

Dinka Lale, dipl. ing. el.

Znanstvena novakinja - asistentica
Odjel za elektrotehniku i računarstvo
Sveučilište u Dubrovniku
E-mail: dinka.lale@unidu.hr

Igor Bajo, mag. ing. rač.

Student
Odjel za elektrotehniku i računarstvo
Sveučilište u Dubrovniku

UPOTREBA VJETROAGREGATA I FOTONAPONSKIH PANELA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODICI

UDK / UDC: 620.92:629.52

JEL klasifikacija / JEL classification: Q42

Stručni rad / Professional paper

Primljeno / Received: 26. svibnja 2015. / May 26, 2015.

Prihvaćeno za tisak / Accepted for publishing: 17. studenog 2015. / November 17, 2015

Sažetak

Onečišćenje zraka šteti zdravlju ljudi i okolišu, a klimatske su promjene veliki aktualan problem čovječanstva. Jedan od glavnih uzroka klimatskim promjenama su emisije stakleničkih plinova, čemu dijelom pridonosi i proizvodnja električne energije. Zbog toga se teži upotrebi ekološki prihvatljivih energetske izvora kao što su energija vjetra i energija sunca. Cilj ovog rada je opisati upotrebu energije vjetra i sunčeve energije na primjeru brodice koja u ljetnim mjesecima plovi južnim Jadranom. Opisani su scenariji upotrebe vjetroagregata i instaliranih fotonaponskih panela i oni pune akumulator iz kojeg se napajaju trošila električne energije na brodici. Definirani su ekološki prihvatljivi izvori električne energije i naznačene su vrste obnovljivih izvora energije. Posebna je pozornost na energiji vjetra i solarnoj energiji jer su to dva najpopularnija "zelena" načina proizvodnje električne energije; oni pridonose očuvanju okoliša smanjenjem emisije CO₂ i drugih štetnih plinova u atmosferu.

Ključne riječi: energija vjetra, vjetroagregat, pomorski hibridni sustavi, fotonaponski panel

1. UVOD

Onečišćenje zraka šteti zdravlju ljudi i okolišu, a klimatske su promjene velik aktualni problem suvremenog čovječanstva. Jedan od glavnih uzroka klimatskim promjenama emisije su stakleničkih plinova. Poznato je da proizvodnja električne energije najviše pridonosi emisiji stakleničkih plinova. Zbog toga se nastoje upotrebljavati ekološko prihvatljivi energetske izvori a to su obnovljivi izvori energije. Energija vjetra i energija sunca pripadaju upravo takvim obnovljivim izvorima. Upotreba vjetroagregata i fotonaponskih panela sve je raširenija. Također, neprestano se radi na poboljšanju i unapređenju sustava obnovljivih izvora energije. Upotrebljava se energija vjetra koristeći se vjetroagregatima [1]. Nadalje, to je energija sunca uz pomoć instaliranih pokretnih fotonaponskih panela [2].

Uz pojam obnovljivih izvora energije čest je u uporabi pojam hibridni sustavi. U znanosti i industriji već je naveliko poznat, i to u različitim granama. Hibridni sustav definira se kao sustav u kojem se koriste najmanje dva različita izvora energije [3].

Svaki pojedini energetski izvor ima neka svoja posebna obilježja. Zato je, kada se razmatraju kombinacije različitih izvora, potrebno uzeti u obzir karakteristike svakoga od njih i postići najbolje moguće rješenje. A sve to radi što veće pouzdanosti sustava.

Posebno je uspješno ako je barem jedan od dvaju ili više izvora energije obnovljiv, pa pridonose očuvanju okoliša smanjenjem emisije štetnih plinova u atmosferu [4].

U obnovljive izvore energije ubrajaju se:

- biogorivo (tekuće biogorivo, kruta biomasa i bioplin)
- geotermalna energija
- energija vode (različiti oblici kao sustavi bez brane koji se koriste kinetičkom energijom rijeka, oceana, morskih struja, morskih mijena, valova itd.)
- solarna energija (proizvodnja električne energije uporabom fotonaponskih ćelija, proizvodnja vodika, zagrijavanje zgrada izravno na temelju konstrukcije pasivne solarne zgrade, zagrijavanje vode ili zraka za kućanstva, zagrijavanje i hlađenje zraka uz pomoć solarnih kamina itd.)
- energija vjetra (koja pokreće vjetro turbine) [5].

2. OPSKRBA ENERGIJOM U POMORSTVU

Opskrba energijom u pomorstvu sama je po sebi specifična jer je svaki sustav, bio to brod ili brodica, poseban za sebe. Uz to što je izoliran, svaki pomorski objekt ima određenu specifičnu potražnju i karakteristike.

U vrijeme kada je utjecaj na okoliš jedan od osnovnih problema čovječanstva, proizvođači plovila sve se više okreću alternativnim energetskim izvorima s niskom emisijom stakleničkih plinova. U nastavku će se prikazati neki današnji primjeri plovila koja se koriste energijom vjetra i sunca.

Zanimljivo je istaknuti jedno takvo rješenje uz pomoć vjetra. Riječ je o SkySailsu.

Naime, riječ je o tvrtki koja je odavno prošla fazu dizajna; osnovana je 2001. godine u Hamburgu, i već nekoliko godina prodaje automatizirane zmajeve za vuču teretnih brodova.

Zmaj veličine od 325 m² SkySailsa nalik je divovskom krilu za padobransko jedrenje; ispaljuje se s broskog pramca pa ga vuče naprijed pri pogodnom vjetru. Ovisno o uvjetima vjetra, potrošnja goriva može se smanjiti od 10 do 35 %.

SkySails je postavio svoje goleme zmajeve na šest brodova, a Cargill, jedan od najvećih svjetskih brodarskih prijevoznika, postavio je instalaciju najnovije tehnologije SkySailsa na svoj brod "Aghia Maina" prošle godine [13].

Japanski brodar Mitsui OSK Lines (MOL) u ljeto 2012. godine u brodogradilištu Mitsubishi Heavy Industries završio je izgradnju broda Emerald Ace, prvi brod za prijevoz (nosač) automobila na hibridni pogon koji se koristi sustavom proizvodnje električne energije kombinirajući sustav fotonaponskih ćelija ukupne snage od 160 kW i litij-ionskih baterija koje mogu uskladištiti oko 2,2 MWh električne energije. Paneli proizvode električnu energiju dok brod plovi, a kad je on u luci, dizelski se motori gase i koristi se električnom energijom iz baterija, čime se u potpunosti eliminiraju emisije ugljičnog dioksida u lukama. Osim toga baterije su smještene na dnu broda umjesto permanentnog balasta, pa taj sustav ne utječe na kapacitet smještaja kontejnera. MOL Emerald Ace je impresivno dostignuće trupom od 200 m duljine, te kapaciteta teretnog prostora od 6 400 vozila (standardnih osobnih automobila). Taj brodski tip razvojni je prethodnik novog MOL-ova koncepta „car-carriera” ISHIN-I [18].

ISHIN-I je okolišu naklonjen nosač automobila koji se služi hibridnim sustavom, kombinacijom električnoga propulzijskog sustava s klasičnim dizelskim propulzijskim strojem. Elektricitet za električnu propulziju stvara se iz obnovljive solarne energije preko solarnih panela i sprema se u litij-ionske baterije. Solarna električna energija uskladištena tijekom putovanja, potrebna za lučke operacije, crpi se jedino iz tih baterija, pa nema emisija plinova dok je brod u luci, a ušteda na energiji iznosi 3%.

ISHIN-I (ISHIN = *Innovation in Sustainability backed by Historically proven INtegrated technologies*) novi je razvojni stupanj u smanjivanju otpora broda strujanju zraka. Dosad su se brodovi u tu svrhu koristili zaobljenim pramčanim dijelom trupa nad vodom i bočne vjetrove kanale za stabilnije održavanje kursa. U ovoga broda pramac i bokovi trupa još su više aerodinamični,

a krma ima oblik suze, tako da zrak glatko teče oko broda, pa se ušteda na energiji postiže za čitavih 10%. Na sustavu propulzije postiže se dodatna energetska ušteda primjenom patentiranoga protuvrtećeg propelera i zakrilaca na kapi njegove glavčine. Dodatnih 10% uštede tako se dobiva smanjenjem otpora strujanju vode uz trup i primjenom najnovijega posebnog podvodnog premaza koji privlači vodu na sebe i tako znatno eliminira otpor strujanju vode uz brodski trup. Uz optimalni sustav podrške putovanju, unaprijeđeni sustav upravljanja strojevima i korištenje otpadnom toplinom ispuha, te uz poboljšani oblik podvodnog dijela trupa, ukupno smanjenje CO₂ iznosi oko 41% [20].

Japanska tvrtka Eco Marine Power razvija Aquarius solarne i vjetro-morske sustave za proizvodnju energije na brodovima. Aquarius sustav koristi se posebno dizajniranim krutim panelima u obliku jedra (EnergySail) sa solarnim modulima koji skupljaju energiju vjetra i solarnu energiju na velikim brodovima, na temeljima najnovije tehnologije solarnih modula u kombinaciji s modernom kontrolom i navigacijom broda.

Brodsko će računalo kontrolirati raspored panela, kako bi se na najbolji način koristio vjetrom ili suncem ovisno o vremenskim uvjetima u danom trenutku. Ti će paneli efektivno omogućiti velikim plovilima, kao što su naftni tankeri i teretni brodovi, da budu djelomično solarni brodovi. Paneli će moći poslužiti i kada je tanker u luci, a i moći će se automatski “spremiti” pri pojavi jako lošeg vremena.

Sustav se razvija za različite brodove koji imaju iste (uniformne) osnovne komponente kako bi se smanjili troškovi, te iako je zamišljen za velike brodove, Aquarius sustav će dobro poslužiti i za manja plovila, kao što su trajekti i turistički brodovi [19].

Općenito, većina plovila na hibridni pogon radi tako da se kombinira klasični motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor napajan iz akumulatora. Kako je akumulator potrebno puniti, s ekološkog gledišta najbolje rješenje su obnovljivi izvori energije. Na plovilima je izvedivo postaviti solarne ploče i male vjetroagregate.

Moguće kombinacije uporabe hibridnih sustava na brodicama su:

- punjenje akumulatora energijom dobivenom vjetroagregatom
- punjenje akumulatora energijom dobivenom fotonaponskom ćelijom
- punjenje akumulatora energijom dobivenom kombinacijom vjetroagregata i fotonaponske ćelije

Elektrokemijski akumulatori, tj. punjive baterije, najčešći su spremnici energije. Na tržištu je velik broj različitih tipova akumulatora, ovisno o primjeni. Najviše su u primjeni olovni akumulatori, kao tradicionalni spremnici električne energije za zahtjevnije sustave.

Za napajanje trošila manjih snaga česta je upotreba akumulatora na bazi nikla (nikal-kadmij i nikal-metal-hidrid akumulatori) koji se u novije vrijeme zamjenjuju akumulatorima na bazi litija (litij-ion, litij-polimer, pa najnovije i litij-željezo-fosfat) [6].

Najkvalitetnije baterije u ovu svrhu imaju dobre karakteristike. Vijek trajanja im je oko deset godina, mogu se puniti oko 3 000 puta a prosječno je trajanje jednog punjenja tri sata.

2.1. Energija vjetra u pomorstvu

Energija vjetra imala je veliku ulogu u razvoju ljudske civilizacije počevši od pogona brodova 5 000 godina prije Krista u Egiptu do danas, pa do mljevenja žitarica na području današnjeg Afganistana 2 000 godina prije Krista.

Kad jedrenjak razvije jedra, iskorištava energiju vjetra kako bi plovio. Takav je način zastupljen godinama. Vjetar je pomogao i u otkrivanju Amerike - i Kolumbovi brodovi bili su jedrenjaci [7].

Vjetar je vodoravno strujanje zraka što nastaje zbog nejednakosti tlaka u Zemljinj atmosferi. Određen je brzinom (m/s) i smjerom. U meteorologiji službena jedinica za brzinu vjetra je "metar po sekundi". Energija je vjetra, zapravo oblik sunčeve energije. Svakog sata Sunce emitira na Zemlju 10^{14} kWh energije. Od 1 do 2% energije što je emitira Sunce pretvara se u energiju vjetra. Ipak, to je 50 do 100 puta više nego što se pretvori u biomasu.

Sunce neravnomjerno zagrijava različite dijelove Zemlje i to rezultira različitim tlakovima zraka, a vjetar nastaje zbog težnje za njihovim izjednačavanjem. Područja oko ekvatora zagrijavaju se sunčevom toplinom znatno više od ostalih dijelova Zemlje.

Topli se zrak iznad ekvatora uzdiže do visine od oko 10 km iznad tla, odakle se dalje cirkularno rasprostranjuje pod utjecajem Coriolisove sile [8].

Lopatice rotora vjetroturbine okreću se zbog strujanja zračne mase. Količina energije što je vjetar prenosi na rotor neposredno ovisi o gustoći zraka, površini rotora i brzini vjetra. Kinetička energija tijela u pokretu razmjerna je njegovoj masi, tako da kinetička energija vjetra ovisi o gustoći zraka:

$$E_k = \frac{m * v^2}{2} = \frac{(\rho * V) * v^2}{2} = \frac{\rho * (S * v * t) * v^2}{2} = \frac{\rho * S * v^3}{2} * t \quad (1)$$

tako, što je zrak teži, dobiva se više energije na vjetroturbini.

Nadalje, uvrštavanjem (1) u izraz za snagu bit će:

$$P_{vj} = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} * \rho * S * v^3 \quad (2)$$

gdje su:

P_{vj} je snaga vjetra izražena u vatima,

ρ je gustoća zraka pri normalnom atmosferskom tlaku i temperaturi od 15 °C,

što iznosi $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$,

S je površina presjeka rotora, a računa se iz izraza

$S = R_t^2 * \Pi$, gdje je R_t radijus turbine,

v je prosječna brzina vjetra izražena u m/s [1].

Snaga je vjetra razmjerna trećoj potenciji njegove brzine, što znači da se s povećanjem brzine vjetra njegova snaga mijenja eksponencijalno [9].

Prema Betzovu zakonu samo se oko 59,26% kinetičke energije vjetra može pretvoriti u mehaničku energiju vrtnje, pa je teorijski maksimum iskoristivosti:

$$c_p = \frac{P_t}{P_j} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} * \rho * S * v^3} \quad (3)$$

gdje su:

c_p - stupanj aerodinamičke pretvorbe (koeficijent iskoristivosti)

P_t - transformirana snaga vjetra.

Nadalje slijedi:

$$c_{p,Betz} = c_{p,max} = 59,26\% \quad (4)$$

gdje je:

$c_{p,Betz}$ - maksimum koeficijenta iskoristivosti.

Tako je jednadžba za maksimalnu snagu vjetra koja se može iskoristiti [10]:

$$P_W = \frac{1}{2} * \rho * A * C_{p;Betz} * v^3 \quad (5)$$

Uvrštavanjem (4) u (3) dobiva se izraz za maksimalnu snagu vjetra koja se može iskoristiti:

$$P_{vj,max} = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} * \rho * S * v^3 \quad (6)$$

Za moderne vjetroturbine stupanj je iskorištenja $\approx 0,45$, a na nekim turbinama ide sve do 0,50. Betzov zakon praktički znači da niti jedan vjetroagregat ne može biti učinkovitiji od 59,26% [6]. A osim toga, pri upotrebi vjetroagregata, potrebno je u proračune uključiti i gubitke pri pretvorbi električnu energiju.

Što se tiče primjene u pomorstvu, moguća je samo upotreba malih vjetroagregata.

2.1.1. Modeli malih vjetroagregata za instaliranje na brodicu

Prvi model nosi ime wind generator D400. Težak je 17 kg, dizajniran je za različite namjene, od postavljanja na brodice preko krovova do kopnenih područja. Posebno se ističe gotovo bešuman rad uz minimalne vibracije. Dostupan je u izvedbama od 12 i 24 V. Što se snage tiče, izvedbe su počevši od izlazne snage od 100 W, pa 200 W, 350 W i 530 W [11].

Primjer postavljenog modela D400 može se vidjeti na slici 1.



Slika 1. Mali generator D400 postavljen na jedrilicu

Izvor: autor

Drugi model ove komponente hibridnih sustava je model Rutland 504, s malim promjerom turbine od samo 51 cm, što ga čini idealnim za montažu na krmu brodice ili jahte (do 10 m duljine). Također, dolazi sa zaštitnim prstenom koji pokriva šest lopatica rotora i štiti od ozljeda na skučenome krmenom prostoru brodice.

Odlikuje se tihim radom, izradbom materijalima otpornima na vremenske uvjete, steznicima od nehrđajućeg čelika i generiranom snagom od 60W [12].

2.2. Solarna energija u pomorstvu

Solarne ćelije (zване i fotonaponske) poluvodički su uređaji koji pretvaraju sunčevu energiju izravno u električnu uz pomoć fotonaponskog efekta.

Skupine ćelija tvore solarne module, poznate i kao solarni paneli ili fotonaponska ploča.

Jednadžba (7) opisuje električne karakteristike i definira vezu između iznosa napona i struje koji se dobivaju uz pomoć fotonaponskog modula:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{(V+I \cdot R_s)q}{a \cdot kT \cdot N_s}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

gdje su [14]:

N_s - broj ćelija u seriji

I_{ph} - struja dobivena fotoelektričnim efektom

I_s - struja zasićenja

R_s, R_{sh} - otpori koji se nalaze u seriji i paraleli s ćelijom

q - električni naboj

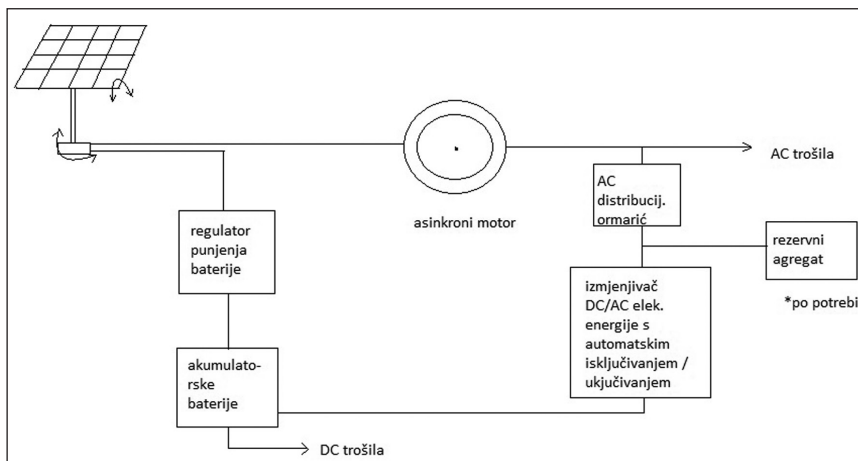
k - Boltzmannova konstanta

a - modificirani faktor idealnosti

V - napon ćelije.

Energija proizvedena solarnim modulima primjer je solarne energije. Solarne ćelije pune baterije za sunčanog i mirnog vremena jer tada nema vjetro koji pogoni možebitne instalirane vjetroagregate [6]. Kako bi se postizala što veća učinkovitost pri upotrebi solarnih fotonaponskih panela, počelo se koristiti sustavom praćenja položaja sunca. Njime se usmjeruju fotonaponski paneli izravno prema sunčevu zračenju.

Na slici 2. prikazana je shema postavljanja fotonaponskih panela koji ima sustav praćenja sunčeva položaja.



Slika 2. Fotonaponski panel s ugrađenim sustavom za praćenje položaja sunca

Izvor: autor i "Position Control Performance Improvement of DTC-SVM for an Induction Motor: Application to Photovoltaic Panel Position", Fatma Ben Salem.

U pomorstvu se fotonaponskim panelima već dugo koristi za dobivanje električne energije, ali u ograničenim količinama: za rasvjetu, napajanje elektroničkih uređaja i, eventualno, za pogon hladnjaka. Tada se upotrebljavaju i koriste fotonaponski paneli s većom iskoristivosti, ali oni su i znatno skuplji. U novije vrijeme se mogu naći na tržištu i fleksibilni fotonaponski paneli kao i oni po kojima se može čak i hodati, no njihova je upotreba, upravo zbog visoke cijene, dosta ograničena.

Korištenje fotonaponskim panelima uz ostalo je ovisno i o geografskom području kuda se plovi. Na južnim morima i krajevima gdje ima mnogo sunca, a malo oblačnih dana, njihova je upotreba mnogo izglednija nego u sjevernim morima i jezerima. Vijek trajanja fotonaponskih panela iznosi više od 10 do 15 godina, o čemu pri konačnoj odluci o njihovoj nabavi i ugradnji treba voditi računa [15].

Da bi se postizala što veća iskoristivost solarne energije u pomorstvu, posebno na brodicama, djeluje više čimbenika. Prvenstveno je osviještenost čovjeka o očuvanju okoliša, zatim informiranje o jednostavnom postavljanju solarnog sustava, pa i činjenica da je tek pred nekoliko godina došlo do pada tržišnih cijena za ove module.

Za razliku od brodova, treba povesti računa o činjenici kako su brodice prostorno ograničene za postavljanje fotonaponskih panela.

2.2.1. Plovila na hibridni pogon uz upotrebu solarne energije

U proteklih desetak godina naglo je porasla upotreba solarne energije u pomorstvu, što je dovelo i do toga da su osmišljena i izgrađena plovila samo na solarni pogon. I naša zemlja ima svog predstavnika. Krajem 2011. u Hrvatskoj je konstruirana prva brodice na solarnu energiju. Pomorski kapetan Edo Dešković i inženjer brodogradnje Boris Rosović su dvojac koji je zaslužan za izgradnju takve brodice pod nazivom "Sol-Eol". To je plastično plovilo (stakloplastika), duljine od 4,98 m, širine 1,63 m, izgrađeno na osnovi dugih ispitivanja i kompjutorske simulacije, kako bi se dobila optimalni oblik za jedrenje i solarni pogon. Za pogon brodice upotrijebljen je motor 'Torqueedo', njemačkog proizvođača, snage od 175 W, s fotonaponskom pločom od 135 W. Ističe se kako oblikom (vrlo stabilan i više namjenski čamac za ribarenje, pogotovo panulanje), tako i svojim performansama [16].

Raznovrsna su mjesta gdje se mogu postaviti solarni paneli na plovilu: paluba, krov kabine, čime imaju dodatnu funkciju kao tenda. Današnji su paneli toliko modernizirani i fleksibilni, kao što je već spomenuto, pa se mogu postaviti i na zakrivljene površine, te se mogu naručiti u različitim oblicima i veličinama ovisno o potrebama potrošača.

Općenito govoreći, većina plovila na hibridni pogon rade tako da kombiniraju klasični motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor koji se napaja iz akumulatora. Još je uvijek jedna od najvećih prepreka pri upotrebi elektromotora problem „skladištenja” energije.

2.2.1.1. Greenline 33

Razvoj koncepta Greenline 33 pokrenut je 2007. godine, i temelji se na izradbi trupa s vrlo malim otporom, koji, iako nije sposoban za postizanje velikih brzina, troši znatno manje energije za gibanje kroz vodu. Ovaj je trup zapravo izvedenica trupa jedrilice, kojim se ne samo smanjuje potrošnja goriva već se omogućava plovidba samo na električni pogon uz pomoć uskladištene energije u baterijama dobivene izravno iz fotonaponskih panela. Greenline 33 opremljen je vrlo štedljivim Volkswagenovim 5-cilindričnim turbodizelskim motorom, koji pri brzini od 7 čv troši svega četiri litre goriva na sat, što mu omogućava autonomiju od gotovo 700 nautičkih milja s jednim spremnikom goriva. Motor je hidrauličnom spojkom povezan s elektromotorom koji je ujedno i generator i troši 7 kW, a pogonjen dizelskim motorom stvara 5 kW struje i ona se akumulira u baterijama. Ono što Greenline 33 razlikuje od drugih hibrida je činjenica da može u potpunosti funkcionirati kao solarno plovilo. Krov je prekriven sa šest fotonaponskih panela koji pri najjačem suncu stvaraju snagu struje od 1,3 kW, što je dovoljno da se postigne brzina od 3,5 čvora. Pri toj brzini potrošnja je energije jednaka energiji prikupljenoj od sunca. Paneli su zaštićeni staklom debljine od 3,5 mm, što ih čini otpornima na vanjske utjecaje. Sva se proizvedena energija pohranjuje u najmodernije litijeve baterije kapaciteta od 240 Ah s operativnim

vijekom trajanja predviđen na deset godina. Greenline 33, zbog vrlo niske potrošnje goriva, koja je i do 75% manja od sličnih glisera, i sposobnošću da se koristi sunčevom energijom za pogon odličan je izbor za krajnjeg korisnika [17].

3. UPOTREBA VJETROAGREGATA I FOTONAPONSKIH PANELA NA BRODICAMA

Naznačeni primjeri pokazali su korisnu i raširenu primjenu obnovljivih izvora energije; točnije, upotrebu vjetroagregata i fotonaponskih panela, za proizvodnju električne energije u hibridnim sustavima u pomorstvu. Posebno se to odnosi na hibridne sustave na brodicama. U nastavku se opisuje hibrid na primjeru brodice u južnom Jadranu na kojoj se upotrebljavaju vjetroagregat i fotonaponski paneli. Za početak će se nabrojiti električni uređaji na brodicama.

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

- rasvjeta, žarulje – oko 12 W (radi na 12 V), LED 1 do 2 W
- radio uređaj – 25 W
- radio-komunikacijska oprema – 25 W
- kaljužna pumpa – od 100 do 200 W
- hladnjak (mali, brodski) – oko 50 W
- klimatizacija – od 300 do 500 W
- televizor – 300 W
- računalo, laptop – 150 W
- sidreno vitlo – 300 W.

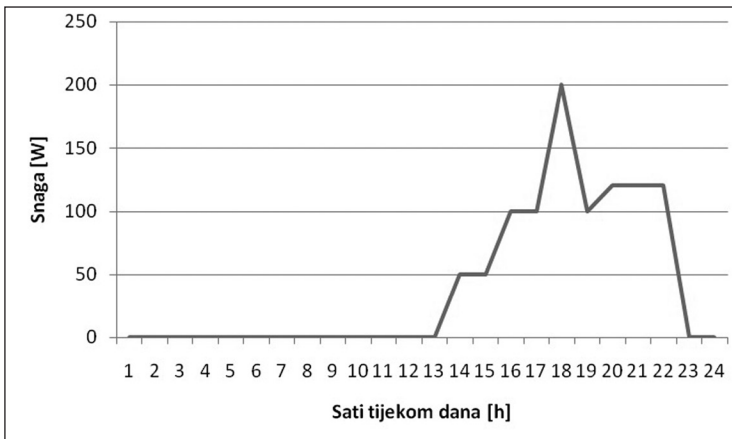
Od spomenute opreme kaljužna je pumpa trošilo kojemu je vrijeme rada, pa time i potrošnja električne energije, povezano s vremenskim prilikama. Uključuje se po potrebi i ima funkciju pumpati vodu kada pada kiša. Zato je važno da se iz akumulatora osigura dovoljna količina energije za njezin nesmetani rad. Fotonaponski panel postavljen na plovilo omogućuje punjenje (nadopunu potrošene energije) akumulatora po danu.

Također, moguć je, uz odgovarajuću opremu, rad pumpe na vezu, po potrebi, primjerice kada pada kiša, i to bez nazočnosti čovjeka.

Nestalnost rada karakteristična je i za druga trošila, kao za: hladnjak, televizor, računalo, klimatizacija i sl. Sidreno se vitlo upotrebljava jedanput do nekoliko puta dnevno, ali u vrlo kratkom vremenu. U ovome radu se analizira odabrani primjer plovila (7 m duljine, kabina) opremljenoga spomenutom opremom u to da je brodica u moru šest mjeseci godišnje, od svibnja do listopada. U vožnji je najviše tijekom tri ljetna mjeseca, popodne od 13,30 do 22,30 sata. Brodica je opremljena unutarnjim dizelskim motorom snage 11,2 kW (15 ks), a prosječna joj je potrošnja litra dizelskog goriva na sat umjerene vožnje.

Osnovna zadaća svakoga elektroenergetskog sustava je osigurati potrebnu količinu električne energije u svakom danom trenutku. Postavljanje fotonaponskih panela i vjetroagregata na brodice upravo, dodatno povećava pouzdanost sigurnosti opskrbe električnom energijom.

Najprije će se pokazati brodica s električnim sustavom. Dok plovi, u početku je uključen samo radiouređaj i radiokomunikacijska oprema. Nakon dva sata uključi se i hladnjak, koji radi sat do dva. Uzima se da, prosječno po danu, kaljužna pumpa radi jedan sat, za kišnih dana više, a pali se prema potrebi i za sunčanih dana pri valjanju i valovima. U predvečerje se pale signalna svjetla i rasvjeta. Tako, prosječna dnevna potrošnja iznosi 960 Wh. Potrošnja brodice s električnim sustavom, pri plovidbi, prikazana je na slici 3.



Slika 3. Promjena angažirane snage trošila električne energije na brodici tijekom plovidbe za sunčanoga ljetnog dana

Izvor: autor

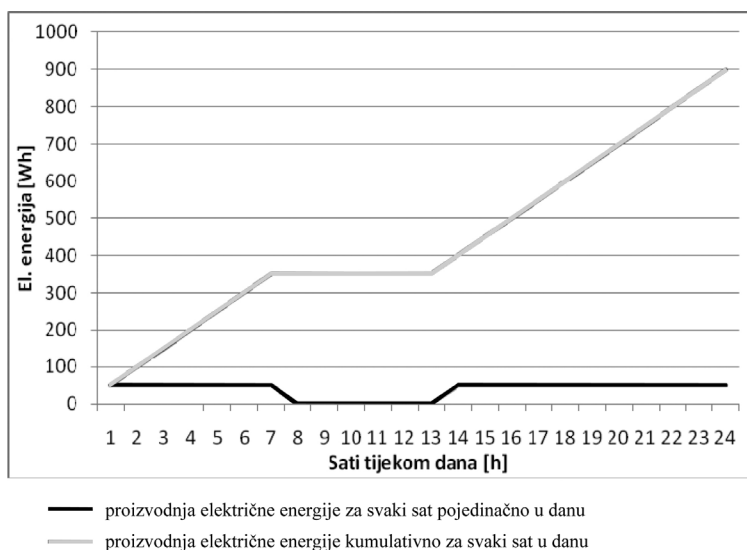
Kao što je već spomenuto, da bi se postizala što veća pouzdanost sustava, čime se osigurava konstantna opskrba potrebnom količinom električne energije za vrijeme kada brodica plovi razmatrat će se dva primjera uvođenja obnovljivih izvora energije: u prvome je to instaliranje vjetroagregata, a u drugome postavljanje fotonaponskih panela na krov kabine. Pritom je vjetroagregat snage od 60W za kojega je proizvodnju energije napravljen izračun i uspoređen je s potrebama za električnom energijom tijekom dana. U drugom primjeru fotonaponski panel površine od 0,67 m² snage približno od 100 W postavljen je na krov kabine brodice. Nakon izračuna o proizvodnji električne energije dani su dijagrami kumulativne proizvedene električne energije i onaj usporedbe proizvedene električne energije s potrebama u tijeku sunčanoga ljetnog dana.

3.1. Postavljanje vjetroagregata snage 60W

Na brodicu je instaliran vjetroagregat snage od 60 W za punjenje akumulatora.

Pretpostavka je da će raditi prosječnom snagom od 50W. Za početak će se pretpostaviti da je akumulator prazan, i da se počeo puniti tijekom noći, a do početka plovidbe napunio je 350 Wh. Uzima se da vjetar, prosječnom brzinom od 5,30 m/s puše 18 sati dnevno (po noći i predvečer, te kada brodica plovi) [21].

Na slici 4. prikazana je proizvodnja električne energije koristeći se vjetroagregatom za svaki sat pojedinačno u danu, te kumulativno također za svaki sat tijekom dana.



Slika 4. Proizvodnja električne energije koristeći vjetroagregat za svaki sat pojedinačno u danu te kumulativno

Izvor: autor

Podaci s natpisne pločice akumulatora, kapacitet:

$$Q = 110 \text{ Ah}$$

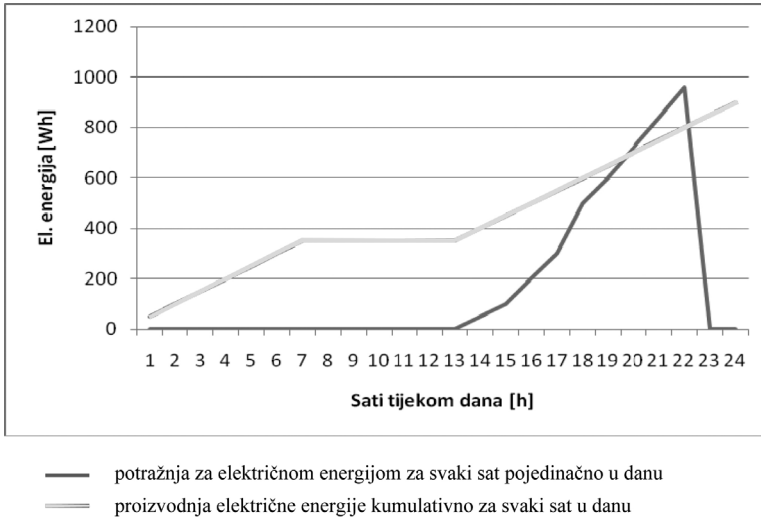
Uz napon akumulatora od $U = 12V$ dobiva se količina akumulirane električne energije:

$$W = 110 \text{ Ah} * 12V = 1320 \text{ Wh}$$

Ako se krene s kapacitetom baterije u iznosu od 50%, dobiva se:

$$W = 50\% * 1320 \text{ Wh} = 660 \text{ Wh}$$

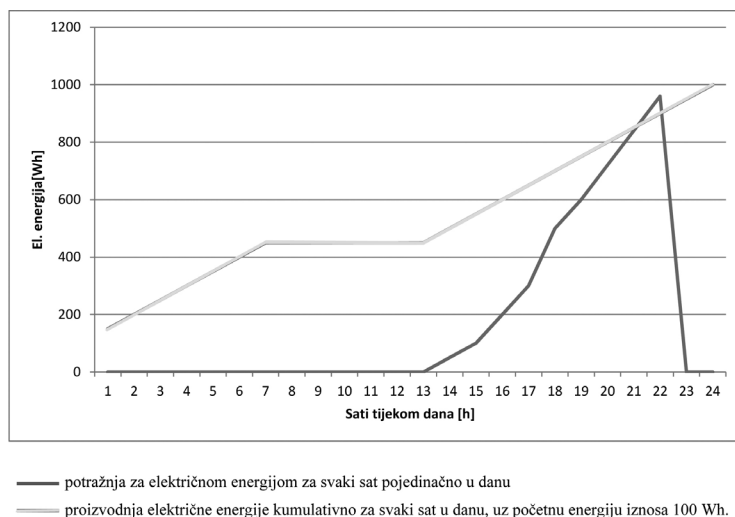
Kao što je već rečeno, kumulativno vjetroagregat, za podatke koje smo uzeli za prosječne, napuni do trenutka kretanja barke 350 Wh. Potom se akumulator dva sata puni približno za isti iznos električne energije koliko se i potroši. Pri kraju dana puni se manje nego što je potrošnja električne energije, kao što je razvidno na slici 5.



Slika 5. Kumulativna proizvodnja električne energije koristeći vjetroagregat i potražnja za električnom energijom za svaki sat u danu

Izvor: autor

Iz slike 5. vidljivo je da u vremenskom razmaku od 20 do 22 sata nije zadovoljena potreba za električnom energijom. Važno je naglasiti da je početna pretpostavka bila kako će u ponoć akumulator biti potpuno prazan. Međutim, u praksi to nije tako. Uz pretpostavku da je kumulativna energija u ponoć iznosila samo 100 Wh, proizvodnja električne energije je veća nego potrošnja tijekom cijelog dana izuzevši kratko vrijeme oko 21 sat, što se vidi na slici 6.



Slika 6. Kumulativna proizvodnja električne energije koristeći se vjetroagregatom uz početni iznos od 100 Wh i potražnja za električnom energijom za svaki sat u danu

Izvor: autor

Slika 6. pokazuje da samo u malom razdoblju tijekom dana (u 21 sat) nije zadovoljena potreba za energijom, što se može jednostavno spriječiti redukcijom potrošnje.

Također, zalihe će akumulatora od noćnog punjenja često, u praksi, biti i veće. Stoga se može zaključiti da će potrebe za električnom energijom biti zadovoljene samo iz proizvodnje vjetroagregata.

Evidentno je da ugradnja vjetroagregata na brodicu uvelike povećava pouzdanost sustava opskrbom električnom energijom. Ako se uzme u obzir aktualni problem klimatskih promjena koje su snašle čovječanstvo, potrebno je još jednom naglasiti da je električna energija proizvedena vjetroagregatom ekološki prihvatljiva.

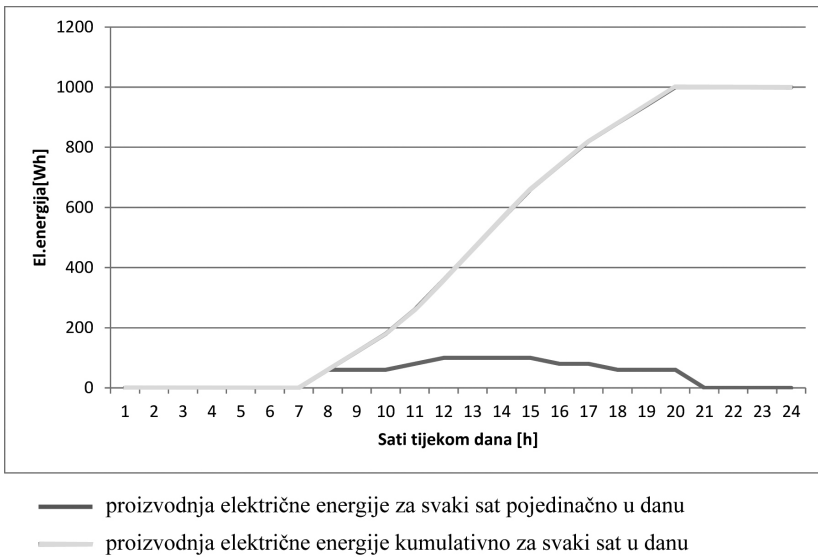
3.2. Postavljanje fotonaponskog panela snage 100 W

Drugi primjer opisuje postavljanje fotonaponskog panela manje površine, koji daje 100 W, samo na krov kabine (ako se uzme prosjek – 1 m² fotopanela daje 150 W).

Na krovu kabine ima dostatno prostora da se postavi fotonaponski panel koji bi imao prosječnu snagu od 100 W, što odgovara površini od 0,67 m² fotonaponskog panela.

Što se tiče osunčanosti, poznato je da se hrvatski jug ubraja u najsunčanije područje, s najvećim brojem sunčanih sati godišnje. U prosjeku, dubrovačko područje ima više od 250 sunčanih dana godišnje, a sunčanih sati oko 2 500 [22].

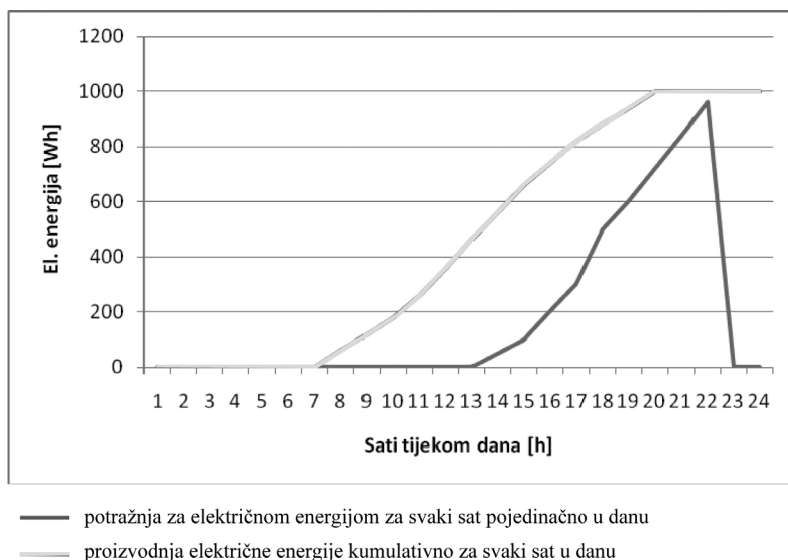
Positivna je strana i to što se brodicom plovi za vrijeme proljeća, jeseni, ali najviše ljeti, kada insolacija poprima najviše vrijednosti. Za prosjek će se uzeti da paneli rade 100% od 11 do 15 sati, 80% od 10 do 11 i od 15 do 17 sati, a 60% ujutro od 7 do 10 sati i predvečer od 17 do 20 sati. Prikaz proizvodnje električne energije fotonaponskim panelima, po satima u danu i kumulativno, dan je na slici 7.



Slika 7. Proizvodnja električne energije fotonaponskim panelima za svaki sat pojedinačno u danu te kumulativno

Izvor: autor

Kao što je već naznačeno, prosječna dnevna potražnja električne energije za brodicu iznosi 960 Wh. Slika 8. daje prikaz prosječne dnevne potrošnje i proizvodnje električne energije fotonaponskim panelima kumulativno po satima.



Slika 8. Kumulativna proizvodnja električne energije fotonaponskim panelima i potrošnja električnom energijom za svaki sat u danu

Izvor: autor

Iz slike 8. razvidno je da su cijeli dan, za svaki sat, potrebe za električnom energijom što prosječno trebaju mala trošila na spomenutoj brodici dostatne iz proizvodnje fotonaponskih panela.

Jednako kao što vrijedi za ugradnju vjetroagregata, instaliranjem fotonaponskih panela povećava se pouzdanost sustava a dodatna je prednost u tome što mala trošila imaju autonomiju.

4. ZAKLJUČAK

Vjetrogenerator i fotonaponski paneli ekološki su prihvatljivi izvori energije jer pridonose smanjenju emisija stakleničkih plinova. Budući da je riječ o sustavima koji se ubrajaju u obnovljive izvore energije i kao takvi pozitivno utječu na rješavanje problema klimatskih promjena, izražena je težnja za što zastupljenijom uporabom spomenutih sustava.

Opisani su scenariji upotrebe vjetroagregata i instaliranja fotonaponskih panela na brodicu, kako bi se zadovoljila potreba za električnom energijom za male električne uređaje uobičajene na brodicama. Scenariji pokazuju da je moguće sve te potrebe za električnom energijom na brodici zadovoljiti samo iz energije vjetra uz uporabu vjetroagregata i iz sunčeve energije instaliranjem fotonaponskih panela.

Svakako treba spomenuti pritom i dodatnu korist, i to je povećana pouzdanost opskrbe električnom energijom, uz naglasak da su to ekološki prihvatljivi izvori energije.

LITERATURA

[1] “Adaptive control with reference model of a doubly fed induction generator for wind turbine” Fezazi Omar, Département d’Electrotechnique, Intelligent Control & Electrical, Power Systems, The International Conference on Information Processing and Electrical Engineering-ICIPEE’14, 24-25. November 2014, Tebessa Algeria, The conference proceedings

[2] Position Control Performance Improvement of DTC-SVM for an Induction Motor: Application to Photovoltaic Panel Position, Fatma Ben Salem, Nabil Derbel, International Journal of Renewable Energy Research-IJRER, Vol 4, No 4 (2014)

[3] Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system, Borowy, B.S., Salameh, Z.M., Energy Conversion, IEEE Transactions on (Volume:11, Issue: 2), Page(s):367 – 375, ISSN :0885-8969, August 2002

[4] Intergovernmental Panel on Climate Change, Final Draft, Summary for Policymakers, IPCC WGIII AR5, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change

[5] Labudović, B.: “Obnovljivi izvor energije”, Energetika marketing, Zagreb, 2002.

[6] “Mali vjetroagregati i fotonaponski moduli za autonomne aplikacije na otocima Primorsko-goranske županije”, Energetski institut Hrvoje Požar, Nikola Karadža, Andro Bačan, László Horváth, Siniša Knežević, 2009.

[7] <http://www.vjetroelektrane.com/povijest> - posjećeno 30. travnja 2015.

[8] <http://www.gwec.net/> - posjećeno 27. travnja 2015. (GWEC – Global Wind Energy Council)

[9] “Permanent Magnet Synchronous Generators for Large Offshore wind farm connected to Grid - Comparative study between DC and AC configurations”, Djamel Ikni *, Morlaye Sekou Camara *‡, Mamadou Baïlo Camara *, Brayima Dakyo*, Hamid Gualous Electrotechnic and Automatic Research Laboratory of Le Havre (GREAH) University of Le Havre, 75 rue Bellot, 76600 Le Havre –France, **Laboratoire LUSAC – IUT de Cherbourg Octeville Université de Caen, Rue Louis Aragon, 50100 Cherbourg -Octeville, France, International journal of renewable energy researsh

[10] “Dynamic Behaviour of a Wind Energy Conversion System

including Doubly-Fed Induction Generator in Fault Conditions”, Dimitrios G. Giaourakis, Athanasios Safacas, Savvas Tsotoulidis, Laboratory of Electromechanical Energy Conversion, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Patras, International journal of renewable energy research

[11] <http://www.islandwaterworld.com/browse.cfm/d400-wind-generator-12v/4,7324.html> – posjećeno 10. svibnja 2015.

[12] <http://www.windtrap.co.uk/rutland-504-wind-turbine-12v-60w-marine-grade-129-p.asp> – posjećeno 29. travnja 2015.

[13] <http://www.skysails.info/english/power/> – posjećeno 15. travnja 2015.

[14] Two photovoltaic cell simulation models in Matlab/Simulink, J.A. Ramos-Hernanz 1 J.J. Campayo 1 J. Larranaga 2 E. Zulueta 3 O. Barambones 3 J. Motrico 1 U. Fernandez Gamiz 4 I. Zamora 1, International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, Issue 10, Volume 4, Number 1, Pages 45-51, March 2012

[15] „Korištenje sunčeve energije za plovidbu“, Goriva i maziva, 43, 5 : 306-311, 2004.

[16] <http://www.novolist.hr/Zivot-i-stil/Nautika/Ruzicasti-zeko-Eda-Deskovica-i-Borisa-Rosovica-plovi-na-solarni-pogon> – posjećeno 28. travnja 2015.

[17] <http://greenlinehybrid.com/> - posjećeno 1. travnja 2015.

[18] “World’s First Hybrid Car Carrier Emerald Ace Completed”, http://www.mol.co.jp/pr-e/2012/e-pr_1234.html, 29.6.2012. – posjećeno 27. travnja 2015.

[19] “Eco Marine razvija solarne i vjetro sustave za brodove”, <http://www.obnovljivi.com/svijet/488-eco-marine-razvija-solarne-i-vjetro-sustave-za-brodove>, 23.11.2011. – posjećeno 27. travnja 2015.

[20] <http://www.mol.co.jp/ishin/en/> - posjećeno 1. travnja 2015.

[21] Atlas vjetra Hrvatske, Osnova za procjenu energetskeg potencijala vjetra, DHMZ, http://klima.hr/razno/publikacije/brosura-atlas_vjetra.pdf – posjećeno 10. svibnja 2015.

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

Dinka Lale, M. Sc.

Research Assistant - Assistant
Department of Electrical Engineering and Information Technology
University of Dubrovnik
E-mail: dinka.lale@unidu.hr

Igor Bajo, M. Sc.

Student
Department of Electrical Engineering and Information Technology
University of Dubrovnik

**THE APPLICATION OF WIND TURBINE AND
PHOTOVOLTAIC PANEL FOR ELECTRICAL
ENERGY PRODUCTION ON BOAT**

Abstract

Air pollution has a bad influence on human health and environment, while climate changes are today a major problem of mankind. One of the main causes of climate changes are the GHG (Greenhouse Gasses) emissions. The production of electricity partly contributes to GHG emissions. Therefore, there is a tendency to use environmentally friendly sources of energy such as wind and solar energy. The aim of this paper is to describe the use of wind and solar energy in case of a boat sailing in the Adriatic in summer. The scenarios presenting the use of wind turbine and photovoltaic panel to charge accumulator are described. The accumulator is used by boat's electrical devices. The paper defines the ecological sources of energy and the forms of renewable energy sources. The focus is on wind and solar energy, as they are the two most popular "green" ways of electricity production, thus contributing to the reduction of global fuel consumption, and thereby protect the environment by reducing CO2 emissions into the atmosphere.

Key words: wind energy, wind turbine, maritime hybrid system, photovoltaic panel

JEL classification: Q42