

# Preinaka jedrilice ugradnjom solarnih panela i akumulatorskih baterija za službu hotelske potrošnje

---

**Pražić, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:714874>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Luka Pražić**

Zagreb, 2024. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.

Student:

Luka Pražić

Zagreb, 2024. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Vedranu Slapničaru, na pruženoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovoga rada. Zahvaljujem se kolegama iz Yacht-Match grupe na savjetima i podršci tijekom izrade ovog rada. Također, hvala mojoj obitelji, djevojci i prijateljima na razumijevanju i strpljenju tijekom godina studiranja.

Luka Pražić



|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu               |        |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum                               | Prilog |
| Klasa: 602 – 04 / 24 – 6 / 1        |        |
| Ur.broj: 15 - 24 -                  |        |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Pražić** JMBAG: 0035215153

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Preinaka jedrilice ugradnjom solarnih panela i akumulatorskih baterija za službu hotelske potrošnje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Modification of the sailing boat by installing solar panels and battery pack for the service of hotel consumption**

Opis zadatka:

Cilj diplomskog rada je implementacija brodskih zelenih sustava u svrhu sakupljanja, pretvorbe, pohranjivanja i potrošnje energije s ciljem održive plovidbe na postojeću jedrilicu. Treba dati pregled ključnih tehnologija s opisom prednosti i nedostataka, za postizanje održive plovidbe kao što su solarni paneli, vjetroturbine, akumulatorske baterije, alternatori, brodske klime, uređaji za grijanje kao i primjene potencijalno novih tehnologija. Prema dostupnoj literaturi treba izraditi diplomski rad prema sljedećim točkama:

1. Pregled brodskih zelenih sustava za sakupljanje, pretvorbu, pohranjivanje i potrošnju energije
2. Ciljevi projekta za održivu plovidbu
3. Proračun energetske bilance postojećeg sustava
4. Prikaz odabranog rješenja i dodatne opreme koja se ugrađuje
5. Proračun potrošnje energije novog sustava
6. Testiranje sustava nakon ugradnje

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

Zadatak zadan:

9. svibnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Vedran Slapničar

Datum predaje rada:

11. srpnja 2024.

Predviđeni datumi obrane:

15. – 19. srpnja 2024.

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

## SADRŽAJ

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>UVOD</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>PREGLED BRODSKIH ZELENIH SUSTAVA ZA SAKUPLJANJE, PRETVORBU, POHRANJIVANJE I POTROŠNJU ENERGIJE</b> ..... | <b>2</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Fotonaponski moduli</b> .....  | <b>2</b>  |
| 2.1.1      | Princip rada solarnih panela .....  | 2         |
| 2.1.2      | Vrste solarnih panela za ugradnju na brodovima .....  | 2         |
| 2.1.3      | Učinkovitost solarnih panela .....  | 5         |
| 2.1.4      | Tehnologija montaže solarnih panela .....   | 7         |
| 2.1.5      | Nova istraživanja u svrhu unapređenja .....   | 8         |
| <b>2.2</b> | <b>Vjetroturbine</b> .....  | <b>11</b> |
| 2.2.1      | Dijelovi vjetroturbine .....  | 12        |
| 2.2.2      | Vrste vjetroturbina .....   | 12        |
| 2.2.3      | Aerodinamički principi modernih vjetroturbina .....   | 13        |
| 2.2.4      | Vjetroturbine za instalaciju na brodovima .....   | 13        |
| <b>2.3</b> | <b>Brodске baterije</b> .....   | <b>15</b> |
| 2.3.1      | Litij-ionska baterija .....   | 15        |
| 2.3.2      | Prednosti i nedostaci litij-ionskih baterija .....  | 17        |
| 2.3.3      | Tipovi brodskih baterija .....  | 17        |
| <b>2.4</b> | <b>Alternator</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Brodске klime</b> .....  | <b>21</b> |
| 2.5.1      | Samostalne jedinice .....   | 21        |
| 2.5.2      | Razdvojeni (split) klimatizacijski uređaji .....  | 24        |
| 2.5.3      | Sustavi s hlađenjem vode .....  | 26        |
| <b>3</b>   | <b>PROJEKT ZA ODRŽIVU PLOVIDBU</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Ciljevi projekta za održivu plovidbu</b> .....   | <b>30</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Faze Projekta</b> .....  | <b>31</b> |
| 3.2.1      | Provođenje početne energetske revizije i studije izvodljivosti .....  | 31        |
| 3.2.2      | Predlaganje plana integracije održivih energetske rješenja na temelju izračuna i mjerenja .....             | 35        |
| 3.2.3      | Pokretanje projekta za implementaciju rješenja obnovljive energije .....                                    | 38        |
| <b>4</b>   | <b>TESTIRANJE SUSTAVA NAKON UGRADNJE</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Testiranje izračunate i izmjerene učinkovitosti solarnih panela</b> .....                                | <b>44</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Testiranje trajanja baterije u različitim režimima rada klima uređaja</b> .....                          | <b>46</b> |
| 4.2.1      | Testiranje sustava pri radu klima uređaja samo u salonu .....   | 46        |
| 4.2.2      | Testiranje sustava pri radu klima uređaja u 2 kabine .....  | 48        |
| 4.2.3      | Testiranje sustava pri radu klima uređaja u sve 4 kabine .....  | 51        |
| 4.2.4      | Simulacija rada sustava pri plovidbi od tjedan dana .....   | 55        |
| <b>4.3</b> | <b>Testiranje rada alternatora i brzina punjenja baterija alternatorom</b> .....                            | <b>58</b> |
|            | <b>ZAKLJUČAK</b> .....  | <b>60</b> |

**POPIS SLIKA**

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Razlike u strukturi između monokristalnih i polikristalnih solarnih panela [3] .....                  | 4  |
| Slika 2. Tankoslojni solarni panel [4] .....   | 5  |
| Slika 3. Računalni prikaz stanja osunčanosti solarnih panela [5] .....   | 6  |
| Slika 4. Montaža solarnih panela na krmu katamarana [6] .....  | 7  |
| Slika 5. Solarni paneli na krovu katamarana [5] .....  | 8  |
| Slika 6. Inovativan način integracije solarnih panela u trup broda [5] .....                                   | 9  |
| Slika 7. Montirana brodska vjetroturbina .....   | 11 |
| Slika 8. Vjetroturbina za instalaciju na brodu [10] .....  | 14 |
| Slika 9. Krivulja punjenja litij-ion baterije [11] .....   | 16 |
| Slika 10. Usporedba jačine struje visoko učinkovitog alternatora s tvorničkim alternatorom                     | 20 |
| Slika 11. Samostalna jedinica brodske klime [18] .....   | 22 |
| Slika 12. Parametri različitih jačina samostalnih jedinica klime [18] .....                                    | 22 |
| Slika 13. Tipična instalacija samostalne jedinice [18] .....   | 23 |
| Slika 14. Razdvojena (split) jedinica brodske klime [18] .....   | 24 |
| Slika 15. Parametri različitih jačina razdvojenih ( <i>split</i> ) jedinica klime [18] .....                   | 25 |
| Slika 16. Tipična instalacija razdvojene ( <i>split</i> ) jedinice klime [18] .....                            | 26 |
| Slika 17. Jedinica brodske klime hlađena morskom vodom [18] .....  | 27 |
| Slika 18. Parametri različitih jačina jedinica klime hlađenim morskom vodom [18] .....                         | 27 |
| Slika 19. Jedrilica za projektni zadatak preinake .....  | 29 |
| Slika 20. Tlocrt projektne jedrilice .....   | 32 |
| Slika 21. Tlocrt palube projektne jedrilice .....  | 32 |
| Slika 22. Trenutne kućne baterije .....  | 35 |
| Slika 23. Paralelan spoj baterija na brodu .....   | 38 |
| Slika 24. Paluba jedrilice iz projekta .....   | 39 |
| Slika 25. Dimenzije površine za postavljanje solarnih panela .....   | 40 |
| Slika 26. Dimenzije <i>sprayhood</i> tende .....   | 40 |
| Slika 27. Dostupan prostor u unutrašnjosti motornog prostora .....   | 41 |
| Slika 28. Raspored solarnih panela nakon mjerenja .....  | 42 |
| Slika 29. Raspored solarnih panela po jedrilici .....  | 42 |
| Slika 30. Grupirani solarni paneli .....   | 43 |
| Slika 31. Očekivana proizvodnja električne energije prema PVGIS sustavu .....                                  | 45 |
| Slika 33. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u salonu .....  | 46 |
| Slika 34. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana .....                  | 48 |
| Slika 35. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u 2 kabine .....  | 49 |
| Slika 36. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima<br>uređaja 12h ..... | 50 |
| Slika 37. Realnija bilanca potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja<br>5h .....       | 51 |
| Slika 38. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u 4 kabine .....  | 52 |
| Slika 39. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima<br>uređaja 12h ..... | 53 |
| Slika 40. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima<br>uređaja 5h .....  | 54 |
| Slika 41. Tjedna pretpostavljena potrošnja i proizvodnja energije .....  | 56 |
| Slika 42. Usporedba brzine punjenja tvorničkim i zamjenskim alternatorom .....                                 | 58 |
| Slika 43. Karakteristika tvorničkog i zamjenskog alternatora .....   | 59 |

---

**POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Usporedba baterijskih tehnologija na osnovi gustoće energije i snage [14] .....                       | 18 |
| Tablica 2. Prikaz potrošnje uređaja koji se napajaju direktno iz kućnih baterija.....                            | 33 |
| Tablica 3. Prikaz potrošnje ugrađenih klima uređaja .....  | 34 |
| Tablica 4. Potrošnja električne energije klima uređaja tokom noći .....  | 36 |
| Tablica 5. Potrošnja električne energije klima uređaja tokom dana .....  | 37 |
| Tablica 6. Rezultati mjerenja proizvodnje električne energije.....   | 45 |
| Tablica 7. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana.....                    | 48 |
| Tablica 8. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima<br>uređaja 12h .....  | 50 |
| Tablica 9. Realnija bilanca potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja<br>5h .....        | 51 |
| Tablica 10. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima<br>uređaja 12h ..... | 53 |
| Tablica 11. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima<br>uređaja 5h .....  | 54 |
| Tablica 12. Tjedna pretpostavljena potrošnja i proizvodnja energije .....  | 55 |
| Tablica 13. Karakteristike ugrađenog alternatora .....   | 58 |



---

**POPIS OZNAKA**

| <b>Oznaka</b>   | <b>Jedinica</b> | <b>Opis</b>   |
|-----------------|-----------------|---|
| AC              |                 | (eng. <i>Alternate Current</i> ) Izmjenična struja                                |
| AGM             |                 | (eng. <i>Absorbent Glass Mat</i> )  |
| AIS             |                 | (eng. <i>Automatic Identification System</i> ) Automatski identifikacijski sustav |
| CO <sub>2</sub> |                 | Ugljikov dioksid  |
| DC              |                 | (eng. <i>Direct Current</i> ) Istosmjerna struja                                  |
| Li-ion          |                 | Litij-ionska baterija   |
| VHF             |                 | (eng. <i>Very High Frequency</i> )  |

---

**SAŽETAK**

Održiva rješenja postaju ključna u svim sektorima, uključujući pomorski, gdje tradicionalni sustavi za proizvodnju i potrošnju energije često nisu ekološki prihvatljivi. Jedan od inovativnih pristupa koji pridonosi smanjenju ekološkog otiska brodova jest preinaka brodova ugradnjom solarnih panela i akumulatorskih baterija. Ovaj diplomski rad fokusira se na implementaciju brodskih zelenih sustava s ciljem prikupljanja, pretvorbe, pohranjivanja i potrošnje energije za održivu plovidbu. S obzirom na to da je očuvanje okoliša postalo ključna tema, potreba za održivim energetske rješenjima u pomorskom sektoru nikada nije bila veća. Tradicionalni brodski sustavi oslanjaju se na fosilna goriva koja doprinose zagađenju zraka i mora, stoga je prijelaz na zelene sustave od izuzetne važnosti. U ovom radu prikazan je pregled trenutno dostupnih tehnologija koje omogućuju održivu plovidbu, uključujući solarne panele, vjetroturbine, baterije, alternatore i najveće potrošače poput klima uređaja. Svaka od tih tehnologija detaljno je opisana, s naglaskom na njihove vrste, prednosti, nedostatke i najnovije tehnološke napretke. Rad također obrađuje i konkretnu jedrilicu na kojoj se provodi implementacija zelenih sustava. Detaljno su analizirane prednosti i nedostaci pojedinih tehnologija koje se ugrađuju u brod. Nakon toga slijedi preliminarni izračun energetske bilance broda, što uključuje procjenu potrebne energije i dostupnog prostora za ugradnju solarnih panela i baterija. Prikazano je odabrano projektno rješenje, uključujući detaljan opis i prikaz solarnih panela, baterija i ostale opreme koja će biti ugrađena na brod. Nakon toga slijede kalkulacije potrošnje energije novog sustava u različitim scenarijima korištenja, čime se osigurava da sustav može zadovoljiti energetske potrebe broda u različitim uvjetima. Na kraju, opisano je testiranje sustava nakon ugradnje kako bi se provjerila očekivana učinkovitost solarnih panela, trajanje baterija te rad alternatora.

Ključne riječi: solarni paneli, vjetroturbine, akumulatorske baterije, testiranje učinkovitosti sustava

---

**SUMMARY**

Sustainable solutions are becoming crucial in all sectors, including maritime, where traditional energy production and consumption systems are often not environmentally friendly. One of the innovative approaches that contribute to reducing the ecological footprint of ships is the retrofit of ships by installing solar panels and accumulator batteries. This thesis focuses on implementing green marine systems to collect, convert, store, and consume energy for sustainable navigation. Since environmental preservation has become a key issue, the maritime sector's need for sustainable energy solutions has never been greater. Traditional marine systems rely on fossil fuels that contribute to air and sea pollution, making the transition to green systems of utmost importance. This thesis provides an overview of currently available technologies that enable sustainable navigation, including solar panels, wind turbines, batteries, alternators, and major consumers such as air conditioners. Each of these technologies is described in detail, with an emphasis on their types, advantages, disadvantages, and the latest technological advancements. The work also addresses a specific sailboat on which the implementation of green systems is being carried out. The advantages and disadvantages of the various technologies being installed on the vessel are analysed in detail. Following this, a preliminary calculation of the vessel's energy balance is presented, which includes an assessment of the required energy and available space for the installation of solar panels and batteries. The selected project solution is presented, including a detailed description and illustration of the solar panels, batteries, and other equipment to be installed on the vessel. Subsequently, energy consumption calculations of the new system in different usage scenarios are provided, ensuring that the system can meet the energy needs of the vessel under various conditions. Finally, the system testing process after installation is described to verify the expected efficiency of the solar panels, battery life, and alternator operation.

Keywords: Solar panels, Wind turbines, Accumulator batteries, System efficiency testing

## 1 UVOD

Trend porasta emisija CO<sub>2</sub> predstavlja ozbiljan izazov za naš planet i naglašava važnost usvajanja dugoročnih i učinkovitih mjera za smanjenje tih emisija. Neki od načina za rješavanje ovog problema uključuju prelazak na obnovljive izvore energije. Postepeno povećanje korištenja solarne energije na brodovima i sve veća svijest brodovlasnika o nužnosti implementacije obnovljivih tehnologija doprinosi zelenijoj i održivijoj budućnosti u pomorskom sektoru. Solarna energija je izvanredan resurs za proizvodnju ekološki čiste električne energije, bez štetnog utjecaja na klimu i okoliš. Solarne elektrane osiguravaju održivu proizvodnju električne energije bez ispuštanja emisija štetnih plinova u atmosferu te na brodovima doprinose smanjenju emisija štetnih ispušnih plinova. Kako tehnologija nastavlja napredovati, korištenje solarne energije postalo je ključni korak prema održivoj budućnosti. Potražnja za obnovljivom energijom nastavlja rasti, napredak u solarnoj tehnologiji dovesti će do još veće učinkovitosti i pristupačnosti, čineći je sve raširenijom i poželjnijom opcijom kod brodovlasnika. S razvojem fotonaponske tehnologije, solarne energije postupno prelazi s kopna na more i počinje se sve više koristiti na brodovima. Korištenje solarne energije u pomorskoj industriji doživjelo je značajan rast posljednjih godina, a mnogi vlasnici brodova prepoznaju prednosti korištenja obnovljive energije za napajanje svojih plovila. Solarni paneli mogu se postaviti na palubu brodova kako bi uhvatili energiju sunca i pretvorili je u električnu energiju koja se može koristiti za napajanje električnih sustava broda, pa čak i pogonskih sustava. Osim solarne energije, postoje i drugi obnovljivi izvori energije koji se također mogu koristiti za napajanje brodova, poput energije vjetra i hibridnih pogonskih sustava koji kombiniraju više izvora energije. Ova alternativna rješenja nude dodatne mogućnosti za brodarsku industriju da smanji svoj ugljični otisak i postane održivija. Nadalje, upotreba obnovljive energije u pomorskoj industriji nije ograničena na teretne brodove i putničke brodove. Obnovljiva energija također se može koristiti za napajanje kućnih potrošača na brodovima za privatnu upotrebu, kao što je to prikazano u ovom radu, gdje eliminira potrebu za generatorom električne energije, što rezultira smanjenjem emisija štetnih plinova i povećanjem udobnosti tokom boravka na moru.

## **2 PREGLED BRODSKIH ZELENIH SUSTAVA ZA SAKUPLJANJE, PRETVORBU, POHRANJIVANJE I POTROŠNJU ENERGIJE**

### **2.1 Fotonaponski moduli**

Fotonaponski moduli ili općenito rečeno, solarni paneli služe za pretvaranje i distribuciju solarne energije. Od sredine dvadesetog stoljeća, obnovljivi izvori energije, uključujući sunčevu energiju, postali su sve važniji. Ključan koncept u iskorištavanju solarne energije je fotonaponski efekt, čije otkriće pripisujemo E. Becquerelu koji je otkrio da se električna struja može proizvesti kada se zlatne ili platinaste ploče urone u kiselu, lužnatu ili neutralnu otopinu i izlože Sunčevom svjetlu. Ovaj efekt se također može postići kada su ploče izložene nejednoliko. Povećanje korištenja solarnih panela djelomično je rezultat veće ekološke svijesti. Energija prikupljena od Sunca ne ispušta ugljikov dioksid i ne zagađuje atmosferu, što je velika prednost u usporedbi s fosilnim gorivima koja značajno onečišćuju okoliš. Osim toga, solarna energija ne pridonosi globalnom zatopljenju, što je dodatna prednost njezine upotrebe [1].

#### ***2.1.1 Princip rada solarnih panela***

Solarni paneli funkcioniraju putem fotonaponskih modula, koji se sastoje od solarnih ćelija. Većina solarnih ćelija je izrađena od kristalnog silicija, a njihova efikasnost varira između 15% i 23%, ovisno o izvedbi. Svaka ćelija ima nizak izlazni napon, manji od 1V, pa je važno zaštititi ih od štetnih utjecaja, osobito vlage, koja može ometati njihov rad.

Da bi se osigurala zaštita, solarne ćelije se povezuju i oblažu materijalima poput stakla ili prozirnih polimera. Tako povezane ćelije čine fotonaponske module. Ključnu ulogu u proizvodnji i prijenosu električne energije imaju inverteri. Električna energija proizvedena u solarnim ćelijama prenosi se vodičima preko solarnog regulatora punjenja do baterija za skladištenje proizvedene energije [1].

#### ***2.1.2 Vrste solarnih panela za ugradnju na brodovima***

U ovom će dijelu rada biti detaljnije analizirane tri vrste solarnih panela:

- monokristalni silicijski solarni paneli
- polikristalni silicijski solarni paneli

- tankoslojni fotonaponski solarni paneli.

### **2.1.2.1 Monokristalni silicijski solarni paneli**

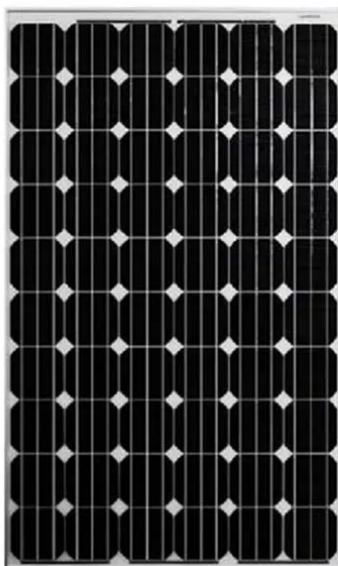
Monokristalni silicijski paneli, kako i samo ime sugerira, izrađeni su od monokristalnog silicija, jednog od najčešće korištenih materijala za solarne panele i razne primjene u elektroničkoj industriji. Učinkovitost ovih panela varira između 15% i 23%, što ih čini visoko efikasnim u usporedbi s drugim vrstama solarnih panela. Monokristalni silicij se dobiva Czochralskijevim procesom, otkrivenim u prvoj polovici dvadesetog stoljeća, koji se temelji na kristalizaciji metala. U ovom procesu, kristalna zrna silicija se tope, uranjaju u talinu, a zatim se podižu na površinu. Nakon završetka postupka, zrno silicija se kristalizira i koristi u fotonaponskim ćelijama promjera između 200 i 300 milimetara. Monokristalni solarni paneli ističu se visokom učinkovitošću i elegantnim dizajnom. Izrađeni su iz jednog komada kristala, omogućujući elektronima veću slobodu kretanja, čime postižu učinkovitost u rasponu od 17% do 22%. Iako su skuplji u usporedbi s drugim tipovima, monokristalni paneli su izvrsna opcija za brodove s ograničenim prostorom [2].

### **2.1.2.2 Polikristalni silicijski solarni paneli**

Polikristalni silicijski paneli su također važan dio tehnologije solarnih panela. Oni se razlikuju od monokristalnih panela po obliku i cijeni. Polikristalni paneli su pristupačniji, a prepoznatljiviji su po kvadratnim pločama, za razliku od zaobljenih ploča monokristalnih panela. Niža cijena polikristalnih panela povezana je s njihovom nižom učinkovitošću, koja se kreće između 15% i 17%, dok monokristalni paneli imaju učinkovitost između 13% i 19%.

Iako se polikristalni paneli također koriste u elektroničkoj industriji, njihov glavni cilj je fotonaponska industrija. Na Slici 1 prikazane su razlike u strukturi između monokristalnih i polikristalnih solarnih panela. [2].

## Monocrystalline



## Polycrystalline



Slika 1. Razlike u strukturi između monokristalnih i polikristalnih solarnih panela [3]

### 2.1.2.3 Tankoslojni solarni paneli

Tankoslojni solarni paneli razlikuju se od monokristalnih i polikristalnih panela po tome što su izrađeni od uzastopnih slojeva atoma i molekula te koriste manje materijala. Zahvaljujući automatiziranom proizvodnom procesu, tankoslojni paneli su znatno tanji. Također, za razliku od monokristalnih i polikristalnih panela, mogu se postavljati na različite materijale poput plastike i stakla. Njihova niža cijena čini ih privlačnijima sve većem broju korisnika Na Slici 2 prikazani su tankoslojni solarni paneli [1].

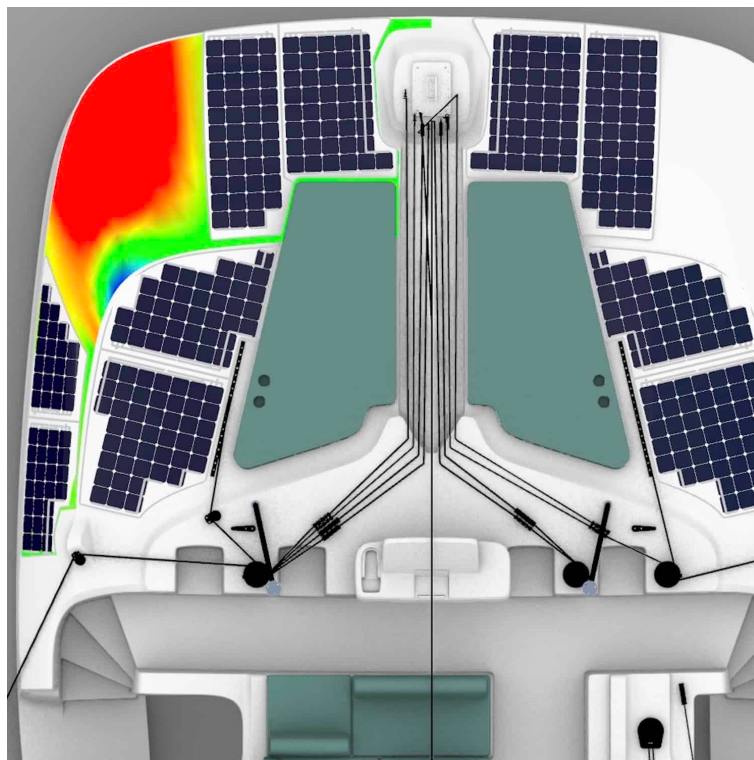


**Slika 2. Tankoslojni solarni panel [4]**

### ***2.1.3 Učinkovitost solarnih panela***

Učinkovitost proizvodnje električne energije odnosi se na sposobnost solarne ćelije da pretvori solarne energije u električnu energiju, obično izraženu u postocima. Na stvarnu učinkovitost solarne proizvodnje energije mogu utjecati različiti čimbenici, kao što su vremenski uvjeti, sjena, temperatura itd., pa ih treba uzeti u obzir prilikom postavljanja i korištenja solarnog sustava. Što je solarni panel učinkovitiji, to više električne energije može proizvesti. Učinkoviti solarni paneli zahtijevaju manje izravne sunčeve svjetlosti dnevno, dok manje učinkoviti paneli zahtijevaju više izravne sunčeve svjetlosti. Na Slici 3 prikazani je računalni prikaz stanja osunčanosti solarnih panela [2].





**Slika 3. Računalni prikaz stanja osunčanosti solarnih panela [5]**

Poznavanje učinkovitosti solarnih panela, njihove nazivne snage, prosječnih vršnih sati sunčeve svjetlosti na lokaciji i potreba za potrošnjom energije može pomoći odrediti broj potrebnih panela. Iako nijedan solarni panel ne može uvijek raditi maksimalno učinkovito, korisno je znati njihove ocjene. Možete koristiti ocjenu učinkovitosti, ocjenu snage i prosječne vršne sunčane sate za svoju lokaciju kako biste izgradili niz koji će napajati cijeli vaš dom.

Uzimajući u obzir nazivnu snagu i prosječne vršne sate sunčeve svjetlosti za lokaciju, može se optimizirati dizajn i povećati proizvodnja energije. Mnogo je čimbenika koji utječu na učinkovitost solarnih panela, uključujući temperaturu, sunčevo zračenje, kvalitetu ćelija, starost panela, orijentaciju panela, nagib, sjenčanje i čistoću. Neki čimbenici mogu se umjetno izbjeći. Radna temperatura: solarni paneli su najučinkovitiji kada je temperatura između  $15^{\circ}\text{C}$  i  $35^{\circ}\text{C}$ . Kut nagiba sunca: Smanjenje izravne sunčeve svjetlosti utjecat će na učinkovitost i izlaznu snagu solarnih panela. Učinkovitost ćelije: Kvalitetnije fotonaponske ćelije mogu osigurati veću učinkovitost. Starost solarnog panela: Starost solarnih panela povećava će smanjiti učinkovitost. Solarni kut: Optimizacija kuta i položaja panela u odnosu na sunce može poboljšati učinkovitost. Sjenčanje i sjene: Sjene mogu uvelike smanjiti učinkovitost, a redovito čišćenje fotonaponskih panela može održati njihov učinkovitiji rad [2].

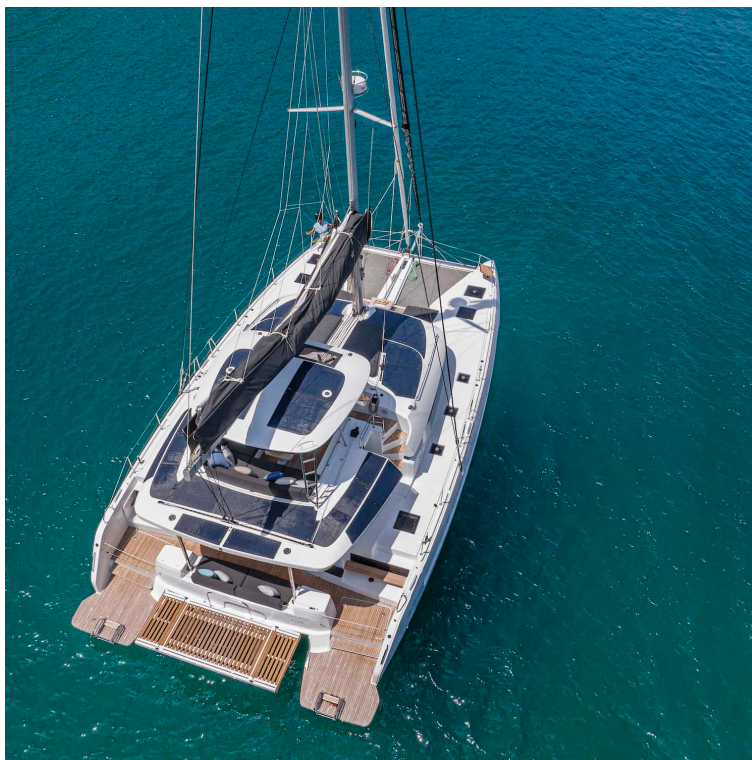
### 2.1.4 Tehnologija montaže solarnih panela

Montaža pomoću okviri i nosača: Potrebno je koristiti montažne okvire i nosače otporne na koroziju za pričvršćivanje solarnih panela na palubu, krov ili jarbole broda. Okviri trebaju omogućiti podešavanje kuta panela radi optimizacije izloženosti sunčevoj svjetlosti. Slika 4 prikazuje montažu solarnih panela na krmu katamarana [2].



Slika 4. Montaža solarnih panela na krmu katamarana [6]

Kabliranje: Upotreba UV-otpornih traka i kablova otpornih na morsku okolinu za povezivanje solarnih panela s regulatorom punjenja i baterijama. Osiguranje pravilne izolacije i zaštita kabela od oštećenja. Slika 5 prikazuje fleksibilne solarne panele instalirane sustavom ljepljivih traka na krov broda [2].



**Slika 5. Solarni paneli na krovu katamarana [5]**

Vodonepropusnost: Svi spojevi i priključci moraju biti vodonepropusni kako bi se spriječila korozija i električni kvarovi. Potrebno je koristiti brtvila i odgovarajuće spojeve za zaštitu [2].

### ***2.1.5 Nova istraživanja u svrhu unapređenja***

Baš kao što kućni solarni sustav čini kuću neovisnom o električnoj mreži, morski solarni paneli čine brod neovisan o generatoru na fosilna goriva. Brodovi s ugrađenim solarnim sustavima sve su više traženi u današnje vrijeme zbog svoje povećane energetske učinkovitosti i smanjenog utjecaja na okoliš.

Na Slici 6 je prikazan primjer dobre prakse ugradnje solarnih panela u trup broda katamarana brenda Sunreef.



**Slika 6. Inovativan način integracije solarnih panela u trup broda [7]**

Obnovljiva energija dobivena iz prirodnih izvora obnavlja se mnogo brže nego što se troši. Od tih izvora, solarna energija je najbogatiji obnovljivi izvor energije na Zemlji koji se može iskoristiti čak i za oblačnog vremena. Dvotrupna struktura katamarana rezultira velikom širinom, što pruža dovoljno prostora za instalaciju solarnih panela na krovu ili na boku broda kao što je prikazano na Slici 6. Solarni paneli trenutno stječu značajnu popularnost među projektantima i proizvođačima katamarana kao sredstvo za opskrbu čistom energijom putem pouzdanog izvora [7].

#### **2.1.5.1 Prednosti solarnih katamarana**

Oceani su dom najvećih kontinuiranih ekosustava; nažalost, također su i najosjetljiviji. Milijuni ljudi širom svijeta uživaju u marina i brodskim aktivnostima, ostavljajući za sobom zagađenje. Načini na koja katamarani opremljeni solarnim panelima ispravljaju često prisutne opasnosti za dobrobit okoliša. Ispuštanje dimnih plinova iz motora lako kontaminiraju vodu oko marina. To povećava razine toksičnosti u vodi, što rezultira povećanjem koncentracija zagađivača u vodenim organizmima i sedimentima. Instalacija solarnih panela smanjuje ovisnost svih vrsta plovila o neobnovljivim izvorima energije, tj. fosilnim gorivima. Buka iz brodova prilikom rada motora ili generatora dopire izravno do morskog dna i natrag. Ove akustične vibracije koje se

prenose utječu na morske životinje. Brodovi opremljeni održivim tehnologijama mnogo su tiši od tradicionalnih brodova samo na fosilna goriva; stoga održavaju mir potreban morskom životu za komunikaciju i kontinuirani rast. U usporedbi s generatorima na fosilna goriva, brodovi opremljeni solarnim panelima proizvode električnu energiju po nižim troškovima jer solarni paneli stvaraju energiju putem sunčeve svjetlosti, obnovljivog izvora energije koji je prisutan u ima ga u izobilju. Čak i ako brod koristi fosilna goriva i solarnu energiju, i dalje će postići značajne uštede na gorivu. Osim očitih ekoloških čimbenika, solarni paneli ispunjavaju važan kriterij za korisnike koji ne žele ostati daleko od kopna s praznom baterijom. Na tipičan dan jedrenja, ima dovoljno sunčeve svjetlosti da se kućna baterija napuni dovoljno da generira električnu energiju koja održava električne sustave i uređaje na brodu. Dodatna prednost solarnih panela je ta što nastavljaju generirati energiju čak i kada je katamaran u mirovanju. Ta se energija pohranjuje u baterije za kasniju upotrebu. Nadalje, za razliku od generatora na fosilna goriva, solarni katamarani ne proizvode prekomjernu toplinu, tiši su i gotovo da nemaju vibracije [7].

#### **2.1.5.2 Klasifikacija solarnih panela**

Postoji razne vrste solarnih panela dostupnih za morske brodove: podesivi paneli, standardni paneli i visokoučinkoviti tankoslojni paneli. Iako neki mogu tvrditi da prijenosni solarni paneli olakšavaju premještanje na mjesto gdje sunce najjače sija, trajno montirani paneli su spremni za rad tijekom cijelog dana. Unatoč njihovom dugom vijeku trajanja, standardni paneli često ne pronalaze mjesto u morskoj industriji jer ograničavaju raspoloživi prostor na brodu. Stoga, visokoučinkoviti tankoslojni paneli postaju pobjednici zbog svoje sposobnosti trajnog ugrađivanja u karoseriju solarnog katamarana bez ograničavanja životnog prostora.

Svaki solarni panel sastoji se od fotonaponskih ćelija, koje se sastoje od pozitivnog i negativnog sloja za stvaranje električnog polja. One su izrađene od monokristalnog silicija, poluvodiča koji apsorbira sunčevo zračenje za proizvodnju električne energije putem fotonaponskog efekta [7].

#### **2.1.5.3 Integracija u Strukturu Solarnih Katamarana**

Orijentacija sunca bi trebala biti takva da pogađa solarne panele pod kutom od  $90^\circ$  za najbolju izvedbu. Međutim, s obzirom na to da se Zemlja okreće oko svoje osi tijekom 24 sata, nije moguće osigurati savršen kut tijekom cijelog dana. Osim toga, količina proizvedene energije može varirati ovisno o vanjskim čimbenicima, poput zgrade koja sprječava direktno sunčevo svjetlo da dođe do solarnih panela ili loma svjetlosti od vodene površine prije kontakta.

Cilj je maksimalno iskoristiti raspoloživi prostor dodavanjem solarnih panela preko trupova, jarbola, nadgrađa, pramčane palube i bimini tende broda. Zbog ovog rasporeda, solarni paneli primaju dovoljno sunčeve svjetlosti pod željenim kutovima od ranog jutra do kasnog poslijepodneva. Istodobno, svjetlosne zrake koje se odbijaju od površine vode prema solarnim panelima, u procesu zvanom refleksija, također pomažu u generiranju električne energije [7].

## 2.2 Vjetroturbine

Energija vjetra je snaga dobivena pretvaranjem kinetičke energije proizvedene od kretanja zraka u mehaničku snagu. Vjetroturbine hvataju tu energiju i transformiraju je u električnu energiju koristeći aerodinamičku silu svojih lopatica rotora. Slika 7 prikazuje vjetroturbinu montiranu na brod [9].



**Slika 7. Montirana brodska vjetroturbina**

Kao čisti, besplatni, neograničeni i lako dostupni resurs, vjetar generira održivu električnu energiju. Zbog toga rastu ulaganja u razvoj ovog obnovljivog izvora energije. U pomorskoj industriji, potiče se da ova alternativna snaga igra ključnu ulogu u dekarbonizaciji sektora. Neke tvrtke već razmišljaju o brodovima koji su 100% pokretani vjetrom, no još uvijek je dug put prije nego što flote budu sastavljene samo od takvih plovila [8].

### **2.2.1 Dijelovi vjetroturbine**

#### Lopatice rotora

Lopatice su u osnovi jedra sistema; u najjednostavnijem obliku, one djeluju kao barijere za vjetar. Kada vjetar prisili lopatice da se pomaknu, prenio je dio svoje energije na rotor.

#### Osovina

Osovina vjetroturbine povezana je sa središtem rotora. Kada se rotor okreće, osovina se također okreće. Na taj način rotor prenosi svoju mehaničku, rotacijsku energiju na osovinu, koja na drugom kraju ulazi u električni generator.

#### Generator

U svojoj osnovi, generator je prilično jednostavan uređaj. Koristi svojstva elektromagnetske indukcije za proizvodnju električnog napona - razliku u električnom naboju. Napon je u suštini električni pritisak - to je sila koja pomiče električnu energiju, ili električnu struju, s jedne točke na drugu. Dakle, generiranje napona zapravo znači generiranje struje. Jednostavan generator sastoji se od magneta i vodiča. Vodič je obično namotana žica. Unutar generatora, osovina je povezana sa sklopom trajnih magneta koji okružuju zavojnicu žice. U elektromagnetskoj indukciji, ako imate vodič okružen magnetima, i jedan od tih dijelova se rotira u odnosu na drugi, inducira se napon u vodiču. Kada rotor okreće osovinu, osovina okreće sklop magneta, generirajući napon u zavojnici žice. Taj napon pokreće električnu struju (obično izmjeničnu struju) kroz dalekovode za distribuciju [9].

### **2.2.2 Vrste vjetroturbina**

Kada govorimo o modernim vjetroturbinama, postoje dva osnovna dizajna: s horizontalnim i vertikalnim osima. Vjetroturbine s vertikalnom osi su prilično rijetke. Kod vjetroturbine s vertikalnom osi, osovina je postavljena na vertikalnu os, okomitu na tlo. Takve vjetroturbine uvijek su usmjerene prema vjetru, za razliku od svojih horizontalnih ekvivalenata, tako da nije potrebna prilagodba kada se smjer vjetra promijeni; međutim, one ne mogu samostalno započeti s radom – potreban mu je poticaj iz električnog sustava za pokretanje.

Vjetroturbine s horizontalnom osi postavljena je horizontalno, paralelno s tlom. Ova vrsta vjetroturbina mora se neprestano usmjeravati prema vjetru pomoću mehanizma za podešavanje. Sustav se sastoji od električnih motora i mjenjača koji pomiču cijeli rotor lijevo ili desno u malim koracima. Elektronički kontroler turbine očitava položaj uređaja za pokazivanje smjera

vjetra (mehaničkog ili elektroničkog) i prilagođava položaj rotora kako bi uhvatio što više dostupne energije vjetra [9].

### **2.2.3 Aerodinamički principi modernih vjetroturbina**

Moderne turbine koriste sofisticiranije aerodinamičke principe kako bi najučinkovitije uhvatile energiju vjetra. Dvije osnovne aerodinamičke sile koje djeluju na rotore vjetroturbina su uzgon, koji djeluje okomito na smjer strujanja vjetra, i otpor, koji djeluje paralelno sa smjerom strujanja vjetra.

Lopaticice turbine oblikovane su slično kao krila aviona – koriste dizajn aeroprofila. Kod aeroprofila, jedna površina lopaticice je nešto zaobljena, dok je druga relativno ravna.

### **2.2.4 Vjetroturbine za instalaciju na brodovima**

Morske vjetroturbine savršen su način za punjenje baterija na brodu.

Jednostavne za montažu na brodu, energija koju generira vjetroturbina smanjuje ovisnost o struji s kopna ili o pokretanju motora za punjenje baterija na brodu. Što će smanjiti troškove rada broda smanjujući potrošnju goriva i potrebu za priključivanjem na kopnenu struju.

U međuvremenu, energija vjetra može se koristiti kao učinkovit dodatak drugim izvorima energije, kao što su solarni paneli, kako bi se povećala proizvodnja energije potrebna za svakodnevno funkcioniranje brodskog energetskeg sustava te smanjila potreba za radom generatora, što rezultira smanjenjem emisija ugljičnog dioksida. Slika 8 prikazuje tipičnu vjetroturbinu koja je koristi kod jedrilica i katamarana srednje veličine.





Slika 8. Vjetroturbina za instalaciju na brodu [10]

Prikaz specifikacija tipične vjetroturbine koja se instalira na jedrilicu ili katamaran srednje veličine:

**Vrsta turbine:** Horizontalna morska vjetroturbina

**Izlazna snaga:** Otprilike 30 kWh/mjesečno pri prosječnoj brzini vjetra od 5,8 m/s

**Maksimalna snaga:** 400W

**Brzina vjetra za početak rada:** 3,6 m/s

**Promjer rotora:** 1,17 m

**Površina zahvata:** 1,07 m<sup>2</sup>

**Montažni stup:** Zahtijeva vanjski promjer od 48 mm

**Težina:** 5,9 kg

**Vrsta rotora:** Horizontalni s 3 lopatice

**Materijal lopatica:** Plastika, opcija za lopatice od karbonskih vlakana

**Izrada kućišta:** Lijevani aluminij s antikorozivnim premazom

**Vrsta generatora:** Trofazni alternator s trajnim magnetima bez četkica

**Način upravljanja:** Pametni kontroler baziran na mikroprocesoru

**Kontrola prebrze vrtnje:** Elektronička kontrola zakretnog momenta

**Maksimalna brzina vjetra prije loma:** 49,2 m/s [10].

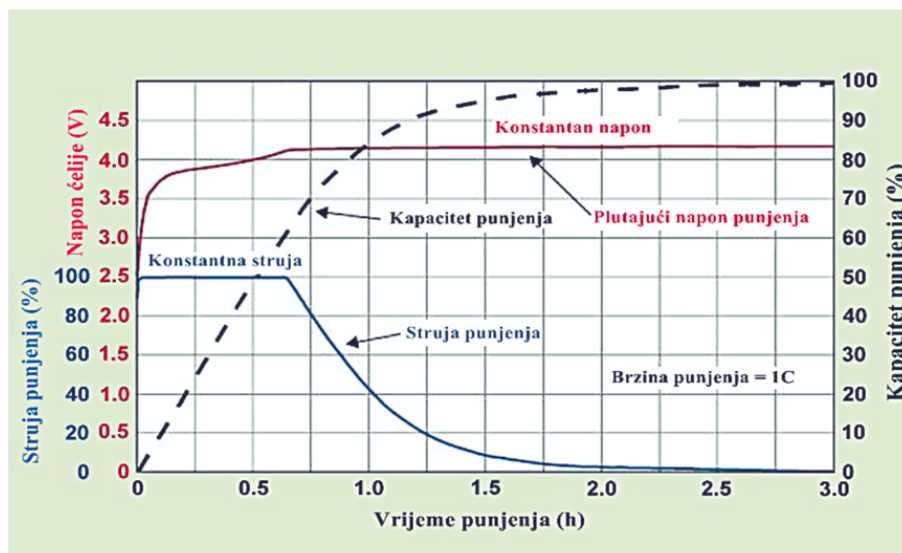
## 2.3 Brodske baterije

### 2.3.1 Litij-ionska baterija

Litij-ionska baterija vrsta je punjive baterije u kojoj se litij-ioni tijekom pražnjenja i natrag tijekom punjenja pomiču s negativne elektrode na pozitivnu. Danas su litij-ionske baterije svuda oko nas, svih vrsta i namjena i uključuju potrošačku elektroniku, inteligentno kućanstvo, svjetlosne proizvode (električne alate, igračke, elektroničke cigarete, modele zrakoplova, bespilotne letjelice, medicinsku opremu, , napajanje s automatskim zaustavljanjem), rasvjetu (hitna rasvjeta, industrijska rasvjeta, vanjske svjetiljke i fenjeri, rudarska lampa), geodetski instrumenti (totalna stanica, detektor), skeneri za crtični kod, ručni pisači i druga posebna oprema. U posljednjih nekoliko godina njihov razvoj ima vrlo brzu uzlaznu putanju i teži se razvojem novih industrija koje bi omogućile da ovakve baterije u velikim sustavima budu bitan faktor. Litij-ionske baterije imaju najbolje karakteristike među svim vrstama punjivih baterija koje su trenutno dostupne na tržištu. Primjena litij-ionskih baterija u skladištenju energije iz obnovljivih izvora poput sunca i vjetra, kao i u automobilima, brzo se širi. Ove baterije najčešće se koriste u potrošačkoj elektronici zbog svoje visoke energetske gustoće, niske stope samo-pražnjenja i minimalnog memorijskog efekta. Ime su dobile po ionima litija koji prelaze s negativne na pozitivnu elektrodu prilikom pražnjenja, i obrnuto prilikom punjenja. Litij-ionske baterije imaju brojne prednosti, uključujući visoku energetske gustoću koja označava koliko energije može biti pohranjeno u određenom volumenu ili masi. Ovo se izražava kao specifična gustoća (Wh/kg) i volumetrijska gustoća (Wh/l ili Wh/cm<sup>3</sup>). Također, imaju najveću gustoću snage u usporedbi s drugim baterijama, što ih čini vrlo efikasnim. Jedna ćelija litij-ionske baterije ima nazivni napon od 3.6 V, a kada je potpuno napunjena, napon je 4.2 V. Baterija se smatra praznom kada napon padne ispod 2.5 V, iako ne bi trebao pasti ispod 3 V jer to može oštetiti bateriju. Ako napon padne ispod 2.5 V, ćelija može biti nepovratno oštećena, a napon iznad 4.2 V može dovesti do eksplozije ćelije.

Zbog ovih rizika, litij-ionske baterije zahtijevaju sustav za nadzor stanja i balansiranje rada svih ćelija, posebno tijekom punjenja. To se postiže dodavanjem sustava za upravljanje baterijama, koji nadzire napon, struju i temperaturu, te osigurava siguran rad prekidanjem strujnog kruga kada su uvjeti opasni [12].

Postoje tri faze koje se mogu razlikovati prilikom punjenja baterije: pred punjenje, konstantna struja i konstantni napon. Na Slici 9 prikazana je krivulja punjenja jedne li-ion baterije. Jedan proces punjenja i pražnjenja baterije nazivamo ciklusom. Svrha baterija je spremanje energije i distribucija iste u željenom vremenu [12].



Slika 9. Krivulja punjenja litij-ion baterije [12]

Dugo vremena, akumulatorske baterije s kiselinom igrale su značajnu ulogu u našem svakodnevnom životu. Danas se, međutim, uspoređuju nepovoljno s litijskim baterijama iz mnogih razloga. Prije svega, litijske baterije su tri puta lakše od akumulatorskih baterija s kiselinom za istu količinu energije. Postale su vrlo popularne u različitim primjenama, uključujući i pogon električnih brodova. Za razliku od sustava koji koriste akumulatorske baterije s kiselinom, brodski sustavi opremljeni litijskim baterijama su ekonomičniji i bolji za okoliš. Nadalje, litijske baterije imaju superiornu učinkovitost u usporedbi s akumulatorskim baterijama s kiselinom. Dok akumulatorske baterije imaju učinkovitost od oko 80%, litijske baterije imaju učinkovitost od 98%. Osim toga, kapacitet litij-ionske baterije je znatno superiorniji od kapaciteta akumulatorske baterije s kiselinom. Stoga, dvije baterije s istim kapacitetom od 12V i 100Ah neće omogućiti istu ekstrakciju energije: oko 1000Wh iz litijske baterije naspram samo 500Wh iz akumulatorske baterije. Što se tiče snage, dokazano je da litijska baterija prihvaća mnogo veće punjenje nego akumulatorska baterija. Isto vrijedi i za njen vijek trajanja. Litijska baterija ima životni ciklus četiri puta duži od akumulatorske baterije s kiselinom za identičnu upotrebu [11].

### 2.3.2 Prednosti i nedostaci litij-ionskih baterija

Prednosti litij-ionskih baterija u usporedbi s ostalim vrstama baterija:

- Visoka energetska gustoća
- Nisko samopražnjenje: Energija pohranjena u baterijama smanjuje se minimalnim kemijskim reakcijama, s gubitkom od 5-10% mjesečno.
- Niska potreba za održavanjem
- Kratki ciklusi punjenja i pražnjenja
- Mogućnost visoke struje pražnjenja po potrebi

Nedostaci litij-ionskih baterija:

- Potreba za zaštitnim krugom
- Visok unutarnji otpor: Povećava se s brojem ciklusa punjenja i starenjem.
- Podložnost starenju čak i kada nisu u upotrebi
- Visoka cijena [12].

### 2.3.3 Tipovi brodskih baterija

Brodске baterije obično se dijele u tri kategorije: startne baterije, baterije s dvostrukom namjenom i baterije s dubokim ciklusom. U Tablici 1 prikazana je usporedba baterijskih tehnologija na osnovi gustoće energije i snage.

- **Startne baterije:** Dizajnirane za pružanje brzih energetske impulsa za pokretanje motora te startne baterije nisu optimalne za duboko pražnjenje i ponovno punjenje. Namijenjene su za visoku pokretačku snagu, ali možda neće izdržati intenzivnu upotrebu učestalog pražnjenja.
- **Baterije s dvostrukom namjenom:** Kako samo ime sugerira, baterije s dvostrukom namjenom postižu ravnotežu između snage pokretanja i sposobnosti dubokog ciklusa. Iako su sposobne u obavljanju obje uloge, možda neće biti izuzetne ni u jednoj kategoriji u usporedbi s specijaliziranim baterijama.
- **Baterije s dubokim ciklusom:** Općenito se smatra preferiranim izborom za pomorske svrhe, baterije dubokog ciklusa posebno su dizajnirane da izdrže ponovljena duboka pražnjenja i punjenja. Pružaju izuzetnu dugovječnost i otpornost, što ih čini idealnim izvorom napajanja za brodsku opremu, druge električne sustave na brodu [13].

**Tablica 1. Usporedba baterijskih tehnologija na osnovi gustoće energije i snage [14]**

|              | Gustoća snage<br>(kW/l) | Spec. snaga<br>(kW/kg) | Gustoća energije<br>(Wh/l) | Spec. težina<br>(Wh/kg) |
|--------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| AGM Pb-Ac    | 0,12                    | 0,08                   | 90                         | 44                      |
| NiMH         |                         | 0,21-0,35              |                            | 90-150                  |
| Zebra        | 0,24                    | 0,16                   | 167                        | 114                     |
| NaS          | 0,021                   | 0,17                   | 170                        | 117                     |
| HP-ME Li-ion | 0,22                    | 0,11                   | 270                        | 120                     |

Na temelju dostupnih podataka, Li-ion tehnologija baterija trenutno se pokazuje kao najbolja opcija za velike isporuke energije i srednje snage. Ove baterije mogu dugotrajno isporučivati energiju bez značajnog pada snage. Životni vijek im je dovoljno dug da ne zahtijevaju česte zamjene.

Li-ion baterije su sedam puta lakše od olovno-kiselinskih (AGM) baterija i dvostruko lakše od Zebra i NiMH baterija pri istoj energetske gustoći. Visoka energetska gustoća Li-ion baterija čini ih praktičnim za primjenu na brodovima, gdje je optimizacija prostora vrlo važna [14].

Gotovo svaki jedrilica ili motorni brod ima na brodu više ili manje složen električni sustav i promjenjiv broj baterija. To ovisi o veličini broda, instaliranim instrumentima i opremi na brodu. Bez obzira na razinu složenosti, primjenjuju se isti osnovni principi.

Prije svega, električni krugovi na brodu razlikuju se od kućnih električnih krugova po vrsti struje koja se koristi. Struja je kontinuirana umjesto izmjenične i razlikuje se po naponu. Sustavi na brodovima rade na 12 ili 24 volta, umjesto 220 volti koliko iznosi napon kućnih električnih krugova u Europi. Na manjim jedrilicama obično nalazimo električne krugove od 12 volti. Na jedrilicama duljine 15 metara i više te na motornim brodovima nalazimo električne krugove od 24 volta.

Mnoga elektronika, poput ploter karti, ima automatski mehanizam za odabir ispravnog napona. Drugi tipovi opreme, kao što su kaljužne pumpe ili desalinatori, dostupni su zasebno za sustave od 12 ili 24 volta [15].

## 2.4 Alternator

Na dizelskom motoru nalazi se razvodni remen koji se pokreće pomoću remenice na osovini bregastog vratila. Ovaj remen odgovoran je za pogon pumpe rashladne vode i alternatora.

Alternator je konceptualno samo još jedan električni motor. No, umjesto da se pokreće strujom, on proizvodi struju kada ga pokreće motor. Dok god se alternator okreće, pomaže u punjenju baterija.

Na brodu preporučljivo je imati sustav punjenja za starter i servisne baterije s dva alternatora, posebno za duge plovidbe. Krug alternatora je paralelan s pokretačkim krugom, ali i ovdje kabeli polaze i vraćaju se do baterijskog sklopa motora ili do razdjelnog punjača. Ova dva kruga su osnova za ispravan rad unutarnjeg motora [15].

Danas je na plovilima svih vrsta potreba za električnom energijom postala nužna. Sve više električne opreme zahtijeva napajanje, od brodskih klima uređaja i plotera, preko punjača za pametne telefone i hladnjake, do električnih vitla i kaljužnih pumpi. Brodski energetske sustav je vrlo složen, sastavljen od nekoliko podsustava za proizvodnju, skladištenje i potrošnju električne energije. Ovaj sustav mora biti samodostatan i zatvoren.

Za proizvodnju električne energije na raspolaganju su različiti izvori poput alternatora, generatora, vjetrogeneratora, fotonaponskih panela ili priključka na kopnu. Odnos snage alternatora i kapaciteta baterije treba biti takav da snaga alternatora iznosi najmanje 25% ukupnog kapaciteta baterije. Na primjer, za bateriju kapaciteta 100 Ah, nazivna snaga alternatora trebala bi biti 35 A, budući da njegova realna snaga u radnom režimu iznosi 25 A. Važno je i koliko brzo alternator može napuniti baterije do punog kapaciteta [16].

Prilikom povećanja kapaciteta brodskih baterija, kako bi se maksimizirala učinkovitost proizvodnje električne energije i omogućilo jednostavnije i brže punjenje brodskih baterija, tokom korištenja motora s unutarnjim izgaranjem preporučuje se uz iznad navedene tehnologije sakupljanja solarne i energije vjetra zamijeniti i tvornički alternator s alternatorom koji proizvodi više električne energije.

Za takvo rješenje postoje 2 opcije. Prva opcija je montirati dodatan alternator uz postojeći.

### 2.4.1.1 Sekundarni alternator

1. Ostaviti standardni alternator nepromijenjenim i koristiti ga samo za punjenje starter baterije.
2. Montirati sekundarni pametni alternator s većim kapacitetom, posvećen kućnom baterijskom sklopu.

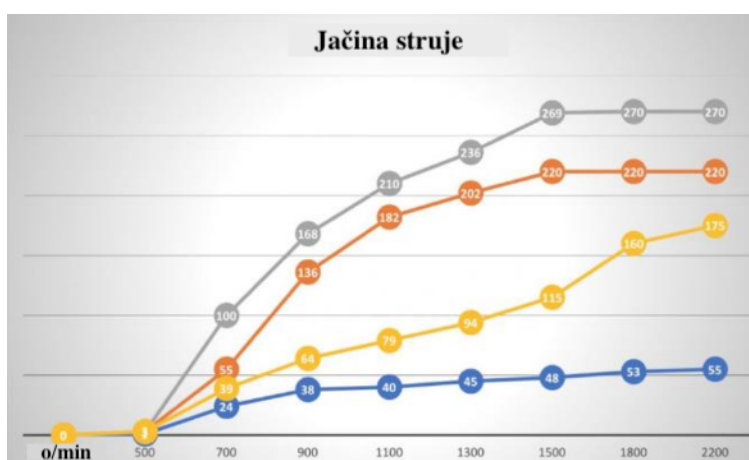
Međutim, postoje neki nedostaci ove opcije:

- Troškovi montažnog nosača za sekundarni alternator, u načelu su znatno previsoki
- Fizička mogućnost instalacije drugog alternatora – vrlo je vjerojatno da neće biti dovoljno prostora za ugradnju dodatnog nosača/alternatora.
- Povećano opterećenje motora (i smanjenje snage motora) zbog standardnog alternatora, dok se koristi samo za punjenje starter baterije.

### 2.4.1.2 Zamjena glavnog alternatora jačim modelom

1. Zamijeniti standardni alternator visoko kapacitetnim pametnim alternatorom od 250A. Za takvu instalaciju nisu potrebni nosači.

Ovo bi omogućilo struje punjenja prikazane gornjom sivom krivuljom na Slici 10. Brojevi prikazani u kružnicama predstavljaju vrijednosti u amperima.



Slika 10. Usporedba jačine struje visoko učinkovitog alternatora s tvorničkim alternatorom

- Dio alternatorskog kompleta koji uključuje vanjski regulator punjenja. Ovaj regulator sadrži dio unutarnjih komponenti alternatora koje se inače zagrijavaju tijekom uporabe. Budući da je vanjski, omogućava ugradnju izvan motornog prostora, što znači da neće biti toliko pod utjecajem temperature motornog prostora kao normalni alternatori.
- Također će optimizirati struju punjenja na temelju (temperature/kapaciteta pri određenim okretajima) + stabiliziranog napona punjenja. Može se programirati da savršeno odgovara zahtjevima ugrađenih baterija.

## 2.5 Brodske klime

Klimatizacijski uređaji za pomorsku primjenu mogu se podijeliti u tri glavne kategorije: samostalne jedinice, split sustave i sustave s hlađenjem vode, poznate i kao sustavi hladene vode. Svi ovi sustavi koriste vodu iz medija u kojem se brod nalazi, za učinkovito i konzistentno hlađenje zraka, no razlikuju se po načinu na koji to postižu, a svaka kategorija ima svoje prednosti i nedostatke [17].

### 2.5.1 Samostalne jedinice

Samostalne jedinice su kompaktne konstrukcije koje integriraju sve komponente u jedno kućište prikazane na Slici 11. To su samostalni sustavi s izravnom ekspanzijom posebno razvijeni za brodove gdje je potrebno istovremeno hlađenje ili grijanje jedne ili više kabina. Komponente uključuju kompresor, toranj isparivača, rashladne spirale, puhalo i električnu kutiju s upravljačkom pločom i drugim električnim komponentama. Zbog male površine mogu se ugraditi u prostorije koje trebaju hladiti ili grijati, obično ispod sjedala, unutar ormara ili ladica, ili ispod kreveta [17].





Slika 11. Samostalna jedinica brodske klime [18]

Ove jedinice su prikladnije za brodove do 45 stopa ili brodove u kojima se nalazi više jedinica za hlađenje. Također su dobro rješenje za dodavanje klimatizacije u nove prostore koji prethodno nisu imali klimatizacijske uređaje, kao što su prostorije za posadu, komandni most, strojarnica, kokpit itd. Dostupni u 115V i 230V te rade na 50Hz i 60Hz, eliminirajući potrebu za uređajima za regulaciju napona. Na Slici 12 prikazani su parametri različitih jačina samostalnih jedinica klime [17].

| PARAMETRI JEDINICE                                    |           | SSC 06     | SSC 08     | SSC 10      | SSC 13      | SSC 16      | SSC 24      |
|---|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kapacitet hlađenja                                    |           | 6000 Btu/h | 8000 Btu/h | 10000 Btu/h | 13000 Btu/h | 16000 Btu/h | 24000 Btu/h |
| Kapacitet grijanja                                    |           | 6500 Btu/h | 8700 Btu/h | 11000 Btu/h | 13800 Btu/h | 17600 Btu/h | 26400 Btu/h |
| Izvor napajanja                                       |           | 230V/50Hz  | 230V/50Hz  | 230V/50Hz   | 230V/50Hz   | 230V/50Hz   | 230V/50Hz   |
| Ulazna snaga (kW)                                     | Hlađenje: | 0,51       | 0,74       | 0,78        | 1,01        | 1,17        | 1,75        |
|   | Grijanje: | 0,66       | 0,86       | 1,05        | 1,28        | 1,56        | 2,20        |
| Potrošnja struje (A)                                  | Hlađenje: | 4,5        | 3,30       | 3,5         | 4,20        | 5,10        | 7,90        |
|   | Grijanje: | 5,8        | 3,70       | 4           | 5,20        | 6,50        | 9,90        |
| Protok zraka (m <sup>3</sup> /h)                      | Visoki:   | 380        | 420        | 500         | 580         | 730         | 1200        |
|   | Srednji:  | 305        | 350        | 405         | 495         | 610         | 1080        |
|   | Niski:    | 210        | 280        | 290         | 410         | 520         | 900         |
| Rashladno sredstvo                                    |           | R410A      | R410A      | R410A       | R410A       | R410A       | R410A       |
| Dimenzije   | Visina:   | 280        | 298        | 298         | 298         | 338         | 430         |
|   | Širina:   | 400        | 480        | 480         | 480         | 500         | 690         |
|   | Dubina:   | 238        | 285        | 285         | 285         | 315         | 448         |
| Minimalna veličina kanala za zrak (mm)                |           | 100        | 100        | 150         | 125         | 150         | 200         |
| Minimalna povratna rešetka za zrak (cm <sup>2</sup> ) |           | 300        | 300        | 450         | 450         | 510         | 720         |
| Minimalna rešetka za dovod zraka (cm <sup>2</sup> )   |           | 750        | 750        | 800         | 800         | 1030        | 1400        |
| Veličina odvoda kondenzata                            |           | DN20       | DN20       | DN20        | DN20        | DN20        | DN20        |
| Cijev za morsku vodu                                  |           | 5/8"       | 5/8"       | 5/8"        | 5/8"        | 5/8"        | 5/8"        |
| Neto težina (kg)                                      |           | 17,50      | 20,00      | 25,50       | 26,50       | 29,50       | 58,00       |

Slika 12. Parametri različitih jačina samostalnih jedinica klime [18]

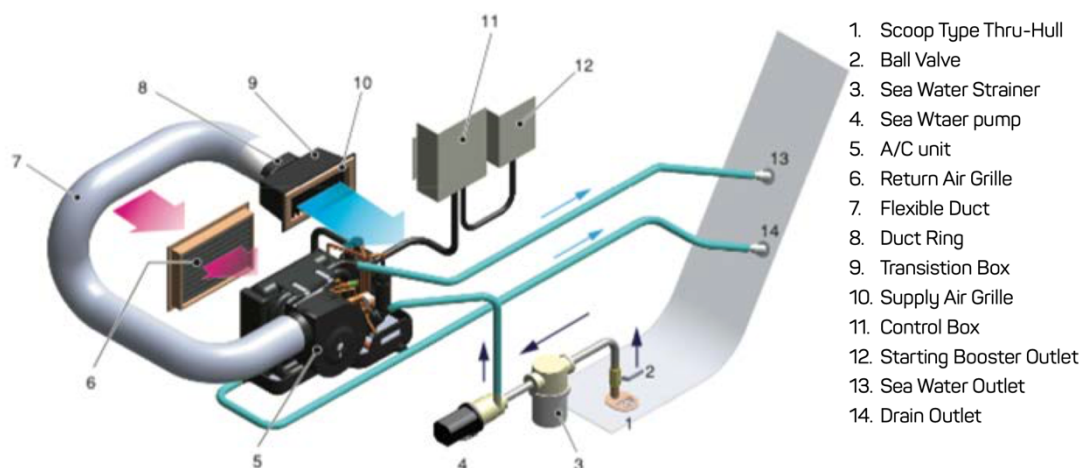
**Prednosti:**

- Jednostavna instalacija jer dolaze unaprijed napunjene.
- Nema potrebe za rukovanjem rashladnim sredstvima ili zavarivanjem.
- Manja težina i površina od drugih sustava.
- Najjeftinije u usporedbi s drugim pomorskim klimatizacijskim sustavima na ovom popisu.
- Jednostavno održavanje [17].

**Nedostaci:**

- Mogu biti bučnije od drugih sustava jer su kompresori obično smješteni u prostorijama koje trebaju hladiti.
- Moguće je osjetiti vibracije koje dolaze iz klimatizacijskog uređaja.
- Veće su, što zahtijeva više prostora u prostorijama [17].

Na Slici 13 prikazana je tipična instalacija samostalne jedinice brodske klime.



Slika 13. Tipična instalacija samostalne jedinice [18]

### 2.5.2 Razdvojeni (split) klimatizacijski uređaji

Sustavi su s izravnom ekspanzijom koji se sastoje od dvije odvojene jedinice (kondenzatorske i ventilatorske jedinice) te predstavljaju idealno rješenje za klimatizacijske potrebe jedrilica i motornih brodova. Korištenje *split* sustava minimizira razinu buke u kabinama jer se kompresor (kondenzatorska jedinica) može instalirati izvan stambenog prostora, što također predstavlja optimalno rješenje u situacijama gdje nema dovoljno prostora za ugradnju samostalnog sustava. Najtipičnija instalacija uključuje postavljanje kondenzatorske jedinice u motornom prostoru kako bi se izolirala buka kompresora, dok se ventilatorska jedinica općenito instalira u salon, ispod kreveta ili u namještaj unutar jedne kabine. Kondenzatorska i ventilatorska jedinica *split* sustava međusobno su povezane izoliranim bakrenim cijevima za rashladno sredstvo. Jedinice dolaze sa standardnim izoliranim cijevima duljine 2,5 m; moguće je povećati udaljenost između dva dijela klima uređaja do 7-8 m. Na Slici 14 prikazani su razdvojeni (*split*) sustavi brodskih klima [18].



Slika 14. Razdvojena (split) jedinica brodske klime [18]

Ove jedinice se preporučuju za veće brodove, dužine od 40 do 80 stopa, koji mogu smjestiti kompresore u motorni prostor. Ovakav sustav može imati jednu kondenzacijsku jedinicu povezanu s do tri isparivača u različitim prostorijama. Snaga modela varira od 10.000 BTU do 48.000 BTU pri 230V ili od 10.000 BTU do 16.000 BTU pri 115V. Slika 15 prikazuje parametre različitih jačina razdvojenih (*split*) jedinica klime dok Slika 16 prikazuje tipičnu instalaciju razdvojene (*split*) jedinice klime [17].

| PARAMETRI JEDINICE                     |          | SCP10 | SCP13     | SCP16     | SCP24     |
|--|----------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Kapacitet hlađenja                     | Btu/h    | 10000 | 13000     | 16000     | 24000     |
| Kapacitet grijanja                     | Btu/h    | 11000 | 14300     | 17500     | 26400     |
| Izvor napajanja                        |          |       | 230V/50Hz | 230V/50Hz | 230V/50Hz |
| Ulazna snaga (kW)                      |          | 0,94  | 1,05      | 1,15      | 1,36      |
| Rashladno sredstvo                     |          | R410A | R410A     | R410A     | R410A     |
| Dimenzije kondenzatorske jedinice      | Visina   | 315   | 315       | 335       | 408       |
|  | Širina   | 280   | 280       | 250       | 250       |
|  | Dubina   | 220   | 220       | 330       | 330       |
| Priključna cijev                       | Plin     | 9,52  | 9,52      | 12,7      | 12,7      |
|  | Tekućina | 6,35  | 6,35      | 9,52      | 9,52      |
| Veličina priključka za morsku vodu     |          | 1/2"  | 1/2"      | 1/2"      | 1"        |
| Veličina odvoda kondenzata             |          | DN20  | DN20      | DN20      | DN20      |
| Neto težina (kg)                       |          | 29    | 30        | 32        | 58        |
| Dimenzije isparivačke jedinice         | Visina   | 300   | 300       | 355       | 430       |
|  | Širina   | 355   | 355       | 500       | 560       |
|  | Dubina   | 245   | 245       | 345       | 370       |
| Minimalna veličina kanala za zrak (mm) |          | 125   | 125       | 150       | 200       |
| Ulazna snaga (W)                       |          | 100   | 100       | 200       | 300       |
| Priključna cijev                       | Plin     | 9,52  | 9,52      | 12,7      | 12,7      |
|  | Tekućina | 6,35  | 6,35      | 9,52      | 9,52      |
| Veličina odvoda kondenzata             | DN20     | DN20  | DN20      | DN20      | DN20      |
| Neto težina (kg)                       |          | 10    | 12        | 14        | 18        |

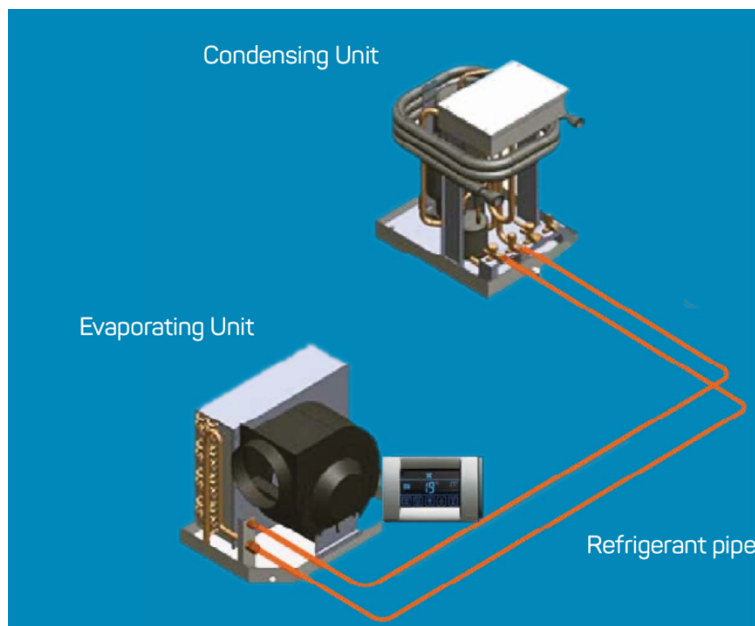
Slika 15. Parametri različitih jačina razdvojenih (*split*) jedinica klime [18]

#### Prednosti:

- Smještanje kondenzacijske jedinice (kompresora) u strojarnicu ili drugu izoliranu zonu drastično smanjuje razinu buke unutar plovila.
- Jedna kondenzacijska jedinica može podržavati do tri isparivača, što zahtijeva manje prostora unutar plovila u usporedbi sa samostalnim jedinicama.
- Širok raspon opcija isparivača različitih veličina i oblika [17].

#### Nedostaci:

- Mogu biti skuplji od samostalnih jedinica iste snage.
- Instalacija je složenija i zahtijeva zavarivanje, cijevi i rukovanje rashladnim sredstvima.
- Osim ako sustav nije modularan, svi isparivači povezani s kondenzacijskom jedinicom mogu se kontrolirati samo jednim prikazom.
- Nemaju tako veliki kapacitet kao sustavi s hlađenjem vode [17].



Slika 16. Tipična instalacija razdvojene (*split*) jedinice klime [18]

### 2.5.3 Sustavi s hlađenjem vode

Klima uređaj za brodove koji se hladi morskom vodom i napaja s 12 V ili 24 V (izravna struja) izravno iz baterije broda, bez korištenja generatora ili invertera. Ovakvi sustavi nude najjednostavniju i najprilagodljiviju instalaciju. Kako bi spajanje zračnih kanala na klima uređaj bilo što jednostavnije, ventilator se može rotirati omogućujući mnoge opcije instalacije [18].

Sustavi s hlađenjem vode sastoje se od jedne ili više jedinica hlađenja povezane s jednim ili više zračnih rukovatelja pomoću petlje ohlađene ili zagrijane vode. Rashladni uređaji mogu se kombinirati kako bi se stvorio sustav s većim kapacitetom od drugih klimatizacijskih sustava za rekreativne brodove. To omogućuje jednom sustavu hlađenja da hladi više prostorija istovremeno. Svaka jedinica može se kontrolirati vlastitim termostatom, pružajući veću fleksibilnost pri postavljanju različitih temperatura u različitim prostorijama. Osim toga, sustav koji se sastoji od više rashladnih uređaja koristi samo jednu jedinicu prema potrebnom kapacitetu u određenom trenutku. Na Slici 17 prikazana je jedinica brodske klime hlađena morskom vodom.



Slika 17. Jedinica brodske klime hladena morskom vodom [18]

Sustavi s hlađenjem vode obično se nalaze na jahtama dužine 80 stopa ili više. Mogućnost pojedinačne kontrole svakog zračnog rukovatelja i povećani kapacitet čini ih idealnim za veće jahte. Dolaze u širokom rasponu modela kako bi odgovarali različitim primjenama. Na Slici 18 prikazani su parametri različitih jačina jedinica klime hlađenim morskom vodom [17].

| PARAMETRI JEDINICE                          | SDC 12-07  | SDC 24-12   |
|---|------------|-------------|
| Kapacitet hlađenja                          | 7000 Btu/h | 12000 Btu/h |
| Kapacitet grijanja                          | 7500 Btu/h | 12800 Btu/h |
| Izvor napajanja                             | DC-12V     | DC-24V      |
| Ulazna snaga (W)                            |            |             |
| - Hlađenje                                  | 540        | 960         |
| - Grijanje                                  | 580        | 1080        |
| Struja (A)                                  |            |             |
| - Hlađenje                                  | 18         | 16          |
| - Grijanje                                  | 25         | 22,5        |
| Protok zraka (m <sup>3</sup> /h)            | 350        | 500         |
| Rashladno sredstvo                          | R134A      | R134A       |
| Dimenzije (mm)                              |            |             |
| - Visina                                    | 285        | 315         |
| - Širina                                    | 400        | 480         |
| - Dubina                                    | 240        | 285         |
| Minimalna veličina zračnog kanala (m)       | 100        | 125         |
| Povratna rešetka za zrak (cm <sup>2</sup> ) | 215        | 215         |
| Rešetka za dovod zraka (cm <sup>2</sup> )   | 415        | 415         |
| Neto težina (kg)                            | 17,5       | 25,5        |

Slika 18. Parametri različitih jačina jedinica klime hlađenim morskom vodom [18]

**Prednosti:**

- Rashladni uređaji mogu opskrbljivati mnoge zračne rukovatelje pojedinačno.
- Idealno za veće brodove.
- Zračni rukovatelji mogu se kontrolirati pojedinačno.
- Širok raspon rashladnih uređaja i zračnih rukovatelja za odabir [17].

**Nedostaci:**

- Visoka cijena.
- Instalacija je složena.
- Postoje ekonomičnije opcije za manje jahte [17].

### 3 PROJEKT ZA ODRŽIVU PLOVIDBU

U današnjem svijetu, ekološka svijest i tehnološki napredak igraju ključnu ulogu u razvoju novih rješenja za smanjenje ekološkog otiska. Jedan od projekata koji teži postizanju tih ciljeva fokusira se na unapređenje energetske sustava na brodovima. Njegovi ciljevi uključuju poboljšanje udobnosti na brodu, smanjenje ovisnosti o dizel generatorima i povećanje autonomije energetske sustava.

Projekt zadatak je napraviti održiv sustav sakupljanja i pohranjivanja energije na jedrilici duljine 51 stopu, na Slici 19 prikazana je jedrilica na kojoj će biti proveden projekt.



Slika 19. Jedrilica za projektni zadatak preinake



### 3.1 Ciljevi projekta za održivu plovidbu

#### **Poboljšanje udobnosti na brodu smanjenjem upotrebe dizel motora i generatora**

Dizel motori i generatori već dugo vremena predstavljaju glavne izvore energije na brodovima. Međutim, oni proizvode buku, vibracije i zagađenje koje značajno smanjuju udobnost putnika. Cilj ovog projekta je smanjiti upotrebu tih izvora energije kako bi se stvorilo ugodnije okruženje na brodu. Ovaj korak nije važan samo za udobnost, već i za smanjenje zagađenja, što je od velikog značaja za zaštitu morskog ekosustava.

#### **Smanjenje ovisnosti o dizel generatorima primjenom održivih energetske rješenja**

Korištenje dizel generatora nije samo bučno i zagađujuće, već i skupo na dugoročnoj razini. Projekt teži smanjenju ove ovisnosti implementacijom održivih energetske rješenja, poput solarnih panela, jačeg alternatora i sustava za skladištenje energije. Ove tehnologije ne samo da smanjuju ekološki otisak broda, već omogućuju dugoročne uštede u troškovima goriva i održavanja.

#### **Omogućavanje rada klima uređaja i drugih uređaja bez oslanjanja na tradicionalnu dizel energiju**

Jedan od glavnih izazova na brodu je osigurati konstantno napajanje klima uređaja i drugih ključnih sustava bez upotrebe dizel generatora. Projekt se fokusira na razvoj energetske sustava koji mogu osigurati stabilno napajanje tih uređaja korištenjem obnovljivih izvora energije. Na primjer, solarni paneli mogu napajati sve kućne potrošače tijekom dana, dok baterijski sustavi osiguravaju napajanje klima uređaja tijekom noći.

#### **Povećanje autonomije energetske sustava**

Konačno, povećanje autonomije energetske sustava na brodu ključni je cilj ovog projekta. Veća autonomija znači manju potrebu za vanjskim izvorima energije i povećanu sposobnost broda da dulje vrijeme provede na moru bez potrebe za dopunjavanjem goriva ili baterija u marini.

## 3.2 Faze Projekta

Kako bi se postigla ekološki prihvatljiva i energetska učinkovita rješenja, projekt se odvija kroz nekoliko ključnih faza. Svaka faza ima svoje specifične zadatke i ciljeve, usmjerene ka stvaranju održivog energetskog sustava.

- Provođenje početne energetske revizije i studije izvodljivosti
- Predlaganje plana integracije održivih energetskih rješenja na temelju izračuna i mjerenja
- Pokretanje projekta za implementaciju rješenja obnovljive energije

### Ugradnja opreme za održivu energiju

Ugradnja odabranih energetskih sustava na brodu ključna je faza koja zahtijeva preciznu implementaciju i instalaciju. Ova faza osigurava da svi sustavi budu ispravno postavljeni i spremni za uporabu, čime se omogućuje optimalna funkcionalnost i učinkovitost.

### Testiranje ugrađene opreme

Nakon što je oprema instalirana i sustav pušten u rad, slijedi faza ispitivanja rada sustava. Ova faza uključuje:

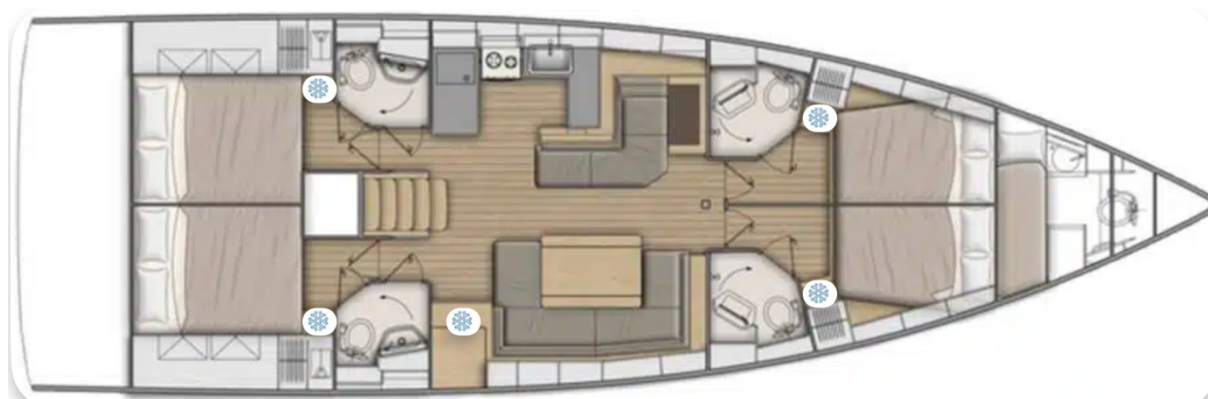
- Davanje uputa o instalaciji i pružanje podrške tijekom korištenja.
- Daljinsko praćenje i evaluaciju performansi projekta kako bi se osiguralo da sustav radi prema očekivanjima.
- Unapređenje sustava gdje je potrebno i moguće, kako bi se osigurala dugoročna učinkovitost i održivost.

#### 3.2.1 Provođenje početne energetske revizije i studije izvodljivosti

Prva faza projekta uključuje detaljnu analizu trenutne potrošnje energije na brodu. Energetska revizija omogućava precizno razumijevanje kako i gdje se energija troši, te identifikaciju područja koja zahtijevaju poboljšanja. Ova analiza pruža temelj za daljnje korake u projektu, osiguravajući da sve buduće akcije budu utemeljene na stvarnim podacima.

Potrebno je napraviti popis opreme ugrađene na brod gdje je točno naznačeno koliko koji uređaj troši električne energije, kako bi se bolje razumjela stvarna potrošnja broda i time lakše odredili ciljevi i izazovi za nastavak provedbe projekta.

Jedrilica je dužine 51 stopu, što odgovara 15.55 metara. Unutrašnji dio broda sastoji se od salona, 4 kabine te 4 kupaonice, što je prikazano na Slici 20.



**Slika 20. Tlocrt projektne jedrilice**

Vanjski dio broda prikazan na Slici 20 sastoji se od kokpita s dvostrukom upravljačkom pozicijom te prostora za sjedenje i sunčanje. Prema ovom tlocrtu biti će određen inicijalni dizajn solarnih panela koji trebaju biti postavljeni na palubu i tendu broda.



**Slika 21. Tlocrt palube projektne jedrilice**

Popis električne opreme broda i odgovarajuća potrošnja uređaja koji se napajaju iz 12V kućne baterije prikazan je u Tablici 2.

**Tablica 2. Prikaz potrošnje uređaja koji se napajaju direktno iz kućnih baterija**

| <b>Prikaz potrošača istosmjerne struje (DC) koja se napaja iz kućne baterije</b> | <b>Količina</b> | <b>A</b> | <b>W</b>   | <b>Sati korištenja dnevno</b> | <b>Wh tokom 24h</b> |
|--|-----------------|----------|------------|-------------------------------|---------------------|
| Hladnjak   | 1               | 5        | 60         | 10                            | 760                 |
| Zamrzivač  | 1               | 7        | 75         | 10                            | 750                 |
| Svjetla u kabini   | 4               | 1        | 48         | 3                             | 144                 |
| Svjetla u kokpitu  | 4               | 1        | 48         | 3                             | 144                 |
| Radio  | 1               | 3        | 30         | 7                             | 210                 |
| USB stanica za punjenje  | 2               | 3        | 82         | 8                             | 653                 |
| Kaljužna pumpa   | 2               | 10       | 240        | 1                             | 240                 |
| Radar  | 1               | 5        | 120        | 8                             | 960                 |
| Plotter za karte   | 1               | 2        | 24         | 12                            | 288                 |
| AIS  | 1               | 2        | 24         | 12                            | 288                 |
| Sidreno svjetlo  | 1               | 3        | 30         | 10                            | 300                 |
| VHF odašiljač  | 1               | 5        | 60         | 1                             | 30                  |
| VHF prijammnik   | 1               | 1        | 12         | 12                            | 144                 |
| <b>Maksimalna opterećenja istosmjerne struje (svi uređaji uključeni)</b>         |                 |          | <b>853</b> |                               |                     |

#### **Procijenjeni rezultati za istosmjerna opterećenja kućne baterije**

|  |          |
|--|----------|
| Ukupno Wh tokom 24h za navedena istosmjerna (DC) opterećenja | 4.911    |
| Ispravljani Wh tokom 24h za istosmjerna (DC) opterećenja     | 5.777,65 |

\* Faktor korekcije za gubitke pri punjenju/praznjenju baterije (obično 15%)

Brod je uz kućnu bateriju opremljen i generatorom koji služi za rad 5 klima uređaja, u svakoj od 4 kabine nalazi se jedna samostalna jedinica snage 6,000 BTU/h – 220V 50 Hz , dok se u salonu nalazi jedna samostalna jedinica snage 12,000 BTU/h – 220V 50 Hz. Ukupna maksimalna potrošnja električne energije svih 5 klima uređaja dok hlade iznosi 5082Wh, što znači da klime ukoliko rade tokom jednog sata potroše energije isto kao i svi ostali potrošači na brodu tokom 24h. Podaci su prikazani u Tablici 3. Treba napomenuti da je prikazana maksimalna potrošnja

ugrađenih klima uređaja. U stvarnosti, ukoliko se temperatura hlađenja drži na 22 do 24 stupnja umjesto na 18 stupnjeva, klima uređaj će trošiti puno manje električne energije.

**Tablica 3. Prikaz potrošnje ugrađenih klima uređaja**

| <b>Prikaz potrošača izmjenične struje (AC) koja se napaja iz kućne baterije</b> | <b>Količina</b> | <b>V</b> | <b>A</b> | <b>W</b> | <b>Sati korištenja dnevno</b> | <b>Wh dnevno</b> |
|---|-----------------|----------|----------|----------|-------------------------------|------------------|
| Klima uređaj kabina 1   | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 7                             | 3.580,5          |
| Klima uređaj kabina 2   | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 7                             | 3.580,5          |
| Klima uređaj kabina 3   | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 7                             | 3.580,5          |
| Klima uređaj kabina 4   | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 7                             | 3.580,5          |
| Klima uređaj salon  | 1               | 220      | 3,825    | 841,4    | 7                             | 5.889,8          |
| <b>Maksimalna opterećenja izmjenične struje (svi uređaji uključeni)</b>         |                 |          |          | 2887,4   |                               |                  |

**Procijenjeni rezultati za izmjenična (AC) opterećenja**

|  |          |
|--|----------|
| Ukupni Wh dnevno za navedena izmjenična (AC) opterećenja | 20.211,8 |
| Ispravljani Wh dnevno za izmjenična (AC) opterećenja     | 23.788,6 |

\*Korekcijski faktor za neefikasnost invertera (15%)

Trenutno se na brodu nalazi 5 baterija od 140Ah spojenih paralelno i prikazanih na Slici 21, što daje ukupno 700Ah. Uzimajući u obzir da se ove olovno-kiselinske baterije mogu sigurno prazniti na dugoročnoj osnovi do otprilike 50%, ukupni iskoristivi kapacitet je samo 350Ah, što preračunato u Wh daje 4200Wh, što brodu daje trenutnu autonomiju od oko 20h.



Slika 22. Trenutne kućne baterije

### ***3.2.2 Predlaganje plana integracije održivih energetske rješenja na temelju izračuna i mjerenja***

Nakon početne analize, sljedeći korak je izrada detaljnog plana implementacije novih održivih energetske rješenja. Ovaj plan temelji se na prikupljenim podacima i uključuje optimalna rješenja za povećanje proizvodnje energije i povećanje učinkovitosti cijelog sustava. Plan integracije mora biti detaljan, pokrivajući sve aspekte odabranih energetske rješenja.

Kako bi se smanjila potreba za paljenjem generatora ili učestalim punjenjem baterija preko obalnog 220V sustava, povećala autonomija ukupnog sustava te kako bi klima uređaji mogli nesmetano raditi bez potrebe za paljenjem generatora potrebno je ugraditi novi sustav litijskih baterija, koji će uz pomoć invertera pogoniti klima uređaje.

Prilikom razmatranja ukupne potrošnje energije klima uređaja, te vrijeme rada klima uređaja samo na kućne baterije, u obzir je uzeto nekoliko pretpostavki:

- Nikada neće biti upaljeni svi klima uređaji, već će se tokom dana koristiti glavni klima uređaj u salonu, dok će se tokom noći koristiti 4 klima uređaja u kabinama.
- Ograničiti će se temperatura hlađenja klima uređaja, kako bi se smanjila potrošnja svakog uređaja (u kalkulacijama maksimalna potrošnja množiti će se s faktorom 0.75)
- Klima uređaji koji imaju napon 220V moraju raditi preko invertera, zato što je kućna instalacija baterija 12V. Potrošnja energije invertera uzimati će se kao 15% ukupne potrošnje energije koja prolazi kroz inverter.

Tablica 4 prikazuje potrošnju električne energije klima uređaja za slučaj tokom noći kada rade samo klime u kabinama na 75% ukupne snage.

**Tablica 4. Potrošnja električne energije klima uređaja tokom noći**

| <b>Prikaz potrošača izmjenične struje (AC) koji rade preko invertera</b> | <b>Količina</b> | <b>V</b> | <b>A</b> | <b>W</b> | <b>Sati korištenja dnevno</b> | <b>Watt sati dnevno</b> |
|--|-----------------|----------|----------|----------|-------------------------------|-------------------------|
| Klima uređaj kabina 1  | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 5                             | 2.558                   |
| Klima uređaj kabina 2  | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 5                             | 2.558                   |
| Klima uređaj kabina 3  | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 5                             | 2.558                   |
| Klima uređaj kabina 4  | 1               | 220      | 2,325    | 511,5    | 5                             | 2.558                   |
| Vršna opterećenja izmjenične struje (svi uređaji uključeni)              |                 |          |          | 2046     |                               |                         |

**Procijenjeni rezultati za izmjenična (AC) opterećenja**

|   |          |
|---|----------|
| Ukupni watt sati dnevno za navedena izmjenična (AC) opterećenja | 10.230   |
| Ispravljani watt sati dnevno za izmjenična (AC) opterećenja     | 12.035,3 |

Tablica 5 prikazuje potrošnju električne energije klima uređaja za slučaj tokom dana kada radi jedna klima u salonu na 75% ukupne snage.

Tablica 5. Potrošnja električne energije klima uređaja tokom dana

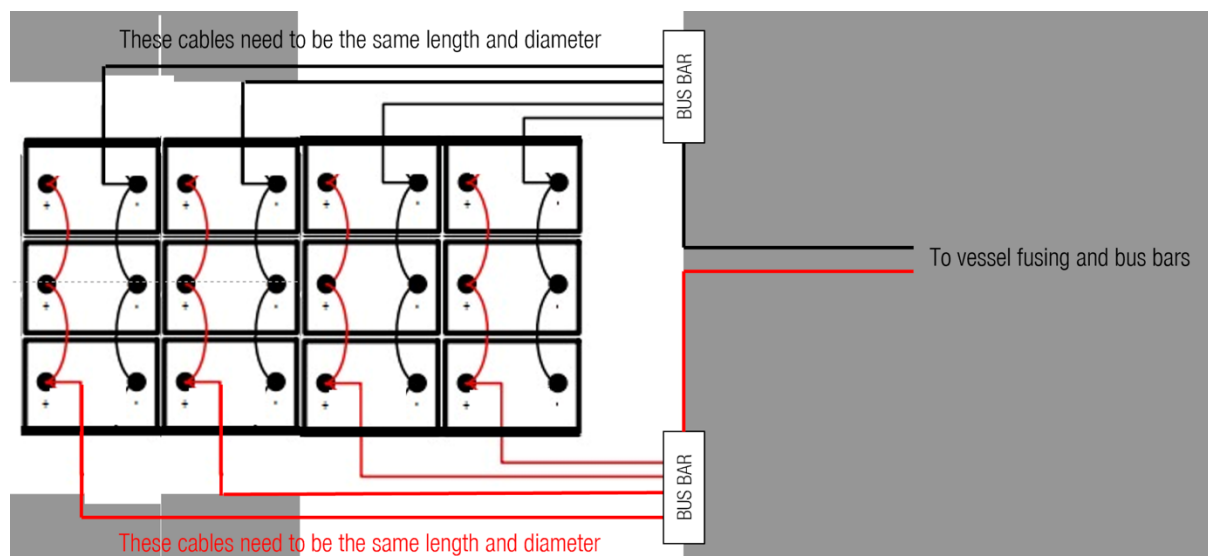
| Prikaz potrošača izmjenične struje (AC) koji rade preko invertera | Količina | V   | A     | W     | Sati korištenja dnevno | Watt sati dnevno |
|---|----------|-----|-------|-------|------------------------|------------------|
| Klima uređaj salon  | 1        | 220 | 3,825 | 841,5 | 7                      | 5.891            |
| Vršna opterećenja izmjenične struje (svi uređaji uključeni)       |          |     |       | 841,5 |                        |                  |

#### Procijenjeni rezultati za izmjenična (AC) opterećenja

|   |         |
|---|---------|
| Ukupni watt sati dnevno za navedena izmjenična (AC) opterećenja | 5.890,5 |
| Ispravljeni watt sati dnevno za izmjenična (AC) opterećenja     | 6.930   |

Proračunom je određeno da je dovoljno 12 litijskih 12V 108Ah baterija, kako bi se zadovoljile sve kućne potrebe te omogućio rad klima uređaja par sati tokom noći. Ove baterije mogu se potpuno prazniti bez problema, što znači da će ukupni iskoristivi kapacitet biti 1.296Ah, tj. 15.552 Wh To je gotovo tri puta više od trenutnog kapaciteta. Baterije su spojene paralelno, što omogućuje povećanje ukupnog kapaciteta na potrebnu razinu. Slika 23 prikazuje paralelan spoj baterija u brodu. Ako se ciklusi punjenja i pražnjenja baterija kreću između 50% i 100%, vijek trajanja je oko 5000 ciklusa.





**Slika 23. Paralelan spoj baterija na brodu**

Isto tako, kako bi klime koje su idejno namijenjene za rad uz pomoć generatora mogle raditi na 12V kućne baterije, potrebno je ugraditi inverter koji pretvara istosmjernu struju (DC) iz baterija od 12V u izmjeničnu struju (AC), koja se koristi za napajanje klima i ostalih uređaja koji rade na 220V. Pri izboru odgovarajućeg invertera važno je obratiti pažnju na ukupnu kontinuiranu snagu koju inverter može isporučiti, kako bi se osigurao nesmetan rad. Ugrađena brodska klima u salonu ima preveliku izlaznu struju pokretanja stoga je potrebno ugraditi soft-start uređaj koji se povezuje s kompresorom klima uređaja i mijenja način njegovog rada pri pokretanju. Umjesto da trenutno povuče maksimalnu snagu, soft starter će postupno povećavati povlačenje snage dok kompresor klima uređaja potpuno ne proradi. U svrhu bržeg punjenja kućnih baterija prilikom plovidbe motorom biti će ugrađen i jači alternator na mjesto originalnog koji je došao s motorom. Uz povećanje kapaciteta baterija, ugradnju invertera, soft-start uređaja i alternatora projektom je određena i ugradnja solarnih panela na palubu i tendu jedrilice. Solarni paneli biti će ugrađeni na sva slobodna mjesta palube i na dijelove tende koja se redovito ne sklapa. Ukupna količina i snaga solarnih panela biti će određena u idućoj fazi nakon mjerenja slobodnog prostora.

### 3.2.3 Pokretanje projekta za implementaciju rješenja obnovljive energije

U ovoj fazi, projekt prelazi u fazu implementacije. Prvi korak je provjera mjerenja dostupnog prostora i instalacija na brodu kako bi se osigurala točnost i ispravnost prikupljenih podataka.

Sljedeći korak uključuje planiranje radova i nabavke potrebne opreme. Slika 24 prikazuje palubu jedrilice iz projekta.



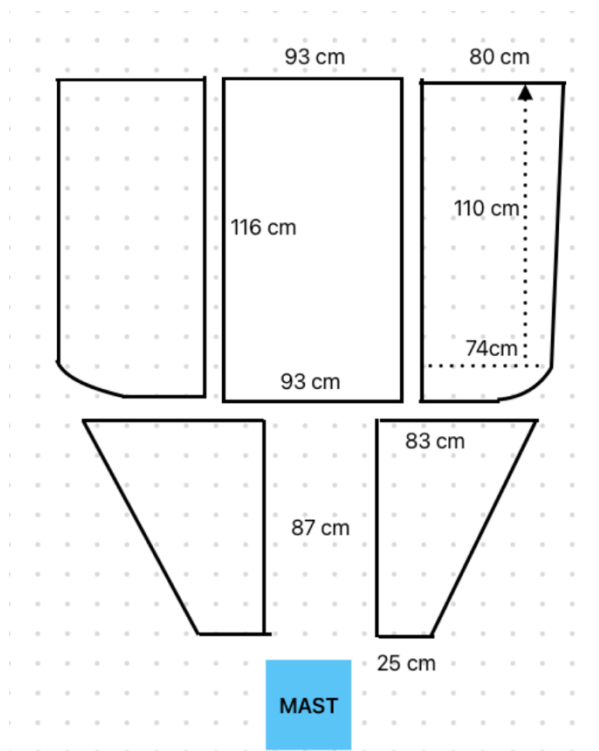
**Slika 24. Paluba jedrilice iz projekta**

Najvažniji dio dizajna sustava je raspoloživi prostor. Stoga će pristup projektu biti sljedeći:

- Mjerenje dostupnog prostora
- Dizajn fotonaponskog niza
- Grupiranje panela i solarnih kontrolera

### **3.2.3.1 Mjerenje dostupnog prostora**

Kako bi utvrdili ispravnost podataka potrebno je izmjeriti slobodne površine na palubi jedrilice za postavljenje solarnih panela. Slika 25 prikazuje izmjerenu slobodnu površinu jedrilice na palubi jedrilice, dok Slika 26 prikazuje izmjerenu površinu *sprayhood* tende.



Slika 25. Dimenzije površine za postavljanje solarnih panela



Slika 26. Dimenzije *sprayhood* tende

Isto tako, u unutrašnjosti potvrđene su mjere dostupnog prostora za instalaciju 12 novih litijevih baterija, kao i mjesto za ugradnju invertera, *soft-start* uređaja te dodatnog alternatora.

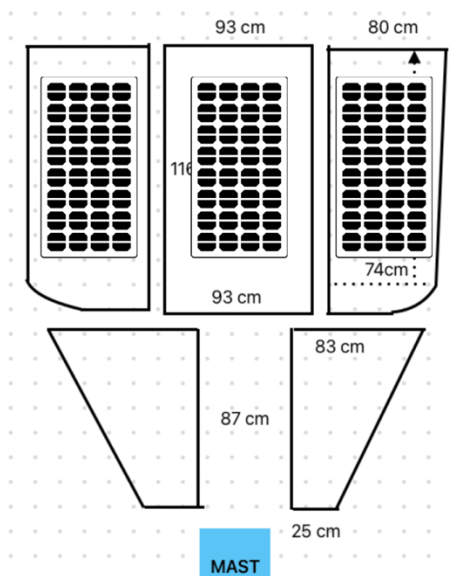
Slika 27 prikazuje motorni prostor gdje će biti ugrađen jači alternator.



**Slika 27. Dostupan prostor u unutrašnjosti motornog prostora**

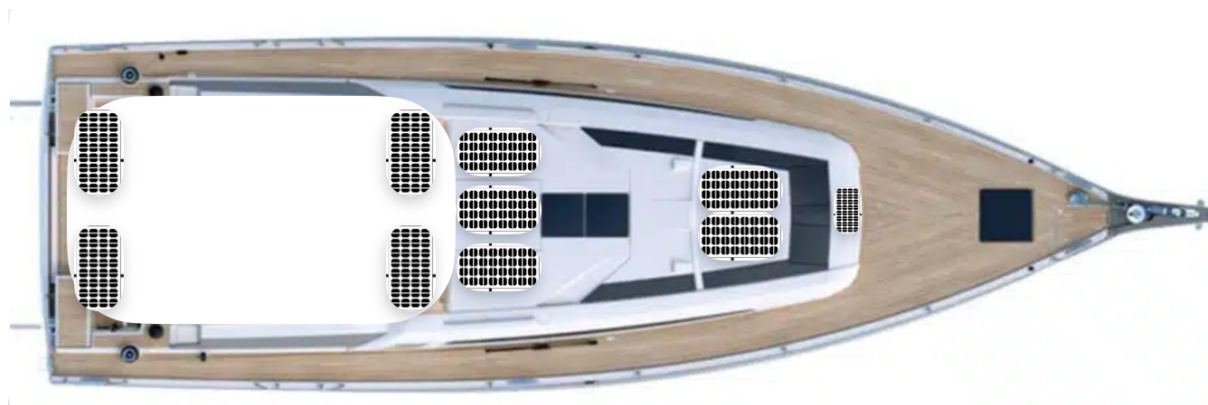
### **3.2.3.2 Dizajn solarnog sustava na palubi i tendi broda**

Nakon mjerenja slobodnog prostora na palubi i tendi broda, moguće je odrediti ukupan broj i veličinu solarnih panela koji se mogu ugraditi na jedrilicu. Na Slici 28 prikazan je raspored solarnih panela,



Slika 28. Raspored solarnih panela nakon mjerenja

Na Slici 27 prikazan je finalni raspored solarnih panela na palubi i tendi jedrilice. Sustav solarnih panela sastoji se od 5 solarnih panela snage 121W, 2 solarna panela snage 116W i 2 solarna panela snage 55W. Što daje ukupnu snagu solarnih panela od 947W. U teoretskom prosjeku će tokom dana puniti kućnu bateriju s oko 6300 Wh po danu.

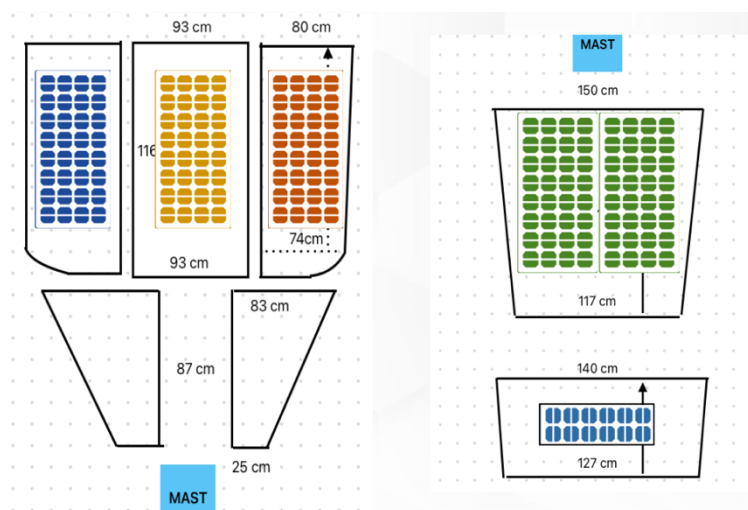


Slika 29. Raspored solarnih panela po jedrilici

### 3.2.3.3 Grupiranje solarnih panela i solarnih kontrolera

Izabrani proizvođač solarnih panela optimiziran je za uvjete s mnogo sjene. Svaka grupa panela sastoji se od dva panela, pri čemu svaki panel ima dvije interne grupe ćelija optimiziranih za uvjete rada s djelomičnom osunčanosti panela. To rezultira s neovisnim grupama ćelija na svakom solarnom panelu, što minimizira utjecaj zasjenjenja. Grupirani solarni paneli prikazani

su na Slici 30. Svaka grupa solarnih panela povezana je s posebnim solarnim regulatorom punjenja za optimalnu proizvodnju.



**Slika 30. Grupirani solarni paneli**

Solarni regulator punjenja koristi se u solarnim sustavima za održavanje baterija na njihovom najvišem stupnju napunjenosti bez njihovog prepunjivanja, kako bi se izbjeglo oštećenje baterija i tako produžuje vijek trajanja baterija. Regulatori punjenja također isporučuju odgovarajuću struju i napon koji odgovara nazivnom kapacitetu električnih opterećenja. Bez regulatora punjenja povezanog s solarnim panelima, paneli bi isporučivali previše snage, što bi uništilo baterije i dodatno opteretilo sustav.

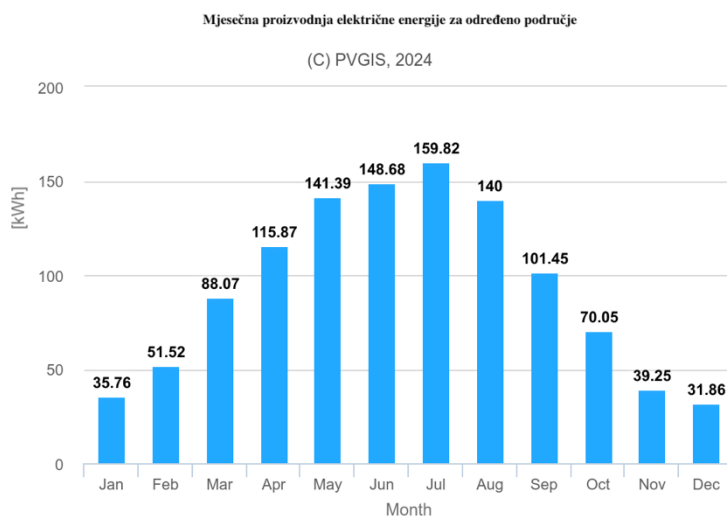
## 4 TESTIRANJE SUSTAVA NAKON UGRADNJE

Ugradnja solarnog sustava na jedrilicu predstavlja značajan korak ka održivom korištenju energije na moru. Međutim, kako bi se osiguralo da sustav radi učinkovito i pouzdano, potrebno je provesti detaljna testiranja nakon ugradnje. Ova faza uključuje nekoliko ključnih aspekata: testiranje učinkovitosti solarnih panela, trajanja baterije pod raznim načinima rada klima uređaja i rada alternatora pri opterećenju. Svaki od ovih testova pruža informacije o performansama i pouzdanosti ugrađenog solarnog sustava.

### 4.1 Testiranje izračunate i izmjerene učinkovitosti solarnih panela

Prvi korak u testiranju sustava nakon ugradnje je provjera učinkovitosti solarnih panela. Učinkovitost se može procijeniti usporedbom stvarne proizvodnje energije s izračunatom, temeljenom na specifikacijama panela i uvjetima osvjetljenja.

PVGIS je sustav koji pruža informacije o sunčevom zračenju i performansama fotonaponskih sustava za bilo koju lokaciju na svijetu, osim za Sjeverni i Južni pol. Pomoću PVGIS sustava izračunata je ukupna maksimalna proizvodnja električne energije iz solarnih panela za regiju u kojoj se brod nalazi, u ovom slučaju područje grada Šibenika. Unošenjem podataka o solarnom sustavu koji se nalazi na brodu i spomenutoj lokaciji dobivena je očekivana proizvodnja električne energije za sve mjesece u godini prikazana na Slici 31.



Slika 31. Očekivana proizvodnja električne energije prema PVGIS sustavu

Uzimajući u obzir položaj broda najveća proizvodnja električne energije biti će tokom ljetnih mjeseci kada se brod jedino i koristi. Najveća teoretska proizvodnja električne energije očekuje se tokom Srpnja te može prosječno dnevno iznositi i do 5.14 kWh dnevno. Taj broj odnosi se na najveću teoretsku moguću proizvodnju na određenom geografskom položaju. Solarni paneli instalirani na brodu, mogu biti zaklonjeni sjenom od jarbola ili drugog broda, tako da treba uzeti u obzir i da očekivana najveća proizvodnja električne energije neće biti realan slučaj, već kako bi točno odredili proizvodnju električne energije potrebno je izvršiti mjerenje. Mjerenje podatka vršilo se tokom mjeseca lipnja pomoću aplikacije na mobilnom uređaju koja se spaja pomoću bluetooth veze sa solarnim regulatorima i prikazuje podatke u proizvodnji električne energije u tom trenutku. Mjerenja su vršena ujutro u 10h, tokom dana u 14h te predvečer u 18h za vrijeme sunčanog dana. Isto tako, brod je bio orijentiran istok-zapad te mu jarbol zajedno sa debljenjakom (*boom*) i vrećom za jedra zaklanja dio solarnih panela. U Tablici 6 prikazani su rezultati mjerenja proizvodnje električne energije pomoću solarnih panela.

Tablica 6. Rezultati mjerenja proizvodnje električne energije

| Mjerenje snage             |       |        |
|----------------------------|-------|--------|
| Datum mjerenja: 12.06.2024 |       |        |
| Vrijeme mjerenja           | A     | W      |
| 10h                        | 34,51 | 414,12 |
| 14h                        | 41,37 | 496,44 |
| 17h                        | 19,68 | 236,16 |



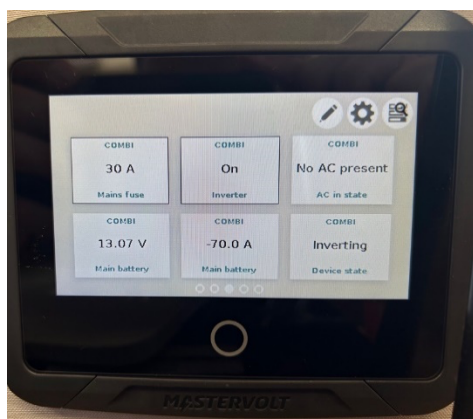
Rezultati prikazuju realnu snagu panela, dok se brod nalazi u marini sa zasjenjenim dijelom solarnih panela. U proračunu je uzeta prosječna insolacija prema PVGIS podacima za mjesec lipanj, ovisno o mjestu na kojem se brod nalazi te godišnjem dobu, s tim da ti podaci mogu varirati. Za mjesec srpanj solarni sustav mjesečno će proizvoditi najviše električne energije.

## 4.2 Testiranje trajanja baterije u različitim režimima rada klima uređaja

Trajanje baterije i njezina sposobnost da podrži razne potrošače ključni su za pouzdanost cijelog sustava. Sustav je zamišljen tako da tokom dana solarni paneli na palubi i bimini tendi zajedno sa oko 2 sata rada motora dnevno, budu dostatni za sve dnevne kućne potrebe broda. Tokom noći projektni zadatak bio je da klima može raditi nekoliko sati samo na baterije.

### 4.2.1 Testiranje sustava pri radu klima uređaja samo u salonu

Prvi test baterijskog sustava bio je na rad jedne jedinice klima uređaja u salonu. Na slici 30 prikazana je potrošnja invertera pri radu klima uređaja na temperaturi od 22°C. Budući da klima uređaji rade na 220V a brodske kućne baterije su 12V potreban je inverter koji pretvara 220V u 12V. Na Slici 33, prikazana potrošnja invertera od 70A odgovara procijenjenoj potrošnji klima iz Tablice 5.



Slika 32. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u salonu

Isto tako, potrošnja klima uređaja može se kontrolirati i preko mobitela spojenog bluetooth uređajem na baterije.

Tokom jednog dana od 9h ujutro do 19h navečer, ukupno 12h, uz rad klima uređaja u salonu rade i ostali kućni potrošači potrebni za normalno funkcioniranje broda. Kada bi uzeli u obzir ukupnu potrošnju svih električnih uređaja na brodu uz rad klima uređaja u salonu tokom cijelog dana, kalkulacije su sljedeće:

Kapacitet baterije: 15552 Wh.

#### **Potrošnja električne energije kroz 12h:**

Klima uređaj u salonu troši 10080 Wh.

Kućne potrebe tijekom 12 sati iznose 2708 Wh.

Ukupna potrošnja iznosi  $10080 \text{ Wh} + 2708 \text{ Wh} = 12788 \text{ Wh}$ .

#### **Proizvodnja električne energije kroz 12h:**

Solarni paneli tokom prosječnog dana generiraju 4956 Wh.

Alternator (za 1 sat rada) daje 3000 Wh.

Ukupna proizvodnja iznosi  $4956 \text{ Wh} + 3000 \text{ Wh} = 7956 \text{ Wh}$ .

Preostali kapacitet baterije je 10720 Wh.

#### **Neto bilanca između proizvodnje i potrošnje tijekom dana:**

Ukupna potrošnja: 12788 Wh

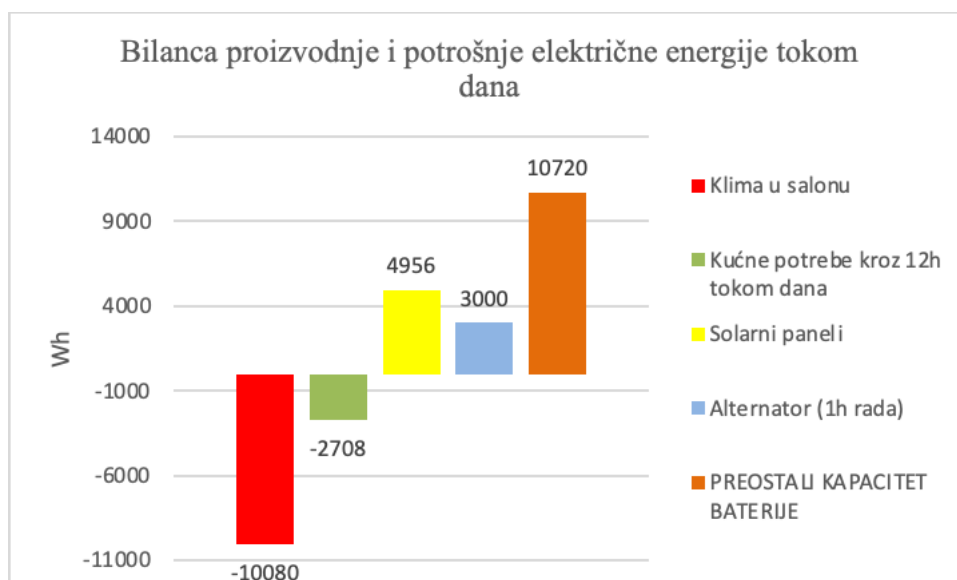
Ukupna proizvodnja: 7956 Wh

**Neto bilanca:**  $\text{Potrošnja} - \text{Proizvodnja} = 12788 \text{ Wh} - 7956 \text{ Wh} = 4832 \text{ Wh}$  (više potrošnje nego proizvodnje).

U Tablici 7 prikazana je bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana, dok je na Slici 34 dan grafički prikaz rezultata proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana.

Tablica 7. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana

| <b>Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom dana</b> |              |           |
|---|--------------|-----------|
| Kapacitet baterije  | 15552        | Wh        |
| <b>Potrošnja električne energije:</b>                                 |              |           |
| Klima u salonu  | -10080       | Wh        |
| Kućne potrebe kroz 12h tokom dana                                     | -2708        | Wh        |
| <b>Proizvodnja električne energije:</b>                               |              |           |
| Solarni paneli  | 4956         | Wh        |
| Alternator (1h rada)  | 3000         | Wh        |
| <b>PREOSTALI KAPACITET BATERIJE</b>                                   | <b>10720</b> | <b>Wh</b> |



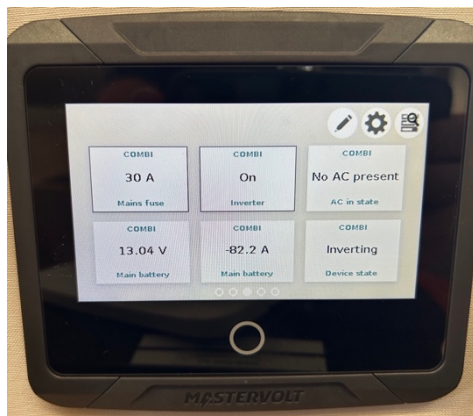
Slika 33. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom 12 sati jednog dana

#### 4.2.2 Testiranje sustava pri radu klima uređaja u 2 kabine

Projektzni zadatak bio je omogućiti rad klima uređaja isključivo na baterije tokom noći.

Brod ima 4 kabine od kojih svaka kabina ima svoju samostalnu jedinicu klima uređaja.

U nastavku, obrađen je slučaj rada 2 jedinice klima uređaja, očitana je potrošnja invertera od 82.2A pri temperaturi rada oba klima uređaja od 22°C. Rezultati su prikazani su na Slici 35 te odgovaraju prethodno izračunatim podacima, temeljem snage svakog pojedinog uređaja.



**Slika 34. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u 2 kabine**

Kada bi uz proizvodnju uzeli u obzir ukupnu potrošnju svih električnih uređaja na brodu uz rad 2 klima uređaja u 2 kabine od 19h navečer do 7h ujutro, bilanca je sljedeća:

Kapacitet baterije: 15552 Wh.

#### **Potrošnja električne energije:**

Klima uređaji u 2 kabine troše ukupno 11836,8 Wh.

Kućne potrebe tijekom 12 sati noću iznose 2708 Wh.

Ukupna potrošnja iznosi  $11836,8 \text{ Wh} + 2708 \text{ Wh} = 14544,8 \text{ Wh}$ .

#### **Proizvodnja električne energije:**

Solarni paneli nisu generirali električnu energiju tokom noći.

Alternator nije bio u funkciji tokom noći.

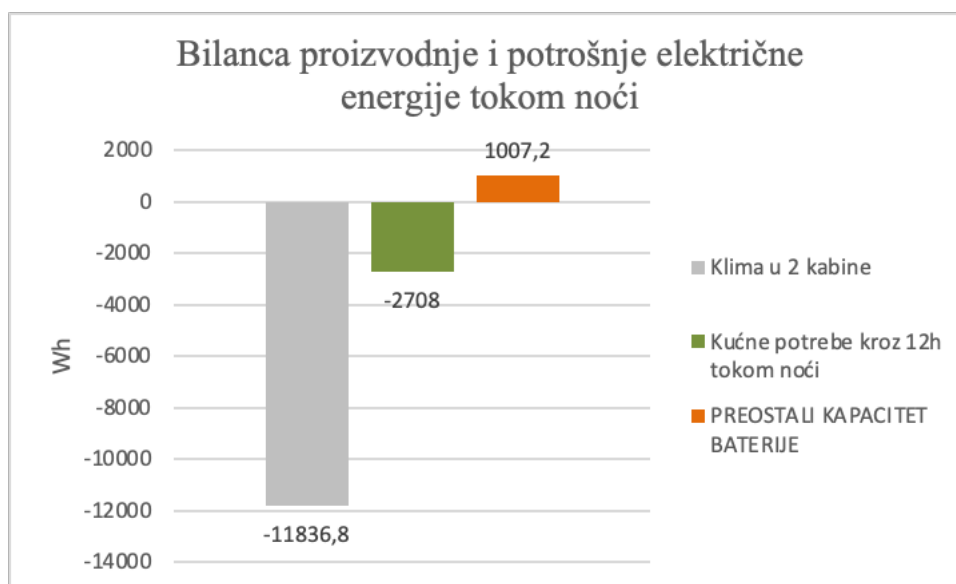
Ukupna proizvodnja je stoga 0 Wh.

Preostali kapacitet baterije: 1007,2 Wh.

U Tablici 8 prikazana je bilanca potrošnje električne energije tokom noći u periodu od 12 sati, dok je na Slici 35 dan grafički prikaz rezultata potrošnje električne energije tokom 12 sati noći.

**Tablica 8. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja 12h**

| <b>Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći</b> |         |    |
|---|---------|----|
| Kapacitet baterije  | 15552   | Wh |
| <b>Potrošnja električne energije:</b>                                 |         |    |
| Klima u 2 kabine (12h rada)   | 11836,8 | Wh |
| Kućne potrebe kroz 12h tokom noći                                     | 2708    | Wh |
| <b>Proizvodnja električne energije:</b>                               |         |    |
| Solarni paneli  | 0       | Wh |
| Alternator (1h rada)  | 0       | Wh |
| <b>PREOSTALI KAPACITET BATERIJE:</b>                                  | 1007,2  | Wh |

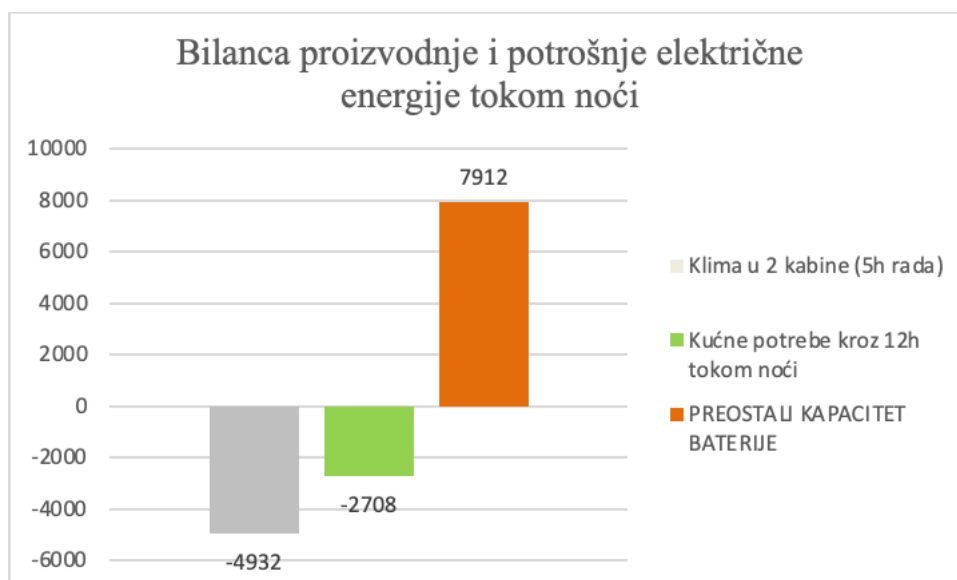


**Slika 35. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja 12h**

Već pri radu samo 2 klima uređaja od 4 ukupno tokom noći, bez mogućnosti proizvodnje električne energije radom motora ili solarnih panela dolazi do skoro potpunog pražnjenja brodskih kućnih baterija. Ovaj primjer prikazuje ekstreman slučaj upotrebe klima uređaja, za koji brodski energetska sustav nije prilagođen. Realniji scenarij prikazan je na Tablici 9 u kojem se klime koriste 4-5 h tokom noći, što značajno smanjuje ukupnu potrošnju energije, dok je na Slici 36 dan grafički prikaz rezultata potrošnje električne energije tokom 12 sati noći uz 5 h rada klima uređaja u 2 kabine.

Tablica 9. Realnija bilanca potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja 5h

| <b>Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći</b> |       |    |
|---|-------|----|
| Kapacitet baterije  | 15552 | Wh |
| <b>Potrošnja električne energije:</b>                                 |       |    |
| Klima u 2 kabine (5h rada)  | 4932  | Wh |
| Kućne potrebe kroz 12h tokom noći                                     | 2708  | Wh |
| <b>Proizvodnja električne energije:</b>                               |       |    |
| Solarni paneli  | 0     | Wh |
| Alternator (1h rada)  | 0     | Wh |
| <b>PREOSTALI KAPACITET BATERIJE:</b>                                  | 7912  | Wh |



Slika 36. Realnija bilanca potrošnje električne energije tokom noći pri radu 2 klima uređaja 5h

#### 4.2.3 Testiranje sustava pri radu klima uređaja u sve 4 kabine

Sustav podnosi rad svih klima uređaja u kabinama. Ukupna potrošnja sustava pri radu sva četiri uređaja podešena na 22°C iznosi 170 A, što je ekvivalentno 2.040 Wh. Pri toj razini potrošnje električne energije, klima uređaji mogu raditi nesmetano 7 sati. Potrošnja invertera pri radu sva 4 klima uređaja u kabinama prikazana je na Slici 36.



**Slika 37. Potrošnja invertera pri radu klima uređaja u 4 kabine**

Kada bi uzeli u obzir ukupnu potrošnju svih električnih uređaja na brodu uz rad sva 4 klima uređaja u kabinama tokom cijele noći od 19h navečer do 7h ujutro, bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije pokazuje sljedeće kalkulacije:

Kapacitet baterije: 15552 Wh.

#### **Potrošnja električne energije:**

Klima uređaji u 4 kabine troše ukupno 24480 Wh (ukupna potrošnja za 12 sati rada).

Kućne potrebe tokom 12 sati noću iznose 2708 Wh.

Ukupna potrošnja iznosi  $24480 \text{ Wh} + 2708 \text{ Wh} = 27188 \text{ Wh}$ .

#### **Proizvodnja električne energije:**

Solarni paneli nisu generirali električnu energiju tokom noći.

Alternator nije bio u funkciji tokom noći.

Ukupna proizvodnja je 0 Wh.

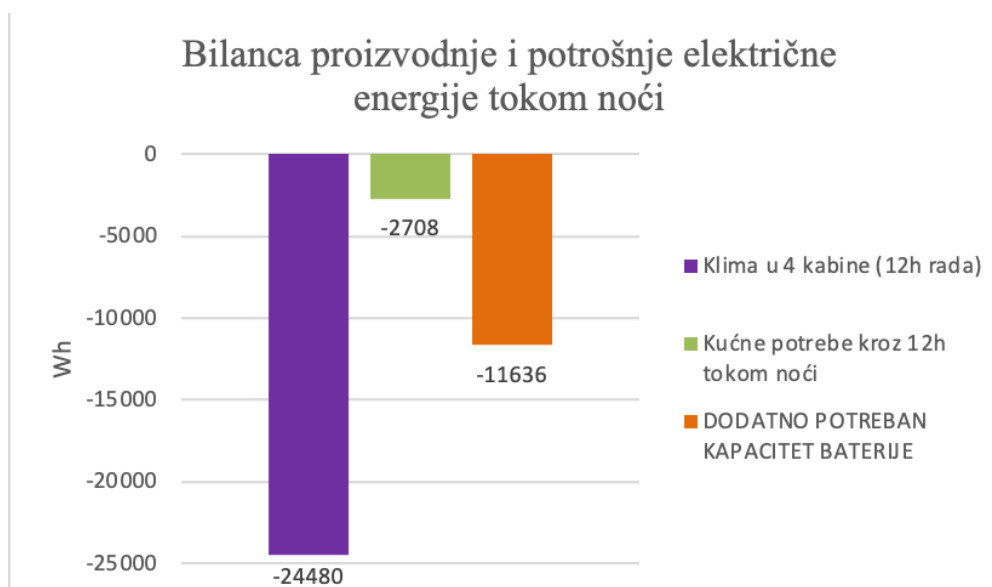
Ukupna potrošnja energije (27188 Wh) znatno premašuje kapacitet baterije (15552 Wh) te nedostaje 11636 Wh.

Kako bi se izbjegao ovaj problem, potrebno je smanjiti potrošnju energije (npr. koristiti manje klima uređaja ili skratiti vrijeme rada) ili povećati kapacitet baterije. Također, korištenje alternatora tokom noći može pomoći u smanjenju deficita energije.

U Tablici 10 prikazana je bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći u periodu od 12 sati pri radu sva 4 klima uređaja u kabinama, dok je na Slici 37 dan grafički prikaz rezultata potrošnje električne energije tokom 12 sati noći uz rad sva 4 klima uređaja.

**Tablica 10. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima uređaja 12h**

| <b>Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći</b> |        |    |
|---|--------|----|
| Kapacitet baterije  | 15552  | Wh |
| <b>Potrošnja električne energije:</b>                                 |        |    |
| Klima u 4 kabine (12h rada)   | 24480  | Wh |
| Kućne potrebe kroz 12h tokom noći                                     | 2708   | Wh |
| <b>Proizvodnja električne energije:</b>                               |        |    |
| Solarni paneli  | 0      | Wh |
| Alternator (1h rada)  | 0      | Wh |
| <b>DODATNO POTREBAN KAPACITET BATERIJE:</b>                           | -11636 | Wh |



**Slika 38. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima uređaja 12h**

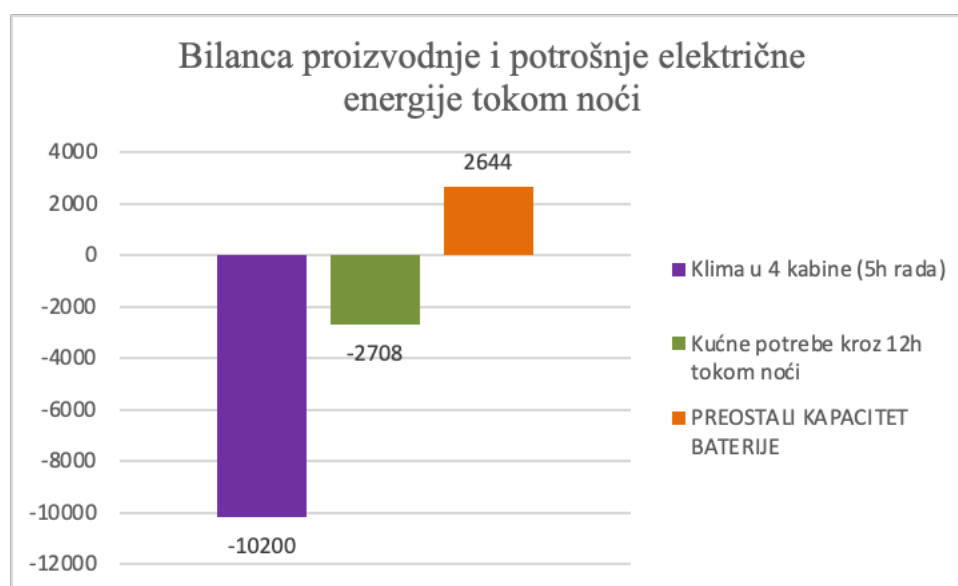


Iz ovih podataka vidljivo je energetska sustav ne može podnijeti rad sva 4 klima uređaja tokom 12 sati noći, što je već potvrđeno preliminarnim kalkulacijama. Zbog limitiranog prostora u brodu i ograničenog budžeta nije moguće ugraditi veći broj baterija kako bi sustav izdržao opterećenje od rada klima uređaja u svim kabinama tokom 12 sati noći.

Isto tako, ovaj slučaj predstavlja ekstrem u više pogleda. Prvi je da na brodu rijetko kada boravi više od 4 ljudi što smanjuje potrebe za hlađenjem samo na 2 kabine. Također, sustav nije dizajniran za tako dugotrajan rad klima uređaja već isto kao i u slučaju rada samo dvije jedinice klima uređaja, očekivano vrijeme je oko 5h tokom noći, što je prikazano u Tablici 11 i potvrđuje da sustav ispunjava projektni zahtjev, dok je na Slici 38 dan grafički prikaz rezultata potrošnje električne energije tokom 12 sati noći uz rad sva 4 klima uređaja samo 5h.

**Tablica 11. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima uređaja 5h**

| <b>Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći</b> |       |    |
|---|-------|----|
| Kapacitet baterije  | 15552 | Wh |
| <b>Potrošnja električne energije:</b>                                 |       |    |
| Klima u 4 kabine (5h rada)  | 10200 | Wh |
| Kućne potrebe kroz 12h tokom noći                                     | 2708  | Wh |
| <b>Proizvodnja električne energije:</b>                               |       |    |
| Solarni paneli  | 0     | Wh |
| Alternator (1h rada)  | 0     | Wh |
| <b>PREOSTALI KAPACITET BATERIJE:</b>                                  | 2644  | Wh |



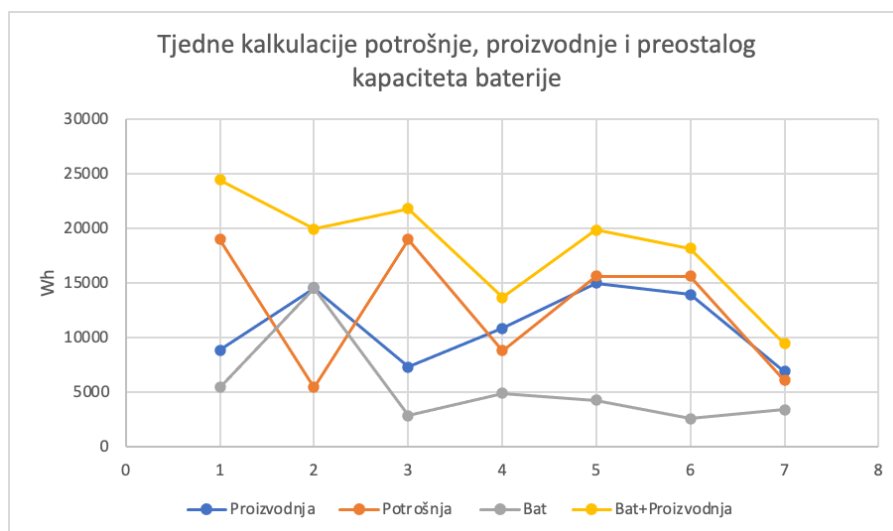
**Slika 39. Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije tokom noći pri radu 4 klima uređaja 5h**

#### 4.2.4 Simulacija rada sustava pri plovidbi od tjedan dana

Tipična plovidba traje 7 dana, unutar tih tjedan dana simulirani su različiti scenariji punjenja i pražnjenja baterija što je detaljno prikazano u Tablici 12. Na Slici 41 prikazana je simulacija tjedne potrošnje i proizvodnje električne energije na temelju PVGIS podataka za insolaciju od 13.06 do 20.06.2020. Kalkulacije su izvršene prema zadnje dostupnim godišnjim podacima iz 2020. godine. U kalkulacijama su uračunati gubiteci u sustavu.

**Tablica 12. Tjedna pretpostavljena potrošnja i proizvodnja energije**

| TJEDNE KALKULACIJE<br>POTROŠNJE | Klima u salonu radi 4h + klima u 4 kabine radi 5h |  |
|---------------------------------|---|--|
|                                 | Wh  | Wh                                     |
| 1. DAN                          | 15552   |  |
| Proizvodnja                     | 8853  | Solarni paneli + 1.5h rada alternatora |
| Potrošnja                       | -18976  | Sve klime rade                         |
| 2. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 5429                                   |
| Proizvodnja                     | 14516   | Solarni paneli + 3h rada alternatora   |
| Potrošnja                       | -5416   | Klimate ne rade                        |
| 3. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 14529                                  |
| Proizvodnja                     | 7280  | Solarni paneli + 1h rada alternatora   |
| Potrošnja                       | -18976  | Sve klimate rade                       |
| 4. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 2833                                   |
| Proizvodnja                     | 10835   | Solarni paneli + 2h rada alternatora   |
| Potrošnja                       | -8776   | Radi klima samo u salonu               |
| 5. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 4892                                   |
| Proizvodnja                     | 14962   | Solarni paneli + 3.5h rada alternatora |
| Potrošnja                       | -15616  | Radi klima samo u kabinama             |
| 6. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 4238                                   |
| Proizvodnja                     | 13922   | Solarni paneli + 3h rada alternatora   |
| Potrošnja                       | -15616  | Radi klima samo u kabinama             |
| 7. DAN                          | Preostali kapacitet baterije:                     | 2544                                   |
| Proizvodnja                     | 6892  | Solarni paneli + 1h rada alternatora   |
| Potrošnja                       | -6068   | Radi klima samo u salonu               |
|                                 | SPAJANJE NA 220V MREŽU                            |  |



**Slika 40. Tjedna pretpostavljena potrošnja i proizvodnja energije**

Grafikon tjednih kalkulacija potrošnje, proizvodnje i preostalog kapaciteta baterije pruža uvide u energetska dinamiku tijekom sedam dana.

Fluktuacije u proizvodnji i potrošnji energije:

1. dan: Postoji visoka potrošnja (-18976) zbog rada svih klima uređaja, dok je proizvodnja (8853) značajno niža, što rezultira značajnim smanjenjem kapaciteta baterije.
2. dan: Proizvodnja se povećava (14516) zbog produženog rada alternatora (3h), a potrošnja značajno opada (-5416) zbog povoljne temperature zraka, nema potrebe za radom klima uređaja, što omogućava punjenje baterije na 5429 Wh.
3. dan: Potrošnja ponovno naglo raste (-18976) zbog rada svih klima uređaja, dok je proizvodnja samo 7280, što dovodi do drastičnog smanjenja kapaciteta baterije.
4. dan: Proizvodnja (10835) i potrošnja (-8776) su uravnoteženiji s radom samo klima uređaja u salonu, što rezultira umjerenom razinom baterije od 2833 Wh.
5. dan: Visoka potrošnja (-15616) za klima uređaje u kabinama u kontrastu je s visokom proizvodnjom (14962) od 3.5 sati rada alternatora, ali ipak dovodi do smanjenja kapaciteta baterije na 4892 Wh.

6. dan: Slično kao 5. dan, visoka potrošnja (-15616) za klima uređaje u kabinama i visoka proizvodnja (13922) smanjuju kapacitet baterije na 4238 Wh.

7. dan: S radom samo klima uređaja u salonu, potrošnja je niža (-6068), a proizvodnja (6892) od 1 sata rada alternatora održava bateriju na relativno stabilnih 2544 Wh.

Trendovi kapaciteta baterije:

Baterija započinje sa 15552 Wh i prolazi kroz značajne fluktuacije tijekom tjedna.

Dani s visokom potrošnjom klima uređaja (1., 3., 5., 6. dan) bilježe drastične padove kapaciteta baterije.

Dani s nižom potrošnjom (2., 4., 7. dan) omogućuju blagi oporavak baterije, ali nikad ne dosežu početni kapacitet.

Balansiranje proizvodnje i potrošnje:

Učinkovito upravljanje radom alternatora i klima uređaja je ključno. Produženi rad alternatora (3 sata) na 2., 5. i 6. dan značajno povećava proizvodnju. Selektivni rad klima uređaja (samo salon ili samo kabine) kao što se vidi na 4., 5., 6. i 7. dan pomaže u učinkovitijem upravljanju potrošnjom u usporedbi s radom svih klima uređaja.

Iz navedenih podataka vidljivo je da je sustav snažno pogođen visokim energetske zahtjevima klima uređaja, te bi se bez učinkovitog rada alternatora, kapacitet baterije bi se brzo iscrpio. Strateško planiranje rada (alternator i klima uređaji) može ublažiti neke probleme neravnoteže energije. Potreba za češćim vanjskim izvorom napajanja mogla bi se razmotriti za održavanje stabilne opskrbe energijom, posebno tijekom vršnih perioda potrošnje.

Ova analiza naglašava važnost balansiranja proizvodnje i potrošnje energije kako bi se održao adekvatan kapacitet baterije, posebno kada se radi o uređajima s visokim zahtjevima poput klima uređaja. Učinkovite strategije upravljanja energijom su ključne za optimizaciju dugovječnosti baterije i učinkovitosti sustava.

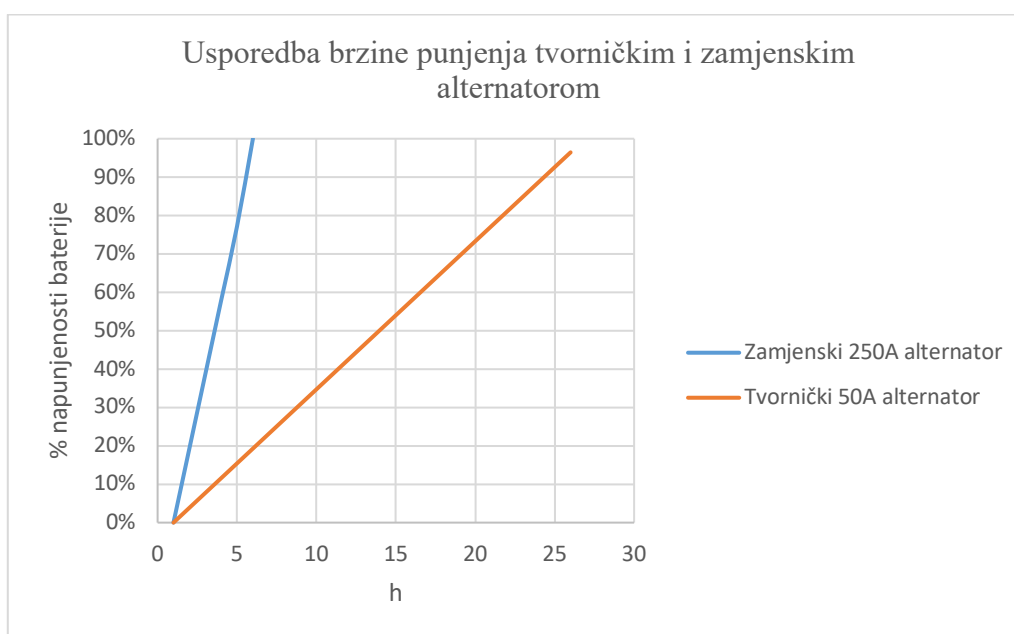
### 4.3 Testiranje rada alternatora i brzina punjenja baterija alternatorom

Alternator je važan dio sustava jer omogućuje punjenje baterija dok jedrilica koristi motor. Originalni alternator od 50A postao je preslab za sustav stoga je ugrađen jači alternator od 250A. Testiranjem je utvrđeno da alternator puni baterije sa oko 250A pri 2200 o/min motora.

U Tablici 12 prikazane su karakteristike ugrađenog jačeg alternatora, dok je na Slici 41 prikazana usporedba brzine punjenja tvorničkom i zamjenskog alternatora.

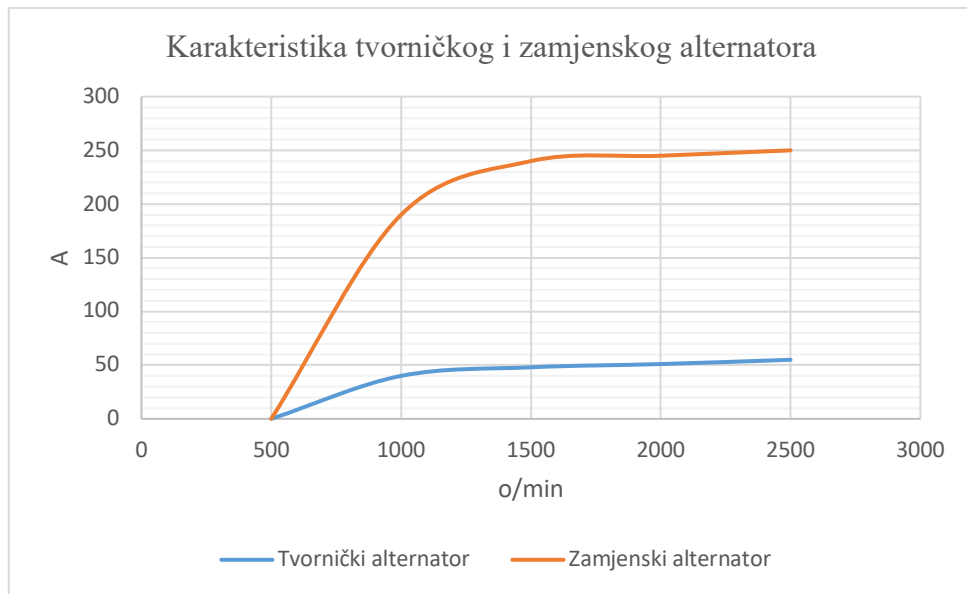
**Tablica 13. Karakteristike ugrađenog alternatora**

|  |       |    |
|--|-------|----|
| <b>Ukupan kapacitet baterije</b>                       | 1296  | Ah |
|  | 15552 | Wh |
| <b>Zamjenski alternator</b>                            |       |    |
| Jakost električne struje alternatora                   | 250   | A  |
| Vrijeme punjenja baterija na alternator pri 2200 o/min | 5,2   | h  |



**Slika 41. Usporedba brzine punjenja tvorničkim i zamjenskim alternatorom**

Na Slici 42 prikazana je usporedba jačine punjenja tvorničkog i zamjenskog alternatora.



Slika 42. Karakteristika tvorničkog i zamjenskog alternatora

## ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu istražena su inovativna energetska rješenja za brodove kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš, poboljšala udobnost i sigurnost boravka na brodu te smanjili operativni troškovi. Investiranje u obnovljive izvore energije nije samo ekološki odgovorno već i ekonomski isplativo. Provođenje projekta implementacije održivih energetskih rješenja na brodovima zahtijeva detaljno planiranje i preciznu izvedbu kroz sve faze. Svaka faza ima ključnu ulogu u osiguravanju uspjeha projekta, od početne analize, mjerenja dostupnog prostora do predlaganja rješenja za provedbu projekta. Učinkovitost broskog električnog sustava mora biti postignuta kako u pogledu potrošnje, tako i metoda punjenja.

Projektni zadatak postavljen za ovaj sustav bio je i omogućiti rad klima uređaja tijekom noći bez potrebe za vanjskim izvorom energije. Testiranje je pokazalo da je to moguće, čak i pri korištenju više jedinica. Solarni sustav, prikladan alternator i dobro dimenzionirana kućna baterija početne su točke, kako bi se izbjeglo često korištenje motora za punjenje baterija. Cilj rada bio je analizirati učinkovitost i praktičnost korištenja solarne energije u kombinaciji s naprednim litij-ionskim baterijama za zadovoljenje energetskih potreba jedrilice, te identificirati ključne prednosti i izazove povezane s ovom tehnologijom. Rezultati istraživanja pokazali su da solarni paneli mogu značajno doprinijeti energetskej samodostatnosti jedrilice, osobito tokom ljetnih mjeseci kada su uvjeti za proizvodnju solarne energije optimalni. Ključne prednosti korištenja solarne energije na jedrilici uključuju smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, smanjenje emisija štetnih plinova te dugoročne ekonomske uštede. Solarni paneli zahtijevaju minimalno održavanje i imaju dug životni vijek. Ipak, postoje i određeni izazovi koje je potrebno adresirati kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost sustava. To uključuje pravilnu dimenzioniranje i postavljanje solarnih panela, upravljanje energijom te integraciju s postojećim energetskeim sustavom jedrilice. Solarna energija predstavlja održivu i ekološki prihvatljivu alternativu za proizvodnju električne energije na jedrilici. S pravilnim planiranjem i implementacijom, solarni sustavi mogu značajno unaprijediti energetskei profil jedrilice, pružajući pouzdanu i čistu energiju za sve potrebe broda.

## LITERATURA

- [1] Jakulica, V. (2018). *Alternativne tehnologije poriva brodova* (Završni rad). Split: Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet.
- [2] Jingsun, <https://hr.jingsun-power.com/info/how-is-solar-panel-efficiency-calculated-how-89563155.html> (pristup 25.5.2024.)
- [3] Pro Star Solar, <https://www.prostarsolar.net/article/differences-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels.html> (pristup 20.6.2024.)
- [4] Samoodrživost, <https://samoodrzivost.com/vrste-solarnih-panela-koji-je-najbolji-izbor/> (pristup 20.6.2024.)
- [5] Solbian solar, <https://solbian.solar/en/lagoon-51-en/> (pristup 20.6.2024.)
- [6] Berthon Spain, <https://www.berthonspain.com/blog/can-yachts-be-solar-powered-a-guide-to-boat-solar-panels/> (pristup 20.6.2024.)
- [7] Sunreef, <https://sunreef-yachts.com/en/news/solar-catamarans/> (pristup 25.5.2024.)
- [8] Sinay, <https://sinay.ai/en/how-to-use-wind-energy-for-the-maritime-industry/> (pristup 6.6.2024.)
- [9] Howstuffworks, <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power.htm> (pristup 6.6.2024.)
- [10] Ecopower, <https://www.ecopowershop.com/wind-turbines/marine-wind-turbines> (pristup 20.6.2024.)
- [11] Vision marine technologies, <https://visionmarinetechnologies.com/lithium-batteries-vs-acid-batteries-for-electric-boats/> (pristup 12.6.2024.)
- [12] Bilandžić, M. (2021). *Baterijski sustav za napajanje i pogon električnog broda s asinhronim motorom* (Diplomski rad). Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
- [13] Energy2store, <https://www.energy2store.hr/brodske-baterije-rjesenja-za-solarno-punjenje/> (pristup 6.6.2024.)
- [14] Galjanić, A. (2016). *Idejni projekt hibridnog energetskeg sustava putničkog broda* (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [15] Global solo challenge, <https://globalsolochallenge.com/battery-power-management-sailboat/> (pristup 9.6.2024.)



- [16] Burza nautike, [https://www.burzanautike.com/hr/sve\\_tajne\\_alternatora/5857/25](https://www.burzanautike.com/hr/sve_tajne_alternatora/5857/25) (pristup 16.6.2024.)
- [17] Water yachts solutions, <https://wateryachtsolutions.com/blog/the-basics-of-marine-air-conditioners/> (pristup 20.6.2024.)
- [18] MBC Marine, [https://seairland.com.au/wp-content/uploads/2023/03/MBC\\_catalog\\_Web-2-1.pdf](https://seairland.com.au/wp-content/uploads/2023/03/MBC_catalog_Web-2-1.pdf) (pristup 20.6.2024.)