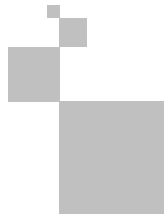




Energ

MALI VJETROAGREGATI I FOTONAPONSKI MODULI ZA AUTONOMNE APLIKACIJE NA OTOCIMA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE

Zagreb, rujan 2009.



Naručitelj:

Javna ustanova „Zavod za Prostorno uređenje Primorsko-goranske županije“

Oznaka ugovora:

EIHP:

Naslov studije:**Mali VJETROAGREGATI I
FOTONAPONSKI MODULI ZA
AUTONOMNE APLIKACIJE NA
OTOCIMA PRIMORSKO-GORANSKE
ŽUPANIJE****Autori:**

Nikola Karadža, dipl. ing.

Andro Bačan, dipl.ing.

László Horváth, dipl. ing.

Siniša Knežević, dipl.ing.

Voditelj studije:

László Horváth, dipl. ing.

Ravnatelj:

Dr. sc. Goran Granić

Izdavač:

Energetski institut Hrvoje Požar

Savska cesta 163

10000 Zagreb

<http://www.eihp.hr>

Oznaka studije:

EIHP-

Zagreb, rujan 2009.

Autorska prava

Isključenje od odgovornosti

EIHP nije ni na koji način odgovoran za način primjene iznijetih rezultata studije. Ta je odgovornost u potpunosti na naručitelju.

Razina povjerljivosti:

Povijest izrade

Inačica	Datum	Komentar	Pregledao	Odobrio



SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
STUDIJSKI ZADATAK	II
1. UVOD	3
2. Pregled tržišta malih vjetroagregata i fotonaponskih modula	4
2.1. Mali vjetroagregati	4
2.1.1. Povijesni pregled	4
2.1.2. Pregled tehnologije i trendovi razvoja	5
2.2. Fotonaponski sustavi	8
2.2.1. Povijesni pregled	8
3. Raspoloživi resursi sunčeve energije i energije vjetra na otocima primorsko goranske županije	10
3.1. Sunčevo zračenje i očekivana proizvodnost fotonaponskih sustava	10
3.1.1. Općenito o Sunčevom zračenju	10
3.1.2. Izvori podataka	11
3.1.3. Sunčevo zračenje na otocima Primorsko-goranske županije	12
3.1.4. Proizvodnost fotonaponskog sustava	13
3.2. Energija vjetra na otocima Primorsko-goranske županije	15
3.2.1. Vjetar kao izvor energije	15
3.2.2. Energija u vjetru	16
3.2.3. Vremenska i prostorna promjenjivost vjetra	18
3.2.4. Značajke vjetrova u priobalju	19
3.2.5. Prirodni i tehnički potencijal energije vjetra na otocima Primorsko-goranske županije	21
4. Pregled tehnologije i komponente sustava tipičnog hibridnog sustava vjetar-sunce	23
4.1. Općenito o autonomnim i hibridnim sustavima	23
4.2. Mali vjetroagregati, podjela i primjena	25
4.2.1. Dijelovi malih vjetroagregata	27
4.3. Fotonaponski moduli	28
4.4. Uređaji za prilagodbu oblika napona	32
4.5. Spremnici energije	33
4.5.1. Olovni akumulatori	34
5. Optimiranje sustava zasnovanog na korištenju energije vjetra i sunca	35
5.1. Primijenjena metodologija i osnove optimizacije	35
5.2. Opis modela i ulazni podaci	35
5.2.1. Ulazni podaci vjetra	35
5.2.2. Ulazni podaci Sunčevog zračenja	36
5.2.3. Ulazni podaci potrošnje električne energije	37
5.3. Rezultati modeliranja tipičnog sustava za primjenu na otocima Primorsko-goranske županije	38
5.3.1. Opis sustava i njegovih komponenti	38
5.3.2. Ekonomski pokazatelji za odabrano optimalno postrojenje	41
5.3.3. Usporedba troškova autonomnog sustava i priključka na elektroenergetsku mrežu	44
6. Smjernice za smještaj malih vjetroagregata i fotonaponskih modula	48
6.1. Mali vjetroagregati	48
6.2. Fotonaponski moduli	49
7. ZAKLJUČAK	52
8. LITERATURA	53



STUDIJSKI ZADATAK

Mali vjetroagregati, koji su po jedinici instalirane snage obično skuplji od velikih mrežno integriranih vjetroelektrana, postaju cijenom i tehničkim karakteristikama sve prihvatljiviji, a u nekim slučajevima i ekonomski opravdan izbor za opskrbu električnom energijom. Raspoloživost malih autonomnih sustava zasnovanih na energiji vjetra moguće je poboljšati uključivanjem fotonaponskih modula u sustav zbog međusobnog nadopunjavanja raspoloživosti dva resursa. U Republici Hrvatskoj korištenje ovakvih sustava na samom je početku te predstavlja zanimljivu poduzetničku tržišnu nišu.

Mali vjetroagregati se smještaju na relativno malim visinama iznad tla, u zoni jakog utjecaja raznih prepreka na strujanje zraka, pa je o smještajnim aspektima potrebno posebno voditi računa kod korištenja ovakvih malih sustava. Također, optimiranje veličine vjetroagregata i ostalih komponenata malog autonomnog sustava vrlo je važna faza koja ima velike troškovne posljedice na cijenu ovako proizvedene energije.

U ovome studijskom zadatku prikupit će se dostupne informacije, obradit će se predmetna problematika, analizirati tipični slučajevi te će se kao rezultat izraditi priručnik sa smjernicama za korištenje malih sustava za proizvodnju električne energije zasnovanih na energiji vjetra i Sunca.

1. UVOD

Energetska kriza koja se očituje sve višim cijenama fosilnih goriva, nužno nameće pitanje sigurnosti opskrbe i funkcioniranja elektroenergetskih sustava počevši od malih zajednica, gradova, županija pa i država. Sve veće potrebe za energijom ukazuju na nužnost mjera štednje energije, primjene energetske učinkovitosti kao i nužnosti obnovljivih izvora energije koji su temelj održivog razvoja u zadovoljenju energetske potreba.

Električna energija postala je neizostavan standard i nužnost za održanje načina života i na većini jadranskih otoka još sredinom prošlog stoljeća. Dovedi električnu energiju i do najudaljenijih otočnih zajednica bio je izazov koji i danas ima svoju težinu. Velika većina kućanstava na otocima Primorsko goranske županije se koristi električnom energijom iz distribucijske mreže. Tijekom ljetnih mjeseci na otocima Primorsko goranske županije je znatno veći broj ljudi nego tijekom cijele godine što sve češće postaje uzrokom preopterećenja elektroenergetskog sustava zbog povećanih potreba za električnom energijom. Prema raspoloživim podacima korištenje obnovljivih izvora energije, osobito vjetra i Sunca na otocima Primorsko-goranske županije u samim je začecima i postajanje takve tehnologije je više sanjarska ideja pojedinih entuzijasta nego pravilo.

Razvoj tehnologije za iskorištavanje obnovljivih izvora energije danas nudi alternativu mrežnom priključku u smislu postojanja uređaja koji osiguravaju energetske neovisnost kućanstva i zadovoljavaju sve potrebe za energijom. Analiza takvog tipičnog sustava će se obraditi u ovoj studiji s optimizacijom veličine sustava kao i proračun isplativosti u odnosu na trošak konvencionalnog priključak na distribucijsku mrežu.

Autonomne hibridne aplikacije prvenstveno su zanimljive za primjenu na izoliranim mjestima koja su izvan dohvata postojeće distribucijske mreže iako to ne isključuje primjenu ovakvih pretvornika energije i tamo gdje već postoji električna distribucijska mreža. Na taj način se može znatno ublažiti sezonsko preopterećenje električne mreže distribuiranom proizvodnjom električne energije čime se smanjuju gubici i povećava sigurnosti opskrbe, skrbi o okolišu i budućem razvoju lokalnih zajednica. Nužno je na napomenuti kako korištenje autonomnih sustava temeljenih na obnovljivim izvorima energije nespojivo s nekontroliranim i neučinkovitim upravljanjem energijom, što znači kako primjena ovakvih sustava zahtijeva i primjenu mjera energetske učinkovitosti i svijest o potrebi racionalnog i mudrog raspolaganja raspoloživim energetske resursima.

Priroda obnovljivih izvora energije odnosno energije vjetra i energije Sunca ima stohastički karakter i vremenski je izrazito promjenjiva. Energiju Sunca moguće je eksploatirati samo od izlaska do zalaska Sunca, a ona ovisi i o sezonskim promjenama putanje Zemlje oko Sunca. Vjetar je osim vremenski također i prostorno promjenjiv i to u mnogo većoj mjeri nego energija Sunca. Za iskorištavanje energije vjetra na otocima u velikoj većini slučajeva je važna tzv. obalna cirkulacija na koju utječu lokalni uvjeti, poput temperature mora, zraka i kopna. Brojni su čimbenici koje je potrebno uzeti u obzir kako bi se dobio sustav koji funkcionira optimalno na odabranoj lokaciji. Osim uređaja koji pretvaraju energiju vjetra i energiju Sunca u električnu energiju potrebno je imati i uređaj za kratkoročnu pohranu električne energije te uređaje za pretvorbu istosmjerne električne energije kakvu proizvode mali vjetroagregati i fotonaponski paneli u izmjeničnu kakvu koristi većina kućanskih uređaja.

2. PREGLED TRŽIŠTA MALIH VJETROAGREGATA I FOTONAPONSKIH MODULA

2.1. Mali vjetroagregati

2.1.1. Povijesni pregled

Energija vjetra imala je veliku ulogu u razvoju ljudske civilizacije počevši od pogona brodova 5000 g. pr.K. u Egiptu do danas, pa do mljevenja žitarica na području današnjeg Afganistana 2000 g.pr.K.

Začeci industrije vjetra svoje korijene imaju u korištenju malih vjetroagregata. Njihova primjena uglavnom se odnosila na potrebe pumpanja vode, odnosno navodnjavanja i elektrifikacije u ruralnim sredinama u prvoj polovici 20-og stoljeća prije nego se distribucijska mreža razvila dovoljno da električna energija postane dostupna i udaljenim zajednicama. Primjerice, u Danskoj su početkom 20-og stoljeća postojale brojne zajednice koje su svoje potrebe za električnom energijom i navodnjavanjem rješavale pomoću energije vjetra s ukupnom instaliranom snagom od 30-ak MW. Prvi takvi agregati obično su imali rotor s više lopatica.



Slika 2.1 Mali vjetragregat nekad , najčešće za pumpanje vode

Naftna kriza 70-ih i 80-ih godina ponovno je aktualizirala korištenje energije vjetra zbog rasta cijena fosilnih goriva. Nedovoljno razvijen sustav poticaja zaustavio je razvoj i masovniju primjenu. U to vrijeme najveći strojevi su imali snagu od otprilike 150 kW, a kao standard se nametnuo tzv. danski koncept vjetroagregata s tri lopatice. U SAD je tada instalirano na stotine vjetroagregata koji su se, zajedno s proizvođačima koji su preživjeli dokazali kao

robustan i pouzdan izvor energije. Početkom 90-ih u razvoj i istraživanje je mnogo uloženo kako bi se poboljšala učinkovitost i smanjili troškovi. Sve ovo je utjecalo na činjenicu kako je danas industrija vjetra po godišnjem kapacitetu instalirane snage prva u svijetu, s glavninom komercijalnih vjetroagregata snage preko 1 MW. Za off-shore primjenu razvijeni su i komercijalni agregati jedinične snage 5 MW.



Slika 2.2 Offshore vjetroelektrana u Danskoj (Wikipedia)

2.1.2. Pregled tehnologije i trendovi razvoja

Današnji mali vjetroagregati, iako principijelno uglavnom jednaki velikima, profitirali su razvojem industrije u smislu primjene novih materijala čime se bitno poboljšala pouzdanost i raspoloživost uređaja. Paralelno s razvojem velikih vjetroagregata počeli su se razvijati i mali vjetroagregati kao zasebno tržište. Iako ovakav sustav zahtijeva prilična inicijalna ulaganja, cijenom je postao konkurentan konvencionalnim izvorima energije, ako se uzme u obzir cijeli životni vijek postrojenja i eliminacija troškova priključka na električnu mrežu.

U ovoj studiji ćemo malim vjetroagregatima smatrati jedinice do 10 kW koje su namijenjene zadovoljenu energetske potrebe na razini kućanstva. Osim oblika lopatica i njihovog izgleda mali vjetroagregati u odnosu na velike imaju neke posebnosti:

- primjena malih vjetroagregata i njihovi tržišni principi bitno su različiti;
- mali vjetroagregati se obično postavljaju kao samostalne jedinice;
- primjenjuju se raznovrsnija tehnološka rješenja i materijali uključujući opremu za prijenos i pretvorbu energije, a posebnost su i kriteriji za izbor lokacije i zahtjevi s obzirom na okoliš;
- pri odluci o investiranju u mali vjetroagregat, ekonomski pokazatelji i povrat investicije često nisu primarni razlog nego mnogo različitih čimbenika poput energetske neovisnost, stabilnost cijene energije i osobni doprinos čistijem okolišu;
- veliki proizvođači energije iz vjetra, tj. vjetroelektrane, proizvode električnu energiju namijenjenu priključku na prijenosnu mrežu, dok mali vjetroagregati proizvode električnu energiju na mjestu gdje se i troši što je često jeftinija opcija od tradicionalnih izvora energije osobito u područjima izdašnim vjetrom;
- primjena i montaža malih vjetroagregata bi trebala imati i poseban status u smislu drugačijih načina poticaja i dozvolbenih postupaka za gradnju i postavljanje.



Slika 2.3 Primjeri vjetragregata s horizontalnom osi vrtnje proizvođača ROPATEC

Kao jedan od najjeftinijih načina za proizvodnju vlastite električne energije mali vjetroatregati imaju dobre predispozicije za još intenzivniji razvoj. Zahtjevima energetske učinkovitosti u zgradarstvu gdje se u budućnosti očekuje i energetska neovisnost svake novoizgrađene stambene jedinice, energija vjetra se nameće kao nezaobilazno rješenje u zadovoljenu energetske potreba. Optimalno iskorištavanje strujanja zraka u energetske svrhe potiče na kreativno razmišljanje i usavršavanje postojećih tehnoloških rješenja. Mali vjetroatregati su uz neke posebnosti pri montaži, primjenjivi i u visoko urbaniziranim zonama kao i na osamljenim i izoliranim objektima i zajednicama. Prilagodljivost i raznolikost njihove upotrebe ide u prilog njihovoj masovnijoj uporabi.

Korištenje malih vjetroatregata za proizvodnju električne energije višestruko je korisno. Neke od prednosti su:

- zaštita okoliša;
- energetska neovisnost;
- mali trošak i stabilnost cijena električne energije;
- opskrba udaljenih i izoliranih potrošača;

Zaštita okoliša danas je sve ozbiljniji problem koji postaje i individualno pravo i obveza svakog pojedinca. Proizvodnjom električne energije iz energije vjetra ne zagađuje se okoliš i ne ispušta u atmosferu stakleničke plinove.

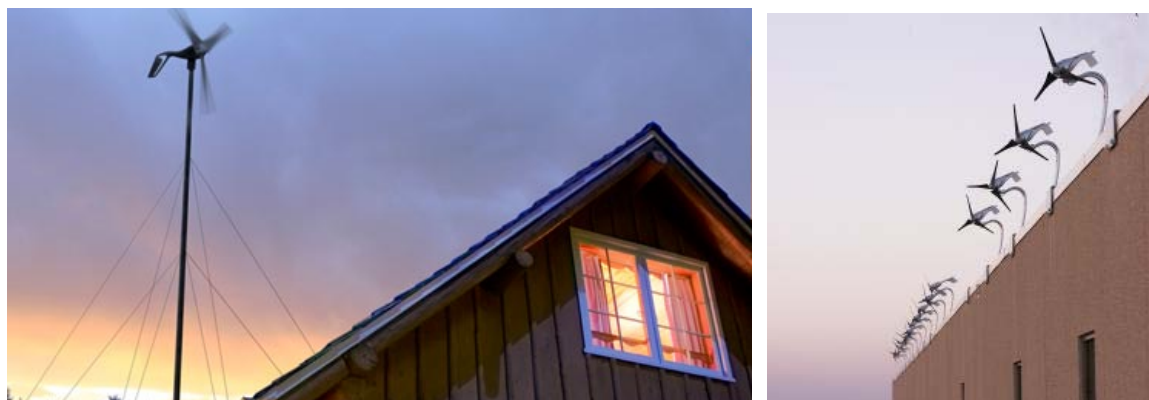
Mali vjetroatregati omogućuju potpunu ili djelomičnu neovisnost o dobavljaču električne energije što utječe na sigurnost dobave i neprilike u mreži poput nestanka električne energije.

Mali sustavi za iskorištavanje energije vjetra, cijenom su vrlo dostupni na tržištu, pouzdani su i sigurni u radu. Uz zadovoljavajuće prirodne resurse, odnosno raspoloživi vjetroptencijal

mogu znatno smanjiti račune za električnu energiju, čime se opet smanjuje osjetljivost na rast cijena električne energije. Isto tako za udaljene i nedostupne lokacije pruža sigurnost opskrbe električnom energijom bez priključka na mrežu. Cijena priključka vrlo često za ovakve lokacije može znatno premašiti cijenu autonomnog sustava.

Kako bi se sve ove prednosti na pravi način iskoristile potrebno je spomenuti i neke činjenice o kojima je potrebno voditi brigu pri instalaciji i puštanju u pogon malog vjetroagregata:

- sigurnost; dugi životni vijek ovakvih postrojenja pokazao je kako su ona vrlo sigurna pouzdana i dugotrajna, međutim pri montaži i servisiranju je potrebno poduzeti sve sigurnosne mjere zbog visine na kojoj se mali vjetroagregat smješta;
- ekstremni vremenski uvjeti kakvi se znaju pojaviti na jadranskim otocima poput olujne bure mogu biti potencijalni problem za male vjetroagregate, kao i mogućnost pojave korozije zbog blizine mora, o čemu se mora voditi računa kod održavanja;
- mjesto montaže bi trebalo biti tako određeno da ni na koji način ne smeta/ugrožava susjedne parcele. Samostojeća turbina u prostoru mora biti najmanje 1 visinu stupa udaljena do ruba čestice na kojoj se nalazi;
- estetika; vjetroagregati nisu svima prihvatljivi dijelovi prostora, pa se mogu očekivati pritužbe susjeda ili turista. Ovo prvenstveno ovisi o visini stupa, načinu postavljanja, udaljenosti od prometnica i konfiguraciji terena. Za očekivati ja kako će najviše kritika biti u turističkim područjima;
- buka; većina malih vjetroagregata proizvodi buku koja je otprilike slična po intenzitetu buci koju proizvodi prosječan kućanski hladnjak. Već nekoliko metara od mjesta postavljanja malog vjetroagregata tu buku maskira pozadinska buka koju stvara promet i vjetar koji struji preko drveća i drugih struktura u prostoru;
- Utjecaj na lokalne ptice u određenim uvjetima može biti negativan iako su brojna istraživanja utvrdila da više ptica strada od kućnih mačaka nego od vjetragregata. U svakom slučaju sustav treba postaviti što dalje od migracijskih ruta i područja gdje se puno ptica gnijezdi i hrani.



Slika 2.4 Primjeri različito montiranih malih vjetroagregata

2.2. Fotonaponski sustavi

2.2.1. Povijesni pregled

Otkriće fotonaponskog efekta na čijem se principu zasniva rad sunčanih ćelija datira još iz prve polovice 19. stoljeća, međutim pravi razvoj ove tehnologije omogućen je razvojem poluvodičke industrije. U pedesetim godinama 20. stoljeća poznati Bell Laboratories u New Yorku razvija prvu silicijevu sunčanu ćeliju s efikasnošću od 6% te prvi upotrebljivi solarni panel kojega nazivaju Bell solarna baterija. Zbog visoke proizvodne cijene, fotonaponski sustavi su svoju prvu komercijalnu primjenu našli 1958. godine u svemirskim istraživanjima na satelitima u Zemljinoj orbiti, gdje su svojom pouzdanošću i bez potreba za dodatnim gorivom mogli parirati drugim tehnologijama usprkos visokoj cijenu.

Slično kao i kod energije vjetra, naftna kriza 70-ih godina prošlog stoljeća ukazala je na potrebu korištenja novih izvora energije, a samim time i potrebe razvoja tehnologija za njihovo korištenje. Daljnjim razvojem tehnologije, posebice pojavom sunčanih ćelija u tehnologiji kristaličnog silicija, fotonaponski sustavi su, u prvom redu radi svoje pouzdanosti, smanjenih troškova održavanja i potreba za gorivom, prepoznati kao izvrsna alternativa za opskrbu električnom energijom lokacija udaljenih od električne mreže. Fotonaponski sustavi primjenjuju se za opskrbu električnom energijom samostalnih uređaja malih snaga do kojih bi bilo tehnički ili financijski zahtjevno i neopravdano dovesti električnu mrežu poput svjetlećih znakova na prometnicama, parkirnih automata, autonomnih mjernih postaja, uređaja za zaštitu od korozije, te objekata i postrojenja udaljenih od elektroenergetske mreže poput svjetionika, baznih stanica mobilne telefonije, kuće za odmor te planinarski domovi. U nekim slučajevima, njihova upotreba nije ograničena isključivo na napajanje jednog objekta, već se u kombinaciji s ostalim, obnovljivih ili konvencionalnim izvorima energija, koriste za opskrbu čitavih naselja udaljenih od električne mreže.



Slika 2.5 Tipični primjeri upotrebe fotonaponskih modula - lučko svjetlo (lijevo) i uređaj za mjerenje karakteristika vjetra (**desno**) (Izvor: EIHP)

Razvoj tehnologije i tržišta fotonaponskih modula i pripadajućih komponenata sustava naglo je potaknut uvođenjem poticaja proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, što je praksa u gotovo svim državama članicama Europske unije, ali i razvijenim industrijskim državama poput SAD-a, Japana, Australije i Izraela. Tako je u 2008. godini u Europskoj uniji instalirano više od 4,5 GW uglavnom mrežno spojenih fotonaponskih postrojenja, čime se

ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih postrojenja porastao na preko 9,3 GW. Također, jedan dio tržišta zauzeli su i programi elektrifikacije udaljenih naselja koji su počele provoditi mnoge zemlje, naročito one u nerazvijenijim dijelovima svijeta. Godišnja proizvodnja fotonaponskih modula svojim rastom prati potražnju: s proizvodnje od 227 MW fotonaponskih modula u 2002. godini proizvodnja je u 2007. godini porasla na 3800 MW. Razvoj tehnologije i rast proizvodnih kapaciteta pratio je i pad cijena fotonaponskih modula s 27,79 \$/W u 1980. godini na 3,70 \$/W u 2005. godini, prepolavljajući cijenu svakih 5 godina. Zbog izražene potražnje, cijene fotonaponskih modula na tržištu su rasle u jednom razdoblju 2003. – 2005., te su u razdoblju 2006. – 2009. ostale približno na istoj razini. Tek sredinom 2009. godine, sa smanjenim investicijama zbog globalne financijske krize, zamjetan je trend smanjenja cijena fotonaponskih modula. Današnje cijene modula kreću se od oko 1,90 €/W za module na izlazu iz tvornice do oko 4 €/W u maloprodaji.



Slika 2.6 Tipični primjeri instalacije fotonaponskih modula na krovovima stambenih zgrada

3. RASPOLOŽIVI RESURSI SUNČEVE ENERGIJE I ENERGIJE VJETRA NA OTOCIMA PRIMORSKO GORANSKE ŽUPANIJE

3.1. Sunčevo zračenje i očekivana proizvodnost fotonaponskih sustava

3.1.1. Općenito o Sunčevom zračenju

Količina proizvedene električne energije u fotonaponskom sustavi ovisi u najvećoj mjeri o dozračenju Sunčevoj energiji na fotonaponske module. Vrijednosti ozračenosti Sunčevim zračenjem na određenoj lokaciji ovisi o zemljopisnoj širini, klimatološkim parametrima lokacije poput učestalosti pojave naoblake i sumaglice, tlaku zraka te o zasjenjenjima od okolnih objekata na lokaciji. Za razumijevanje značenja pojedinih vrijednosti parametra Sunčevog zračenja potrebno je upoznati s sljedećim pojmovima:

- *Ozračenje* je srednja gustoća dozračene snage Sunčevog zračenja i jednaka je omjeru snage Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Jedinica za ozračenje je *vat* po kvadratnom metru (W/m^2).
- *Ozračenost* je količina energije Sunčevog zračenja dozračena na jediničnu površinu plohe određenom vremenskom razdoblju. Dobiva se integriranjem ozračenja po vremenu, a jedinica za ozračenost je *vat sat* po kvadratnom metru (Wh/m^2) ili džul po kvadratnom metru (J/m^2). Ovisno o promatranom vremenskom intervalu ozračenost se često naziva satna, dnevna, mjesečna ili godišnja suma zračenja.

Na putu kroz atmosferu Sunčevo zračenje slabi jer se apsorbira zbog interakcija s plinovima i vodenom parom, pa raspršuje na molekulama plinova i česticama prašine. Zbog toga Sunčevo zračenje do tla dopijeva kao izravno i kao raspršeno zračenje.

- *Izravno* (direktno) Sunčevo zračenje dolazi izravno iz prividnog smjera Sunca.
- *Raspršeno* (difuzno) Sunčevo zračenje nastaje raspršenjem Sunčevog zračenja u atmosferi i do tla dopire iz svih smjerova.
- *Ukupno* (globalno) Sunčevo zračenje na vodoravnoj plohi sastoji se od izravnog i raspršenog Sunčevog zračenja. Nagnuta ploha osim izravnog i raspršenog zračenja prima i od tla odbijeno Sunčevo zračenje.
- *Odbijeno* (reflektirano) Sunčevo zračenje je dio Sunčevog zračenja koji se odbije od tla ili vodenih površina.
- *Ukupno Sunčevo zračenje* na nagnutu plohu sastoji se od izravnog, raspršenog i od tla odbijenog zračenja.

Izravna komponenta Sunčevog zračenja je dominantna u ukupnom zračenju. Maksimalno ozračenje izravnim Sunčevim zračenjem postiže se postavljanjem plohe okomito na smjer zračenja. Kako je raspršeno zračenje anizotropno, intenzitet zračenja se povećava približavanjem Sunčevom disku i, u manjoj mjeri, obzoru. Površina koja nije okomita na smjer upadnih zraka ozračena je s dijelom maksimalno mogućeg ozračenja proporcionalnom kosinusu kuta između upadnih zraka i normale plohe. Maksimalno ozračenje plohe moguće

je, ako se u svakom trenutku prati kretanje Sunca na nebu. Ozračenje tada ovisi samo o optičkoj masi zraka koja se povećava kako se Sunce približava obzoru. Za fiksno postavljeni sustav određuje se vrijednost *optimalnog kuta nagnute plohe*. Optimalni kut nagnute plohe je kut pod kojim je potrebno postaviti modul u odnosu na vodoravnu površinu da bi se dobila najveća moguća godišnja ozračenost. Osim optimalnog godišnjeg kuta, optimalni kut je moguće izračunati za sezonu i za svaki mjesec.

Najveći energetske prinos kod fiksno postavljenih sustava ostvaruje se postavljenjem modula pod optimalnim godišnjim kutom. Kako je Sunčevo zračenje izrazito sezonski ovisna veličina, što je jako bitno za dimenzioniranje autonomnih sustava, srednje dnevne vrijednosti ozračenost nagnute plohe kreću se u rasponu od oko 1 kWh/m² za prosinac do oko 7 kWh/m² za lipanj. Postavljanjem modula pod malim kutom osigurati će se veći energetske prinos ljeti, odnosno ukoliko se kut nagiba modula povećava do mjesečnog optimalnog kuta za mjesec prosinac osigurati će se ravnomjerniji energetske prinos tijekom cijele godine. Kod dimenzioniranja autonomnih sustava u prvom redu je nužno osigurati visoku sigurnost opskrbe, što se može postići upravo odabirom kuta nagiba modula.

3.1.2. Izvori podataka

Ozračenost ili klimatološke značajke iz kojih se može procijeniti vrijednost ozračenosti najčešće se mjere na meteorološkim postajama ili na namjenskim mjernim postajama za mjerenje karakteristika Sunčevog zračenja. Najčešće se na meteorološkim postajama mjeri osunčavanje (trajanje sijanja Sunca), dok se na namjenskim mjernim postajama mjeri ukupno, a na bolje opremljenim mjernim postajama i izravno i raspršeno Sunčevo zračenje. Svjetska meteorološka organizacija za prikaz prosječnih klimatskih prilika, pa tako i Sunčevog zračenja, preporuča korištenje niza podataka iz tridesetogodišnjeg razdoblja od 1961. do 1990. godine.

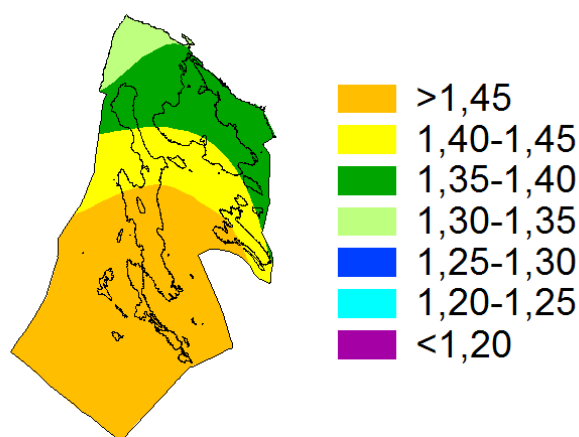
Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja – Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske¹ [1], izdan je u ožujku 2007. godine. Izdavač ove publikacije je Energetski institut Hrvoje Požar. Priručnik je rezultat nastojanja Vlade RH, Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva i Energetskog instituta Hrvoje Požar da se u okviru Nacionalnog energetske programa za korištenje Sunčeve energije – SUNEN na jednom mjestu sustavno obuhvati što više dostupnih podataka potrebnih za korištenje Sunčeve energije u Hrvatskoj. U priručniku je dan pregled istraživanja Sunčevog zračenja u Hrvatskoj, fizikalne osnove Sunčevog zračenja te metode mjerenja i procjene. Posebice je značajno da je opisano nekoliko različitih modela Sunčevog zračenja, te je dana metodologija procjene Sunčevog zračenja interpolacijom podataka s okolnih mjernih postaja. U Priručniku su sadržani podaci o Sunčevom zračenju za 43 lokacije meteoroloških postaja DHMZ-a. Podaci su proračunati na temelju Czeplakovog modela za procjenu raspršenog Sunčevog zračenja i Klientovog modela zračenja na nagnutu plohu. Podaci se odnose na mjerenja u razdoblju od 1961. godine do 1980. godine. Uz proračunate podatke o Sunčevom zračenju za određene postaje, u Priručniku su dane i karte ozračenosti vodoravne plohe na godišnjoj i mjesečnim osnovama. Priručnik su recenzirali domaći stručnjaci na polju primjene Sunčeve energije. Također, Priručnik je prihvaćen kao priručnik Sveučilišta u Splitu i kao takav prihvaćen u

¹ Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Zdeslav Matić, EIHP 2007.

akademskim krugovima kao vrijedno djelo. Za procjenu potencijala Sunčeve energije, EIHP koristi navedeni priručnik kao osnovu u proračunima.

3.1.3. Sunčevo zračenje na otocima Primorsko-goranske županije

Vrijednosti srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe za otoke Primorsko-goranske županije kreću se od 1,35 MWh/m² za sjeverne dijelove otoka Krka i Cresa do 1,50 MWh/m² za južne dijelove otoka Lošinja. Slika 3.1 prikazuje kartu srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe za područje otoka Primorsko-goranske županije.



Slika 3.1 Karta srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe

Podaci o mjerenjima Sunčevog zračenja, odnosno parametara iz kojih je moguće proračunati vrijednosti ozračenosti dostupni su za tri meteorološke postaje: Mali Lošinj, Rab i Aerodrom Rijeka. U nastavku su dane tablice srednjih dnevnih ozračenosti prema jugu nagnute plohe u ovisnosti o kutu nagiba, za navedene tri meteorološke postaje.

Tablica 3.1 Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe za Mali Lošinj

Mjesec	Srednje mjesечne temperature zraka [°C]	Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe [kWh/m ²]									
		Optimalan godišnji kut 28,8	Nagib [°]								
			0	10	20	30	40	50	60	70	80
siječanj	7,5	2,11	1,40	1,68	1,93	2,13	2,28	2,39	2,43	2,42	2,35
veljača	7,8	3,54	2,49	2,92	3,28	3,57	3,77	3,89	3,91	3,83	3,66
ožujak	9,7	4,43	3,68	4,02	4,28	4,45	4,51	4,48	4,34	4,11	3,79
travanj	12,9	5,66	5,28	5,52	5,65	5,65	5,54	5,31	4,96	4,52	3,99
svibanj	17,2	6,08	6,21	6,27	6,22	6,05	5,77	5,38	4,90	4,33	3,71
lipanj	21	6,49	6,89	6,86	6,71	6,45	6,07	5,59	5,02	4,37	3,68
srpanj	23,8	6,53	6,81	6,83	6,72	6,50	6,15	5,69	5,13	4,49	3,80
kolovoz	23,5	6,08	5,89	6,07	6,13	6,06	5,87	5,56	5,13	4,61	4,01
rujan	20,3	5,22	4,48	4,84	5,09	5,23	5,25	5,15	4,93	4,60	4,17
listopad	16,5	3,93	2,95	3,36	3,70	3,95	4,12	4,18	4,15	4,02	3,80
studeni	12,2	2,43	1,65	1,96	2,23	2,45	2,62	2,72	2,76	2,73	2,64
prosinac	8,9	1,72	1,13	1,36	1,57	1,74	1,87	1,96	2,00	2,00	1,95
Ukupno [MWh/m²]		1,65	1,49	1,57	1,63	1,65	1,64	1,59	1,51	1,40	1,26

Tablica 3.2 Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe za Rab

Mjesec	Srednje mjesečne temperature zraka [°C]	Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe [kWh/m ²]									
		Nagib [°]									
		Optimalan godišnji kut	0	10	20	30	40	50	60	70	80
		29,35									
siječanj	7,2	2,16	1,41	1,70	1,96	2,17	2,34	2,45	2,50	2,49	2,42
veljača	7,7	3,43	2,42	2,83	3,18	3,45	3,64	3,75	3,77	3,69	3,53
ožujak	9,6	4,38	3,63	3,97	4,22	4,38	4,45	4,41	4,28	4,05	3,74
travanj	13,1	5,39	5,05	5,27	5,38	5,39	5,27	5,05	4,73	4,31	3,81
svibanj	17,4	5,83	5,97	6,03	5,98	5,82	5,55	5,18	4,72	4,19	3,60
lipanj	21	6,18	6,57	6,54	6,40	6,16	5,81	5,35	4,82	4,22	3,57
srpanj	23,8	6,45	6,74	6,76	6,66	6,43	6,09	5,64	5,09	4,46	3,78
kolovoz	23,4	5,88	5,71	5,88	5,94	5,87	5,68	5,38	4,98	4,48	3,90
rujan	20	5,10	4,38	4,73	4,97	5,10	5,12	5,02	4,81	4,49	4,07
listopad	16,1	3,89	2,91	3,32	3,65	3,90	4,06	4,13	4,10	3,97	3,75
studeni	11,7	2,44	1,64	1,95	2,23	2,45	2,62	2,72	2,76	2,74	2,65
prosinac	8,4	1,82	1,16	1,41	1,64	1,83	1,97	2,07	2,13	2,13	2,08
Ukupno [MWh/m²]		1,61	1,45	1,53	1,59	1,61	1,60	1,56	1,48	1,37	1,24

Tablica 3.3 Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe za Aerodrom Rijeka

Mjesec	Srednje mjesečne temperature zraka [°C]	Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe [kWh/m ²]									
		Nagib [°]									
		Optimalan godišnji kut	0	10	20	30	40	50	60	70	80
		28,8									
siječanj	5,7	1,91	1,29	1,54	1,76	1,94	2,08	2,17	2,21	2,20	2,14
veljača	6,3	3,19	2,29	2,67	2,98	3,24	3,41	3,51	3,52	3,45	3,30
ožujak	8,7	3,97	3,35	3,64	3,86	3,99	4,04	4,00	3,88	3,67	3,39
travanj	11,9	4,90	4,62	4,81	4,90	4,89	4,78	4,58	4,29	3,92	3,47
svibanj	16,6	5,60	5,71	5,76	5,72	5,57	5,31	4,97	4,54	4,04	3,48
lipanj	20,2	5,89	6,21	6,18	6,06	5,84	5,51	5,09	4,60	4,04	3,44
srpanj	23,3	6,22	6,45	6,47	6,38	6,17	5,85	5,43	4,91	4,32	3,68
kolovoz	22,8	5,58	5,42	5,58	5,63	5,56	5,39	5,11	4,73	4,26	3,73
rujan	18,9	4,85	4,19	4,51	4,74	4,86	4,88	4,78	4,58	4,28	3,89
listopad	14,3	3,60	2,74	3,11	3,41	3,64	3,78	3,84	3,81	3,69	3,49
studeni	9,7	2,03	1,44	1,68	1,89	2,06	2,19	2,26	2,29	2,26	2,18
prosinac	6,8	1,32	0,93	1,09	1,23	1,34	1,43	1,49	1,51	1,50	1,45
Ukupno [MWh/m²]		1,49	1,36	1,43	1,48	1,49	1,48	1,44	1,36	1,27	1,14

3.1.4. Proizvodnost fotonaponskog sustava

Specifična proizvodnost fotonaponskog sustava predstavlja očekivanu proizvodnju električne energije po jedinici instalirane snage u razdoblju od jedne godine. Proizvodnost fotonaponskog sustava na određenoj lokaciji ponajviše ovisi o dozračenoj Sunčevoj energiji i o temperaturi okoline. S tehničke strane, proizvodnost fotonaponskog sustava u određenim slučajevima može značajno ovisiti o korištenoj tehnologiji modula, te o drugim komponentama sustava (izmjenjivač, akumulatori). Jedinica za proizvodnost fotonaponskog sustava je *kilovat sat* po kilowatu (kWh/kW_p).

Za izračun proizvodnosti fotonaponskog sustava korišten je programski paket PV*SOL, s ulaznim podacima Sunčevog zračenja i srednjih mjesečnih temperatura zraka. Prikazani su podaci za tri lokacije u ovisnosti o kutu nagiba fotonaponskih modula. Svrha ovoga prikaza je izračun moguće proizvodnje energije iz fotonaponskog sustava postavljenih pod različitim kutovima nagiba. U narednim tablicama, dani su podaci za očekivane proizvodnosti fotonaponskog sustava za godišnji optimalni kut, optimalni kut za dvije sezone (ljetno i zimsko) te optimalni kut za najlošiji mjesec u godini (prosinac).

Tablica 3.4 Proizvodnosti fotonaponskog sustava za Mali Lošinj

	Proizvodnost fotonaponskog sustava [kWh/kW _p]			
	Optimalan kut određen za			
	Godina	Ljeto	Zima	Prosinac
Mjesec	28,8°	14,42°	54,52°	64,3°
siječanj	51,06	40,88	60,95	61,71
veljača	81,23	67,46	92,98	92,93
ožujak	113,41	102,46	116,78	112,59
travanj	135,67	131,75	124,87	114,92
svibanj	147,05	150,44	124,25	109,64
lipanj	148,14	155,34	119,54	102,93
srpanj	151,85	157,92	123,91	107,37
kolovoz	142,77	142,23	125,45	112,75
rujan	121,29	113,11	118,88	112,26
listopad	96,42	83,04	105,55	103,88
studeni	55,42	45,47	64,45	64,77
prosinac	38,92	31,21	46,44	47,04
Ukupno	1283,23	1221,31	1224,04	1142,80

Tablica 3.5 Proizvodnosti fotonaponskog sustava za Rab

	Proizvodnost fotonaponskog sustava [kWh/kW _p]			
	Optimalan kut određen za			
	Godina	Ljeto	Zima	Prosinac
Mjesec	29,35°	14,37°	54,91°	65,28°
siječanj	52,62	41,55	63,35	64,25
veljača	78,55	65,21	89,60	89,34
ožujak	111,68	100,79	114,79	110,19
travanj	129,23	125,58	118,64	108,48
svibanj	141,03	144,24	119,16	104,39
lipanj	141,25	147,96	114,09	97,50
srpanj	150,57	156,64	122,70	105,24
kolovoz	138,34	137,84	121,48	108,41
rujan	118,14	110,16	115,40	108,35
listopad	95,45	81,97	104,47	102,55
studeni	56,32	45,70	65,90	66,25
prosinac	41,51	32,80	50,09	50,85
Ukupno	1254,71	1190,45	1199,65	1115,81

Tablica 3.6 Proizvodnosti fotonaponskog sustava za Rijeka-Aerodrom

	Proizvodnost fotonaponskog sustava [kWh/kW _p]			
	Optimalan kut određen za			
	Godina	Ljeto	Zima	Prosinac
Mjesec	28,04	14,21	53,5	61,8
siječanj	45,13	36,57	53,92	54,66
veljača	72,88	61,11	83,56	83,81
ožujak	101,44	92,30	104,61	101,73
travanj	117,23	114,25	108,45	101,67
svibanj	134,83	137,73	115,24	104,74
lipanj	134,00	139,76	109,88	98,09
srpanj	144,79	149,83	120,00	107,50
kolovoz	130,87	130,33	116,10	106,93
rujan	112,17	104,92	110,36	105,56
listopad	88,43	76,71	97,04	96,07
studen	46,30	38,39	53,91	54,27
prosinac	29,90	24,41	35,45	35,88
Ukupno	1157,96	1106,31	1108,52	1050,91

3.2. Energija vjetra na otocima Primorsko-goranske županije

3.2.1. Vjetar kao izvor energije

Vjetar se definira kao strujanje zračnih masa uzrokovano razlikom atmosferskih tlakova nad površinom Zemlje. Na konačne karakteristike vjetra (intenzitet strujanja, smjer, promjenjivost) osim razlike atmosferskih tlakova utječe i konfiguracija terena, ponajprije orografija i pokrov terena.

Razlika u atmosferskim tlakovima posljedica je neravnomjernog zagrijavanja zračnih masa. Na samo zagrijavanje, najveći utjecaj ima sezonski i dnevni hod Sunca, ali i teren na određenom području čije karakteristike utječu na izmjenu topline između površine Zemlje i atmosfere.

Ovisno o intenzitetu pojedinog utjecaja na konačne karakteristike strujanja zraka, vjetrovi se grubo dijele na lokalne i geostrofičke odnosno gradijentne vjetrove. Ako promatramo tzv. atmosferski granični sloj – područje atmosfere do 1000 – 2000 m iznad tla – u gornjim slojevima atmosferskog graničnog sloja na strujanje zraka utječu gotovo isključivo razlika u tlakovima (gradijent), te Coriolisova i centripetalna sila. Bliže tlu utjecaj Zemlje postaje sve izraženiji, posebno na visinama od 100 m iznad tla i niže. U tom tzv. prizemnom sloju atmosfere, geostrofički vjetar mijenja se pod utjecajem lokalne orografije i trenja s pokrovom tla, te poprima specifične karakteristike lokalnog vjetra.

Za vjetrove u prizemnom sloju atmosfere često se određuje tzv. vertikalni profila vjetra koji daje informaciju o tome koliko se povećava brzina vjetra s nadmorskom visinom. Vertikalni profil ovisi o mnogima faktorima: pokrovu terena, orografiji, stabilnosti atmosfere, tipu i smjeru vjetra itd. U prosjeku vertikalni profila vjetra ima linearno logaritamsku karakteristiku opisanu sljedećim izrazom:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^a$$

Gdje su:

v_i – brzina vjetra na visini i

h_i – nadmorska visina

a – koeficijent vertikalnog profila vjetra (*wind shear exponent*)

Obzirom da koeficijent vertikalnog profila vjetra ovisi o prethodno navedenim faktorima razlikuje se za svaki smjer odnosno tip vjetra, a varira i tijekom dana ovisno o zagrijavanju i ostalim atmosferskim prilikama. No, u prosjeku koeficijent vertikalnog profila vjetra kreće se oko 0,2. Dakle, brzina vjetra se, u pravilu, povećava s nadmorskom visinom.

Pored navedenog, vjetrovi na većim visinama su u pravilu manje turbulentni. Naime, kako se povećava visina smanjuje se udio turbulentnih strujanja zraka izazvanih prizemnim termičkim procesima.

Navedeni efekti razlog su izgradnje sve viših stupova vjetroagregata, a optimalnu visinu određuju tehno-ekonomski parametri.

3.2.2. Energija u vjetru

Strujanje zračnih masa karakterizirano je snagom koja je određena gustoćom i brzinom vjetra. Snaga vjetra obično se određuje po jedinici površine sljedećim izrazom:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Gdje su:

P – snaga vjetra po jedinici površine

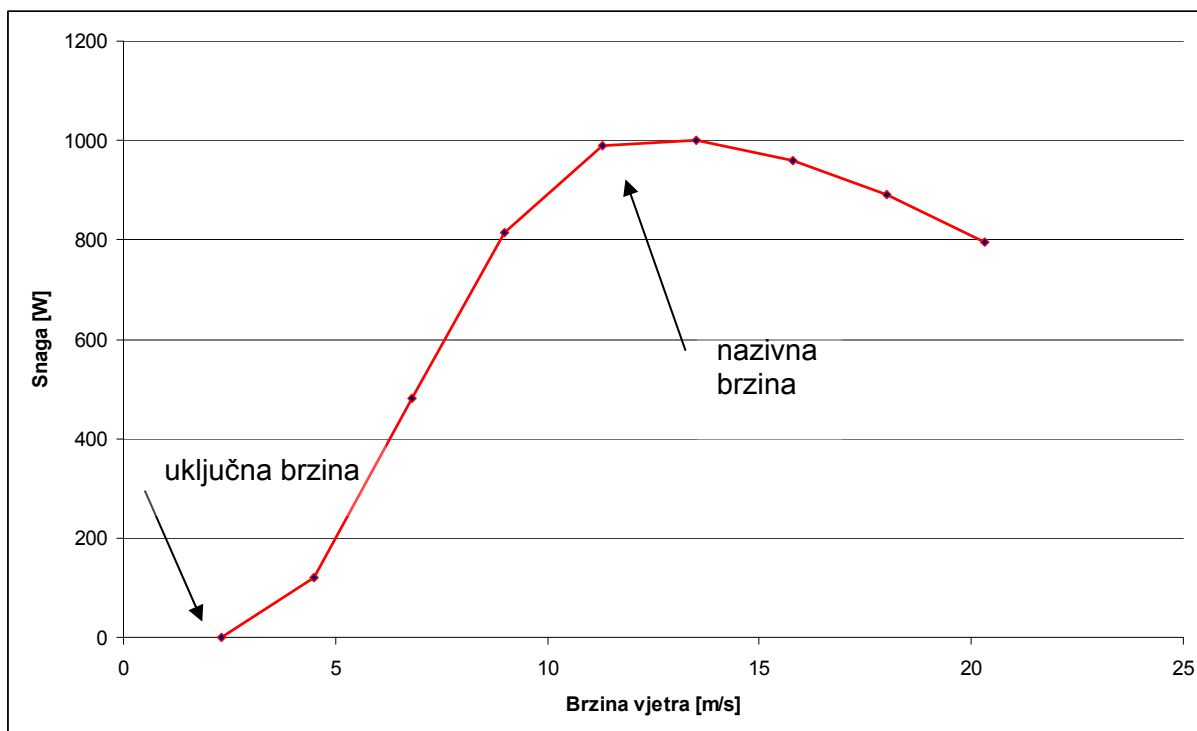
ρ – gustoća zraka

v – brzina vjetra

Prethodni izraz definira prirodnu snagu vjetra. No, samo se dio prirodne snage vjetra može iskoristiti, a maksimalni iskoristivi dio određen je Betzovim² zakonom koji kaže kako je moguće maksimalno iskoristiti 59,3 % energije iz vjetra. Iz gornjeg izraza vidljivo je kako dominantan utjecaj na snagu vjetra ima njegova brzina. Snaga vjetra proporcionalna je trećoj potenciji brzine što znači da se povećanjem brzine vjetra njegova snaga mijenja eksponencijalno.

U praksi, vjetar struji preko lopatica vjetroagregata i okreće njegov rotor, odnosno kinetička energija u vjetru se pretvara u mehaničku energiju vrtnje rotora i to samo u određenom rasponu brzina vjetra, najčešće od 3 m/s do 25 m/s. Ovisnost električne snage vjetroagregata o brzini vjetra određena je radnom krivuljom vjetroagregata koja u pravilu ima oblik ako na slici 3.1.

² Albert Betz (1885-1968), njemački fizičar i pionir vjetroenergetike



Slika 3.2 Tipična radna karakteristika malog vjetroagregata

Radna krivulja ima dva specifična područja definirana uključnom, nazivnom i isključnom brzinom. U području od uključne do nazivne brzine električna snaga vjetroagregata proporcionalna je trećoj potenciji brzine vjetra, dok je u rasponu brzina od nazivne do isključne električna snaga gotovo konstantna.

Vjetar kao energent

U kontekstu vjetroenergetike, vjetar se smatra energentom te se može usporediti s ostalim vrstama energenata:

goriva

- fosilna
 - kruta (npr. ugljen)
 - plinovita (npr. prirodni plin)
 - tekuća (npr. lož ulje)
 - nuklearna
 - biomasa
- vodene mase (kopnene)
 - protočne
 - akumulacije
- sunčevo zračenje
- geotermalna energija

Razlike između pojedinih energenata razmatraju se u okviru sljedećih područja interesa:

- cijena
- raspoloživost / varijabilnost
- mogućnost skladištenja
- iscrpivost / obnovljivost
- utjecaj na okoliš

Ako u navedenim područjima interesa uspoređujemo vjetar s ostalim energentima, možemo zaključiti da je vjetar za razliku od ostalih goriva besplatan, ne može se potrošiti i bez štetnih utjecaja na okoliš. No, vjetar se ne može skladištiti i njegova je raspoloživost prostorno i vremenski promjenjiva. S druge strane, u izuzetnim slučajevima može se reći da ni goriva nisu uvijek dostupna, jer njihova dobava ponekad ne ovisi samo o tržišnim, nego i geopolitičkim uvjetima.

Ako promatramo samo obnovljive izvore energije, jedino se biomasa (koja nije besplatna) i voda mogu skladištiti odnosno akumulirati, no u slučaju akumulacija potrebno je uzeti u obzir i štetan utjecaj akumulacija na okoliš, a vezano za promjene vodotokova i lokalne biosfere. S ostalih stanovišta razlike postoje u stupnju varijabilnosti odnosno raspoloživosti.

3.2.3. Vremenska i prostorna promjenjivost vjetra

Obzirom da se električna energija na razini elektroenergetskog sustava za sada ne može učinkovito skladištiti, te obzirom da se sam energent – vjetar ne može skladištiti, promjenjivost vjetra predstavlja glavni izazov pri iskorištavanju vjetra u proizvodnji električne energije.

Vremenska promjenjivost vjetra analizira se na više vremenskih skala: sekundna, minutna, satna, dnevna, mjesečna, sezonska i godišnja.

Prostorna promjenjivost vjetra može znatno utjecati na odabir optimalne lokacije za montažu malog vjetroagregata. Veliki utjecaj na prostornu promjenjivost vjetra, osobito na visinama koje su prikladne za montažu malih vjetroagregata (<20 m) imaju značajke terena, orografija i hrapavost. Najpovoljnije lokacije su obično ravni prostori s malim visinskim razlikama i bez prepreka strujanju u blizini. Blaga zaobljenja su također poželjna zbog speed-up efekta koji se može očekivati na njihovim vrhovima. Na strujanje zraka negativno utječu objekti i strukture u prostoru čiji utjecaj se često superponira i uzrok je vrtloženju i turbulencijama koje su nepovoljne za rad malog vjetroagregata.



Slika 3.3 Mali vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje u radu

Ako govorimo o malom izoliranom sustavu bez priključka na elektroenergetsku mrežu, tada promjenjivost vjetra dolazi do značajnog izražaja te se energija vjetra može iskorištavati samo uz komplementarnu regulaciju potrošnje i/ili u sustavu s pohranom električne energije (baterije) i/ili rezervnim izvorom energije.

3.2.4. Značajke vjetrova u priobalju

Na značajke lokalnih vjetrova u priobalju i otocima Primorsko goranske županije, pored globalnih baričkih sustava, utječu specifične karakteristike priobalnog terena od kojih se sljedeće smatraju najvažnijima:

- spoj mora i kopna koji stvara lokalne razlike u tlakovima kao posljedica brže promjene temperature zraka nad kopnom nego nad morem
- strma obala, odnosno izdizanje gorskih masiva nedaleko od obale (Velebit, Gorski kotar, Učka) koji usmjeravaju hladnog struju vjetra

Prevladavajući smjerovi vjetra određeni su obalnom linijom na način da vjetrovi koji dolaze s kopna prema Jadranu struje okomito na obalu (bura), a vjetrovi koji dolaze s juga Jadrana struje uz obalnu liniju (jugo). Uvažavajući usmjerenost jadranske obale, radi se dakle uglavnom o sjeveroistočnom i jugoistočnom vjetru. No za područje Kvarnera karakterističan je i jugozapadnjak uvjetovan reljefom Velih Vrata.

Intenzitet vjetrova jači je zimi nego ljeti, posebice u siječnju i veljači kada je bura najučestaliji vjetar. Jugo je karakterističan za početak proljeća i jeseni. Obzirom da su bura i jugo najzastupljeniji vjetrovi i samim time najinteresantniji s energetskog stanovišta, u daljnjem su tekstu detaljnije opisani.

Bura je mahovit, relativno hladan i suh vjetar te puše okomito s planina istočne obale Jadrana prema moru. Teži hladni planinski zrak obrušava se prema moru odnosno području nižeg tlaka. Bura nastaje uslijed prodora hladnih fronti zraka prema Sredozemlju, ali i uslijed lokalnog utjecaja intenzivnijeg zagrijavanja zraka nad morem u odnosu na zrak nad gorjem. Na mahovitost bure utječu okolnosti specifične za predmetno područje, a to su mogućnost dodira toplog i hladnog zraka upravo na mjestu gdje se visina terena naglo i jako mijenja, kao i vrlo neravno kopno, nad kojima se nalazi ili odakle dolazi hladni zrak. Od svih priobalnih područja Jadrana upravo je u podvelebitskom području bura najučestaliji u području vjetar. Iako je u pravilu bura vjetar umjerene jačine, ekstremni udari bure nisu rijetkost. Tako je 1982. na Krčkom mostu zabilježen udar bure od 51,5 m/s.



Slika 3.4 Bura pod Biokovom

Jugo je vjetar koji puše uzdužnom osi Jadrana, dakle najčešće je jugoistočnog smjera. *Jugo* je za razliku od bure uglavnom uvjetovan općom atmosferskom cirkulacijom, a manje lokalnim efektima nejednakog zagrijavanja zraka nad kopnom i morem. Učestalost juga smanjuje se prema sjeveru Jadrana, tako da se u priobalnom području Primorsko goranske županije može očekivati rjeđe nego na ostatku jadranske obale. *Jugo* je kao i bura umjeren do jak vjetar s mogućnošću pojavljivanja olujnih udara. Pored naziva *jugo*, koriste se i imena široko i šilok.



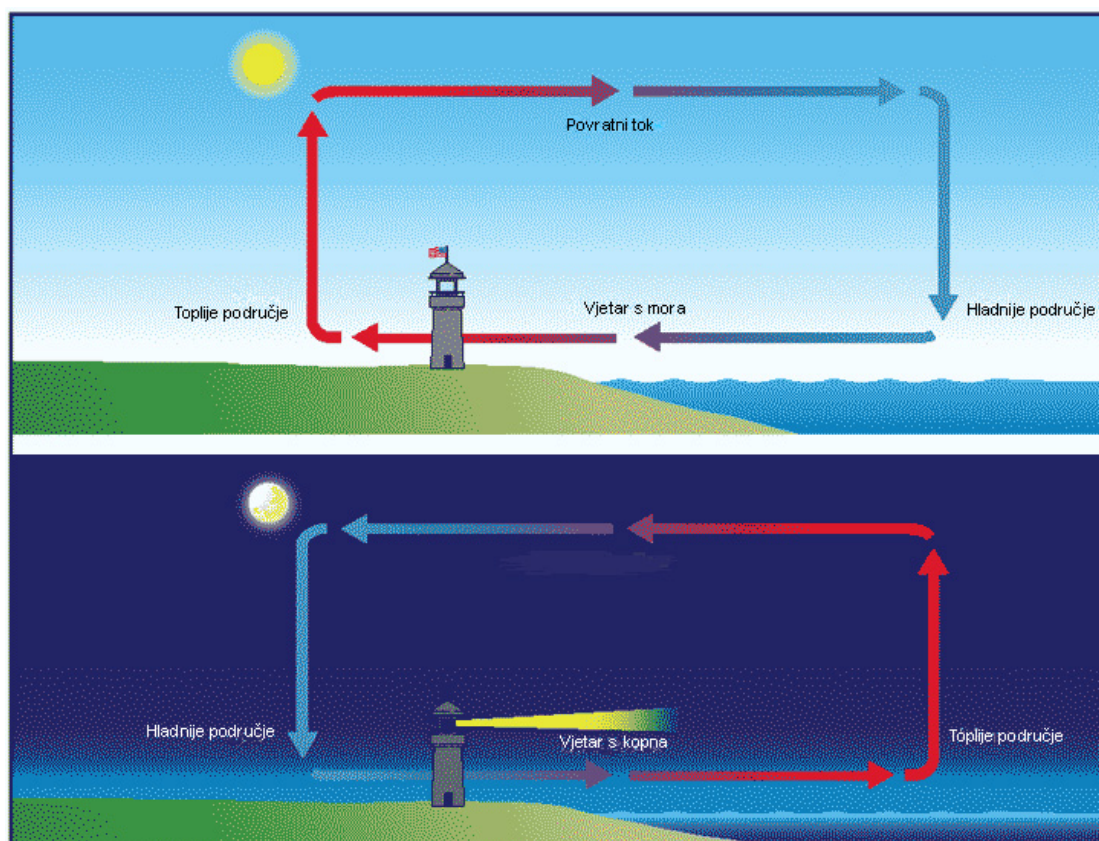
Slika 3.5 Olujno jugo u Sućurju na Hvaru

Za područje Kvarnera karakterističan je još i ljetni *jugozapadnjak* koji se pojavljuje od Tršćanskog zaljeva do Velebitskog kanala. Taj je vjetar olujan i kratkotrajan.³[2].

U priobalju, a posebno u kontekstu malih vjetroagregata, potrebno je obratiti pozornost na tzv. priobalnu cirkulaciju. To su vjetrovi prvenstveno lokalnog karaktera uzrokovani

³ B. Penzar, I. Penzar, M. Orlić: *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*, Zagreb, 2001.

nejednakim zagrijavanjem kopna i mora. Tijekom dana Sunce grije Zemljinu površinu brže nego more. Zrak iznad kopna se grije i diže prema višim slojevima atmosfere i struji prema moru stvarajući polje niskog tlaka. Na njegovo mjesto iz područja višeg tlaka, struji hladniji zrak s mora prema kopnu. Takav je vjetar poznat kao maestral ili zmorac i počinje puhati već prijepodne, a najintenzivniji je oko 16 h.



Slika 3.6 Nastanak obalne cirkulacije

Tijekom noći, obično nakon 21 h, vjetar počinje puhati u suprotnom smjeru, jer se kopno hladi brže od mora. Takva se vjetar obično naziva burin i obično doseže brzine do 5 m/s.

Postoje i razdoblja u kojima je temperatura gotovo jednaka pa vjetar uopće ne puše. Pojava priobalne cirkulacije vjerojatnija je u toplo doba godine i to za vedrih dana, kada postoje bolje preduvjeti za nejednoliko zagrijavanje mora i kopna. Brzine vjetra obično su noću niže, jer je i temperaturna razlika, pa tako i razlika u tlakovima manja.

Slično nastaju i planinski vjetrovi koji danju pušu iz dolina koje su okrenute prema jugu, prema vrhovima, dok je situacija noću suprotna. Primjer ovakvog vjetra u Europi je Fen u Alpama.

3.2.5. Prirodni i tehnički potencijal energije vjetra na otocima Primorsko-goranske županije

Raspoloživi potencijal energija vjetra na otocima Primorsko-goranske županije prema dostupnim podacima je znatan.

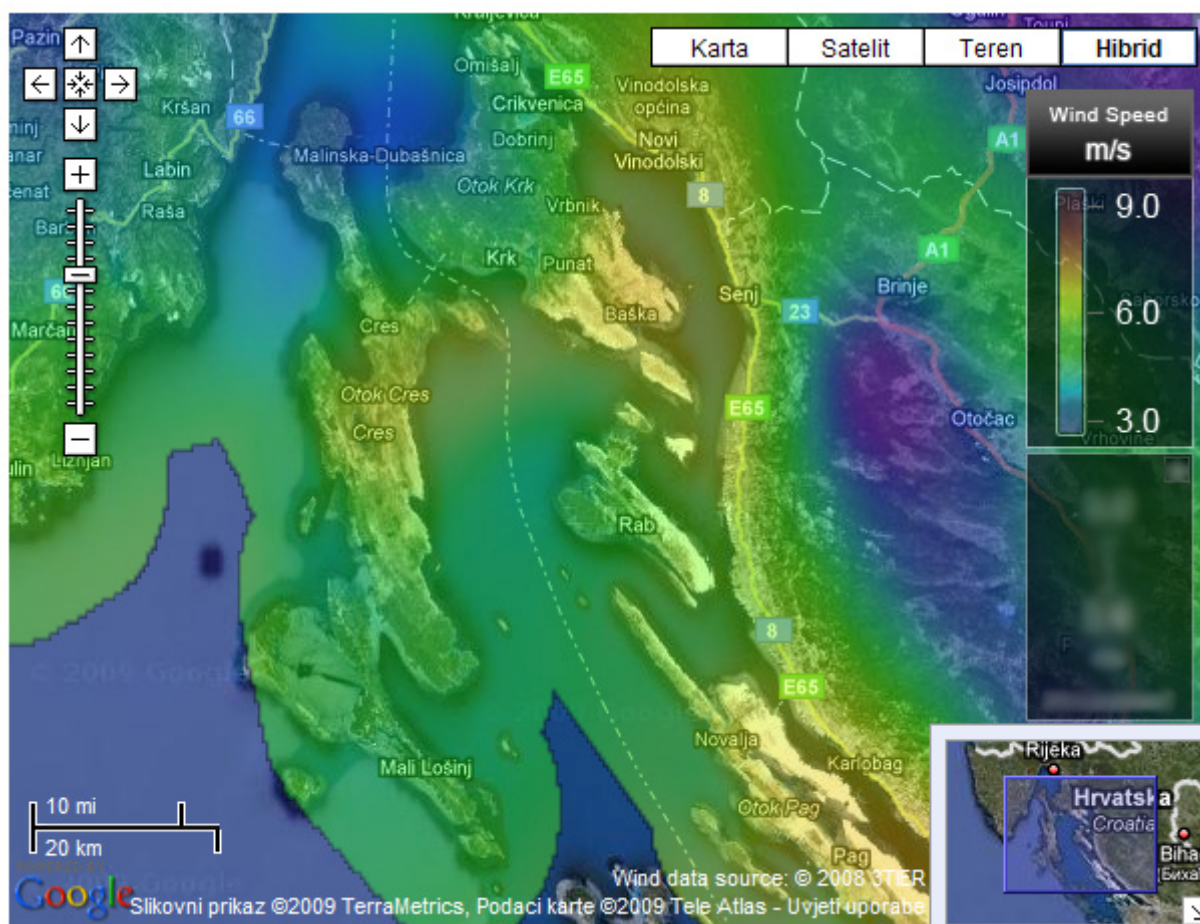
Pretpostavka je kako na vremenske prilike šireg područja od interesa, najveći utjecaj ima Velebitski masiv. Strujanje zraka na manjim visinama (<20 m) pod dominantnim je utjecajem lokalnih utjecaja poput orografije i hrapavosti. Do sada, koliko je izrađivaču poznato ne

postoje mjerenja na odgovarajućoj visini koja bi bila reprezentativna za procjenu potencijala za male sustave. Međutim, za otoke Primorsko goranske županije najbolji potencijal energije vjetra se može očekivati na izloženi otočnim hrbatima i područjima neposredno okruženim morem.

Prema dostupnim kartama, najvjetrovitija su područja na zaravnima oko Baške na otoku Krku, središnji dio otoka Cresa, sjeveroistočna obala otoka Raba, otok Prvić i Goli otok. Ove značajke najbolje su vidljive i po vegetacijskim značajkama navedenih područja. Dominantni utjecaj Velebita i jakih bura značajno utječe na vjetroklimatske prilike ovog područja.

Za iskorištavanje energije vjetra u malim sustavima povoljna je snaga koju nose stalni i umjereni vjetrovi. Lokalna obalna cirkulacija pokretač je takvih vjetrova koji noću pušu s kopna prema moru, a danju s mora prema kopnu. Mali vjetoagregati su zbog toga vrlo pogodni za proizvodnju električne energije na otocima Primorsko goranske županije. Slika 3.3 prikazuje kartu vjetra na 20 m iznad tla za područje iznad otoka Primorsko goranske županije. Vidi se da je srednja godišnja raspoloživa brzina vjetra uglavnom >4 m/s.

U optimizacijskom modelu HOMER korišteni su podaci s mjerne postaje Zračna luka Rijeka na otoku Krku.

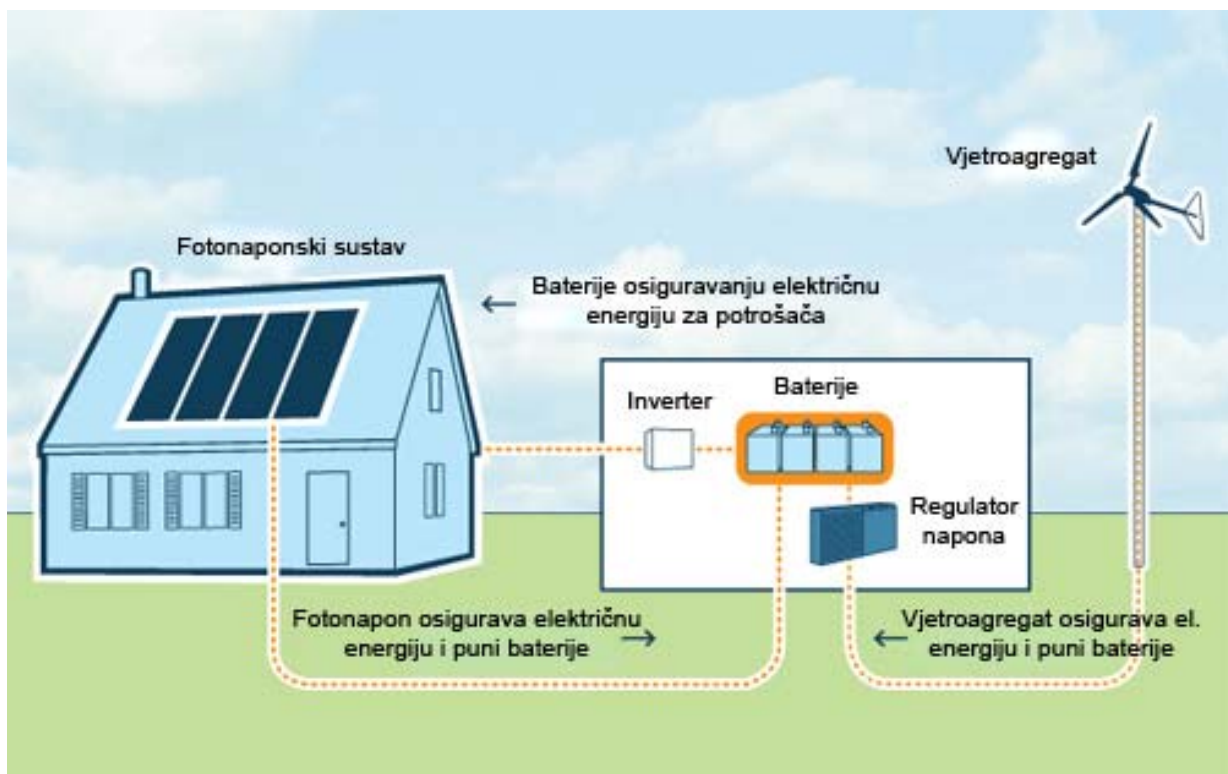


Slika 3.7 Karta vjetra na visini 20 m iznad tla (3Tier)

4. PREGLED TEHNOLOGIJE I KOMPONENTE SUSTAVA TIPIČNOG HIBRIDNOG SUSTAVA VJETAR-SUNCE

4.1. Općenito o autonomnim i hibridnim sustavima

Autonomni i hibridni sustavi svoju primjenu imaju uglavnom u područjima u kojima je električna mreža nedostupna. Najinteresantniji sustav za primjenu na otocima u Primorsko goranskoj županiji je sustav koji koristi energiju Sunca i energiju vjetra. Nadopunjavanje ova dva sustava osigurava izvrsnu energetska neovisnost koja se temelji na činjenici kako je intenzitet Sunčeve ozračenosti uvijek veći tijekom ljetnih mjeseci, a u zimskim mjesecima energija vjetra može znatno pridonijeti pouzdanosti sustava zbog nešto jačih vjetrova nego što je to u ljetnim mjesecima. Tipičan primjer autonomnog hibridnog sustava prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1 Shematski prikaz autonomnog hibridnog sustava

Mediterransko okruženje jamči znatan broj sunčanih dana u zimskim mjesecima, a lokalna, priobalna cirkulacija osigurava dovoljno vjetra čak i u ljetnim mjesecima čime se osigurava električna energija upravo onda kad je potrebna. Za slučajeve kada nema Sunca i ne puše vjetar, što se zna dogoditi za mirnih ljetnih noći, izvor energije su baterije koje se pune danju i kad puše dovoljno vjetra. Nekoliko je osnovnih pokazatelja za primjenu autonomnih hibridnih sustava o kojima se mora voditi računa:

- srednja godišnja brzina vjetra bi trebala biti minimalno 4 m/s;
- električna mreža na lokaciji nije dostupna ili je proširiva do lokacije uz znatne materijalne troškove;

- postoji interes za neovisnim energetske rješenjem;
- smanjenje utjecaja na okoliš i njegova zaštita;
- svjesnost o potrebi racionalizacije potrošnje električne energije i intermitentnosti vjetra i Sunca kao izvora energije;

Rezidencijalni objekti, odnosno objekti u kojima se stanuje cijele godine teško će svoje energetske potrebe zadovoljiti isključivo korištenjem obnovljivih izvora energije. Sustavi koji imaju visoku potrošnju, a napajaju se samo obnovljivim izvorima energije vrlo su skupi.



Slika 4.2 Primjer autonomnog sustava (www.whisper.com)

Prije ulaganja u autonomni hibridni sustav mora se naglasiti kako instalacija ovakvog sustava zahtijeva pažljivo planiranje uzimajući u obzir tehničke, financijske, pravne, sociološke i aspekte zaštite okoliša.

Tehnički uvjeti za instalaciju autonomnog sustava ovise o raspoloživim resursima i potrebama za energijom. Na otocima Primorsko goranske županije energija Sunca je svuda dostupna i relativno ravnomjerno raspoređena. Za energiju vjetra mora se voditi računa o prostornoj i vremenskoj promjenjivosti ovog izvora na koji dominantno utječu lokalni čimbenici. Ispravnim odabirom lokacije za montažu malog vjetroagregata mogu se postići optimalni rezultati i najbolja iskoristivost.

Financijsko ulaganje u male hibridne sustave, inicijalno predstavlja veliki izdatak, no ako se razmotri kroz životni vijek postrojenja sasvim je usporedivo s konvencionalnim priključkom na električnu mrežu. Cijena električne energije kroz dugo vremena ostaje neosjetljiva na promjene na tržištu.

Pravno gledano postavljanje ovakvog sustava u prostoru zahtijeva ishođenje niza suglasnosti i dozvola koje potrebno zadovoljiti uključujući propise zakona o gradnji i prostornom planiranju.

Sociološki aspekti i aspekti zaštite okoliša povezani su s utjecajem sustava na ljude, bukom i estetskim, odnosno vizualnim utjecajem na okoliš. S druge strane su pozitivne strane poput zaštite okoliša i očuvanja prirodne ravnoteže. Konstruktivan razgovor i objektivan pristup primjeni autonomnih sustava nužni su za razumijevanje lokalne zajednice i privikavanje ljudi na nove elemente u prostoru.

4.2. Mali vjetroagregati, podjela i primjena

Najvažniji parametar za bilo koju lokaciju na kojoj se planira instalirati mali vjetroagregat je srednja godišnja brzina vjetra. Mali vjetroagregati su obično smješteni u područjima u kojima je srednja godišnja brzina mala poput blizine urbanih područja i različitih prepreka strujanju zraka što je fundamentalni problem malih sustava. Unatoč ovim problemima entuzijazam u korištenju malih vjetroagregata za proizvodnju energije je sve veći s potencijalno značajnim tržištem. Novi koncepti malih vjetroagregata koji se montiraju na krovove kuća imaju rotor promjera do dva metra, a nazivna snaga im je od 0,5 do 3 kW. Cijena instalacije ovakvog vjetroagregata je oko 30 000 kuna. Tipični su stupovi visine 3-5 m.

Mali vjetroagregati koji se montiraju samostalno su snage i do 10 kW, a stupovi su uglavnom preko 15 m visine ovisno o blizini prepreka strujanju.

Mali vjetroagregati se mogu koristiti u primjenama skupa s priključkom na mrežu gdje im je glavna svrha ušteda energije i smanjenje energetske ovisnosti o mrežnom priključku, a također mogu biti spojeni u otočni sustav čime se nastoji postići osiguranje opskrbe električnom energijom za izolirane zajednice ili kućanstva koja nemaju priključak na elektroenergetski sustav.



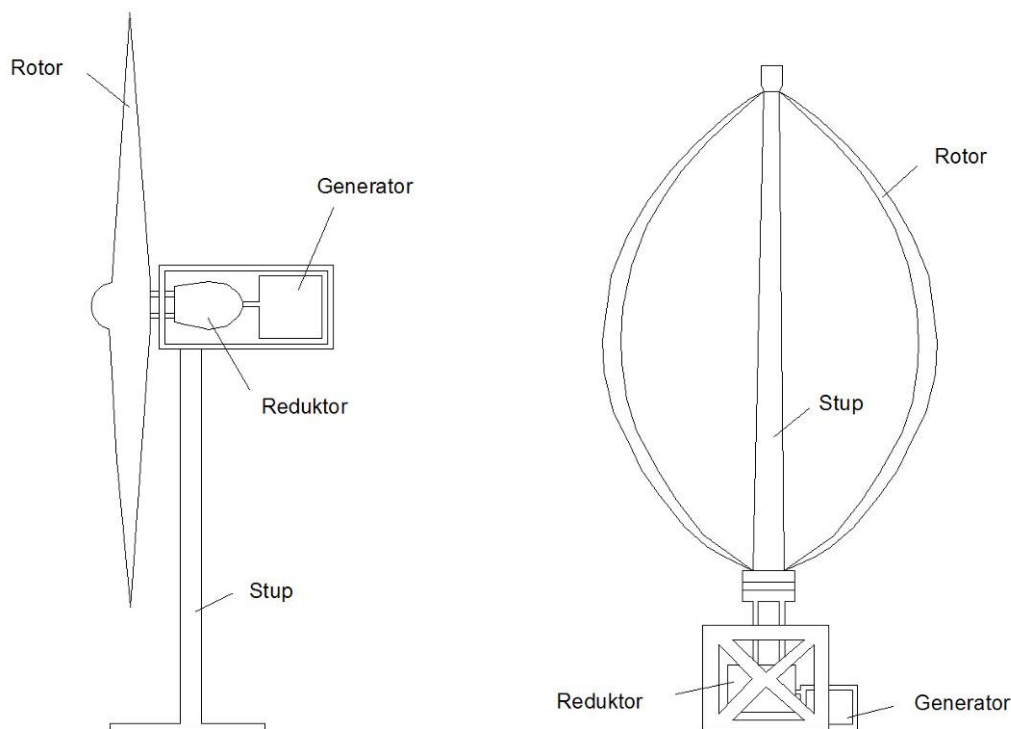
Slika 4.3 Primjeri malih vjetroagregata

Postoje brojni oblici vjetroagregata na kojima je obavljen niz testiranja, na gotovo svim mogućim konceptima s ciljem postizanja što je veće moguće snage uz najmanju cijenu i uz najveću moguću pouzdanost korištenjem zračnih tunela i računalnih simulacija. U konačnici,

eksperimentalno je dokazano kako je koncept vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje rotora, najbolji za komercijalno iskorištavanje.

Jedna od posebnosti malih vjetroagregata je i njihova raznovrsnost u odnosu na velike vjetroagregate gdje dominiraju rotor s horizontalnom osi vrtnje i tri lopatice rotora vjetroturbine. Mali vjetroagregati se mogu podijeliti na dvije osnovne podvrste, slika 4.3 i 4.4:

- S horizontalnom osi vrtnje rotora
- S vertikalnom osi vrtnje rotora



Slika 4.4 Shematski prikaz vjetroagregata s horizontalnom i vertikalnom osi vrtnje rotora

Vjetroagregati s horizontalnom osi vrtnje rotora imaju vratilo generatora paralelno s zemljinom površinom. Njihova posebnost je što se samousmjeravaju u odnosu na smjer puhanja vjetra. Pri montaži zauzimaju vrlo malo prostora na tlu i mehanički su jednostavni. Većina vjetroagregata dostupnih na tržištu ima ovakvu konstrukciju.

Vjetroagregati s vertikalnom osi vrtnje imaju vratilo okomito na zemljinu površinu. Jednako su osjetljivi i trenutno prilagodljivi na puhanje vjetra iz bilo kojeg smjera. Na tlu zauzimaju nešto veću površinu za montažu i učvršćivanje stupa. Danas postoji nekoliko proizvođača koji su vjerni ovom konceptu primjenjivom isključivo na malim vjetroagregatima.

Osim ova dva klasična pristupa, neki proizvođači novim idejama pokušavaju na najbolji način iskoristiti prednosti oba koncepta i konstruirati uređaje koji postižu puno veću učinkovitost nego konvencionalni mali vjetroagregati. U većini slučajeva, puno se pozornosti poklanja obliku lopatica rotora vjetroagregata kako bi se na najbolji način iskoristilo strujanje zraka. Teorijsko znanje iz mehanike fluida, računalne simulacije kao i praktični primjeri iz zrakoplovne industrije uvelike su pomogli pri konstruiranju ovakvih uređaja. Takvi primjeri su prikazani na 4.5.



Slika 4.5 Nheowind 3D 50, Loopwing μ series, Magenn i HELIX

Primjena malih vjetroagregata može osigurati napajanje električnom energijom uglavnom za punjenje baterija i rasvjetu za brojne primjene poput:

- Jedrilice, vozila za odmor;
- Sezonsku primjenu, lovačke i ribarske kolibe, kuće za odmor, kampove;
- Specijalne namjene poput radarskih i telekomunikacijskih postaja,

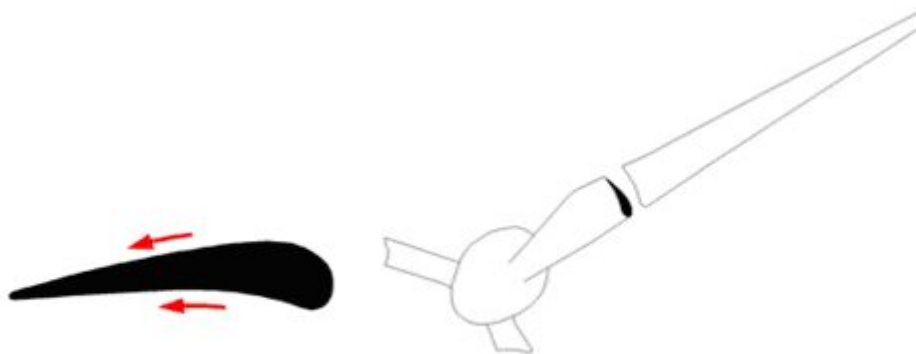
Jedinice snage veće od 1 kW su potrebne za zadovoljavanje nešto složenijih sustava gdje osim rasvjete postoje i drugi kućanski uređaji, a obično se koriste u kombinaciji sa fotonaponskim sustavima kako bi se osigurala sigurnost opskrbe i neprekidno napajanje električnom energijom.

4.2.1. Dijelovi malih vjetroagregata

Svaki mali vjetroagregat sastoji se od nekoliko osnovnih dijelova:

- rotor vjetroagregata se sastoji od lopatica koje su pričvršćene za glavčinu, odnosno vratilo koja povezuje rotor i reduktor. Moderne lopatice su oblikovane vrlo slično kao i zrakoplovna krila, a uglavnom su izrađene od fiberglass-a, stakloplastike ili metala. Zrak struji preko njih i zbog razlike brzina na privjetrinskoj i zavjetrinskoj strani nastaje potisna sila na lopaticu, odnosno kinetička energija strujanja vjetra se pretvara u

mehaničku energiju vrtnje rotora. Promjer rotora vjetroturbine određuje koliko će se energije iz vjetra pretvoriti u mehaničku energiju vrtnje;



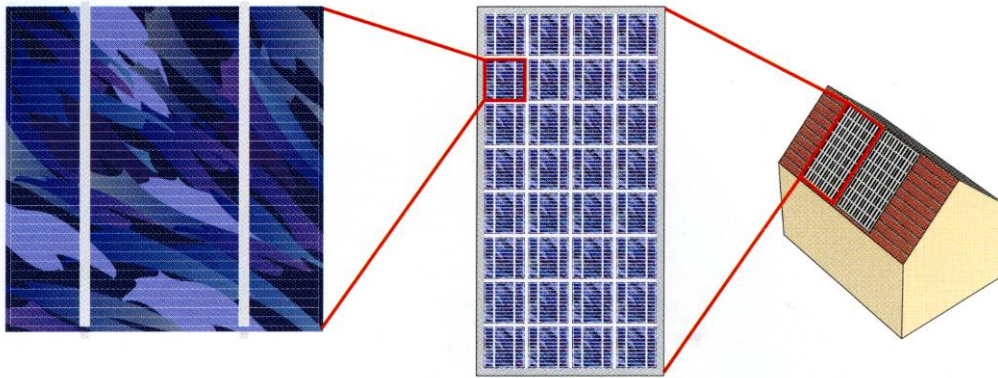
Slika 4.6 Profil lopatice vjetroatregata

- reduktor je uređaj koji usklađuje brzinu vrtnje rotora vjetroatregata i brzinu koja je potrebna za vrtnju generatora. Većina uređaja koji imaju snagu manju od 10 kW nema reduktor, a za ispravljanje napona koji generator proizvodi koristi se regulatori napona;
- generator je uređaj koji mehaničku energiju vrtnje rotora pretvara u električnu energiju;
- gondola je kućište u kojem se nalazi generator, a svrha joj je zaštita generatora;
- repno krilo služi za usmjeravanje rotora vjetroatregata u vjetar. To je jednostavni dio koji obično na malim vjetroatregatima zamjenjuje servo motore, odnosno mehanizam koji zakreće rotor u vjetar;

Osim ovih osnovnih dijelova sustava, mali vjetroatregati se obično isporučuju sa stupom koji mora biti projektiran tako da zadovolji ekstremne uvjete vjetra i otpornost na nepovoljne vremenske uvjete poput tuče i leda. Za male sustave ti stupovi su obično robusni, cjevasti nosači što omogućuje montažu vjetroatregata na njegov vrh na zemlji, a podižu se pomoću električnog vitla, sistemom poluge. Mogu imati sigurnosne sajle što ih čini vrlo stabilnima i sigurnima za održavanje i rad vjetroatregata.

4.3. Fotonaponski moduli

Fotonaponski moduli sastoje se od međusobno spojenih sunčanih (solarnih) ćelija. Sunčana ćelija je poluvodički element koji se sastoji od dva ili više slojeva međusobno povezanih poluvodičkih materijala. Obasjavanjem sunčane ćelije Sunčevim zračenjem, rekombinacijom fotona i elektrona generira se istosmjerna struja. Iznos generirane struje ovisi o intenzitetu Sunčevog zračenja, te tipična struja jedne sunčane ćelije pri ozračenosti od 1000 W/m^2 iznosi 100-ak miliampera s izlaznim naponom od 0,6 V. Za generiranje većih struja i napona sunčane ćelije spajaju se i enkapsuliraju u fotonaponski modul. Topologija spajanja sunčanih ćelija u modulu ovisi o željenim izlaznim karakteristikama modula: struji, naponu i snazi, te o fizičkim dimenzijama modula. Nadalje, fotonaponski moduli spajaju se u fotonaponsko polje, te se na taj način dobije fotonaponski generator.



Slika 4.7 Spajanje sunčane ćelije u fotonaponski modul, te fotonaponskog modula u fotonaponsko polje na objektu (Izvor: *Energija Sunca, Priručnik za nastavu, REVETIS*)

Fotonaponski moduli, odnosno sunčane ćelije, dostupni su na tržištu u nekoliko različitih tehnologija, prema tipu materijala iz kojeg se izrađuju. Na tržištu je najzastupljeniji kristalični silicij, odnosno monokristalični i polikristalični silicij koji pokrivaju skoro 90 % udjela. Osim navedene tehnologije, fotonaponski moduli dostupni su i kao tankoslojni moduli, kao moduli na bazi amornog silicija, kadmij-telurida te CIS (baka-indij-diselinid). Tankoslojni moduli zauzimaju oko 10 % ukupnog tržišnog udjela. Ostale tehnologije sunčanih ćelija uključuju organske sunčane ćelije, te materijale koji omogućile veću efikasnost pretvorbe pri koncentriranju Sunčevog zračenja te manju proizvodnu cijenu, međutim, ove tehnologije su tek u razvojnoj ili eksperimentalnoj fazi te daleko od komercijalne primjene.



Slika 4.8 Fotonaponski modul (Izvor: *Solaris-Novigrad*)

Ovisno o tehnologiji, fotonaponski moduli imaju različite učinkovitosti pretvorbe Sunčeve energije u električnu. Učinkovitost pretvorbe definira se za standardne uvjete ispitivanja (zračenje 1000 W/m^2 , temperatura ćelije 25°C , optička masa zraka AM1,5), te se kreće od 4% za tehnologiju amornog silicija do 16% za tehnologije monokristaličnog silicija. Učinkovitost pretvorbe utječe na odnos izlazne snage i površine fotonaponskih modula, ali ne i na količinu proizvedene energije iz sustava jedinične snage, koja ponajviše ovisi o dozračenju energiji na modul i temperaturi modula.

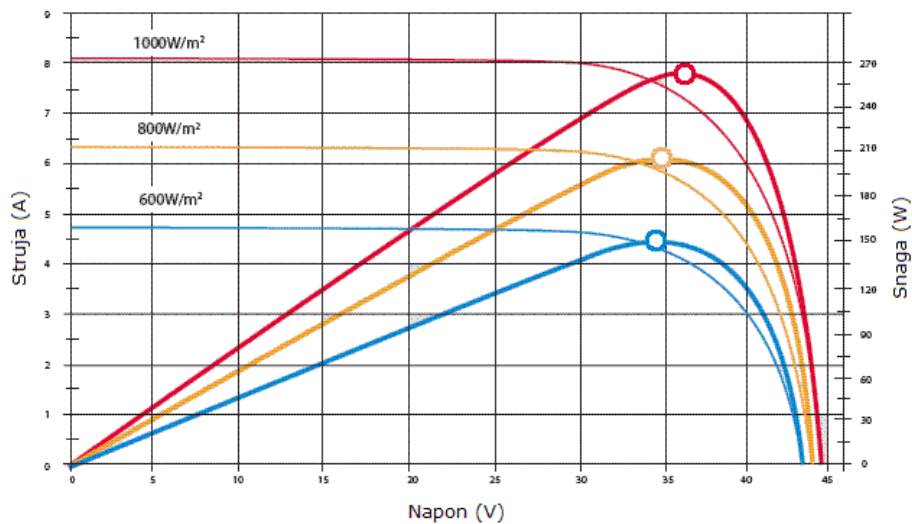
Tablica prikazuje usporedbu osnovnih karakteristika fotonaponskih modula u različitim tehnologijama izrade.

Tablica 4.1 Usporedba karakteristika različitih tehnologija fotonaponskih modula

Tehnologija	Učinkovitost pretvorbe [%]	Površina potrebna za 1 kW [m ²]
Monokristalni silicij	11 – 16	7 – 9
Polikristalni silicij	10 – 14	8 – 9
Polikristalni silicij (EFG)	8 – 10	9 – 11
Amorfni silicij	4 – 7	16 – 20
Kadmij telurid	6 – 9	11 – 13
CIS	6 – 8	11 – 13

Izlazna snaga fotonaponskog modula proporcionalna je intenzitetu Sunčevog zračenja. Najveća izlazna snaga postiže se pri izravnom Sunčevom zračenju, postavljanjem modula okomito na upadni smjer Sunčevog zračenja. Odmicanjem od idealnih uvjeta, odnosno odstupanjem od okomitog smjera na upadno Sunčevo zračenje, te pri oblačnom vremenu, izlazna snaga modula će biti manja. Za fotonaponski modul definira se vršna snaga koja predstavlja najveću snagu koju je moguće dobiti iz modula. Ova snaga je iskazana u vatima (W) i određuje se pri standardnim uvjetima ispitivanja. Osim ovisnosti o zračenju, izlazna snaga modula ovisi i o temperaturi modula, odnosno izlazna snaga pada kako temperatura modula rasta, pri nepromijenjenim vanjskim uvjetima. Tipično smanjenje izlazne snage definirano je temperaturnim koeficijentom modula koji iznosi između 0,4 i 0,5 %/K za kristalični silicij, oko -0,2 %/K za amorfni silicij i oko -0,25 %/K za kadmij-telurid.

Osim o vanjskim utjecajima, izlazna snaga fotonaponskog modula ovisi i o radnoj točki modula. Naime, fotonaponski moduli imaju izražen ovisnost izlazne struje o izlaznom naponu, koja se prikazuje strujno-naponskom karakteristikom. Kako je izlazna snaga produktu struje i napona modula, izlazna snaga će biti ovisna o promjeni tih dvaju veličina. Najveća izlazna snaga dobiva se kada je iznos produkta struja i napona najveći. Ta točka u strujno-naponskoj karakteristici naziva se točka maksimalne snage (engl. *Maximum Power Point* – MPP). Slika 1. prikazuje ovisnost izlazne struje o naponu (tanje linije) i ovisnost izlazne snage o naponu (deblja linija) za tri razine ozračenosti (1000, 800 i 600 W/m²). Kružićima su prikazane točke maksimalne snage za ova tri slučaja.



Slika 1.9 Izlazne karakteristike fotonaponskog modula (Izvor: Suntech, dorada: EHP)

Tijekom rada fotonaponski moduli su izloženi vanjskim utjecajima poput tuče, velikog raspona temperatura i udarima vjetrova. Fotonaponski modul mora izdržati navedene vanjske uvjete u granicama svojih radnih uvjeta. Proizvođači modula specificiraju radni raspon temperatura (tipično: -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$), otpornost na udarce (npr. tuča promjera 25 mm pri brzini od 23 m/s), te maksimalno opterećenje (2400 Pa). Tijekom eksploatacije, fotonaponski moduli stare, što se očituje kroz smanjenje maksimalne izlazne snage. Proizvođači specificiraju starenje kao postotno smanjenje snage u određenom razdoblju. Tipične vrijednosti kreću se oko 90 % za 10 godina i 80 % za 20 godina.

Ovisno o tehnologiji i snazi, fotonaponski moduli dolaze u različitim dimenzijama. Tipične dimenzije modula u tehnologiji kristalnog silicija snage oko 220 W kreću se oko 1700 x 1000 [mm x mm], međutim, na tržištu je moguće naći razne izvedbe modula.



Slika 4.10 Tipični primjer malog autonomnog sustava (Skystream)

4.4. Uređaji za prilagodbu oblika napona

Izlazni naponi iz malih vjetroagregata i/ili fotonaponskih modula u pravilu se razlikuju od napona potrebnih za punjenje akumulatora (spremnika energije) i potrošača. Mali vjetroagregati mogu proizvoditi istosmjernu ili izmjeničnu električnu energiju, dok fotonaponski moduli proizvode isključivo istosmjernu električnu energiju. Ovisno o korištenom generatoru u vjetroagregatu i karakteristikama fotonaponskog modula te načinu spajanja fotonaponskih modula, izlazni naponi se mogu kretati u velikom rasponu. Zbog male količine raspoložive energije, potrebno je prilagoditi oblik i veličinu električnog napona i struje sa što manjim gubicima energije. Izmjeničnu električnu energiju obično koriste uređaji poput hladnjaka, štednjaka, klimatizacijskih uređaja i priručnih alata, odnosno većine uređaja koji se koriste u kućanstvu i malom poduzetništvu. Kvaliteta dobivene izmjenične električne energije, odnosno pravi sinusni signal, je vrlo važna za napajanje osjetljivih uređaja poput računala. Uređaji poput TV prijemnika, radio-prijemnika, računala i ostalih elektroničkih uređaja svoj rad baziraju na istosmjernim naponu tradicionalno su zbog jednostavnosti izvedeni za rad s izmjeničnim naponom, no dostupni su i u varijantama za rad s istosmjernim naponom. Zbog male količine raspoložive energije, potrebno je prilagoditi oblik i veličinu električnog napona i struje sa što manjim gubicima energije. Uređaji za prilagodbu napona su najčešće elektronički uređaji koje je, prema funkciji moguće podijeliti na sljedeće:

- *kontroler punjenja* – ovi uređaji služe za kontrolu punjenja akumulatora. Najčešće su to jednostavni elektronički uređaji koji kontroliraju isključivo punjenje akumulatora, bez utjecaja na ulaznu električnu veličinu (npr. bez utjecaja na radnu točku fotonaponskog modula). Koriste se za jednostavnije aplikacije poput automatskih mjernih postaja i SOS telefona gdje je količina potrebne energije već zadovoljena s električnim karakteristikama izvora i nije potrebna fina regulacija snage.
- *DC-DC pretvarač* – služi za prilagodbu/pretvaranje jedne razine istosmjernog napona u drugu, potrebnu za rad uređaja i/ili punjenje akumulatora, s dovoljnom efikasnošću pretvorbe. Ovakvi uređaji najčešće kontroliraju ulazne veličine poput postavljanja fotonaponskog polja u radnu točku maksimalne snage, te Izlazni naponi ovih uređaja odgovaraju standardnim naponima akumulatorskih banki od 12, 24, 36 i 48 V.
- *DC-AC pretvarač* – služi za pretvaranje istosmjernog oblika napona u izmjenični, potreban za rad uređaja koji koriste izmjenični napon. Ulazni istosmjerni napon može biti izlaz iz fotonaponskog polja ili vjetroagregata, te napon iz akumulatorske banke. Slično kao i DC-DC pretvarač, najčešće ima kontrolu ulazne veličine, ukoliko na ulazu koristi fotonaponsko polje ili vjetroagregat. Zbog načina transformacije istosmjernog napona u izmjenični, ovi uređaji se nazivaju izmjenjivačima (inverterima).
- *AC-DC pretvarač* – pretvaraju izmjenični napon u istosmjerni, a nužni su na primjer za punjenje baterija ukoliko je napajanje izmjenično. Ti uređaji se nazivaju ispravljači.

Konačan korišteni uređaj za prilagodbu napona može se sastojati od više različitih prikazanih uređaja uklopljenih u jednu cjelinu, te se nazivati prema njegovoj osnovnoj funkciji. Tako se npr. u kompleksnijim autonomnim sustavima javlja potreba za prilagodbom istosmjernih napona s fotonaponskih polja i vjetroagregata na istosmjerni napon potreban za punjenje akumulatora, dok je istovremeno napon iz akumulatora potrebno pretvoriti u izmjenični oblik za napajanje trošila. Tada se takav uređaj naziva izmjenjivač, iako osim samog izmjenjivača sadrži i DC-DC pretvarač i kontroler punjenja akumulatora.

4.5. Spremnici energije

Zbog prirode energije Sunca i vjetra koju nije moguće predvidjeti na vremenskoj mikroskali, te također potrebe za energijom koja se ne mora nužno poklapati na vremenskoj razini s dostupnim energetske resursima, električnu energiju proizvedenu pomoću vjetroagregata ili fotonaponskim modulima, kod autonomnih sustava je potrebno pohraniti u spremnike energije. Elektrokemijski akumulatori, odnosno punjive baterije su najrašireniji spremnici energije, ali osim njih se mogu koristiti zamašnjaci, podignuti rezervoari tekućine (potencijalna energija), superkondenzatori te ostali, manje rašireni sustavi.

Zbog svoje jednostavnosti, dostupnosti, raširenosti i relativno laganog održavanja najrašireniji korišteni spremnik energije u autonomnim sustavima su elektrokemijski akumulatori (punjive baterije). Na tržištu postoji veliki broj raznih tipova akumulatora, ovisno o primjeni. Najraširenije u primjeni su olovni akumulatori koji se tradicionalno koriste kao spremnik električne energije za zahtjevnije sustave. Za napajanje manjih uređaja, raširena je upotreba akumulatora na bazi nikla (nikal-kadmij i nikal-metal-hidrid akumulatori) koji se u zadnjih par godina zamjenjuju akumulatorima na bazi litija (litij-ion, litij-polimer, te u zadnje vrijeme i litij-željezo-fosfat). Od ostalih tehnologija akumulatora značajno je spomenuti RedOx akumulatore. Osnovni zahtjevi koji se postavljaju za akumulatore su dugi životni vijek, malo samopražnjenje, visoka efikasnost punjenja, niska cijena i jednostavno održavanje. Osnovne karakteristike akumulatora su:

- *nazivni napon ćelije* – predstavlja napon jedne ćelije napunjene na 90 % kapaciteta. Spajanjem više ćelija serijski, postiže se željeni napon akumulatora,
- *efikasnost* – predstavlja odnos između energije koju je moguće dobiti iz akumulatora pri konstantnom opterećenju i energije koja je potrebna za punjenje akumulatora. Gubici energije tijekom punjenja, samopražnjenje i gubici prilikom opterećenja utječu na efikasnost. Tipične vrijednosti efikasnosti akumulatora kreću se između 80 i 85 %, s time da mogu varirati u ovisnosti o opterećenju i količini vanjske energije,
- *maksimalna struja pražnjenja* – maksimalna struja kojom je moguće opteretiti akumulator (kratkoročno ili dugoročno) da ne dođe do njegovog oštećenja. Najčešće se iskazuje u amperima (A),
- *nazivni kapacitet* – predstavlja maksimalnu količinu pohranjene energije u akumulatoru, koju je moguće koristiti bez dodatnog punjenja bez da napon akumulatora padne ispod dozvoljene granice. Kapacitet se određuje na temelju konstantnog opterećenja. Najčešće se iskazuje u amper-satima (Ah), međutim, puno kvalitetnija brojka jest kapacitet u vat-satima (Wh) koji se dobije množenjem kapaciteta u amper-satima i nazivnog napona akumulatora u voltima (V),
- *gustoća energije* – količina energije pohranjena u jedinici volumena ili mase akumulatora,
- *dubina pražnjenja* – (engl. *depth of discharge* – DOD) je postotak nazivnog kapaciteta do kojega se akumulator smije isprazniti u jednom ciklusu pražnjenja. Akumulatori s plitkom pražnjenjem ne bi smjeli biti ispražnjeni ispod 75 % nazivnog kapaciteta, dok se akumulatori s dubokim pražnjenjem mogu isprazniti do 20 % nazivnog kapaciteta.

Karakteristike akumulatora razlikuju za različite tipove akumulatora. Tablica 4.2 daje pregled osnovnih karakteristika različitih tipova akumulatora, prema gustoći energije, efikasnosti, cijeni, samopražnjenju i broju ciklusa punjenja za olovne, nikalne i litijske akumulatore.

Tablica 4.2 Usporedba različitih tipova akumulatora

Tip	Nazivni napon ćelije [V]	Gustoća energije [Wh/kg]	Efikasnost [%]	Cijena [Wh/\$]	Samopražnjenje [%/mjesecu]	Broj ciklusa punjenja	Životni vijek [god]
Suhi olovni	2,1	30-40	70-92	5-8	3-4	500-800	20
Nikal-kadmij	1,2	40-60	70-90	1,2	20	1500	5
Nikal-metalhibrid	1,2	30-80	66	1,37	20	1000	3
Litij-ion	3,6	160	99,9	2,8-5	5-10	1200	2-3
Litij-željezo- fosfat	3,25	80-120	n.d.	0,7-1,6	n.d.	>2000	>10
ReDox	1,15- 1,55	25-35	80	n.d.	20	14000	10

4.5.1. Olovni akumulatori

Olovni akumulatori najraširenije su korišteni elektrokemijski akumulatori. Osim klasičnog olovnog akumulatora s elektrolitom koji se koristi kod vozila, postoji i cijeli niz drugih tipova olovnih akumulatora koji omogućuju duboko pražnjenje te se koriste u autonomnim sustavima. Najznačajniji predstavnici su suhi olovni akumulator i olovni akumulator s gelom. Ovi akumulatori su hermetički zatvoreni, te im nije potrebno mijenjati elektrolit kao kod automobilskih akumulatora, što pojednostavljuje održavanje, ali zahtijevaju strožu kontrolu punjenja. Zbog primjene u autonomnim sustavima napajanja s fotonaponskim modulom, ovaj tip akumulatora često se naziva i solarna baterija.

5. OPTIMIRANJE SUSTAVA ZASNOVANOG NA KORIŠTENJU ENERGIJE VJETRA I SUNCA

5.1. Primijenjena metodologija i osnove optimizacije

Većini korisnika autonomnih hibridnih sustava financijska isplativost investicije vrlo je važan pokazatelj pri odluci o ulaganju. Značajna financijska sredstva za inicijalnu investiciju ponekad su i glavna zapreka odluci o ulaganju. Optimiranje postrojenja stoga je ključni preduvjet za postizanje financijske isplativosti malog autonomnog sustava. Za svrhu optimiranja sustava od interesa korišten je model HOMER, računalni alat razvijen u NREL-u koji se koristi za vrjednovanje malih energetske sustava koji mogu biti spojeni na mrežu ili raditi potpuno neovisno. Pri modeliranju malog energetske sustava mora se odlučiti koje komponente koristiti, koje snage i količine. Veliki broj tehnoloških rješenja, raznolikosti u njihovim cijenama, kao i raspoloživosti energetske izvora čine ovu odluku teškom. Glavno pitanje zbog kojeg je ova optimizacija izvršena je kako zadovoljiti energetske potrebe prosječnog kućanstva na otocima Primorsko goranske županije koristeći obnovljive izvore energije, odnosno vjetar i Sunce. U optimizaciji će se koristiti samo jedan mali vjetroagregat snage manje od 10 kW, u kombinaciji s fotonaponskim modulima koji će prekriti prosječnu površinu krova kuće u Primorsko goranskoj županiji. Optimalan izbor sustava vrlo je važan korak pri dimenzioniranju ovakvog sustava. Predimenzionirani sustavi ujedno znače i nepotrebno povećanje materijalnih troškova, dok poddimenzionirani sustavi neće moći zadovoljiti energetske potrebe korisnika.

5.2. Opis modela i ulazni podaci

Za korištenje ekonomskog modela HOMER, potrebno je u model unijeti ulazne podatke koji opisuju izbor tehnologije, cijenu komponenti i raspoložive energetske resurse. Homer koristi ove ulazne podatke za simulaciju različitih kombinacija sustava i komponenata. Na ovaj način moguće je usporediti ekonomska i tehnička mjerila različitih kombinacija malog autonomnog sustava s ciljem odabira onog koji je optimalan za konkretne potrebe.

HOMER simulira funkcioniranje sustava pomoću proračuna energetske ravnoteže za svaki od 8760 sati u godini. Za svaki sat HOMER uspoređuje energetske zahtjeve s energijom koju je sustav u stanju isporučiti i računa energetske tok u i iz svake komponente u sustavu.

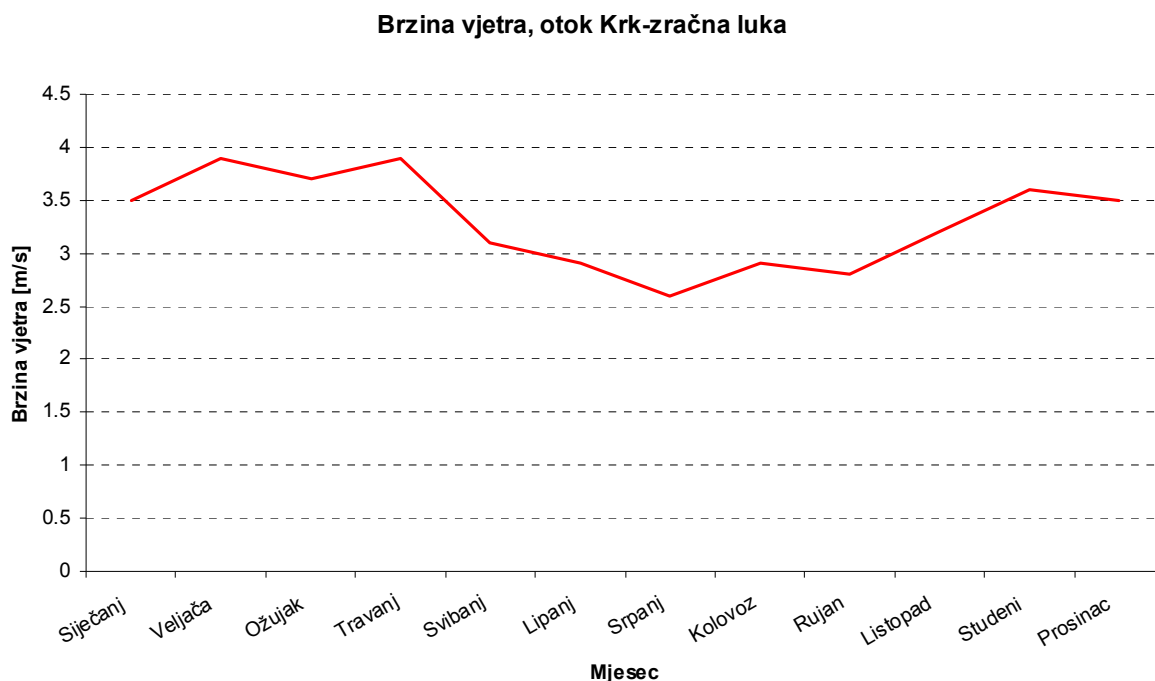
Homer obavlja izračune energetske ravnoteže za svaku inačicu sustava koji se modelira. Na temelju toga se određuje izvedivost projekta odnosno može li tako modeliran sustav uz definirane uvjete zadovoljiti potrebe za električnom energijom i predviđa trošak ugradnje i rada sustava kroz njegov životni vijek.

Optimiranje sustava i analize osjetljivosti mogući su nakon simulacije svih mogućih inačica sustava.

5.2.1. Ulazni podaci vjetra

Podaci o brzini vjetra su izmjereni na prostoru zračne luke Rijeka, na otoku Krku. Za ove podatke se može smatrati da su dovoljno reprezentativni za modeliranje proizvodnje malih

vjetroagregata iako njihovo mjerenje ima drugu svrhu. Mjerna visina na koji se nalazi anemometar je 10 m, a nadmorska visina lokacije iznosi 53 m.

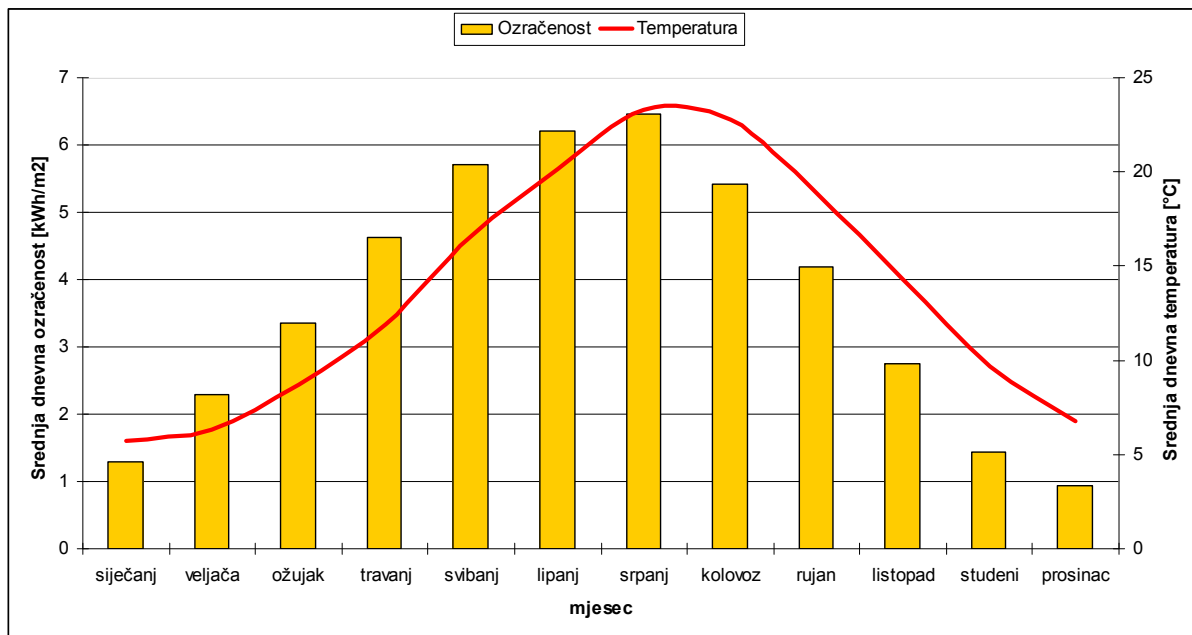


Slika 5.1 Prosječna mjesečna brzina vjetra na lokaciji otok Krk-zračna luka

Prema očekivanjima brzina vjetra je nešto viša u zimskim mjesecima, a niža u ljetnim. Visina mjerenja je relativno niska što znači da je pod dominantnim utjecajem hrapavosti površine i objekata u blizini. Brzina vjetra s vertikalnom udaljenošću od tla će rasti što čini povoljnijim postavljanje malih vjetroagregata na više stupove. Pretpostavljene su tri visine stupa vjetroagregata 15, 20 i 25 m.

5.2.2. Ulazni podaci Sunčevog zračenja

Za izračun proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava, modelu HOMER potrebno je zadati ulazne podatke o Sunčevom zračenju i o temperaturi okoline. Podatke je moguće unijeti u formi srednjih dnevnih vrijednosti po mjesecima ili kao godišnji niz podataka. Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja – Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske daje vrijednosti srednjih dnevnih ozračenosti za tri lokacije na području otoka Primorsko-goranske županija: Krk-zračna luka, Mali Lošinj i Rab. Za ulazne podatke odabrane se srednje dnevne vrijednosti ozračenosti vodoravne plohe s Aerodroma Rijeka koji predstavljaju najkonzervativnije podatke od svih navedenih. Uz njih, korišteni su i podaci o srednjim dnevnim temperaturama po mjesecima, također za lokaciju Krk-zračna luka i iz istog izvora. Vrijednosti ulaznih podataka dane su u poglavlju



Slika 5.2 Srednje dnevne vrijednosti ozračenosti vodoravne plohe i srednje dnevne vrijednosti temperature na lokaciji otok Krk-zračna luka

Vrijednosti srednjih dnevnih ozračenosti vodoravne plohe značajno se razlikuju za zimske mjesece (prosinac s 0,93 kWh/m²) i za ljetne (srpanj s 6,45 kWh/m²), što će za posljedicu imati i različitu proizvodnju fotonaponskog sustava. Profil ozračenosti u jednoj mjeri se razlikuje od profila brzine vjetra na lokaciji Krk-zračna luka, te se može zaključiti da je moguće nadopunjavanje ovih dvaju izvora. Energetski prinos je moguće modulirati po mjesecima, mijenjajući nagib fotonaponskih modula.

5.2.3. Ulazni podaci potrošnje električne energije

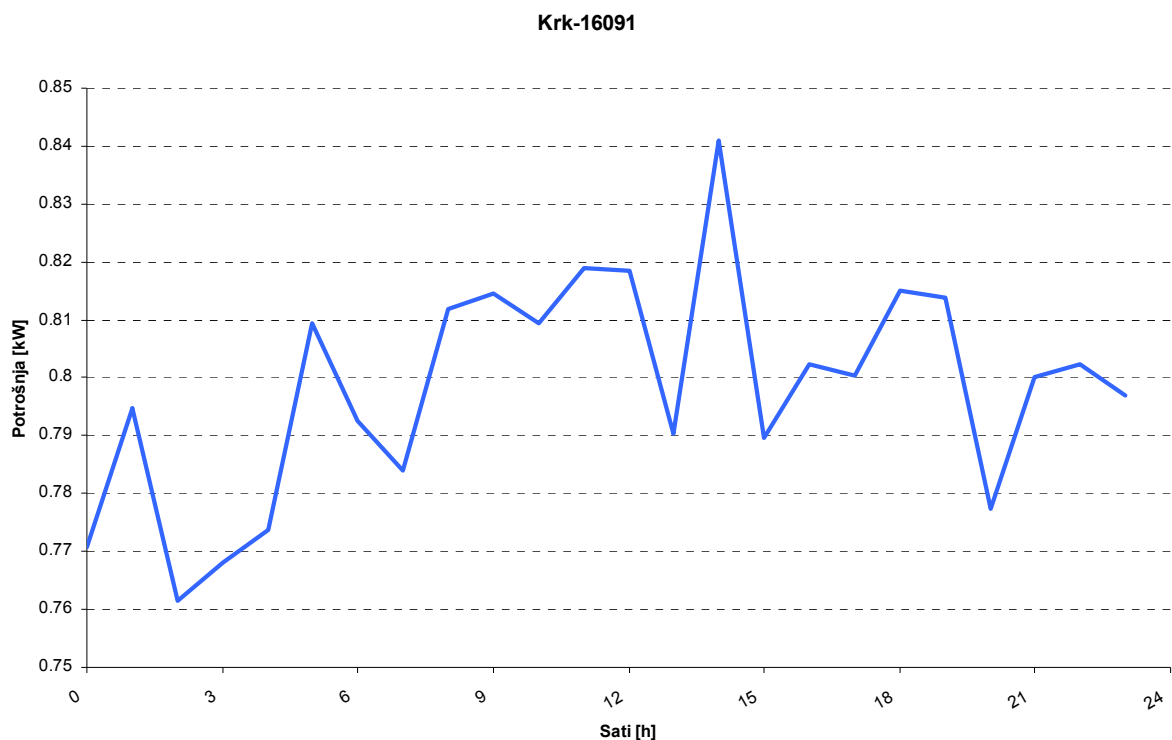
Podaci koji su korišteni za modeliranje potrošnje su realni podaci izmjereni u kućanstvu na otoku Krku. Izmjereni podaci su na 15-minutnoj razini za cijelu 2008. godinu. Podaci o odabranom potrošaču prikazani su u tablici 5.1.

Tablica 5.1 Karakteristike potrošača

Oznaka potrošača	16091
Broj članova kućanstva	4
Ukupna stambena površina	70 m ²
Ukupna godišnja potrošnja električne energije	5434.7 kWh
Prosječna dnevna potrošnja	15 kWh
Maksimalno vršno opterećenje	4,23 kW
Minimalno opterećenje	0,04 kW
Prosječno godišnje opterećenje na satnoj razini	0,62 kW

Iz tablice 5.1 se može pretpostaviti kako su članovi kućanstva različitih dobnih skupina. Za potrebe grijanja se ne koristi električna energija, a kućanstvo ne raspolaže niti uređajem za hlađenje/grijanje zraka. Za zagrijavanje tople vode koristi se električni bojler, a od uređaja koje je potrebno spomenuti tu su i električni štednjak, perilica posuđa i rublja, hladnjak i zamrzivač, televizor, audio i video uređaj i računalo.

Za svaki sat u danu izračunat je prosjek na godišnjoj razini kako je prikazano na slici 5.2. Vidljivo je kako je dijagram opterećenja odraz višestranog kućanstva s različitim potrebama i navikama. Za pretpostaviti je kako se električna energija upotrebljava razmjerno racionalno što potvrđuje i povećano opterećenje od ponoći do 2 sata što može biti npr. uporaba električnog bojlera u satima kada je električna energije nešto jeftinija (dvotarifno brojilo). Također u kućanstvu je 35 % štednih žarulja što govori o svijesti racionalne upotrebe električne energije.



Slika 5.2. Dijagram prosječnog satnog opterećenja na godišnjoj razini za potrošača 16091

Odabrani podaci opterećenja su stvarno izmjereni podaci i potrebno je napomenuti kako je za primjenu autonomnih aplikacija nužno maksimalno racionalizirati potrošnju električne energije. Ulazni podaci o potrošnji su realni i njihova primjena u provedenoj optimizaciji znači i visoku cijenu autonomnog sustava. Primjena autonomnih sustava znači nešto niži komfor stanovanja i prilagođavanje elektroenergetskih potreba realnim resursima obnovljivih izvora energije dostupnih u danom trenutku. HOMER optimira satnu potrošnju i raspoložive energetske resurse za svih 8760 sati u godini.

5.3. Rezultati modeliranja tipičnog sustava za primjenu na otocima Primorsko goranske županije

5.3.1. Opis sustava i njegovih komponenti

Modeliranje sustava za primjenu na otocima Primorsko goranske županije temeljeno je na stvarnoj potrošnji tipičnog kućanstva na Krku. Osnovno pitanje od kojeg kreće optimizacija sustava je da li je moguće zadovoljiti energetske potrebe takvog kućanstva korištenjem obnovljivih izvora energije?

Realno kućanstvo opisano i korišteno za modeliranje potrošnje je spojeno na elektroenergetski sustav otoka što ga čini manje prikladnim za modeliranje autonomnog

sustava. Ipak ovi podaci su korišteni u želji da se što bolje dimenzionira veličina sustava potrebnog u prosječnom kućanstvu na otoku. Zbog činjenice kako je teško zadovoljiti potrebe ovakvog kućanstva samo korištenjem obnovljivih izvora energije može se zaključiti kako to nije i nemoguće, ali zahtijeva znatna materijalna sredstva.

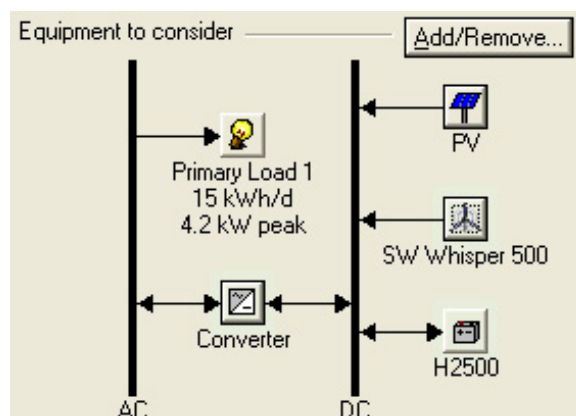
Vrijednost maksimalnog nedostajućeg kapaciteta sustava na godišnjom razini je u ovoj optimizaciji varirana od 5 % do 25 %. Maksimalni godišnji nedostatak kapaciteta je definiran kao omjer ukupnog nedostatka kapaciteta i ukupnog električnog opterećenja sustava. Na ovaj način uzeto je u obzir smanjenje energetske potrošnje koje je minimalno potrebno zadovoljiti kako bi se taj nedostatak sveo na nulu. To znači da je prilikom optimizacije s realnim podacima uzeto u obzir potrebno smanjenje potrošnje energije na godišnjoj razini kako bi se potrošnja uskladila s mogućnostima koje pružaju energija vjetra i Sunca.

Svaki sustav također mora imati određeni višak energije, tzv. rotirajuću rezervu kako bi bio sposoban osigurati pouzdanu opskrbu električnom energijom u slučajevima kad se opterećenje naglo poveća ili raspoloživi resursi obnovljivih izvora naglo podnu. U ovom slučaju na satnoj razini rotirajuća rezerva je 10 % što znači da sustav mora biti sposoban zadovoljiti iznenadne zahtjeve za energijom u visini 10 % opterećenja tog sata. Sustav je optimiran s obzirom na instaliranu snagu niza fotonaponskih modula, koja je varirana od 1 kW do 4 kW s korakom od 200 W između svake vrijednosti. Maksimalni dozvoljeni nedostatak kapaciteta je mijenjan od 5 do 25 %. Također visina osi rotora vjetroagregata je postavljena u modelu na tri vrijednosti, 15, 20 i 25 m.

U tablici 5.2. dan je opis inačice optimalnog sustava za primjenu na otocima Primorsko goranske županije.

Tablica 5.2 Opis sustava

Komponenta	Instalirana snaga
Fotonaponski niz	2,2 kW
Wind turbine	3 kW , 20 m stup
Spremnici energije	4 x 2500 Ah 2 V
Inverter	5 kW
Maksimalni dozvoljeni nedostatak kapaciteta	10%



Slika 5.3 Komponente sustava - shematski (HOMER)

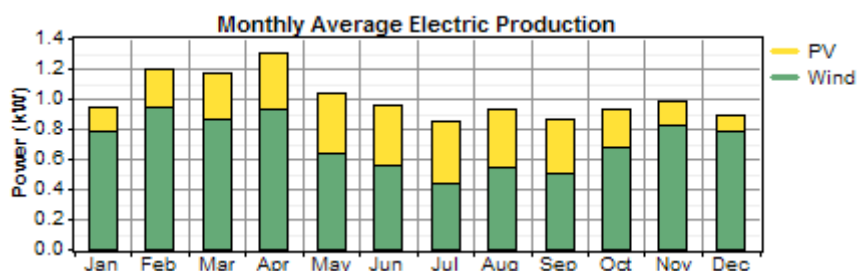
Odabrana inačica optimiranog sustava proizvodi 8816 kWh godišnje dok su potrebe za energijom 5051 kWh. Sustav je prema tome u stanju isporučiti i više energije nego što je to potrebno. Vremenska neusklađenost proizvodnje i potrošnje uzrok je nemogućnosti iskorištavanja dijela energije kad ona nije potrebna. Taj višak energije se eventualno može iskoristiti za zagrijavanje vode, odnosno grijanje/hlađenje prostora što u ovoj optimizaciji nije razmatrano. Isto tako u nekim slučajevima postoji manjak energije u sustavu, odnosno potrošnja prelazi mogućnosti proizvodnje u sustavu kako je prikazano u tablici 5.4.

Tablica 5.4 Proizvodnja i potrošnja električne energije tijekom godine

Proizvedena energija	Fotonaponski niz: 2609 kWh/god (30%) Vjetroagregat: 6207kWh/god (70%)
	Ukupno: 8816 kWh/god
AC primarno opterećenje	5051 kWh/god
Višak energije	2895 kWh/god
Nezadovoljeno opterećenje	388 kWh/god
Nedostatak kapaciteta	517 kWh/god

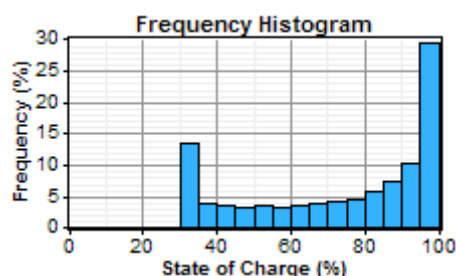
Nezadovoljene potrebe za električnom energijom su 388 kWh godišnje. Homer pamti svaki trenutak u kome nije bilo moguće podmiriti energetske potrebe te sve nedostajuće potrebe kumulativno izračunava na godišnjoj razini.. Nedostatak kapaciteta iznosi 517 kWh godišnje i odnosi se na manjak operativnog kapaciteta koji se traži u odnosu na iznos operativnog kapaciteta koji sustav može osigurati. Već je prije naglašeno kako energija koju nije moguće zadovoljiti može biti nadoknađena pažljivim korištenjem svih trošila i planiranjem njihove uporabe pa se ove brojke mogu promatrati u kontekstu činjenice kako je opterećenje izmjereno za potrošača koji je spojen na elektroenergetski sustav, odnosno pretpostavka je kako ne postoji strateško i planirano upravljanje potrošnjom električne energije jer je ona uvijek dostupna.

Na slici 5.4 prikazan je dijagram proizvodnje električne energije za svaki mjesec u godini. Vidljivo je da većinu energije (70%) proizvede mali vjetroagregat s 5658 sati rada i faktorom opterećenja od 23%. Prosječna snaga bila je 0.709 kW, a najveća 3.31 kW. Izračun je proveden korištenjem komercijalne radne krivulje malog vjetroagregata na stupu visine 20 m. Za gubitke fotonaponskog sustava je zbog temperaturnih učinaka i prljavštine, pretpostavljen faktor od 80 % i nagib panela od 30°, uračunat je utjecaj temperature s koeficijentom od -0.5 %/°C i učinkovitošću pri standardnim uvjetima od 13%. Prosječna snaga fotonaponskog sustava bila 0.298 kW, a prosječna dnevna proizvodnja električne energije 7,15 kWh.



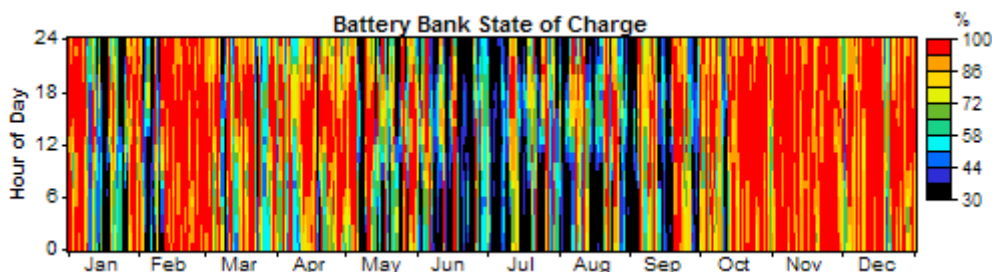
Slika 5.5 Proizvodnja električne energije iz optimiranog sustava za otoke Primorsko goranske županije

Kao spremnici energije korišteni su solarne olovne baterije, dubokog ciklusa nazivnog napona 2 V i kapaciteta 2500 Ah. Optimizacijom je dobiven baterijski niz od 4 paralelno povezane baterije nominalnog kapaciteta 20 kWh s autonomijom od 22,6 sati.



Slika 5.6 Frekvencijski histogram napunjenosti baterijskog niza

Na slici 5.6 prikazan je frekvencijski histogram baterijskog niza iz kojeg je vidljivo kako su baterije potpuno pune oko 28 % vremena kroz godinu.



Slika 5.7 Stanje napunjenosti spremnika energije kroz godinu

Na slici 5.7 je prikazano stanje napunjenosti baterija kroz godinu. Iz slike je vidljivo kako je razdoblje u kojem bi trebalo postići bolju raspoloživost energije za punjenje spremnika u siječnju i u ljetnim mjesecima. Ovo se može objasniti malom ozračenošću u siječnju zbog kratkog trajanja dana i manje sunčanih sati što čini proizvodnju fotonaponskog sustava razmjerno malom. U ljetnim mjesecima je raspoloživost energije vjetra manja, a potrebe za energijom su veće zbog sezonskog opterećenja (turisti, gosti) i aktivnosti koje se produžuju s trajanjem dnevnog svjetla i kasnijeg odlaska na spavanje. Dio manjka energije za punjenje baterija bi se mogao nadoknaditi postavljanjem fotonaponskih panela pod optimalnim ljetnim kutom. U ljetnom razdoblju bi se na taj način proizvodnja fotonaponskog sustava maksimalno povećala s minimalnim ili zanemarivim ulaganjem.

5.3.2. Ekonomski pokazatelji za odabrano optimalno postrojenje

HOMER je optimizacijski alat koji se koristi na mikroskalnoj razini i pojednostavnjuje vrjednovanje malih sustava koji su spojeni na mrežu kao i onih autonomnih. Pri odabiru sustava potrebno je donijeti brojne odluke o njegovom izgledu, broju komponenti i njihovoj veličini. Veliki broj mogućnosti i različitih tehnologija danas dostupnih čini ovu odluku teškom.

Korištenjem modela HOMER, optimiranjem su dobiveni troškovi početnog ulaganja u sustav, u rasponu od 82.698,00 kn do 129.639,00 kn. Analiza osjetljivosti uključila je 27 različitih kombinacija komponenti.

Tablica 5.6 Analiza osjetljivost i cijene mogućih inačica autonomnog sustava za primjenu na otocima Primorsko goranske županije

Visina stupa VTG-a (m)	Max. nedostajući kapacitet (%)	PV (kW)	Bat (kom)	Početno ulaganje (kn)	Pogonski trošak (kn/god)	Ukupni neto sadašnji trošak	Trošak proizvodnje energije (kn/kWh)	Nedostatak kapaciteta
25	25	1.2	2	82.698,3	3703,3	130.011,9	2,31	0,25
	20	1	4	91.625,4	3664,0	138.433,8	2,33	0,19
	15	1.8	3	99.522,5	4203,6	153.271,4	2,47	0,14
	10	2	4	109.283,4	4385,1	165.318,1	2,57	0,1
	9	2.2	4	112.815,0	4532,2	170.728,3	2,61	0,08
	8	2	5	115.512,8	4365,5	171.297,3	2,62	0,08
	7	2.4	4	116.346,6	4674,5	176.133,6	2,67	0,07
	6	2.6	4	119.878,2	4821,6	181.494,8	2,72	0,05
	5	2.4	5	122.576,0	4649,9	182.039,3	2,72	0,05
20	25	1	3	85.396,1	3615,0	131.601,2	2,32	0,24
	20	1.4	3	92.459,3	3904,4	142.397,1	2,41	0,2
	15	1.6	4	102.220,2	4085,9	154.478,1	2,51	0,15
	10	2.2	4	112.815,0	4537,1	170.792,1	2,64	0,1
	9	2.4	4	116.346,6	4684,3	176.226,8	2,69	0,08
	8	2.4	4	116.346,6	4684,3	176.226,8	2,69	0,08
	7	2.6	4	119.878,2	4831,4	181.637,1	2,75	0,07
	6	2.4	5	122.576,0	4659,8	182.166,8	2,75	0,06
	5	2.6	5	126.107,6	4806,9	187.581,9	2,80	0,05
15	25	1.2	3	88.927,7	3747,4	136.829,9	2,42	0,25
	20	1.6	3	95.990,9	4046,6	147.743,5	2,51	0,2
	15	1.8	4	105.751,8	4233,0	159.868,7	2,59	0,15
	10	2.4	4	116.346,6	4694,1	176.324,9	2,73	0,1
	9	2.6	4	119.878,2	4841,2	181.779,3	2,78	0,08
	8	2.6	4	119.878,2	4841,2	181.779,3	2,78	0,08
	7	2.8	4	123.409,8	4988,4	187.204,2	2,84	0,07
	6	2.6	5	126.107,6	4821,6	187.758,5	2,83	0,06
	5	2.8	5	129.639,2	4968,8	193.173,6	2,88	0,05

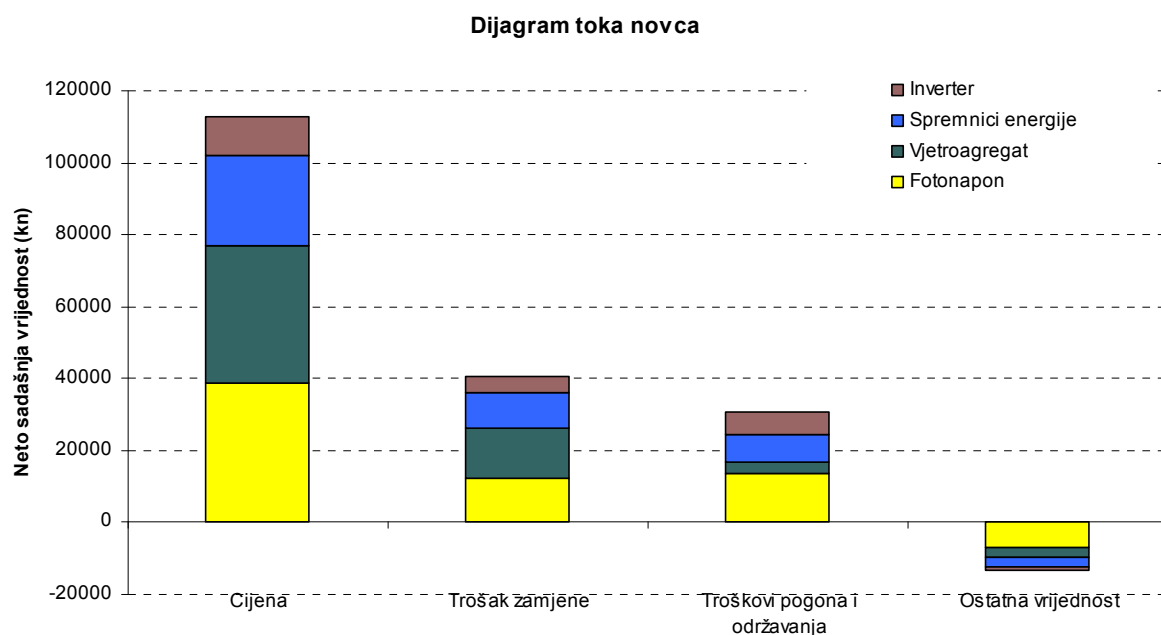
Odabrani tipični sustav dobiven ovakvom optimizacijom tehnički je opisan u prethodnom poglavlju, s godišnjim pogonskim troškom od 4537,1 kn i troškom korisne energije proizvedene u sustavu od 2,64 kn/kWh. Financijski pokazatelji dani su u tablici 5.7.

Tablica 5.7 Pregled troškova po komponentama kroz životni vijek postrojenja

Neto sadašnja vrijednost	Cijena	Trošak zamjene	Troškovi pogona i održavanja	Ostatna vrijednost	Ukupno
Komponenta	kn	kn	kn	kn	Kn
Fotonaponski niz	38.847,6	12.110,4	13.792,9	-6788,5	57.967,3
Mali vjetroagregat	38.259,0	14.327,5	3134,3	-2668,3	53.052,5
Spremnici energije	24.917,4	9471,6	7524,3	-2869,4	39.043,8
Inverter	10.791,0	4502,8	6268,6	-838,8	20.723,6
Ukupno	112.815,0	40.412,3	30.724,9	-13.160,1	170.792,1

Početa investicija u sustav iznosi 112.815,0 kuna. U nekom trenutku je potrebno izvršiti zamjene dotrajalih komponenti sustava. Životni vijek fotonaponskih ćelija je u modelu određen na 20 godina iako danas neki proizvođači daju garanciju i na 25 godina. Životni vijek malog vjetroagregata i invertera je 15 godina. Nakon 15 godine je potrebno izvršiti zamjene nekih dijelova poput generatora i električnih komponenti uređaja dok se trajanje stupa i drugih mehaničkih dijelova procjenjuje na više od 25 godina. Troškovi održavanja uključuju, čišćenje i održavanje fotonaponskih ploča, održavanje stupa vjetroagregata, servisiranje opreme i druge potrebne radove kako bi se osigurao nesmetan i pouzdan rad sustava. Ostatna vrijednost je vrijednost komponente sustava na kraju životnog vijeka postrojenja.

Troškovi iz tablice 5.7 prikazani su na slici 5.8.



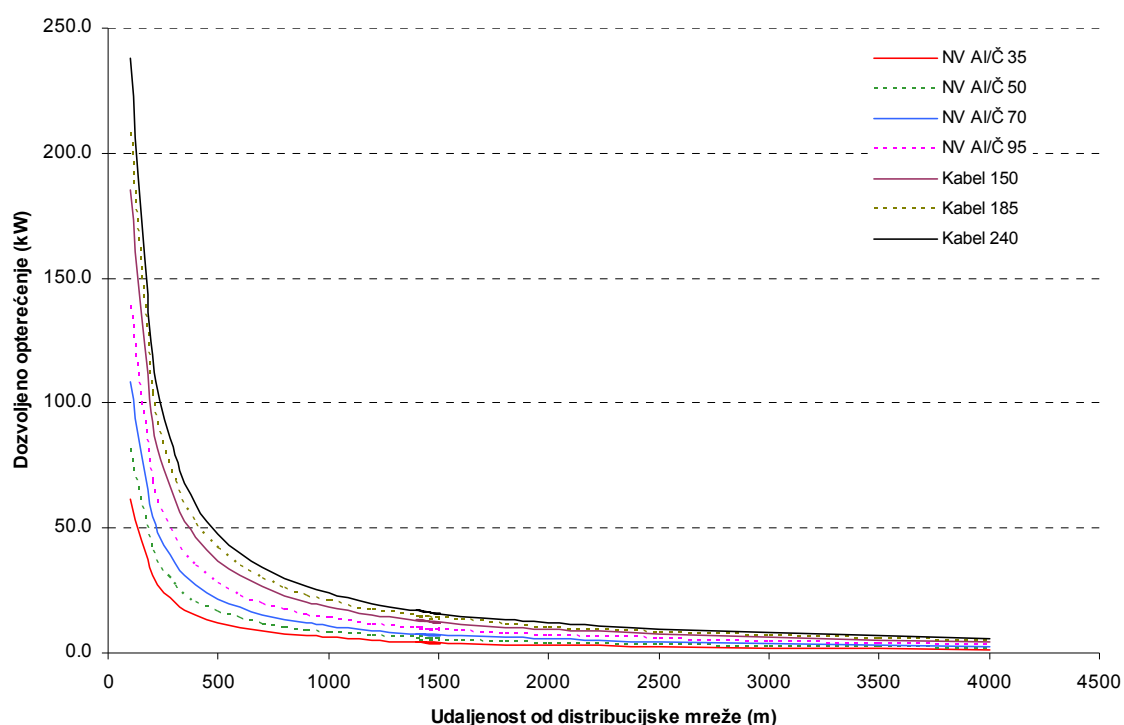
Slika 5.8 Prikaz troškova postrojenja za autonomne sustave na otocima Primorsko-goranske županije

5.3.3. Usporedba troškova autonomnog sustava i priključka na elektroenergetsku mrežu

Elektrifikacija lokacija koje se ne nalaze neposredno uz lokalnu elektrodistribucijsku mrežu zahtijeva ulaganje značajnih materijalnih sredstava bilo da se radi o instalaciji autonomnog sustava ili dovođenju niskonaponskog voda do lokacije potrošača.

Električna energija iz distributivne mreže koja se proizvodi centralizirano za veliki broj potrošača najkonformniji je oblik zadovoljenja potreba korisnika, međutim za potrošače koji nisu u blizini postojeće infrastrukture mrežnog sustava, cijena priključka može znatno premašiti cijenu autonomnog sustava. Cijena priključka ovisi prvenstveno o udaljenosti potrošača od mreže i snazi koju je potrebno prenijeti.

Dimenzioniranje vodova provodi se s obzirom na dva parametra, termičko opterećenje i dozvoljeni pad napona na krajevima voda. Uz pretpostavku pada napona od 5 % na krajevima niskonaponskog distributivnog voda na slici 5.9 prikazana je ovisnost dozvoljenog opterećenja o udaljenosti od mreže.



Slika 5.9 Dozvoljeno opterećenje niskonaponske mreže za odabrane vodiče u ovisnosti o duljini priključka (NV-nadzemni vod)

U slučaju kada je za određenu snagu ili vod kabel preopterećen, potrebno je preći na višu naponsku razinu 10(20) kV. Kada je riječ o konkretnom potrošaču za odabir odgovarajućeg voda bitna je udaljenost od distributivne mreže i zahtijevana snaga, odnosno veličina potrošača. Za distribuciju različitih raspona snage na odabrane udaljenosti, u tablici 5.7 dan je prikaz odgovarajućih vodova, a u tablici 5.8 trošak izgradnje [3].

Tablica 5.7 Minimalni presjeci u mm² nadzemnih vodova (NV) i kabela (K) ovisno o udaljenosti potrošača i opterećenju vodova

Udaljenost [m]	Opterećenje voda [kW]											
	5		7		10		20		30		100	
100	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN50	Kabel50	10 kV	Kabel150
300	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN50	Kabel50	NN70	Kabel70	10 kV	Kabel 10 kV
500	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN70	Kabel70	10 kV	Kabel150	10 kV	Kabel 10 kV
700	NN35	Kabel35	NN35	Kabel35	NN50	Kabel50	10 kV	Kabel150	10 kV	Kabel240	10 kV	Kabel 10 kV
1000	NN35	Kabel35	NN50	Kabel50	NN70	Kabel70	10 kV	Kabel240	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV
1500	NN50	Kabel50	NN70	Kabel70	10 kV	Kabel150	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV
2000	NN70	Kabel70	10 kV	Kabel150	10 kV	Kabel240	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV
3000	10 kV	Kabel150	10 kV	Kabel240	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV	10 kV	Kabel 10 kV

Tablica 5.8 Troškovi priključak prema tablici 5.7

kn	Opterećenje voda [kW]											
	5		7		10		20		30		100	
	NV	Kabel	NV	Kabel	NV	Kabel	NV	Kabel	NV	Kabel	NV	Kabel
100	17218	25939	17218	25939	17218	25939	17218	25939	17966	26800	83095	29944
300	51653	77817	51653	77817	51653	77817	53899	80400	56145	83544	120525	344094
500	86089	129695	86089	129695	86089	129695	93575	139240	157955	149720	157955	410794
700	120525	181573	120525	181573	125765	187599	195385	209608	195385	226377	195385	477495
1000	172178	259390	179664	267999	187150	278479	251530	323395	251530	577545	251530	577545
1500	269496	401998	280725	417719	345105	449160	345105	744296	345105	744296	345105	744296
2000	374300	556958	438680	598880	438680	646790	438680	911046	438680	911046	438680	911046
3000	625830	898320	625830	970186	625830	1244548	625830	1244548	625830	1244548	625830	1244548

Vidljivo je da prelazak na višu naponsku razinu (10 kV) znatno poskupljuje priključak zbog potrebe za transformatorskom stanicom te da je kabelska izvedba skuplja od nadzemnog voda.

Za potrebe opskrbe udaljenog potrošača električnom energijom uspoređen je autonomni hibridni sustav čija proizvodnja je izračunata pomoću raspoloživih podataka o resursima obnovljivih izvora energije na otocima Primorsko-goranske županije. Cijene komponenata sustava su preuzete od komercijalno dostupnih tvrtki i predstavljaju maloprodajne cijene. Životni vijek postrojenja je 25 godina s tim da je potrebno izvršiti zamjene dotrajalih dijelova postrojenja prema dinamici opisanoj u prethodnom poglavlju. Cijena sustava može znatnije varirati ovisno o odabranim komponentama sustava i njihovim proizvođačima.

U tablici 5.9 su navedeni troškovi priključka na niskonaponski elektroenergetski sustav za definiranu snagu (5 kW) i udaljenost od mreže. Pogon i održavanje je procijenjeno na 3% za nadzemni vod, a 1% za kabel. Cijena priključka na niskonaponsku mrežu zakonski je definirana na 1350 kn po kW snage. Prema trenutno važećem cjeniku HEP-ODS-a, za 1 kWh potrošene energije naplaćuje se 0,7042 kn.

Tablica 5.9 Troškovi na niskonaponsku mrežu

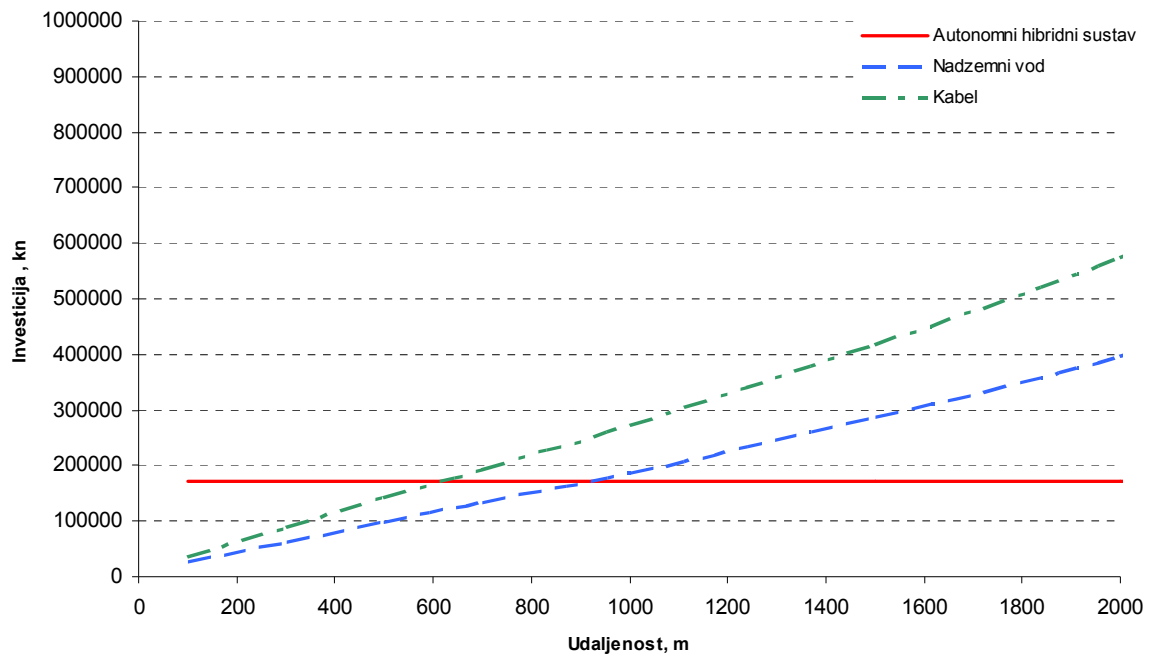
<i>Priključak na elektroenergetsku niskonaponsku mrežu</i>								
Priključena snaga, kW	5							
Godišnja potrošnja, kWh	5051							
	Udaljenost (m)							
<i>Priključak na mrežu</i>	100	300	500	700	1000	1500	2000	3000
Priključak nadzemnim vodom (kn)	17217.8	51653.4	86089	120525	172178	269496	374300	625830
Priključak kabelom (kn)	25939	77817	129695	181573	259390	401998	556958	898320
Pogon i održavanje - nadzemni vod								
(3 % investicije godišnje)	516.534	1549.6	2582.7	3615.74	5165.3	8084.9	11229	18774.9
Pogon i održavanje - kabel								
(1 % investicije godišnje)	259.39	778.17	1296.9	1815.73	2593.9	4020	5569.6	8983.2
Naknada za priključak na mrežu 1350 kn/kW	6750							
<i>Potrošnja energije</i>								
Cijena po kn/kWh	0.7042							
Godišnji trošak za el.energiju (kn)	3556.91							
<i>Ukupan trošak</i>								
Nadzemni vod (kn)	28041.2	63509.9	98979	134447	187650	287888	395836	654911
Kabel (kn)	36505.3	88902.1	141299	193696	272291	416325	572835	917610

Životni vijek distributivne mreže je oko 40 godina, dok je životni vijek autonomnog hibridnog sustava 25 godina. Zamjena pojedinih komponenata sustav odvijat će se sekvencijalno i produženjem životnog vijeka u 26 godini investicija u zamjenu sustava neće imati istu razinu troškova kao na početku. Za usporedbu s priključkom na distributivnu mrežu uzeta je neto sadašnja vrijednost autonomnog sustava kroz cijeli životni vijek postrojenja. Za priključak na distributivnu mrežu važno je napomenuti kako je cijena električne energije uzeta za godišnju razinu troškova po trenutnim cijenama za koje je realno očekivati rast u budućnosti što ovom usporedbom nije uzeto u obzir. Također u budućnosti se očekuje i pad cijena fotonaponskih sustava i malih vjetragregata čime bi ugradnja autonomnog sustava postala znatno privlačnija. Obje ove pretpostavke ne idu u korist autonomnim hibridnim sustavima, no zbog pomanjkanja iskustva u njihovoj eksploataciji na otocima Primorsko-goranske županije ovakav konzervativniji pristup ima realnije osnove.

Na slici 5.10 prikazan je usporedni prikaz troškova autonomnog hibridnog sustava i troškova priključka na distributivnu mrežu s obzirom na udaljenost od distributivne mreže. Jasno je kako je cijena autonomnog hibridnog sustav neovisna o udaljenosti do distributivne mreže. Iz tablice 5.8 i slike 5.10 vidljivo je da je opcija priključka na distributivnu mrežu isplativa do neke granične udaljenosti, odnosno do presjecišta s krivuljom troška autonomnog sustava. Ta granična udaljenosti isplativosti iznosi 600 m, ako se vod vodi kabelom, a maksimalno 900 m, ako se vod vodi nadzemno. Za svaku lokaciju koja je udaljena više od 900 m, autonomni sustav je financijski isplativije rješenje.

Slika 5.10 vrijedi za sustav koji ima snagu 5 kW. Krivulje troškova ovise i o snazi zahtijevanog sustava. Za autonomne aplikacije sa smanjenjem potrošnje i vršnog opterećenja i cijene sustava padaju, dok za priključak na distributivnu mrežu zahtijevana snaga u znatno manjoj mjeri ima utjecaja na cijenu priključka. Zato se može očekivati kako je za manje sustave granična udaljenost i niža, odnosno ulaganje u autonomni hibridni sustav postaje sve više opravdano.

Usporedni prikaz troškova autonomnog sustav i priključka na mrežu



Slika 5.10 Usporedba troškova s obzirom na udaljenost od distributivne mreže

6. SMJERNICE ZA SMJEŠTAJ MALIH VJETROAGREGATA I FOTONAPONSKIH MODULA

6.1. Mali vjetroagregati

Dobra lokacija za smještaj malog vjetroagregata je ključna je u njegovom dobrom radu. Takve lokacije bi trebale biti površinski velike s vrlo malom hrapavošću terena odnosno niskim i malobrojnim preprekama strujanju vjetra uz naravno zadovoljavajuću srednju godišnju brzinu vjetra.

Smještaj malih vjetroagregata u prostoru općenito bi trebao zadovoljiti kriterije praktičnih pravila vezanih za tehničke, sociološke i aspekte zaštite prirode.

Mali vjetroagregat može biti smješten samostalno u prostoru ili montiran na neku postojeću zgradu ili konstrukciju. Pri montaži vjetroagregata mora se zadovoljiti praktično pravilo o udaljenosti od susjedne parcele koja bi trebala iznositi barem 1 visinu stupa na kojem je montiran vjetroagregat kako bi se izbjegla moguća šteta i opasnost u slučaju havarije. Osim toga, ako se vjetroagregat montira na stup on bi trebao zadovoljiti i sljedeće uvjete:

- smješten na dovoljno velikom prostoru kako bi se mogao nesmetano podići i servisirati po potrebi;
- 100-njak metara horizontalne udaljenosti od najbližih objekata koji su slične visine, poput drveća;
- poželjno je montažu izvršiti na najvišoj mogućoj, odnosno najizloženijoj točki čestice kako bi se dobio pristup dominantnim vjetrovima koji pušu na lokaciji, a izbjegavati zavjetrine. Lokacije udaljene samo nekoliko stotina metara mogu se bitno razlikovati po raspoloživim resursima energije vjetra.

Udaljenost turbine od električnog ulaza bi trebala biti što manja kako bi se smanjili gubici prijenosa snage. Duljina vodiča između vjetroagregata i potrošača mora se uzeti u obzir zbog činjenice kako znatan postotak energije može biti izgubljen zbog otpora vodiča. Gubici u vodičima su veći ako je struja istosmjerna (DC) nego u slučaju izmjenične struje (AC) pa je preporučljivo inverter postaviti što bliže izvoru istosmjerne struje.

Isto tako poznato je kako vjetroagregati montirani na stupove proizvode puno više energije od onih koji su montirani na krovove kuća. Vjetroagregati na krovovima kuća također zahtijevaju pažljivije planiranje kako bi se izbjegle moguće opasne situacije, a u cilju osiguravanja sigurnog rada vjetroagregata.

Visina stupa na koji se montira vjetroagregat bi trebala biti što viša budući se na većim visinama manje osjeća utjecaj površine na strujanje vjetra. Na većim visinama vjetar puše manje turbulentno i većom brzinom što onda znači i da je snaga u vjetru eksponencijalno veća i više iskoristiva. Relativno mala investicija u viši stup može znatno povećati iskoristivost vjetroagregata.

Znatna razlika postoji u smještaju malih vjetroagregata u ruralne, otvorene prostore i urbanizirana područja. Mali vjetroagregati smješteni u ruralne sredine dat će i višu proizvodnju od onih smještenih u urbanizirane zone. Lokalni uvjeti poput relativnog smjera

vjetra, oblika kuća i njihovog smještaja u prostoru znatno utječu na strujanje vjetra u urbanim zonama. Većina primorskih mjesta su urbana područja s dosta gusto smještenim kućama između kojih su uske kale. Malo je istraživanja koja su imala za cilj optimalno istražiti najbolji način smještaja malih vjetroagregata u prostoru urbanih zona. Naime jasno je kako na strujanje zraka utječu i susjedne građevine što znači da se objekt na koji se planira postaviti vjetroagregat ne može promatrati kao izdvojena cjelina. Provedene simulacije kojima je osnova računalna dinamika fluida obično uzimaju u obzir niz građevina smještenih u prostoru u određenom rasporedu. Preporuke dobivene na ovaj način ukazuju kako bi idealne urbane zone za montažu malih vjetroagregata bile uz ravnu cestu koja je paralelna s dominantnim smjerom strujanja vjetra i dugačkim nizom kuća uz vjetar. Također pojednostavljeno pravilo na temelju rezultata simulacije kaže kako je za kuće visine 10 metara u homogenom nizu maksimalna brzina vjetra na visini vjetroagregata jednaka otprilike polovini srednje godišnje brzine vjetra, ako je vjetroagregat postavljen 3 m iznad visine kuće [4].



Slika 6.1 Smještaj malih vjetroagregata na rub ravnog krova

6.2. Fotonaponski moduli

Najveći energetske prinos iz fotonaponskog modula ostvario bi se njegovim postavljanjem okomito na smjer Sunčevog zračenja. Zbog prividnog kretanja Sunca tijekom dana, čija visina i azimut ovise o trenutku kada se promatra, za dobivanje maksimalne energije bilo bi potrebno koristiti sustav za praćenje kretanja Sunca (*solar tracker*). Unatoč većem prinosu energije, sustav za praćenje kretanja Sunca je kompliciraniji za održavanje, te se fotonaponski moduli često koriste u fiksno postavljenim instalacijama. Za maksimiziranje energetske prinosu u ovom slučaju je potrebno fotonaponske module orijentirati na jug, te ih postaviti pod optimalnim kutom. Optimalni kut nagiba moguće je odrediti za razdoblje u kojemu se želi maksimizirati energetske prinos, npr. u slučaju korištenja sustava tokom cijele godine izračunava se optimalni godišnji kut nagiba. Kod autonomnih sustava, promjenom

kuta nagiba modula, moguće je mijenjati profil energetskeg prinosa po mjesecima, odnosno tako osigurati sigurnu opskrbu tokom zimskih razdoblja, postavljajući module pod optimalnim kutom za zimsku sezonu. Ovakva praksa je česta kod uređaja koji kao energetski izvor koriste samo fotonaponske module (npr. GSM odašiljači). Ukoliko se fotonaponski moduli koriste uz druge izvore energije (vjetroatregat), kut nagiba može se odrediti na temelju energetskih potreba objekta i u ovisnosti o dostupnosti drugih izvora.

Uobičajena praksa kod postavljanja fotonaponskih modula jest njihov smještaj na krov objekta, bilo da se radi o kosom ili o ravnom krovu. Kod smještaja na kosi krov, moduli se često postavljaju direktno na krov, tako da slijede orijentaciju i nagib krova. Ne može se očekivati da je svaki krov orijentiran na jug, te nagnut pod optimalnim kutom, tako da je energetski prinos ovako postavljenih modula smanjen, iako samo u maloj mjeri. Za raspon odstupanja od 15° u nagibu i 30° u azimutu, dozračena energija smanji se do 5 %. Kod postavljanja fotonaponskih modula na ravni krov, moguće fotonaponske module postaviti u njihov optimalan položaj (orijentirane na jug, optimalan kut nagiba, odnosno određeni kut nagiba) smještanjem na odgovarajuće nosače. Osim na krovove, fotonaponski moduli mogu se, bez većih ograničenja, postavljati i na druge slobodne površine. Smještaj fotonaponskih modula na krovovima objekata ima više prednosti:

- smještajem fotonaponskih modula na krovove ne zauzima se dodatni prostor,
- fotonaponski moduli mogu služiti kao pokrovni elementi,
- krovovi su, u pravilu, zbog svoje visine manje izloženi negativnim utjecajima zasjenjenja,
- izmjenjivač, odnosno potrošači su bliže izvoru, čime se smanjuju gubitci u sustavu.

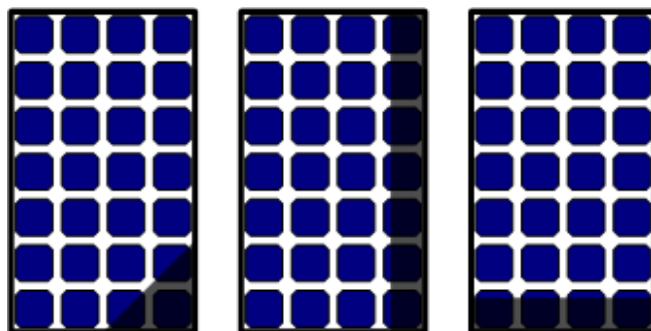
Slika 6.2 prikazuje moguće smještaje fotonaponskih modula u krov (lijevo, Solarni krov Špansko) i na nosače na ravnoj površini (Graditeljska škola Čakovec).



Slika 6.2 Primjeri postavljanja fotonaponskih modula (Izvor: EIHP)

Fotonaponski moduli izrazito su osjetljivi na djelomična zasjenjenje modula ili polja. Kod smještaja fotonaponskih modula na krov, mogu se pojaviti zasjenjenja od okolnih objekata poput dimnjaka, ograde ili antena. Zbog električnih karakteristika fotonaponskog modula, djelomična zasjenjenja modula (Slika 6.2) uzrokuju neproporcionalno smanjenje izlazne snage u odnosu na zasjenjenu površinu (25 % zasjenjenje površine uzrokuje smanjenje snage na 50 %), te mogu stvoriti značajne probleme u radu fotonaponskih sustava. Zbog navedenog, prilikom odabira mjesta za smještaj fotonaponskih modula, potrebno je voditi

računa o izbjegavanju lokanih zasjenjenja od okolnih objekata. Fotonaponski moduli zauzimaju relativno veliku površinu (cca. 8 m² za snagu od jednog kilovata) te se može očekivat da će na poziciji predviđenoj za smještaj fotonaponskog polja, pogotovo ako se radi o krovu objekta. Objekt visine 1 m na datum 21.12 (zimski suncostaj – dan kada je Sunce najniže na nebu) u 12:00 sati baca sjenu dužine 2,4 m prema sjeveru. Fotonaponske module potrebno je udaljiti prema sjeveru za 2,5 duljine visine objekta ispred njih koji može uzrokovati zasjenje.



Slika 6.2 Djelomično zasjenjenje modula koje uzrokuje smanjenje izlazne snage na 50%

7. ZAKLJUČAK

Energija vjetra i Sunca je energetska resurs koji do sad na otocima Primorsko goranske županije nije na ispravan način vrjednovan i njime se nije gospodarilo na sustavan i organiziran način. Održivi razvoj nameće potrebu zadovoljavanja energetske potreba bez ugrožavanja prirodne bogatstva i izvornosti otoka.

Zadovoljenje energetske potreba prosječnog potrošača moguće je korištenjem lokalnih izvora energije raspoloživih na otocima Primorsko goranske županije uz odgovarajuću investiciju koja u usporedbi s priključkom na niskonaponsku distribucijsku mrežu ima svoju opravdanost za udaljenosti koje su veće od 600 m, odnosno 900 m od mrežne infrastrukture. Ulaganje u iskorištavanje obnovljivih izvora energije ima i druge prednosti koje nisu isključivo materijalne prirode i financijska isplativost nije jedini kriterij pri odlučivanju o ulaganju u ovakav sustav.

Optimizacija autonomnog hibridnog sustava pomoću modela HOMER pokazala je kako ovakvi sustavi mogu zadovoljiti potrebe za električnom energijom prosječnog otočnog kućanstva u Primorsko goranskoj županiji iz obnovljivih izvora energije. Znatna financijska sredstva je potrebno uložiti u ovakav sustav, s izravnim posljedicama na kvalitetu i sigurnost opskrbe.

Detaljni 15 minutni podaci potrošnje električne energije u kućanstvu, stani podaci trajanja Sunčevog zračenja i satni podaci brzine vjetra izmjereni na otoku Krku dali su dobar početni pokušaj optimiranja malog autonomnog sustava iz kojeg se mogu vidjeti smjernice za razvoj sličnih projekata i red veličine potrebnog ulaganja. Svaka lokacija ima svoje specifičnosti i njihovom analizom mogu se utvrditi i bolje ili lošije predispozicije za korištenje obnovljivih izvora energije na otocima Primorsko goranske županije.

Ovom analizom nije obuhvaćena mogućnost elektrifikacije izoliranih zajednica budući su svi naseljeni otoci u Primorsko-goranskoj županiji povezani s elektroenergetskim sustavom zemlje podmorskim kabelom.

Niz je prednosti proizvodnje električne energije u distribuiranim autonomnim sustavima. Rasterećenje centralnog elektroenergetskog sustava potrebno je zbog nestabilnih mrežnih prilika i nesrazmjernog sezonskog opterećenja koje premašuje mogućnosti postojeće infrastrukture. 2007. Republika Hrvatska je usvojila zakonsku regulativu kojom se potiče korištenje obnovljivih izvora energije. Tarifnim sustavom definirane su otkupne cijene električne energije iz različitih izvora. Nizom pravilnika i odluka definiran je način stjecanja statusa povlaštenog proizvođača čime se omogućilo i kućanstvima da postanu proizvođači električne energije. Otkup električne energije moguće je jedino, ako je kućanstvo spojeno na mrežu. S poticajnim cijenama otkupa električne energije ulaganje u hibridne sustave postaje i financijski atraktivno ulaganje. Stjecanje statusa povlaštenog proizvođača nije bilo predmet ove studije u kojoj se pokazalo potrebno ulaganje za autonomne sustave koji koriste energiju vjetra i Sunca namijenjenu opskrbi udaljenog, energetska neovisnog potrošača.

Na kraju treba zaključiti kako je korištenje obnovljivih izvora energije nespojivo s neracionalnim i energetska neučinkovitim korištenjem električne energije. Planiranje potrošnje i promjena navika korištenja električne energije mogu u velikoj mjeri povećati energetska efikasnost u kućanstvu.

8. LITERATURA

- [1] Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Zdeslav Matić, EIHP 2007.
- [2] B. Penzar, I. Penzar, M. Orlić: Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana, Zagreb, 2001.
- [3] Vjetroturbine i fotonaponski sustavi za izolirana naselja i otočne aplikacije, László Horváth, Branimir Hrastnik, Dr.sc. Natko Urli, Ranko Vujčić, 1999.
- [4] Predicting the Performance of Small Wind Turbines in the Roof-Top Urban Environment, Simon Watson, David Infield and Mark Harding, EWEC 2007, Milano

