabilno gorivo. Neke od izazova i negativnih strana su⁹⁸:

⁹⁸ <https://sigmaearth.com/hydrogen-energy-advantages-and-disadvantages/>

Visoki troškovi proizvodnje i skladištenja

Proizvodnja vodika, osobito "zelene" verzije dobivene iz obnovljivih izvora, može biti skupa. Također, skladištenje vodika pod visokim tlakom ili u tekućem obliku zahtijeva posebne i skupe spremnike.

Infrastruktura

Trenutno nedostaje razvijene infrastrukture za distribuciju i punjenje vodika, što otežava njegovo šire usvajanje, posebno u udaljenim ili slabije razvijenim područjima.

Sigurnosni rizici

Vodik je zapaljiv plin i može biti opasan ako se ne rukuje ispravno. Postoji rizik od eksplozije ili curenja, što zahtijeva rigorozne sigurnosne mjere.

Energetska gustoća

Iako vodik ima visoku energetska gustoću po masi, niska volumenska gustoća može otežati njegovo skladištenje, posebno u brodovima gdje je prostor ograničen.

Kompleksnost tehnologije

Vodikovi sustavi su često složeniji od tradicionalnih motora s unutarnjim izgaranjem, što može otežati održavanje i zahtijevati dodatnu obuku za osoblje.

Regulatorni i pravni izazovi

Korištenje vodika kao goriva može se suočiti s različitim regulatornim izazovima i zakonodavnim preprekama, što može usporiti njegovo usvajanje u industriji.

7.4. Primjeri primjene vodika na brodovima

U posljednjih nekoliko godina, vodik kao izvor energije dobiva sve više pažnje u pomorskoj industriji. Iako su tehnologije još uvijek u razvoju, postoje brojni primjeri brodova i projekata koji koriste ili istražuju upotrebu vodika.

7.4.1. Energy Observer

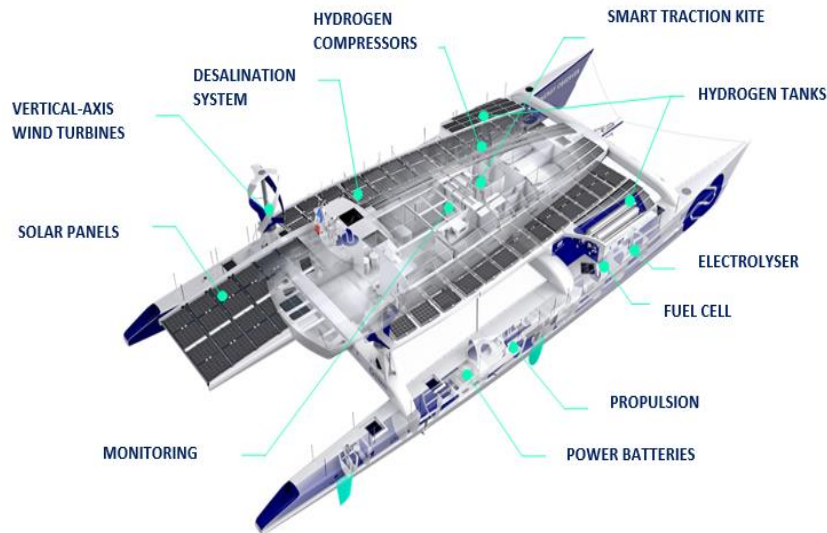
Energy Observer je projekt koji se fokusira na eksperimentalno plovilo i njegovu ekspediciju, a kojem je glavni cilj pronalaženje konkretnih, inovativnih i uspješnih rješenja u svrhu energetske tranzicije. Zahvaljujući svojim tehnologijama, ovo je plovilo koje može proizvoditi dekarbonizirani vodik na brodu iz morske vode i koristiti mješavinu energije koja se oslanja na obnovljive izvore. Opremljen je sustavom gorivih ćelija koji omogućuje proizvodnju električne energije iz vodika. Dizajniran u suradnji s timom brodskih arhitekata i CEA-LITEN iz Grenobla, ovo eksperimentalno plovilo bit će prvo koje će imati autonomne mogućnosti za proizvodnju vodika na brodu bez emisije stakleničkih plinova, koristeći obnovljive izvore energije. Brod će proizvoditi i pohranjivati vodik koristeći morsku vodu zahvaljujući mješavini energije koja uključuje:⁹⁹

Tablica 4. Prikaz sustava *Energy Observera*

Element sustava	Specifikacije
Autonomne mogućnosti	Proizvodnja vodika bez emisije stakleničkih plinova koristeći obnovljive izvore energije
Solarni paneli	3 vrste, ukupna površina 130 m ² , 21 kW vršna snaga
Vjetroturbine	2 vertikalne vjetroturbine, 2 x 1 kW
Vučna zmajaska krila	1 kom.
Reverzibilni električni motori	2 motora s 41 kW snage za vodikaciju.
Litij-baterija	1 baterija, kapacitet 106 kWh
Desalinizator	1
Elektrolizer	1
Kompresor	1
Gorivna ćelija	1 ćelija, 22 kW
Kapacitet vodika	62 kg vodika
Težina sustava	Ukupna težina 2100 kilograma

⁹⁹ <https://web.archive.org/web/20161018233621/http://www.lepaysmalouin.fr/2016/09/01/energy-observer-le-navire-du-futur-se-devoile/>

Energy Observer je prvi brod na vodik koji je oplovio svijet, završivši šestogodišnju ekspediciju koja je obuhvatila 50 zemalja i 101 stanicu, uz nultu emisiju stakleničkih plinova i bez emisija sitnih čestica. Njegova Odiseja za budućnost ima za cilj educirati, podići svijest i pronaći inovativna rješenja za ekološku tranziciju.¹⁰⁰



Slika 24. *Energy Observer* i njegove komponente¹⁰¹

7.4.2. *MV Sea Change*

Prvi svjetski komercijalni putnički trajekt na 100% vodikov pogon, *MV Sea Change*, služi kao revolucija u trajektnom prometu. Ovaj katamaran može prevoziti do 75 putnika duž obale između Pier 41 i trajektnih terminala u centru San Francisca. Za razliku od trenutnih trajekata na dizelski pogon koji ispuštaju zagađivače, trajekt *Sea Change* proizvodi samo toplinu i vodenu paru kao nusprodukte, čime se ističe kao ekološki prihvatljivo rješenje. *MV Sea Change* može putovati oko 300 nautičkih milja i raditi 16 sati prije nego što zatreba ponovno punjenje, a gorivne ćelije na vodik proizvode električnu energiju kombiniranjem kisika i vodika u elektrokemijskoj reakciji. Ovaj projekt, koji je financiran i upravljan od strane *SWITCH Maritime*, predstavlja značajan korak prema smanjenju emisija u pomorskoj industriji, koja proizvodi gotovo 3% ukupnih emisija stakleničkih plinova u svijetu.¹⁰²

¹⁰⁰ <https://www.agenda-2030.fr/en/agenda-2030/france/article/energy-observer-the-boat-ambassador-for-the-sustainable-development-goals>

¹⁰¹ <https://www.cea.fr/english/Pages/News/CEA-designs-the-energy-system-for-Energy-Observer--cutting-edge-technology-for-an-innovative-project-.aspx>

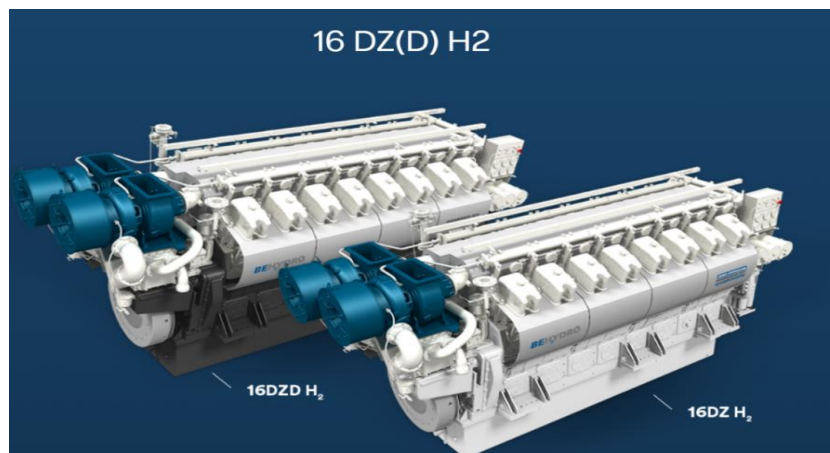
¹⁰² <https://indianexpress.com/article/technology/science/worlds-first-hydrogen-powered-commercial-ferry-launches-in-san-francisco->



Slika 25. *MV Sea Change*¹⁰³

7.4.3. *BeHydro* motor i uporaba na brodovima

BeHydro motor je inovativni motor koji može koristiti vodik kao gorivo, kao i tradicionalna fosilna goriva. Ovi motori su dizajnirani s ciljem smanjenja emisija i povećanja energetske učinkovitosti, te predstavljaju značajan korak prema održivijem pomorskom prijevozu. *BeHydro* motori su dizajnirani kao motori s duplim gorivom, što znači da mogu koristiti kombinaciju vodika i fosilnih goriva (kao što je dizelsko gorivo).



Slika 26. *BeHydro* Motor¹⁰⁴

9451865/#:~:text=The%20world's%20first%20commercial%20passenger,ferry%20terminal%20starting%20July%202019.

¹⁰³ <https://x.com/hydrogfam/status/1401149120006574080>

¹⁰⁴ <https://www.behydro.com/engines/16-dzd-h2>

Postoje 4 vrste *BeHydro* motora koja su u uporabi, a oni su prikazani u sljedećoj tablici.¹⁰⁵

Tablica 5. Vrste i specifikacije *BeHydro* motora

Vrsta motora	6DZ(D) H2	8DZ(D) H2	12DZ(D) H2	16 DZ(D) H2
Konfiguracija motora	6-cilindrični inline motor	8-cilindrični inline motor	12-cilindrični V motor	16-cilindrični V motor
Raspon snage	Do 1,000 kWm (1360 HP)	Do 1,335 kWm (1,810 HP)	Do 2,000 kWm (2,720 HP)	Do 2,670 kWm (3,630 HP)
Radni ciklusi	Četverotaktni	Četverotaktni	Četverotaktni	Četverotaktni
Obujam	95.71 L	127.6 L	191.5 L	255.2 L
Suha težina otprilike	10,620 kg	13,905 kg	18,000 kg	21,750 kg

Hydrotug

Hydrotug 1 ima dva inovativna *BeHydro* motora s duplim gorivom koji mogu raditi na vodik ili tradicionalno gorivo. Ovaj vučni brod dio je programa zelene tranzicije flote luke Antwerpen-Bruges, s ciljem postizanja klime-neutralne luke do 2050. godine. S duljinom od 30,17 metara, širinom od 12,5 metara i težinom od 678,8 tona, *Hydrotug 1* ima vučnu snagu od 65 tona. Može pohraniti 415 kg komprimiranog vodika u 54 plinske boce i uklanja emisije ekvivalentne 350 automobilima.¹⁰⁶

¹⁰⁵ <https://www.behydro.com/>

¹⁰⁶ <https://cmb.tech/news/hydrotug-the-worlds-first-hydrogen-powered-tugboat>



Slika 27. Hydrotug ¹⁰⁷

Hydroville

Hydroville je prvi certificirani putnički brod na vodik, kojeg pokreću dizelski motori. Razvila ga je tvrtka CMB Technologies za rad na rijeci Scheldt u luci Antwerpen. Ovaj brod, nazvan prema svojstvu „vodeni grad“, služi kao platforma za demonstraciju vodikovih tehnologija. *Hydroville* je isporučen u studenom 2017. godine i dobio je Certifikat klase za sagorijevanje dizela i vodika u dva motora. Brod ima dužinu od 14 m, širinu od 4,2 m i maksimalnu brzinu od 27 čvorova. Može primiti do 16 putnika i posadu od dva člana, a nudi različite konfiguracije sjedala. *Hydroville* koristi *BeHydro* dva motora s unutarnjim sagorijevanjem, proizvodeći ukupnu snagu od 441 kW, s kapacitetom goriva od 12 rezervoara vodika i dva rezervoara dizela.¹⁰⁸

¹⁰⁷ <https://shipsmonthly.com/news/worlds-first-hydrogen-powered-tugboat-hydrotug-1-ready-to-begin-operations/>

¹⁰⁸ <https://www.ship-technology.com/projects/hydroville-passenger-ferry/>



Slika 28. Hydroville ¹⁰⁹

7.4.4. Prvi vodikov vanbrodski pomorski motor Yamaha

Yamaha je uvela prvi vodikov vanbrodski "pomorski motor", označavajući značajan korak prema dekarbonizaciji pomorstva. U suradnji s *Roush* i *Regulator Marine*, razvili su vanbrodsku jedinicu baziranu na snažnom Yamaha XTO modelu. Ova inovacija ističe potencijal vodika kao goriva s nulnim emisijama u rekreativnim brodovima.

Vodikov motor kao što je ovaj razvijen od strane Yamahe djeluje na principu korištenja vodika kao goriva. U osnovi, vodik se pohranjuje u spremnicima na brodu i koristi se u motoru gdje dolazi do kemijske reakcije s kisikom u zraku. Ova reakcija ubacuje vodik u cilindar, proizvodi energiju koja pokreće klipove motora, slično kao kod tradicionalnih motora s unutarnjim izgaranjem, pri čemu se kao nusproizvod stvara vodena para umjesto ugljičnog dioksida.

¹⁰⁹ <https://www.ship-technology.com/projects/hydroville-passenger-ferry/?cf-view>



Slika 29. Yamaha vanbrodski motor na vodik ¹¹⁰

Zahvaljujući ovoj tehnologiji, motori imaju potencijal da budu ekološki prihvatljiviji sa smanjenim emisijama štetnih plinova. Yamaha surađuje s *Roush* za optimizaciju sustava goriva i integracije kako bi osigurali visoku učinkovitost i performanse motora.¹¹¹

7.5. Potencijal vodika

Korištenje vodika kao izvora energije predstavlja prometnu priliku za unapređenje održivosti u različitim industrijama, s posebnim naglaskom na pomorstvo. Njegove prednosti, uključujući smanjenje emisija stakleničkih plinova, povećanje energetske učinkovitosti i mogućnost korištenja obnovljivih izvora, čine vodik privlačnom alternativom tradicionalnim fosilnim gorivima. Iako postoje izazovi poput visokih troškova, nedostatka infrastrukture i sigurnosnih rizika, kontinuirani razvoj tehnologije i poboljšanje infrastrukture mogu doprinijeti prevladavanju tih prepreka. Integracija vodika s drugim obnovljivim izvorima energije može dodatno osvježiti energetski sektor i potaknuti promjenu prema održivijim praksama. U konačnici, potpora istraživanju, razvoju i regulaciji vodikovih tehnologija bitna je za ostvarivanje punog potencijala vodika kao čistog i održivog izvora energije.

¹¹⁰ <https://more.hr/blog/yamaha-u-miamiju-predstavila-prototip-izvanbrodskog-motora-na-vodik/>

¹¹¹ <https://www.naucat.com/hr/vijesti/nauticka-industrija/yamaha-predstavila-izvanbrodski-motor-na-vodik-240305>

8. ENERGIJA BIOMASE

Energija biomase predstavlja jedan od obnovljivih izvora energije koji se dobiva iz organskih materijala, uključujući biljni i životinjski otpad, drvo, ostatke poljoprivrede i druge biološke materijale. Korisna energija se može dobiti procesima kao što su sagorijevanje, fermentacija ili kemijska konverzija. U brodarstvu, biomasa se može koristiti kao gorivo za plovila, čime se smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova.¹¹²

8.1 Proizvodnja biomase

Biomasa se može proizvoditi iz različitih izvora, uključujući¹¹³:

- Agrikulturni otpad: ostatak biljaka koji se koristi u poljoprivredi, poput slame i stajljika.
- Otpad drva: ovaj otpad uključuje sječu drveća, ostale drvene proizvode i ostatke drvenih materijala.
- Životinjski otpad: uključuje gnoj i druge otpadne materijale iz stočarstva.
- Specijalizirane energetske kulture: mnoge vrste biljaka, poput energetskih trstoletnih trava ili uljane repice, koje se uzgajaju isključivo za proizvodnju biogoriva.

Proizvodnja energije biomase se ostvaruje putem različitih metoda kao što su¹¹⁴:

- Sagorijevanje: biomasa se sagorijeva kako bi se oslobodila toplina, koja se može koristiti za generiranje električne energije ili za direktno grijanje.
- Fermentacija: ova metoda uključuje biološku konverziju biomase u bioplina ili biogoriva, koji se potom mogu koristiti kao gorivo.
- Plinifikacija: proces koji pretvara čvrstu biomasu u plinovito gorivo zagrijavanjem u kontroliranim uvjetima bez prisutnosti zraka.

¹¹²<https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/#:~:text=Biomass%E2%80%94renewable%20energy%20from%20plants,gaseous%20fuels%20through%20various%20processes.>

¹¹³ Ibid.

¹¹⁴ <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biopower-basics#:~:text=Most%20electricity%20generated%20from%20biomass,drives%20a%20generator%2C%20producing%20electricity.>

8.2. Korištenje energije biomase u brodarstvu

U brodarstvu, energija biomase se koristi kao gorivo za plovila ili za proizvodnju električne energije na brodovima. Primjena biomase u ovom sektoru može uključivati sljedeće oblike¹¹⁵:

- Biodizel: proizveden od biljnih ulja ili životinjskih masti, biodizel može zamijeniti ili se miješati s konvencionalnim dizel gorivom u brodskim motorima.
- Bioplin: može se koristiti u motorima s unutrašnjim izgaranjem ili u gorivim ćelijama za proizvodnju električne energije.
- Čista biomasa: u nekim slučajevima, čvrsta biomasa može se koristiti direktno kao gorivo u pećima za grijanje ili u kotlovima na brodovima.

Integracija energije biomase na brodovima

Postoje različiti brodovi i projekti koji su implementirali ili istražuju korištenje biomase i biogoriva, uključujući biodizel i bioplin.

Trajekti kompanije *Color Line*, koji povezuju Dansku i Norvešku, bili su isključivo pogonjeni B100 biogorivom, opskrbljenim i upravljenim od strane morskog dobavljača goriva *Bunker One*. Ova kompanija pružila je B100 biogorivo za trajekte *SuperSpeed 1* i *2*, koji putuju između Hirtshalsa u Danskoj i Larvika i Kristiansanda u Norveškoj. Ova tranzicija omogućila je smanjenje emisija CO₂ za približno 85% u prosjeku, temeljem korištenih količina biogoriva. Uvođenje biogoriva u *Color Line* potaknuto je nizom prednosti, uključujući smanjenje emisija CO₂, veću energetske učinkovitost i neophodnost izmjena motora plovila. S aktivacijom EU ETS i očekivanom regulativom *FuelEU Maritime*, *Bunker One* naglašava da se priprema za porast potražnje za gorivima s nižim udjelom ugljika, kao što je biogorivo. S rastućom potražnjom za gorivima s nižim udjelom ugljika, uloga *Bunker One* kao dobavljača goriva se proširila kako bi uključivala i pružanje stručnog savjeta za usklađivanje s propisima.¹¹⁶

¹¹⁵ <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Exploring-the-potential-of-biofuels-in-shipping/#:~:text=Biofuels%20%E2%80%93%20in%20the%20form%20of,used%20to%20power%20existing%20engines.>

¹¹⁶ <https://www.offshore-energy.biz/color-lines-ferry-duo-switches-to-biofuel/>

9. GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalna energija predstavlja toplinsku energiju koja dolazi iz unutrašnjosti Zemlje, i to iz njene kore te iz vrućih slojeva ispod površine. Ova toplina u Zemljinoj jezgri nastaje uslijed radioaktivnog raspada određenih izotopa, posebno kalija, urana i torija. Iako je prema svojoj prirodi geotermalna energija klasificirana kao neobnovljivi izvor, u ljudskim vremenskim okvirima često se smatra obnovljivim izvorom. Iskorištavanje geotermalne energije za proizvodnju električne energije te druge svrhe odvija se na specifičnim geotermalnim izvorima ili ležištima.¹¹⁷

Geotermalni izvor (ili ležište) definira se kao toplinski rezervoar unutar Zemlje iz kojeg se toplinska energija može isplativo eksploatirati, osobito u odnosu na konvencionalne izvore energije. Ova energija može se koristiti za proizvodnju električne energije ili za različite toplinske primjene u stambenim, turističkim, industrijskim ili poljoprivrednim sektorima.¹¹⁸

Vruće stijene, koje djeluju kao spremnici toplinske energije, nalaze se na različitim lokacijama, a važno je pitanje na kojim dubinama se one nalaze. Na temelju toga, rezerve geotermalne energije mogu se definirati kao geotermalni izvori koji se mogu isplativo eksploatirati. Iako svaki geotermalni izvor ima svoje jedinstvene karakteristike i razlikuje se od drugih, mogu se klasificirati u nekoliko kategorija: geotermalne izvore suhe pare, geotermalne izvore vruće vode, geotermalne izvore tople vode pod visokim tlakom, geotermalne izvore vrućih suhих stijena i geotermalne izvore magme.¹¹⁹

Geotermalna energija može se koristiti na nekoliko načina: izravnim korištenjem, proizvodnjom električne energije te putem geotermalnih toplinskih crpki. Izravna upotreba geotermalne energije uključuje grijanje prostora, vode i slične primjene, a često se koristi u toplicama, turističkim objektima ili u poljoprivredi. Također se primjenjuje za grijanje zgrada putem sustava daljinskog grijanja. Topla voda koja se nalazi blizu površine Zemlje može se direktno dovesti cijevima do stambenih ili industrijskih objekata za potrebe grijanja. Elektrane za proizvodnju električne energije zahtijevaju vodu ili paru na visokim temperaturama, koje se kreću između 150 °C i 370 °C, dok geotermalne toplinske crpke koriste stalnu temperaturu tla ili vode blizu površine za proces grijanja.¹²⁰

¹¹⁷ Šljivac, D.; Topić, D. (2018.) Obnovljivi izvori električne energije, Osijek, FERIT Osijek, str. 125

¹¹⁸ Ibid.

¹¹⁹ Šljivac, D.; Topić, D. (2018.) Obnovljivi izvori električne energije, Osijek, FERIT Osijek, str. 126

¹²⁰ Ibid.

9.1. Vrste geotermalnih ležišta

Geotermalna ležišta se odnose na vodu koja se zagrijava dok prolazi kroz pukotine u stijenama, a zatim se vraća na površinu u obliku parnog stanja, stvarajući gejzire ili vruće izvore.

Prema stupnju istraženosti ležišta postoje dokazane i potencijalne rezerve. Dokazane rezerve dijelimo na bilančne, koje se mogu rentabilno eksploatirati poznatom tehnologijom, i izvan bilančne, koje se ne mogu iskoristiti na takav način. Potencijalne rezerve podrazumijevaju rezerve koje su još uvijek neistražene. Prema termodinamičkim i hidrološkim obilježjima, izvori se dijele na¹²¹:

- Ležišta vruće vode - ova ležišta su najzastupljenija i koriste se za proizvodnju električne energije kada temperatura vode prelazi 170 °C. Ako je temperatura između 100 i 180 °C, koristi se za isparavanje sekundarnog fluida koji pokreće turbinu.
- Ležišta suhe vodene pare - rijetka su i jednostavna za iskorištavanje, omogućavajući izravnu proizvodnju električne energije putem parnih turbina.
- Vruće i suhe stijene – na većim dubinama nalaze se stijene s velikom količinom toplinske energije, ali s niskom propusnošću. Ova ležišta zahtijevaju proces hidrauličkog lomljenja kako bi se omogućila cirkulacija fluida i prijenos topline.
- Ležišta tople vode pod visokim tlakom - smještene na velikim dubinama, ova ležišta sadrže topljeni metan i trenutno nisu ekonomski isplativa, ali su predmet istraživanja.

9.2. Upotreba geotermalne energije

Europsko vijeće za geotermalnu energiju (EGEC) objavilo je 'Izvješće o tržištu geotermalne energije za 2023. godinu', koje nudi sveobuhvatnu analizu napretka i budućih perspektiva ovog sektora. Unatoč različitim gospodarskim izazovima, uporaba geotermalne energije u Europi nastavila je rasti.

Godine 2022., geotermalna energija omogućila je opskrbu električnom energijom za 11 milijuna potrošača te toplinskom energijom za grijanje i hlađenje oko 20 milijuna potrošača, uključujući 400 gradova i industrijskih postrojenja. Ova energija zadovoljila je potrebe za grijanjem i hlađenjem zgrada, cijelih gradskih četvrti, kao i industrije i poljoprivrede.¹²²

¹²¹ <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1163/datastream/PDF/view>

¹²² <https://www.energetika-net.com/obnovljivi-izvori/geotermalna-energija-sve-se-vise-koristi-sirom-svijeta>

9.3. Geotermalne dizalice topline

Geotermalne dizalice topline (GDT) su sustavi koji koriste geotermalnu energiju za grijanje i hlađenje prostora. Ovi sustavi iskorištavaju stabilnu temperaturu tla ili podzemnih voda, obično na dubinama od 1,5 do 2 metra, gdje temperatura ostaje relativno konstantna tijekom cijele godine.

Geotermalne dizalice topline rade na principu prijenosa topline između tla i zgrade. Postoje tri ključne komponente geotermalne dizalice topline¹²³:

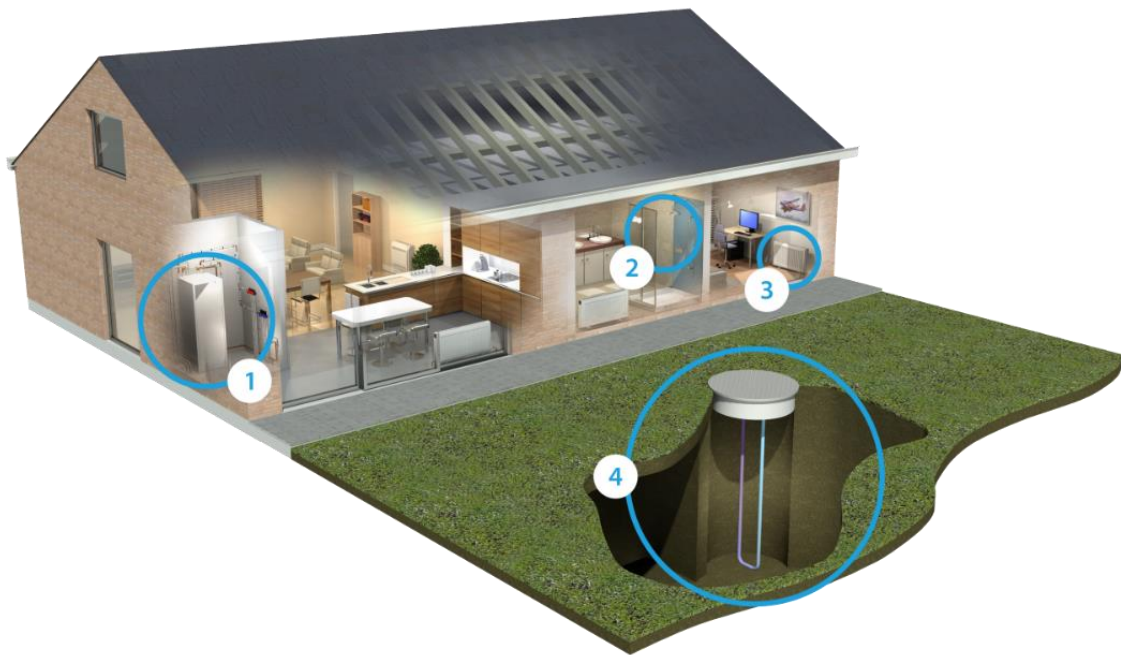
- Zemljani kolektor (cirkulacijski sustav) - ovaj element sastoji se od cijevi koje su postavljene u tlo ili u podzemne vode. Cijevi sadrže antifriz ili vodu koja cirkulira kroz sustav, upijajući toplinu iz tla tijekom zimske sezone ili odbacujući toplinu u tlo tijekom ljetnih mjeseci.
- Toplinska pumpa - u ovoj komponenti dolazi do promjene stanja fluida (obično refrigeranta) koji cirkulira kroz sustav. Pumpa prikuplja toplinu iz kolektora (u režimu grijanja) ili je ispušta u okoliš (u režimu hlađenja).
- Sustav za distribuciju - nakon što se toplina preuzme ili otpusti iz/na tlo, ovaj sustav distribuira tu toplinu kroz zgradu, obično koristeći radijatore, podno grijanje ili ventilacijske sustave.

9.3.1. Vrste geotermalnih dizalica topline

Postoje tri osnovne vrste geotermalnih dizalica topline (GDT):

- Tlo-voda - ovi sustavi sadrže cijevi postavljene u tlo koje apsorbiraju toplinu iz tla ili ispuštaju ohlađenu energiju natrag u tlo.
- Voda-voda - ovaj sustav koristi podzemnu vodu iz bunara ili izvora kao medij za transfer topline. Jedan bunar se koristi za crpljenje vode, dok se drugi koristi za vraćanje ohlađene vode.
- Zračne geotermalne dizalice topline - ove dizalice koriste zrak kao medij za prijenos topline. Mogu biti ekonomičnije u smislu instalacije, ali obično su manje učinkovite tijekom ekstremnih vremenskih uvjeta.

¹²³ https://www.daikin.hr/hr_hr/product-group/ground-source-heat-pump.html



Slika 30. Izgled Geotermalna dizalica topline ¹²⁴

Prednosti korištenja geotermalnih dizalica ¹²⁵:

- Energetska učinkovitost: GDT su vrlo efikasne i mogu smanjiti troškove grijanja i hlađenja između 30% i 60% u odnosu na konvencionalne sustave.
- Ekološki prihvatljive: koriste obnovljive izvore energije, smanjujući emisije CO₂ i ovisnost o fosilnim gorivima.
- Dulji vijek trajanja: Sustavi geotermalnih dizalica topline imaju dug životni vijek, često preko 25 godina za samu dizalicu i više od 50 godina za podzemne kolektore.
- Mala potreba za održavanjem: GDT zahtijevaju manje održavanja od drugih sustava grijanja i hlađenja.

¹²⁴ https://www.daikin.hr/hr_hr/product-group/ground-source-heat-pump.html

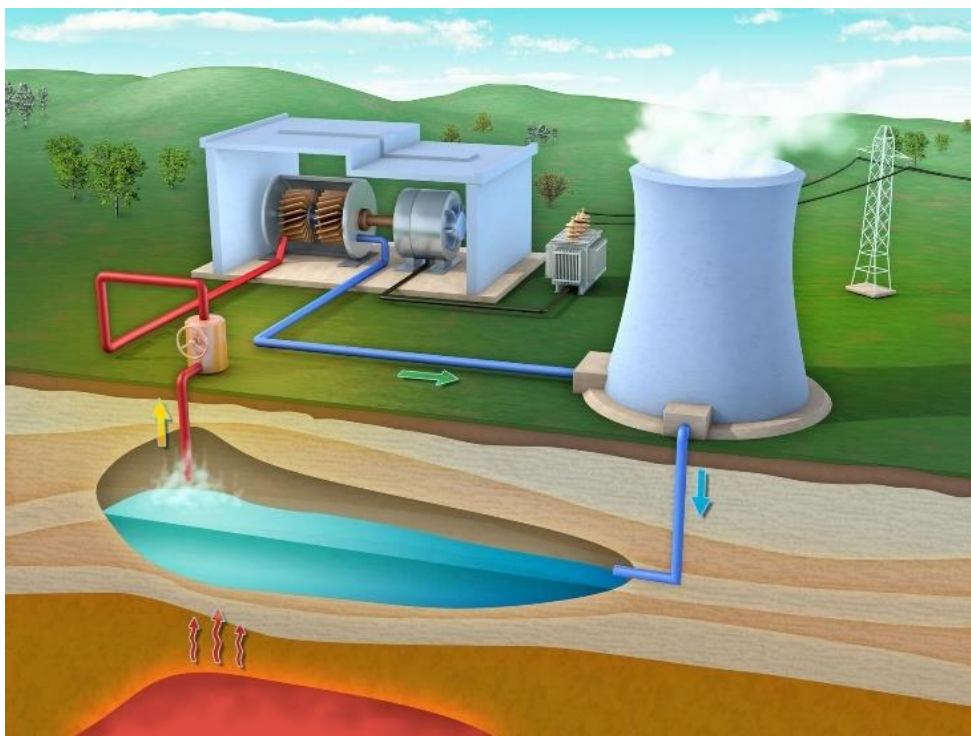
¹²⁵ <https://www.bosch-homecomfort.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-zemlja-voda/>

Nedostaci korištenja geotermalnih dizalica¹²⁶:

- Visoki troškovi instalacije: iako dugoročno mogu uštedjeti novac, početni trošak instalacije geotermalnih dizalica topline može biti značajan.
- Ovisnost o lokaciji: učinkovitost sustava ovisi o geološkim uvjetima i može biti manja u područjima sa slabijim geotermalnim resursima.
- Završni radovi i dozvole: instalacija može zahtijevati dodatne dozvole i radove, što može usporiti proces postavljanja.

9.3.2. Geotermalne toplane

Geotermalne toplane su sustavi koji koriste geotermalnu energiju za proizvodnju toplinske energije koja se koristi za grijanje prostora, vode ili industrijskih procesa. Ove toplane iskorištavaju prirodnu toplinu iz dubine Zemlje, a možemo ih naći u različitim oblicima, ovisno o specifičnoj primjeni i tehnologiji korištenoj za eksploataciju geotermalnih resursa.



Slika 31. Geotermalna toplana ¹²⁷

¹²⁶ Ibid.

¹²⁷ <https://rs.bloombergdria.com/ekonomija/srbija/54050/tri-toplane-u-beogradu-najperspektivnije-za-grejanje-iz-zemlje/news>

Geotermalne toplane rade na principu ekstrakcije topline iz geotermalnih ležišta. Proces obično uključuje sljedeće korake¹²⁸:

1. Ekstrakcija topline: toplina se prikuplja iz geotermalnih izvora, koja može biti u obliku vruće vode, pare ili geotermalnih stijena.
2. Prijenos topline: u slučaju vode, topla tekućina se crpi iz geotermalnog ležišta i šalje u dizalicu topline ili u sustave za grijanje. U slučaju vruće pare, ona se izravno koristi za oslanjanje na turbine koje proizvode električnu energiju ili za grijanje.
3. Distribucija topline: dobivena toplina se zatim distribuira kroz sustav cijevi do kućanstava, industrijskih objekata ili sustava daljinskog grijanja. Ova energija se koristi za grijanje zgrada, grijanje vode ili čak procesnu toplinu u industrijama.

Geotermalne toplane se koriste za različite primjene, uključujući¹²⁹:

- Grijanje zgrada i kućanstava: topline iz geotermalnih izvora se koriste za centralizirano grijanje, gdje se energija distribuira do više kućanstava putem sustava daljinskog grijanja.
- Industrijska grijanja: geotermalne toplane se često koriste u industrijama koje zahtijevaju toplinsku energiju za različite procese, poput sušenja, prženja ili grijanja.
- Poljoprivredne aplikacije: geotermalna energija može se koristiti za grijanje staklenika, čime se produžuje sezona rasta biljaka i poboljšava urod.

9.3.3. Geotermalne elektrane

Geotermalne elektrane su postrojenja koja koriste geotermalnu energiju za proizvodnju električne energije. Ove elektrane iskorištavaju toplinu koja se nalazi unutar Zemlje, a mogu se koristiti za generiranje električne energije bez emisije značajnih količina stakleničkih plinova.

¹²⁸ <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation#:~:text=Geothermal%20power%20plants%20draw%20fluids,reinjected%20back%20into%20the%20reservoir.>

¹²⁹ <https://www.energy.gov/eere/articles/5-things-know-about-geothermal-power#:~:text=Geothermal%20energy%20can%20heat%2C%20cool,heating%20structures%20through%20direct%20use>

Geotermalne elektrane su sve važnije u globalnom naporu za prelazak na obnovljive izvore energije i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima.¹³⁰



Slika 32. Geotermalna elektrana¹³¹

Geotermalne elektrane koriste različite metode za pretvaranje geotermalne energije u električnu energiju. Postoje tri glavne vrste geotermalnih elektrana¹³²:

1. Elektrane na suhu paru

Ove elektrane koriste suhe pare visoke igre iz geotermalnih izvora koje dolaze iz tla. Suha para zagrijava turbinu koja pokreće generator za proizvodnju električne energije. Ova vrsta elektrane je vrlo učinkovita, ali su geotermalni izvori koji omogućuju suhu paru rijetki.

2. *Flash stream* elektrane

Ovaj tip elektrane koristi mokre geotermalne fluide, koji se na visokom tlaku nalaze u bušotini. Kada se tlak smanji (*flash*), dio tekućine isparava u paru koja se zatim koristi za pokretanje turbine. Ove elektrane mogu koristiti izvore s temperaturom iznad 180 °C.

3. Elektrane s binarnim ciklusom

Ove elektrane koriste niže temperature geotermalnih resursa (obično između 60 °C i 150 °C). Toplinska energija iz geotermalnog fluida se koristi za zagrijavanje sekundarnog medija s niskom temperaturom isparavanja, poput butana ili amonijaka. Ova tehnologija omogućava iskorištavanje širokog spektra geotermalnih resursa.

¹³⁰ [https://ffden-](https://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Kevin_McCarthy/heatengines.html#:~:text=Geothermal%20Energy%20in%20itself%20acts,source%20and%20a%20cold%20sink)

[2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Kevin_McCarthy/heatengines.html#:~:text=Geothermal%20Energy%20in%20itself%20acts,source%20and%20a%20cold%20sink](https://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Kevin_McCarthy/heatengines.html#:~:text=Geothermal%20Energy%20in%20itself%20acts,source%20and%20a%20cold%20sink).

¹³¹ <https://operando.hr/geotermalna-energija/>

¹³² <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-power-plants.php>

10. BUDUĆNOST KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

10.1. *Sea Zero*

Hurtigruten Norveška razvija revolucionarni kruzer na električni pogon bez emisija, planiran za isplovljavanje 2030. godine. Ovaj brod će biti opremljen sklopivim jedrima prekrivenim solarnim panelima, omogućujući mu da koristi obnovljive izvore energije za punjenje svojih 60 megavatskih baterija. Dok će jedra značajno smanjiti ovisnost o električnoj energiji, solarni paneli će pružati dodatnu energiju tijekom plovidbe.¹³³

Ovaj projekt, nazvan "*Sea Zero*", ne samo da demonstrira sposobnost za smanjenje emisija stakleničkih plinova u pomorskoj industriji, već služi i kao značajan korak prema održivoj plovidbi i korištenju obnovljivih izvora energije. Svi ti koraci ukazuju na budućnost koja uključuje inovacije u tehnologiji i održivom razvoju, čime se potvrđuje da sektori poput pomorstva mogu postati ekološki prihvatljivi i manje ovisni o fosilnim gorivima, čime se osigurava zdravija planeta za buduće generacije.¹³⁴



Slika 33. *Sea Zero*¹³⁵

¹³³ <https://edition.cnn.com/travel/article/hurtigruten-norway-zero-emission-cruise-ship-climate-c2e-spc-intl/index.html>

¹³⁴ *Ibid.*

¹³⁵ <https://edition.cnn.com/travel/article/hurtigruten-norway-zero-emission-cruise-ship-climate-c2e-spc-intl/index.html>

10.2. *Oceanbird*

Oceanbird je koncept brodova na vjetroenergiju u razvoju tvrtke *Wallenius Marine*. Cilj koncepta je smanjiti emisije do 90 posto, a dizajn je razvijen u suradnji s KTH Kraljevskim institutom tehnologije i švedskom pomorskom tehnološkom tvrtkom SSPA. Koncept se sastoji od proširivih krilnih jedara *Ocean Wings* koja se mogu rotirati za 360 stupnjeva i nagnjati prema dolje ako je potrebno. Jarboli će imati visinu od 40 metara, a ukupna visina iznad razine mora iznositi će 65 metara. Oprema će biti izrađena od čelika i kompozitnih materijala i nalikovat će na krila aviona. Trup će moći nositi 7.000 automobila i imati elegantan dizajn za optimizirane jedriličarske performanse. Pomoćni motor bit će korišten za navigaciju u lukama i pružanje hitne energije. Svaki krilni jedar na postojećem RoRo brodu može uštedjeti otprilike pola milijuna litara goriva godišnje na glavnim trgovačkim rutama, što odgovara smanjenju emisija CO₂ do 1920 tona godišnje. Prvi brod s potpuno vjetro pogonom trebao bi isploviti 2027. godine.¹³⁶



Slika 34. *Oceanbird*¹³⁷

¹³⁶ <https://www.theoceanbird.com/the-oceanbird-concept/>

¹³⁷ <https://www.walleniusmarine.com/our-services/ship-design-newbuilding/ship-design/wind-powered-vessels/>

10.3. *Bioship*

Vodeće japanske kompanije, uključujući NYK Line i Drax Group, potpisale su Memorandum o razumijevanju za razvoj prvog broda na biomasu (*Bioship*) koji će koristiti obnovljive izvore za smanjenje emisija. Postrojenje za gorivo od biomase koristilo bi plinofikator za sagorijevanje biomase na visokim temperaturama i stvaranje i zadržavanje plinova kao što su ugljikov monoksid, vodik i metan. Ovi plinovi bi se potom koristili za napajanje generatora koji može pokretati *Bioship* i također osigurati dio unutarnje energije. Instalacija postrojenja za gorivo od biomase mogla bi smanjiti emisije CO₂ za 22% u usporedbi s korištenjem fosilnih goriva. Ako se ova inovacija pokaže uspješnom, kompanije će zajednički istražiti mogućnost gradnje *Bioshipa* do kraja 2029. godine. Ovaj napredak ne samo da će potaknuti korištenje održivih goriva, već će i doprinijeti smanjenju ugljičnog otiska u pomorskoj industriji, naglašavajući važnost inovacija u energetske sektoru koja su ključna za postizanje klimatske neutralnosti.¹³⁸



Slika 35. *Bioship*¹³⁹

¹³⁸ <https://www.biomassafeiten.nl/en/2024/05/15/mou-agrees-to-develop-bioship-technology-and-plans-to-build-the-world%27s-first-biomass-ship/>

¹³⁹ <https://en.futuroprossimo.it/2024/05/giappone-al-lavoro-sulla-prima-nave-al-mondo-alimentata-a-biomassa/>

11. ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije predstavljaju ključnu stratešku potrebu za budućnost pomorske industrije, koja se suočava s izazovima smanjenja emisija stakleničkih plinova i održivog razvoja. Razmatrani oblici obnovljivih izvora energije, uključujući solarnu energiju, vjetroenergiju, energiju vode, vodik, biomasi i geotermalnu energiju, nude različite prednosti u smislu smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima i poboljšanja energetske učinkovitosti brodova.

Usvajanjem inovativnih tehnologija i alternativa, kao što su hibridni sustavi i energija temeljena na obnovljivim izvorima, pomorska industrija može značajno smanjiti svoj ekološki otisak. Primjeri brodova koji koriste ove tehnologije ukazuju na mogućnosti primjene i potencijalne uštede u emisijama te troškovima nakon prelaska na obnovljive izvore energije.

Usprkos izazovima kao što su inicijalni troškovi, potrebna infrastruktura i tehničke prilagodbe, postavljene međunarodne regulative, uključujući *FuelEU Maritime*, potiču razumijevanje važnosti dekarbonizacije. Ključna je suradnja između industrije, vlada i istraživačkih institucija kako bi se osigurao uspješan prijelaz na održive prakse.

Prelazak na obnovljive izvore energije u brodarstvu ne samo da će doprinijeti smanjenju globalnog zagrijavanja, već će osigurati konkurentnost pomorske industrije u budućnosti, čime se pruža održiva alternativa koja može očuvati okoliš za buduće generacije.

LITERATURA

1. <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/fueleu-maritime/> [23.08.2024]
2. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en [23.08.2024]
3. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en [23.08.2024]
4. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805> [23.08.2024]
5. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55/fueleu-maritime> [23.08.2024]
6. <https://solarneelektrane.wordpress.com/category/obnovljivi-izvori-energije/> [24.08.2024]
7. <https://vocal.media/earth/pioneering-a-sustainable-energy-revolution> [24.08.2024]
8. <https://www.hellenicshippingnews.com/global-shipping-industry-most-exposed-to-low-carbon-energy-shift/> [24.08.2024.]
9. Šljivac, D.; Topić, D. (2018.) Obnovljivi izvori električne energije, Osijek, FERIT Osijek
10. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/solarna-konstanta> [24.08.2024.]
11. <http://solarsystem.nasa.gov/planets/sun/facts> [24.08.2024.]
12. <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20180305STO99003/smanjenje-emisija-ugljicnih-plinova-ciljevi-i-mjere-eu-a> [24.08.2024.]
13. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fkit:90/preview> [24.08.2024.]
14. <https://dailyboats.com/hr/boat-types/power-solar> [24.08.2024.]
15. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1426> [24.08.2024.]
16. <https://dailyboats.com/hr/boat-types/power-solar> [24.08.2024.]
17. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1426> [24.08.2024.]
18. <https://www.bluetipower.com/blogs/news/all-you-need-to-know-about-marine-solar-panels> [24.08.2024.]
19. <http://www.ieee.hr/download/repository/DR08ICvrk.pdf> [24.08.2024.]
20. <http://www.ieee.hr/download/repository/DR08ICvrk.pdf> [26.08.2024]
21. https://www.fer.unizg.hr/download/forum/Paneli_sun%C4%8Danih_%C4%87elija-seminar.pdf [26.08.2024]
22. <https://www.hsuse.hr/?tehnologija> [26.08.2024]
23. <https://hrcak.srce.hr/file/220538> [26.08.2024]

24. Klimatske informacije i obnovljivi izvori energije: Sunčeva energija; Melita Perčec Tadić, Odjel za klimatološka istraživanja i primijenjenu klimatologiju, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2011
25. Lale, D., Bajo, I.: Upotreba vjetroagregata i fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije na brodici
26. <https://www.theverge.com/2013/6/22/4454980/ms-turanor-planetsolar-solar-powered-boat-photo-essay> [26.08.2024]
27. <https://theogm.com/2023/02/22/solar-powered-manta-plastic-garbage-collecting-ship/#:~:text=The%20MANTA%20is%20an%20autonomous.and%20electric%20motors%20to%20operate.> [26.08.2024]
28. <https://theogm.com/2023/02/22/solar-powered-manta-plastic-garbage-collecting-ship/>
29. <https://www.theseacleaners.org/the-manta-innovation/> [26.08.2024]
30. <https://www.naucat.com/hr/vijesti/nauticka-industrija/energija-vjetra-na-brodu> [26.08.2024]
31. <https://www.learnz.org.nz/spiritofadventure181/bg-standard-f/a-brief-history-of-sailing> [26.08.2024]
32. https://www.researchgate.net/publication/283462349_The_Earliest_Sailboats_in_Egypt_and_Their_Influence_on_the_Development_of_Trade_Seafaring_in_the_Red_Sea_and_State_Development#:~:text=Based%20on%20iconography%20and%20trade,fringes%20to%20the%20Nile%20floodplain. [30.08.2024]
33. http://www.dgt.uns.ac.rs/materijali/istorijska_geografija/Istorijska-geografija-Vezbe-2.pdf [30.08.2024]
34. <https://ba.izzi.digital/DOS/95621/199304.html> [30.08.2024]
35. <https://povijest.hr/znanostitehnologija/kako-dijelimo-srednji-vijek/> [30.08.2024]
36. https://croatianhistory.net/etf/zuh/do1874/srv/srv_3.htm [30.08.2024]
37. https://hr.wikipedia.org/wiki/Velika_geografska_otkri%C4%87a [30.08.2024]
38. <https://www.regate.com.hr/index.php/strucna-literatura/jedrenje-mornarske-vjestine/67-1-podigni-jedro-uhvati-vjetar/1533-otkrivanje-svijeta> [30.08.2024]
39. <https://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/pomgeograf/Brodarstvo%20svijeta%20i%20Hrvatske.pdf> [30.08.2024]
40. <https://hrcak.srce.hr/file/12347> [30.08.2024]
41. <https://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?start=3> [30.08.2024]
42. https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroturbine#cite_note-1 [30.08.2024]

43. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_turbine [30.08.2024]
44. <https://core.ac.uk/download/pdf/270102267.pdf> [30.08.2024]
45. <https://www.energysage.com/about-clean-energy/wind/pros-cons-wind-energy/>
46. <https://www.keba.com/en/news/industrial-automation/pitch-and-yaw-systems-wind-turbine#:~:text=Currently%2C%20almost%20all%20wind%20turbines,the%20greatest%20possible%20energy%20yield.> [30.08.2024]
47. <https://ship.energy/2022/10/07/mol-takes-delivery-of-hard-sail-equipped-coal-carrier/> [30.08.2024]
48. <https://swzmaritime.nl/news/2024/05/23/wind-challenger-saves-fuel-for-coal-carrier-shofu-maru/> [30.08.2024]
49. <https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24063.html> [30.08.2024]
50. <https://www.vplp.fr/en/specials/oceanwings/> [30.08.2024]
51. <https://www.offshore-energy.biz/worlds-first-hybrid-wind-powered-cargo-vessel-visits-port-canaveral-gallery/> [03.09.2024]
52. <https://www.marineinsight.com/shipping-news/worlds-largest-sailing-cargo-ship-completes-1st-crossing-across-atlantic/> [03.09.2024]
53. <https://en.channeliam.com/2024/09/05/anemos-sustainable-cargo-ship/> [03.09.2024]
54. <https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works#:~:text=Hydropower%2C%20or%20hydroelectric%20power%2C%20is,or%20other%20body%20of%20water.> [03.09.2024]
55. <https://www.ekologija.com.hr/energija-plime-i-oseke/> [03.09.2024]
56. <https://www.hhi.hr/o-nama/projekti/morske-mijene-i-razina-jadrana-on-line#:~:text=Plima%20se%20definira%20kao%20vrijeme,jedan%20metar%20u%20sjevernom%20Jadranu.> [03.09.2024]
57. https://hr.wikipedia.org/wiki/Plimne_turbine [03.09.2024]
58. <https://www.bug.hr/energetika/najmocnija-plimna-turbina-na-svijetu-strujom-ce-napajati-2000-domova-21069> [03.09.2024]
59. <https://www.klix.ba/scitech/tehnologija/najsnaznija-plimna-turbina-na-svijetu-pocela-s-radom/210729012> [03.09.2024]
60. https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_plimu_i_oseku [03.09.2024]
61. <https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/wave-energy/> [03.09.2024]
62. <https://tethys-engineering.pnnl.gov/technology/point-absorber> [03.09.2024]
63. https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-AquaBuOY-wave-energy-technology_fig8_262116355 [03.09.2024]

64. https://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/14-15/Wave_Energy/point-absorber.html [03.09.2024]
65. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oscillating-water-column> [03.09.2024]
66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121007590> [03.09.2024]
67. <https://wedusea.eu/wave-energy/our-wave-energy-technology/> [03.09.2024]
68. <https://newatlas.com/energy/oceanenergy-oe35-wave-power/> [03.09.2024]
69. <https://www.nrel.gov/news/program/2022/new-tool-helps-researchers-make-the-most-of-wave-power.html#:~:text=Attenuators%E2%80%94multisegment%20devices%20that%20float,rotation%20or%20a%20hydraulic%20pump> [03.09.2024]
70. <https://wavestarenergy.com/> [04.09.2024.]
71. <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/wave-star-hansthalm#:~:text=%C2%A9%20OpenStreetMap%20contributors,Description,secured%20to%20the%20sea%20floor.> [04.09.2024.]
72. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-conversion#:~:text=The%20thermal%20conversion%20processes%20use,fuel%20wood%20grows%20more%20quickly.> [04.09.2024.]
73. [https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/otec/#:~:text=Ocean%20Thermal%20Energy%20Conversion%20\(OTEC,between%20cold%20and%20warm%20water.](https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/otec/#:~:text=Ocean%20Thermal%20Energy%20Conversion%20(OTEC,between%20cold%20and%20warm%20water.) [04.09.2024.]
74. [https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/ocean-thermal-energy-conversion.php#:~:text=Ocean%20thermal%20energy%20conversion%20\(OTEC,surface%20water%20of%20the%20ocean.](https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/ocean-thermal-energy-conversion.php#:~:text=Ocean%20thermal%20energy%20conversion%20(OTEC,surface%20water%20of%20the%20ocean.) [04.09.2024.]
75. <https://www.proboat.com/2010/02/wave-power-february-2010/> [04.09.2024.]
76. <https://web.archive.org/web/20100909112258/http://afp.google.com/article/ALeqM5g0joaEAMTHqfOtl2MAFNrhW646A> [04.09.2024.]
77. <https://web.archive.org/web/20100909112258/http://afp.google.com/article/ALeqM5g0joaEAMTHqfOtl2MAFNrhW646A> [04.09.2024.]
78. <https://www.voileetmoteur.com/bateaux-a-moteur/actualites/archisolar-le-pentamaran-houlomoteur/19191> [04.09.2024.]
79. https://www.vanis.hr/hr/vodik/vodikova_energija.htm [04.09.2024.]

80. <https://www.fchea.org/fuelcells#:~:text=A%20fuel%20cell%20is%20a,electricity%2C%20heat%2C%20and%20water.> [04.09.2024.]
81. <https://sigens.de/en/what-is-a-fuel-cell/#:~:text=to%20as%20electrolysis,-.Fuel%20cell%20advantages%20and%20disadvantages,density%20can%20be%20optimally%20combined.> [05.09.2024]
82. <https://www.cea.fr/english/Pages/News/CEA-designs-the-energy-system-for-Energy-Observer--cutting-edge-technology-for-an-innovative-project-.aspx> [05.09.2024]
83. <https://indianexpress.com/article/technology/science/worlds-first-hydrogen-powered-commercial-ferry-launches-in-san-francisco-9451865/#:~:text=The%20world's%20first%20commercial%20passenger,ferry%20terminal%20starting%20July%202019> [05.09.2024]
84. <https://x.com/hydroxfan/status/1401149120006574080> [05.09.2024]
85. <https://www.behydro.com/engines/16-dzd-h2> [05.09.2024]
86. <https://www.behydro.com/> [05.09.2024]
87. <https://cmb.tech/news/hydrotug-the-worlds-first-hydrogen-powered-tugboat> [05.09.2024]
88. <https://shipsmonthly.com/news/worlds-first-hydrogen-powered-tugboat-hydrotug-1-ready-to-begin-operations/> [05.09.2024]
89. <https://www.ship-technology.com/projects/hydroville-passenger-ferry/> [05.09.2024]
90. <https://more.hr/blog/yamaha-u-miamiju-predstavila-prototip-izvanbrodskog-motora-na-vodik/> [05.09.2024]
91. <https://www.naucat.com/hr/vijesti/nauticka-industrija/yamaha-predstavila-izvanbrodski-motor-na-vodik-240305> [05.09.2024]
92. <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/#:~:text=Biomass%E2%80%94renewable%20energy%20from%20plants,gaseous%20fuels%20through%20various%20processes.> [07.09.2024.]
93. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biopower-basics#:~:text=Most%20electricity%20generated%20from%20biomass,drives%20a%20generator%2C%20producing%20electricity.> [07.09.2024.]
94. <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1163/datastream/PDF/view> [07.09.2024.]
95. <https://www.energetika-net.com/obnovljivi-izvori/geotermalna-energija-sve-se-vise-koristi-sirom-svijeta> [07.09.2024.]

96. https://www.daikin.hr/hr_hr/product-group/ground-source-heat-pump.html
[07.09.2024.]
97. <https://www.bosch-homecomfort.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-zemlja-voda/> [07.09.2024.]
98. <https://rs.bloombergdria.com/ekonomija/srbija/54050/tri-toplane-u-beogradu-najperspektivnije-za-grejanje-iz-zemlje/news> [07.09.2024.]
99. <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation#:~:text=Geothermal%20power%20plants%20draw%20fluids,reinjected%20back%20into%20the%20reservoir> [07.09.2024.]
100. <https://www.energy.gov/eere/articles/5-things-know-about-geothermal-power#:~:text=Geothermal%20energy%20can%20heat%2C%20cool,heating%20structures%20through%20direct%20Duse> [07.09.2024.]
101. <https://operando.hr/geotermalna-energija/> [07.09.2024.]
102. https://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Kevin_McCarthy/heatengines.html#:~:text=Geothermal%20Energy%20in%20itself%20acts,source%20and%20a%20cold%20sink
[07.09.2024.]
103. <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-power-plants.php>
[07.09.2024.]
104. <https://edition.cnn.com/travel/article/hurtigruten-norway-zero-emission-cruise-ship-climate-c2e-spc-intl/index.html> [07.09.2024.]
105. <https://www.theoceanbird.com/the-oceanbird-concept/> [07.09.2024.]
106. <https://www.walleniusmarine.com/our-services/ship-design-newbuilding/ship-design/wind-powered-vessels/> [07.09.2024.]
107. <https://www.biomassafeiten.nl/en/2024/05/15/mou-agrees-to-develop-bioship-technology-and-plans-to-build-the-world%27s-first-biomass-ship/> [07.09.2024.]
108. <https://en.futuroprossimo.it/2024/05/giappone-al-lavoro-sulla-prima-nave-al-mondo-alimentata-a-biomassa/> [07.09.2024.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Ciljevi FuelEU <i>Maritime</i>	3
Slika 2. Vrste obnovljivih izvora energije	4
Slika 3. Cilj povećanja korištenja obnovljivih izvora energije u brodarstvu	5
Slika 4. Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu	6
Slika 5. Fotonapon	10
Slika 6. Podjela fotonaponskih sustava	11
Slika 7. <i>MS Turanor</i>	13
Slika 8. Autonomni brod za prikupljanje smeća MANTA	15
Slika 9. Projekcija prvog broda na jedra – Egipat	17
Slika 10. <i>Trirema</i>	18
Slika 11. <i>Koga</i>	19
Slika 12. <i>Karaka</i>	20
Slika 13. Prikaz komponentni vjetroturbine	22
Slika 14. <i>Shofu Maru</i>	26
Slika 15. <i>MV Canpoée</i>	27
Slika 16. <i>Anemos</i>	28
Slika 17. <i>Orbital 2</i>	31
Slika 18. <i>AquaBuOY</i>	33
Slika 19. <i>OE 35 Buoy</i>	35
Slika 20. <i>Wavestar Attenuator</i>	36
Slika 21. Katamaran koji iskorištava energiju valova	38
Slika 22. <i>ArchiSolar</i>	39
Slika 23. Prikaz rada gorivne ćelije	40
Slika 24. <i>Energy Observer</i> i njegove komponente	46
Slika 25. <i>MV Sea Change</i>	47
Slika 26. <i>BeHydro Motor</i>	47
Slika 27. <i>Hydrotug</i>	49
Slika 28. <i>Hydroville</i>	50
Slika 29. Yamaha vanbrodski motor na vodik	51
Slika 30. Izgled Geotermalna dizalica topline	57
Slika 31. Geotermalna toplana	58
Slika 32. Geotermalna elektrana	60
Slika 33. <i>Sea Zero</i>	61
Slika 34. <i>Oceanbird</i>	62
Slika 35. <i>Bioship</i>	63

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz trošila na brodovima	12
Tablica 2. Prednosti i nedostaci vjetroenergije u brodarstvu	24
Tablica 3. Karakteristike i izazovi gorivnih ćelija.....	41
Tablica 4. Prikaz sustava <i>Energy Observera</i>	45
Tablica 5. Vrste i specifikacije <i>BeHydro</i> motora	48