

Održavanje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava napajanja programskim alatom Homer energy

Polanec, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:616973>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





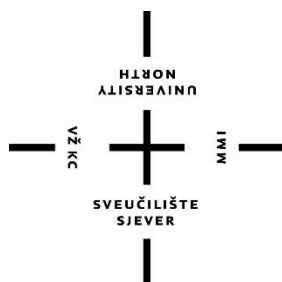
**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 375/EL/2016

**Održavanje i optimizacija hibridnog autonomnog
sustava napajanja programskim alatom Homer
energy**

Tomislav Polanec, 0979/601

Varaždin, lipanj 2016. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 375/EL/2016

Održavanje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava napajanja programskim alatom Homer energy

Student

Tomislav Polanec, 0979/601

Mentor

dr.sc.Živko Kondić

Varaždin, lipanj 2016. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------|--------------------------------------|
| ODJEL | Odjel za elektrotehniku | | |
| PRISTUPNIK | Tomislav Polanec | MATIČNI BROJ | 0979/601 |
| DATUM | 02.05.2016. | KOLEGIJ | ODRŽAVANJE INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA |
| NASLOV RADA | ODRŽAVANJE I OPTIMIZACIJA HIBRIDNOG AUTONOMNOG SUSTAVA NAPAJANJA PROGRAMSKIM ALATOM HOMER ENERGY | | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | MAINTENANCE AND OPTIMIZATION HYBRID AUTONOMIC POWER SUPPLY WITH HOMER ENERGY SOFTWARE TOOL | | |
| MENTOR | Živko Kondić | ZVANJE | Izv. profesor |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. mr.sc.Ivan Šumiga, viši predavač 2. dr.sc.Živko Kondić, izv.prof. 3. Dunja Srpak, dipl.ing., predavač 4. _____ 5. _____ | | |

Zadatak završnog rada

| | |
|------|--|
| BROJ | 375/EL/2016 |
| OPIS | U završnom radu potrebno je: -Kroz uvodni dio rada opisati osnove održavanja tehničkih sustava. - Opisati korištene tehnologije i to uz primjenu fotonaponskih ćelija, vjetroagregata i diesel agregata. -Provesti statički (izračun podataka o ćelijama bez troškova održavanja) i dinamički proračun (investicijski i troškovi održavanja). -Detaljno opisati održavanje hibridnog autonomnog sustava za napajanje. -Detaljnije opisati održavanje diesel agregata i vjetroagregata. -U završnom dijelu dati kritički osvrt na uradak i mogućnosti primjene. |

ZADATAK URUČEN
30.06.2016



POTPIS MENTORA

Sažetak

Hibridni autonomni sustavi su sustavi obnovljivih izvora energije koji rade bez spajanja na krutu mrežu i u kombinaciji sa 2 ili više drugih izvora.

Ideja ovog rada je projektiranje kompletnog hibridnog autonomnog sustava napajanja, uključujući statički proračun, optimizaciju koja će se provesti kroz dinamički izračun sa programskim alatom Homer Legacy (verzija 2.68 beta) te neizostavno održavanje kompletnog sustava bez kojeg sustav dugoročno ne funkcionira.

Promatrano vremensko razdoblje hibridnog autonomnog sustava napajanja određeno je planiranim radnim vijekom odabrane opreme, unutar kojeg su definirani parametri uvjetovani cijenama opreme i energenata na tržištu.

Bitno je napomenuti da je ovo pokazni primjer proračuna i da njegova svrha nije komercijalna, te da se svi dobiveni rezultati koriste isključivo za potrebe ovog rada.

Ključne riječi:

- Održavanje hibridnog autonomnog sustava napajanja
- Statički proračun
- Dinamički proračun i optimizacija
- Obnovljivi izvori energije

Popis korištenih kratica:

| | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| FN panel..... | fotonaponski panel |
| VAC..... | izmjenični napon |
| VDC..... | istosmjerni napon |
| $\eta_{dc/ac}$ | korisnost izmjenjivača |
| C-20 | brzina pražnjenja baterije |
| DOD | dubina pražnjenja |
| vss..... | vršni sati Sunca |
| W_{uk} | ukupna potrošnja energije |
| W_{AC} | potrošnja energije AC trošila |
| W_{DC} | potrošnja energije DC trošila |
| $Q_{bat\ min}$ | minimalni kapacitet baterijske banke |
| A_{bat} | vremensko razdoblje autonomije |
| $V_{DC\ teret}$ | iznos napona napajanja DC trošila |
| $V_{ćelije}$ | iznos napona po jednoj ćeliji |
| P_{dc} | snaga fotonaponskog sustava |
| N_{FN} | broj potrebnih fotonaponskih panela |
| P_{panela} | snaga jednog fotonaponskog panela |

Sadržaj

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Uvod..... | 1 |
| 2 | Održavanje..... | 3 |
| 2.1 | Održavanje opreme | 3 |
| 2.2 | Preventivno održavanje | 4 |
| 2.3 | Korektivno održavanje | 5 |
| 3 | Korištene tehnologije..... | 7 |
| 3.1 | Fotonaponske ćelije (FN ćelije) | 7 |
| 3.1.1 | Tehnologije FN ćelija | 8 |
| 3.2 | Vjetroagregat | 9 |
| 3.3 | Diesel agregat | 10 |
| 4 | Statički proračun | 11 |
| 4.1 | Profil potrošnje..... | 11 |
| 4.2 | Dimenzioniranje baterijske banke..... | 12 |
| 4.3 | Dimenzioniranje FN polja..... | 13 |
| 5 | Dinamički proračun upotrebom programskog alata Homer Legacy..... | 16 |
| 5.1 | Meteorološki podaci..... | 17 |
| 5.2 | Podaci o trošilima | 18 |
| 5.3 | Modeliranje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava programskim alatom Homer Legacy | 19 |
| 5.4 | Troškovnik inicijalne investicije | 22 |
| 5.5 | Troškovnik održavanja za vremenski period od 25 godina | 23 |
| 5.6 | Usporedba rezultata | 23 |
| 6 | Održavanje hibridnog autonomnog sustava za napajanje..... | 25 |
| 6.1 | Održavanje FN panela..... | 25 |
| 6.2 | Održavanje baterija | 27 |
| 6.3 | Održavanje vjetroagregata | 28 |
| 6.3.1 | Analiza vibracija | 29 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.3.2 | Analiza ulja..... | 29 |
| 6.3.3 | Praćenje temperature | 29 |
| 6.4 | Održavanje diesel agregata..... | 30 |
| 6.4.1 | Pregled i servis diesel motora..... | 30 |
| 6.4.2 | Pregled i servis generatora | 30 |
| 6.4.3 | Pregled i servis rasklopnog ormara s pripadajućom upravljачkom automatizacijom | 31 |
| 6.5 | Plan održavanja hibridnog autonomnog sustava napajanja | 32 |
| 7 | Zaključak..... | 33 |
| 8 | Literatura | 34 |
| 9 | Popis slika | 35 |
| 10 | Popis tablica..... | 35 |
| 11 | Prilozi | 36 |
| 11.1 | Prilog 1 | 36 |
| 11.2 | Prilog 2 | 37 |

1 Uvod

U samom uvodu potrebno je objasniti pojam hibridnih autonomnih sustava napajanja. Hibridni sustavi su kombinacija dvaju ili više izvora energije u svrhu uravnotežavanja njihovih obilježja, a zbog veće pouzdanosti sustava. [9]

Autonomni sustavi napajanja predstavljaju zaokruženi, cjeloviti sustav koji objedinjuje uređaje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (vjetroatregati, fotonaponski članci), pohranu energije u baterijama, spremnik vodika i gorivne članke za proizvodnju električne energije iz vodika, zaštitne sustave mjerenja i upravljanja.

Izgradnja hibridnog autonomnog sustava napajanja zamišljena je u cilju realizacije napajanja radarske postaje na moru za nadzor pomorskog prometa te kontrolu istog.

Definirana ograničenja i zahtjevi investitora su:

- zahtjevana autonomija baterijske banke veća ili jednaka 48 h
- maksimalna potrošnja diesel goriva iznosi 500 l/god

Tehnologije koje su na zadanom teretnu dostupne su fotonaponski sustav, vjetroatregat i diesel agregat.

Osim samog modeliranja kompletnog sustava pomoću statičkog proračuna cilj je u najvišoj mjeri dotaknuti se teme održavanja i optimizacije samog sustava a sve u vidu minimizacije troškova početne i ukupne investicije kroz predviđeno vremensko razdoblje od 25 godina.

Bitno je naglasiti da je zadatak projekta neprekidno napajanje svih trošila u svim vremenskim uvjetima kroz cijelu godinu. Iz tog razloga sustav mora imati rezerve koje su zamišljene uz vjetroatregat i diesel agregat. Naravno, primarni su izvor fotonaponski paneli koji bi zbog same lokacije trebali preuzeti minimalno 65% proizvodnje.

Uz sve do sad navedene zadatke i ciljeve projekta, najvažnija komponenta je održavanje koje će osigurati stabilan i pouzdan rad cijelog sustava napajanja kroz predviđeno vremensko razdoblje.

Naglasak održavanja će biti na preventivnom održavanju jer time osiguravamo radnu karakteristiku sustava, te detekciju i ispravak potencijalnog kvara prije nego dođe do njega.

U obzir treba i uzeti da unatoč unaprijed planiranom preventivnom održavanju, može doći do kvara svake ugrađene komponente nakon čega slijedi korektivno održavanje pri kojemu je zadatak sustav što prije vratiti u prvobitno stanje, tj. u ispravno radno stanje. Dobro isplaniranim i detaljno razrađenim planom za preventivno održavanje cilj je minimizirati te izbjegavati korektivno.

2 Održavanje

Održavanje je skup svih aktivnosti s ciljem osiguranja njegovog ispravnog rada, odnosno odgovarajuće karakteristike pouzdanosti.

Općenito govoreći, održavanje je postupak kojim se nastoji održati istim neko stanje ili neka sposobnost.

Uz održavanje veže se i pojam dijagnostike kojeg definiramo kao zaključivanje o mogućim greškama na temelju promatranja.

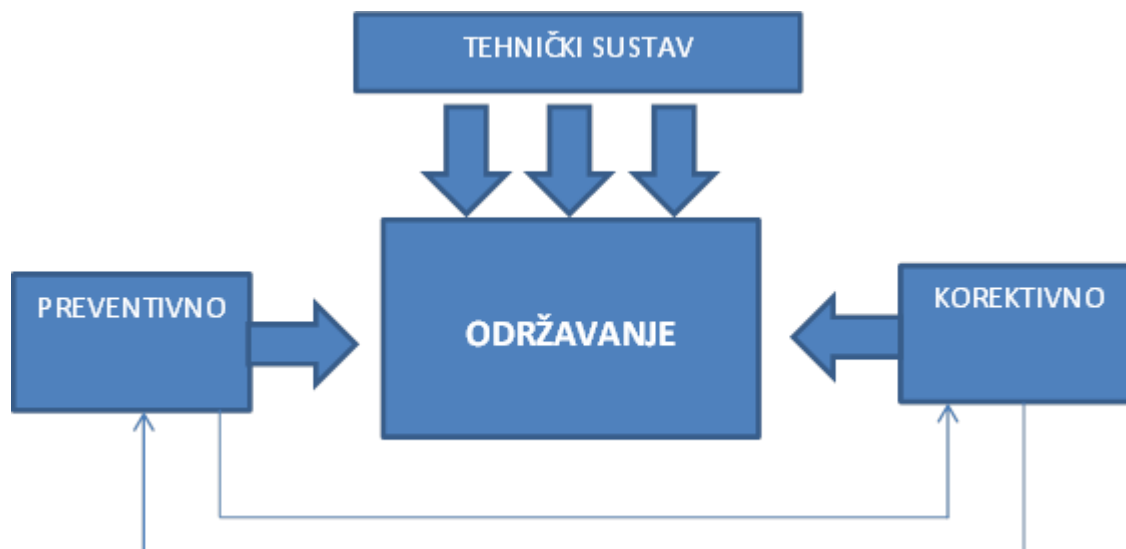
2.1 Održavanje opreme

Ukoliko se analizira životni vijek bilo kojeg stroja ili uređaja, može se zaključiti da je taj vijek veoma složena kategorija, koja ujedinjuje slijedeće aktivnosti :

- kreiranje
- proizvodnja
- eksploatacija (upotreba)
- otuđenje (rashodovanje) [1]

Održavanje je segment procesa eksploatacije. U stalnoj težnji korisnika da se radne karakteristike uređaja, stroja ili postrojenja održe u granicama dozvoljenih poremećaja (odstupanja) ili ponovno vrate u željeni interval, razvijeni su različiti sustavi održavanja, zavisno od karakteristika primjenjene strategije, tehnologije i organizacije održavanja.

Organizacija i sustav provedbe održavanja temelji se na načelima preventivnog i korektivnog održavanja.



Slika 1 Pitanja za potpuno definiranu tehnologiju održavanja [2]

2.2 Preventivno održavanje

Preventivno održavanje je održavanje prilikom kojeg se uređaj održava prije nego nastupi kvar.

Pod pojmom preventivnog održavanja podrazumijeva se niz postupaka koji se poduzimaju radi sprečavanja pojave stanja "u kvaru", odnosno održavanje kompletnog sustava u granicama funkcionalne ispravnosti i to u određenom vremenskom intervalu.

Ovaj način održavanja za razliku od korektivnog održavanja pruža određenu sigurnost pri radu uređaja. Definicija održavanja sukladno normi HRN EN 13306 "Preventivno održavanje – održavanje koje se obavlja na unaprijed određenim intervalima ili prema propisanim kriterijima, a čija je svrha smanjivanje vjerojatnosti kvara ili degradacije funkcioniranja stavke." Preventivno održavanje je vrsta planskog održavanja. [1]

Preventivno održavanje ima svoje prednosti i mane u odnosu na korektivno održavanje.

Prednosti su:

- jednostavnije planiranje
- veća pouzdanost uređaja i sustava u radu
- mogućnost predviđanja troškova održavanja i samim time i lakša kontrola.

Nedostaci su:

- povećani troškovi održavanja (teoretski, iako često ne i stvarni, kvar uređaja s korektivnim održavanjem često donese mnogo veće troškove)
- povećana mogućnost kvara uređaja radi utjecaja ljudske greške osoblja koje vrši održavanje
- visoki troškovi održavanja uzrokovano često bespotrebnom zamjenom dijelova

2.3 Korektivno održavanje

Korektivno održavanje podrazumijeva slijed akcija nad sustavom koji nije radno sposoban kako bi mu se vratila funkcionalnost na prijašnju razinu, odnosno u ispravno stanje.

Drugi opis ovog održavanja je da je ovo jedini način održavanja pri kojem se ništa ne radi, odnosno održavanje po načinu "Ne diraj dok radi".

Ovo je najčešći način održavanja koji se danas primjenjuje, a ujedno je i prividno najjeftiniji. Cijena tekućeg održavanja u ovom slučaju je jednaka 0, naime ne postoje izdaci za tekuće održavanje. Održavanje se vrši tek nakon što kvar nastupi a često uz kvar pojedinog dijela nastaje šteta i na okolnim dijelovima i uređajima. Osim toga, pouzdanost sustava s ovim načinom održavanja je upitna, ona je direktno ovisna o pouzdanosti najslabije komponente. Zastoji u radu se ne mogu predvidjeti kao ni vrijeme potrebno za popravak sustava. Da bi se izbjegli duži zastoji uslijed kvarova pri ovom načinu održavanja jedina je mogućnost imati sve dijelove sustava u pričuvi što znatno poskupljuje održavanje. Iz navedenog je očito da se ovim načinom održavanja ne mogu održavati važniji i skuplji sustavi, već se oni održavaju pojedinim načinima preventivnog

održavanja. Korektivno održavanje se uvijek obavlja bez raspoređivanja i najčešće neplanski, ali i za pojedine aktivnosti korektivnog održavanja se također kreiraju planovi održavanja.

Korektivno održavanje primjenjuje se kod elektroničke opreme i ostale tehnike kod kojih se kvarovi događaju pravilnim ritmom.

3 Korištene tehnologije

Pošto se rad opisanog sustava sastoji od fotonaponskih ćelija, vjetroagregata te diesel agregata, u nastavku slijedi opis načina njihovog rada.

3.1 Fotonaponske ćelije (FN ćelije)

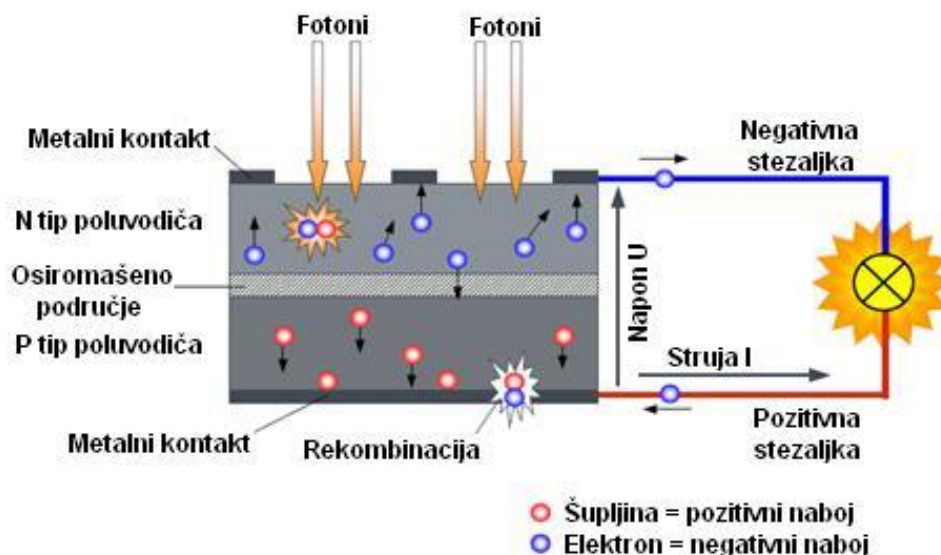
Fotonaponske ćelije (zване i solarne ćelije) su poluvodički uređaji koji pretvaraju sunčevu energiju izravno u električnu pomoću fotoelektričnog efekta.

FN ćelija je u biti PN-spoj (poluvodička dioda). PN-spoj nastaje kada se jednom dijelu kristala čistog poluvodiča dodaju trovalentne (akceptorske) primjese, tako da nastane p-tip poluvodiča, a drugom dijelu peterovalentne (donorske) primjese, te nastaje n-tip poluvodiča. Na granici između tih dvaju područja (PN-spoj), kao posljedica gradijenta koncentracije, nastaje difuzija elektrona iz n-područja prema p-području i šupljina iz p-područja prema n-području. Bitno je svojstvo PN spoja njegovo ispravljačko djelovanje, tj. lakše vodi struju kad je p-područje pozitivno, a n-negativno. Tada je napon u propusnom smjeru, a suprotno tome je napon u zapornom smjeru. Dakle, PN-spoj radi kao dioda, i propušta struju samo u jednom smjeru. Ako se na PN-spoj priključi izvor vanjskog napona u propusnom smjeru, tako da je pozitivan pol na p-strani a negativan na n-strani, protekne struja elektrona iz n-područja prema p-području i šupljina iz p-područja prema n-području.

Fotonaponska (FN) ćelija je temeljni gradivni blok fotonaponskog modula.

FN ćelije proizvode istosmjernu električnu energiju kada fotoni svjetlosti pogode pn-spoj, foton uzbuđi elektron te ga izbací iz valentnog u vodljivi pojas. Električno polje ugrađeno u pn spoj gura elektrone prema trošilu.

Bitno je napomenuti da je Silicij najčešće korišteni poluvodički materijal.



Slika 2 Princip rada FN ćelije spojene na trošilo

[Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija]

3.1.1 Tehnologije FN ćelija

Materijali trenutno korišteni za fotonaponske solarne ćelije uključuju monokristalni silicij, polikristalni silicij, amorfni silicij, kadmij telurid i bakar-indij-selen.

Sljedeća slika nam pokazuje efikasnost gore navedenih raznih tehnologija.

| CELL MATERIAL | MODULE EFFICIENCY | | SURFACE AREA NEED FOR 1 KWp |
|--|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| Monocrystalline silicon | 14-20% | 5-8 m ² | |
| Polycrystalline silicon | 11-15% | 7-9 m ² | |
| Micromorphous tandem cell (a-Si/μc-Si) | 8-10% | 10-12 m ² | |
| Thin-film – copper-indium/gallium-sulfur/diselenide (CI/GS/Se) | 10-12% | 8-10 m ² | |
| Thin-film – cadmium teluride (CdTe) | 9-11% | 9-11 m ² | |
| Amorphous silicon (a-Si) | 5-8% | 13-20 m ² | |

Slika 3 Efikasnost raznih tehnologija

[Izvor: PV Power Plants Industry Guide 2013]

3.2 Vjetroagregat

Vjetroagregat je rotirajući stroj koji pretvara kinetičku energiju vjetra prvo u mehaničku, a zatim preko električnih generatora u električnu energiju. Pri tome se rotor vjetroturbine i rotor električnog generatora nalaze na istom vratilu.

Osnovni zadatak kod vjetroagregata je optimalno iskoristiti energiju vjetra pri promjenjivoj brzini brzini vjetra uz održavanje konstantnog napona i frekvencije.



Slika 4 Vjetroagregat sa označenim dijelovima

Komponente vjetroagregata:

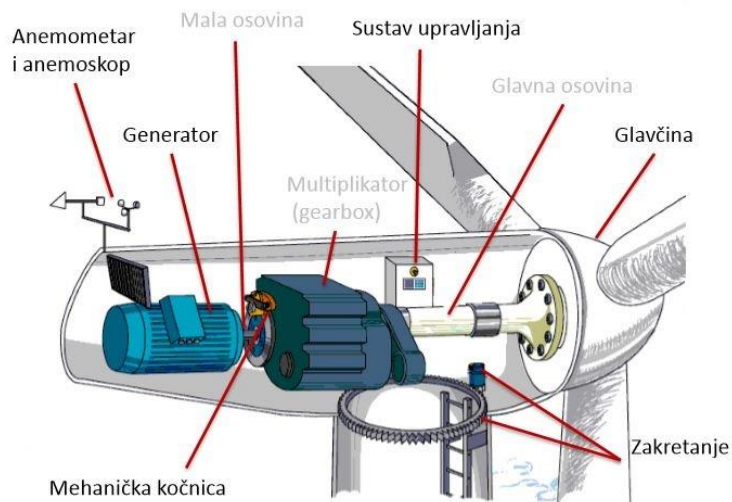
- Vjetroturbina - aerodinamička pretvorba energije vjetra u energiju vrtnje rotora
- Podsustavi za pretvorbu mehaničke energije u električnu - generator i ostali podsustavi
- Potporna konstrukcija - gondola, stup itd...
- Sustav upravljanja

Danas na tržištu možemo pronaći dvije osnovne vrste vjetroagregata:

1. Direktni pogon (engl. Direct Drive) – Sinkroni generator bez multiplikatora
2. Vjetroagregati s multiplikatorom – Asinkroni generator sa multiplikatorom

Današnji suvremeni vjetroagregati imaju sve glavne dijelove smještene u tzv. gondoli koja se sastoji od glavčine, glavne osovine, sustava upravljanja,

multiplikatora (gearbox), male osovine, generatora te nekih senzora kao što su anemometar i anemoskop. (senzori za mjerenje brzine i smjera vjetra). [7]



Slika 5 Sastavni dijelovi gondole

[Izvor: Danish wind industry, <http://www.windpower.org/en/>]

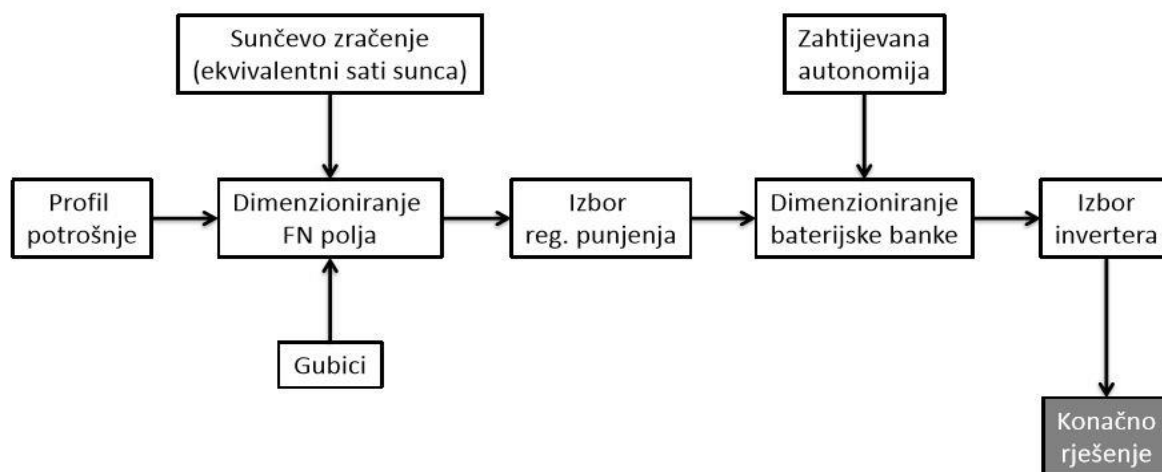
3.3 Diesel agregat

Diesel agregat - generator je kombinacija dizel motora s električnim generatorom (često alternatora) za generiranje električne energije.

Diesel agregati se koriste na mjestima bez priključka na električnu mrežu, ili kao napajanja u posebnim slučajevima kao na primjeru ovog rada gdje diesel agregat koristimo samo u slučajevima kad nam ostali izvori energije otkazu ili smo zbog nepovoljnih meteoroloških uvjeta u nemogućnosti održati stabilni rad sustava napajanja.

Današnji dizel agregati su dizajnirani da mogu raditi 24 sata na dan uz izlaznu snagu do 35kW. Često se isporučuju sa naponskim kontrolerima gdje na izlazu agregata dobivamo stalni napon praktički neovisan o opterećenju.

4 Statički proračun



Slika 6 Dijagram toka dimenzioniranja FN sustava

4.1 Profil potrošnje

Profil potrošnje radarske postaje dan je sljedećom tablicom, uz napomenu korištenja rashladnog uređaja u toplijim mjesecima i prema potrebi:

| UREĐAJ | JEDINIČNA SNAGA [W] | VRIJEME RADA [h/dan] | UKUPNA POTROŠNJA [Wh] | VRSTA TERETA |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| Radijska oprema | 10 | 24 | 240 | DC |
| Komunikacijski ormar | 100 | 24 | 2400 | DC |
| Radarska antena | 50 | 24 | 1200 | DC |
| Predajnik | 60 | 24 | 1440 | DC |
| Kamera | 200 | 12 | 2400 | DC |
| Vlastita potrošnja | 100 | 24 | 2400 | DC |
| Rashladni uređaj | 1100 | 6 | 6600 | AC |
| UKUPNO | 1620 W | | 16680 Wh | |

Tablica 1 Profil potrošnje radarske postaje

Trošila su podijeljena u skupinu istosmjernih trošila odabranog radnog napona 24 VDC i skupinu izmjeničnih trošila, radnog napona 230 VAC.

Proveden je statički izračun kako bi se dobili približni podaci o potrebnim zahtjevima fotonaponskih panela, baterijske banke, izmjenjivača i regulatora punjenja za daljnje dinamičke proračune, uz pretpostavku da $\eta_{DC/AC}$ (korisnost izmjenjivača) iznosi 0.93, a brzina pražnjenja baterija odabrana je pri vrijednosti C/20.

Uvidom u tablicu Tabl. 1 kao izmjenično trošilo izdvajamo rashladni uređaj snage 1100 W koji će u prosjeku raditi 6 sati dnevno, dok se sva preostala potrošnja odnosi na istosmjerna trošila, ukupne snage 520 W, ili potrošnje od 10.080,00Wh.

Ukupnja potrošnja energije dana je izrazom:

$$W_{uk} = W_{DC} + \frac{W_{AC}}{\mu_{DC/AC}} = 10080 + \frac{6600}{0,93} = 17177 \text{ Wh/dan}$$

Gdje je:

W_{uk} - ukupna potrošnja električne energije [Wh / dan]

W_{AC} – potrošnja električne energije za AC trošila [Wh / dan]

W_{DC} – potrošnja električne energije za DC trošila [Wh / dan]

$\mu_{DC/AC}$ – korisnost izmjenjivača

4.2 Dimenzioniranje baterijske banke

Dimenzioniranje baterijske banke započinjemo sa izračunom minimalnog kapaciteta kojeg baterijska banka mora imati kako bi samostalno osigurala pokrivanje potrošnje tijekom vremena definiranog autonomijom od strane korisnika.

Iz navedenog slijedi izračun minimalnog kapaciteta baterijske banke dovoljne za pokrivanje vršne potrošnje električne energije tijekom vremenskog razdoblja

autonomije definiranog od strane investitora, uz podatak baterije da je DOD = 0.5 (dubina pražnjenja):

$$Q_{bat\ min} = \frac{W_{uk} \cdot A_{bat}}{V_{DC\ teret} \cdot DOD_{opt}} = \frac{17177 \cdot 2dana}{24 \cdot 0,5} = 2863\ Ah$$

Gdje je:

$Q_{bat\ min}$ - minimalni kapacitet baterijske banke [Ah]

A_{bat} - vremensko razdoblje autonomije

$V_{DC\ teret}$ - iznos napona napajanja DC trošila [V]

DOD_{opt} – dubina pražnjenja baterije

Navedenim je izračunima odabran baterijski članak proizvođača Rolls, model 4 KS 27 P, nazivnog kapaciteta 1460 Ah, odnosno pri C/20 1460 Ah pri struji 73 A (prilog 1), i to u seriju spojenih 4 članaka, sa 2 paralelne grane, što ukupno iznosi 8 baterijska članka. Razlog odabira slijedi iz jednostavne računice:

$$Q_{bat\ min} = 2863\ Ah \rightarrow \text{min. kapacitet baterijske banke}$$

$$73\ A\ (\text{po odabranom bat. članku}) \cdot 20h\ (C20) = 1460\ Ah = Q_{bat}$$

$$\text{Broj serija} = \frac{V_{DC\ teret}}{V_{ćelije}} = \frac{24V}{6V\ \text{po ćeliji}} = 4$$

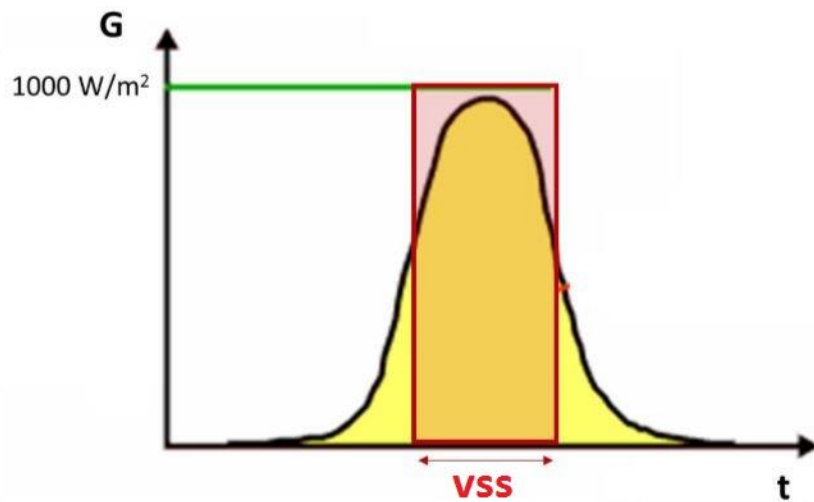
$$\text{Broj paralela} = \frac{Q_{bat\ min}}{Q_{bat}} = \frac{2863}{1460} \approx 2$$

Gdje je:

$V_{ćelije}$ - iznos napona po jednoj ćeliji [V]

4.3 Dimenzioniranje FN polja

U ovom je dijelu bitno objasniti konstantu vss koja znači – vršni sati Sunca ili na engleskom PSH (Peak Sun Hours). Ona se definira kao srednja dnevna insolacija koju bi lokacija prihvatila ako bi Sunce sijalo sa maksimalnom vrijednosti ($1kW/m^2$) tijekom određenog broja sati. Insolacija je energija sunčevog zračenja.



Slika, Objašnjenje pojma vss

Konstanta vss (vršni sati sunca) je odabrana iz tablice 2 i iznosi 1,58.

1,58 kWh/m²/dan = 1,58 vršnih sati Sunca.

Iz tablice je vidljivo da je odabrana najniža konstanta zbog toga jer se dimenzioniranje FN polja računa sa najgorim parametrima, tj. računamo za najgori mogući slučaj.

$$P_{dc} = \frac{W_{uk}}{vss \cdot f_{pv}} = \frac{17177}{1,58 \cdot 0,80} = 13589 W_p$$

Gdje je:

P_{dc} - snaga fotonaponskog sustava [W]

vss - vršni sati Sunca

Broj potrebnih fotonaponskih panela tada je:

$$N_{FN} = \frac{P_{dc}}{P_{panela}} = \frac{13589}{255} \approx 54 \text{ panela}$$

Gdje je:

N_{FN} - broj potrebnih fotonaponskih panela

P_{panela} - snaga jednog fotonaponskog panela

Odabrani fotonaponski paneli su paneli proizvođača Solvis, model SV60 255E, 255 W (prilog 2).

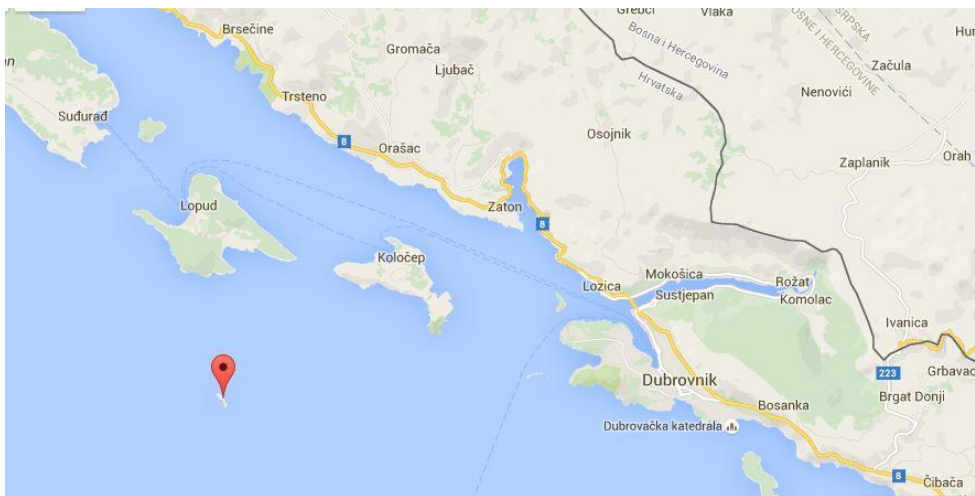
5 Dinamički proračun upotrebom programskog alata Homer Legacy

Dinamički proračun i optimizacija će se provesti upotrebom programskog alata Homer Legacy v2.68beta.

Programski alat Homer je snažan programski alat za dizajniranje, optimiziranje i ekonomsku analizu energetske sustava, uz naglasak na hibridne sustave.

Bitno je navesti da su svi troškovi uneseni u kunskoj valuti a pošto programski alat Homer nema opciju promjene valute, isti će rezultate na apscisama i ordinatama prikazivati u \$ mada su svi rezultati preračunati u kunama. (Hrvatska Kuna)

Zamišljena lokacija ovog projekta se nalazi na nenaseljenom otočiću Sveti Andrija kod Dubrovnika na lokaciji $42^{\circ} 38' 8'' N$ $17^{\circ} 57' 3'' E$.



Slika 7 Lokacija za izgradnju hibridnog autonomnog sustava napajanja

[izvor: google Maps, lipanj 2016.]



Slika 8 Slika otočića Sv. Andrija kod Dubrovnika

[izvor: google Maps, lipanj 2016.]

Pregledom slike zaključeno je, da je sa južne strane otočića bez opasnosti od zasjenjenja, dovoljno mjesta za instalaciju FN polja.

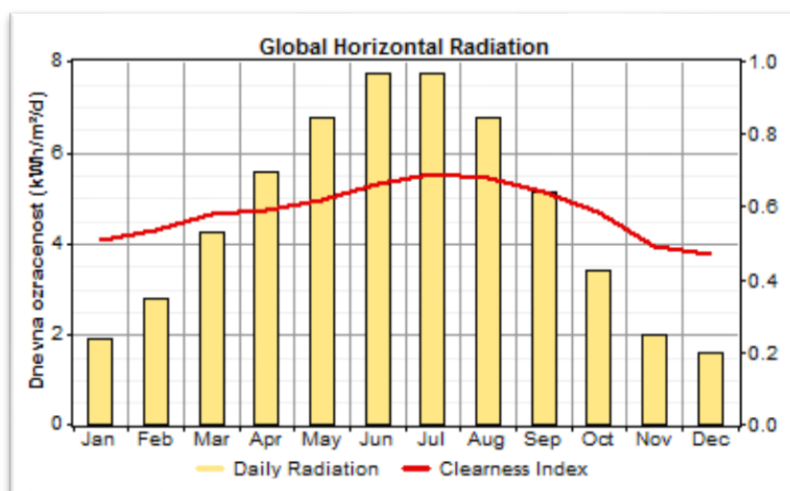
5.1 Meteorološki podaci

Programskim alatom Homer Legacy su dobiveni podaci za navedenu geografsku poziciju o prosječnoj dnevnoj ozračenosti:

| VRŠNI SATI SUNCA [$kWh/m^2 / dan$] | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| sij | velj | ožu | tra | svi | lip | srp | kol | ruj | lis | stu | pro |
| 1,92 | 2,78 | 4,23 | 5,58 | 6,77 | 7,72 | 7,75 | 6,77 | 5,14 | 3,42 | 2,01 | 1,58 |

Tablica 2 Vršni sati sunca

Godišnji prosjek dnevne ozračenosti iznosi 4.68 vršnih sati sunca.



Slika 9 Dnevna ozračenost za navedenu lokaciju

FN polje okrenuto je prema jugu, bez sustava praćenja i pod nagibom $43^{\circ}37'$. Po tzv. „pravilu palca“ (heuristike) odabire se nagib panela jednak geografskoj širini. To su iskustvene metode koje se primjenjuju kod statičkih proračuna i one su se gotovo u svim primjerima pokazale točne te se zbog toga redovito primjenjuju.

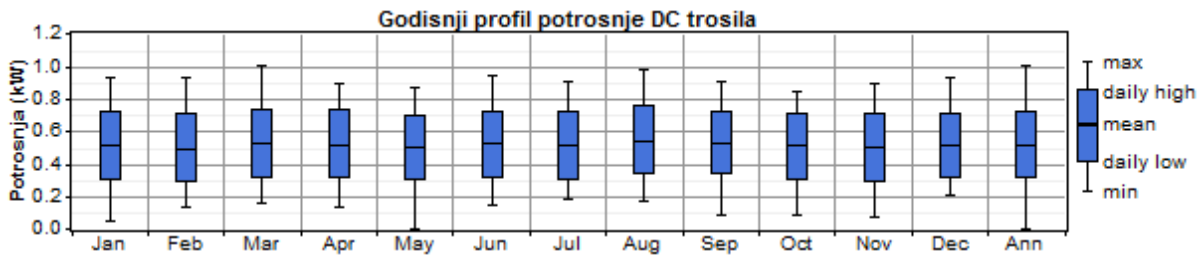
Inženjerske metode su opća inženjerske metode gdje je tipična upotreba heuristika (pravila palca), i projektantska metoda koju karakteriziraju identifikacija potreba i definiranje problema, usporedbena analiza sličnih proizvoda na tržištu, identifikacija svih vrsta ograničenja te utvrđivanje kriterija vrednovanja rješenja.

[3]

Iz službenih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, za navedenu geografsku poziciju 2015. godine, srednja godišnja brzina vjetra iznosila je 5.12 m/s na nadmorskoj visini od 10 m.

5.2 Podaci o trošilima

Istosmjerna trošila radnog napona 24 VDC snage 520 W rade bez prestanka, dok se izmjenično trošilo rashladni uređaj snage 1100 W pali samo u ljetnim mjesecima ili prema potrebi. Sljedećim je grafom prikazan godišnji profil potrošnje istosmjernih trošila 520 W po mjesecima:



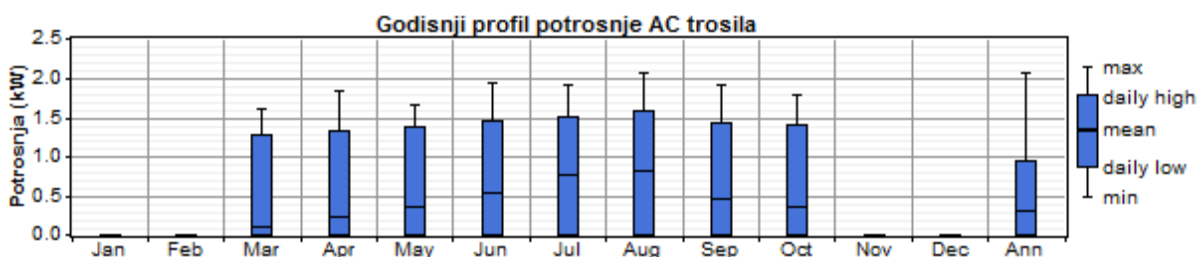
Slika 10 Godišnji profil potrošnje istosmjernih trošila

Sljedećom je tablicom prikazani broj radnih sati / dan za svaki mjesec za izmjenična trošila:

| RADNI SATI / DAN | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| sij | velj | ožu | tra | svi | lip | srp | kol | ruj | lis | stu | pro |
| 0 | 0 | 2 | 6 | 8 | 12 | 18 | 18 | 12 | 8 | 0 | 0 |

Tablica 3 Radni sati/dan za izmjenična trošila

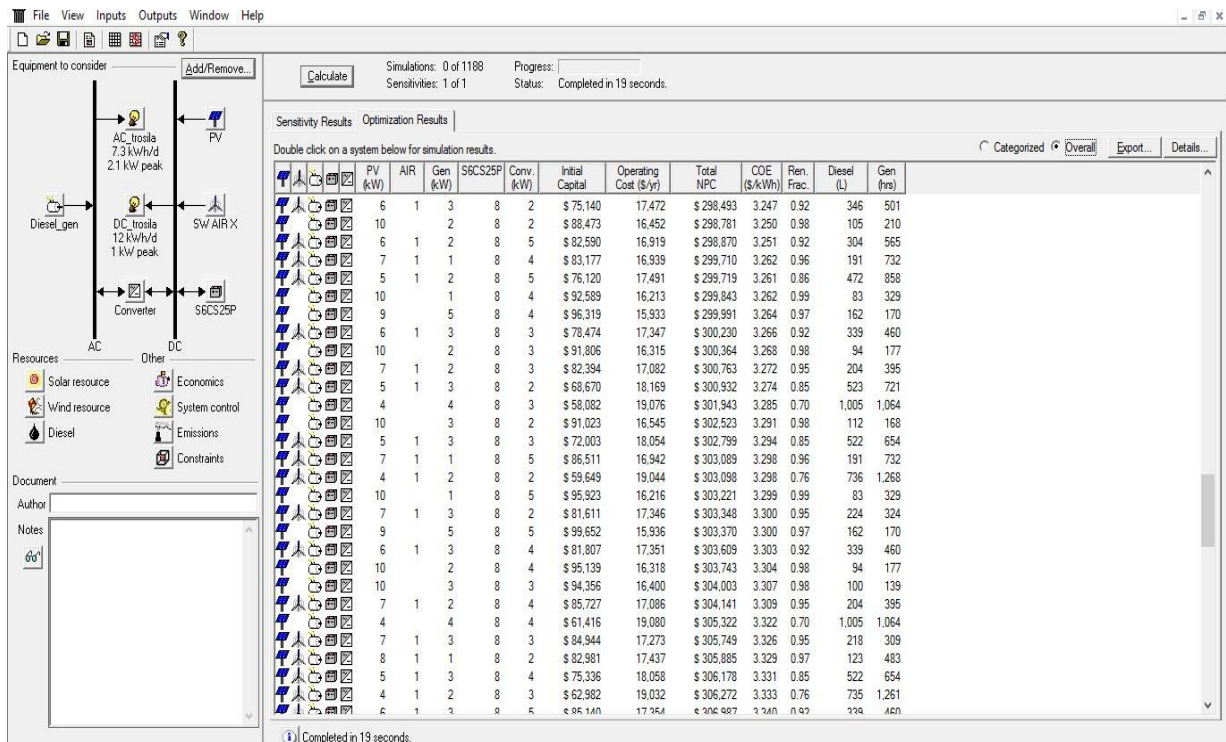
Sljedećim je grafom prikazan godišnji profil potrošnje izmjeničnih trošila 1100 W po mjesecima:



Slika 11 Godišnji profil potrošnje izmjeničnih trošila

5.3 Modeliranje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava programskim alatom Homer Legacy

Unosom svih potrebnih nazivnih podataka za opremu, potrošnju, troškove opreme i održavanja u programski paket Homer Legacy, dobije se čitav niz optimiziranih rezultata. Korisnik sam odabire najbolji rezultat koji mu odgovara s obzirom na konfiguraciju sustava te svih troškova.



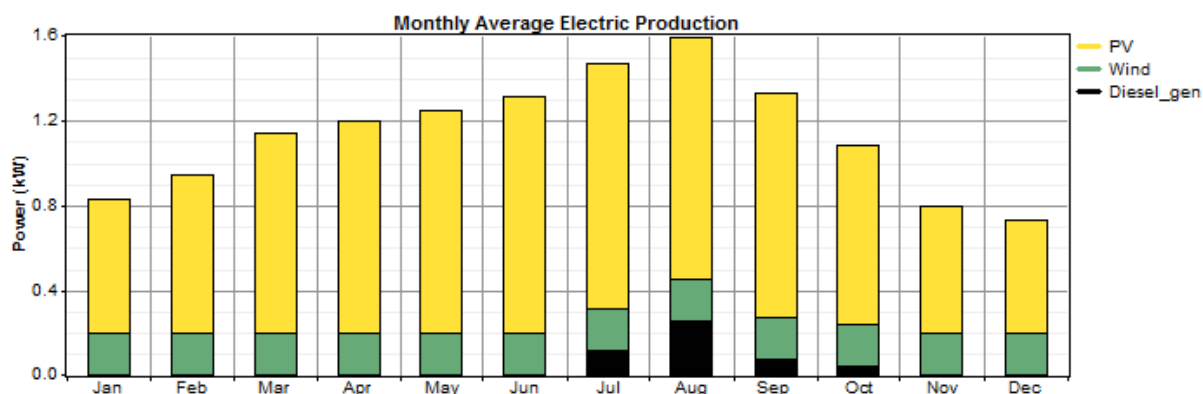
Slika 12 Niz optimiziranih rezultata dobivenih u Homer Legacy

Kao optimalno rješenje za ovaj sustav odabrano je sljedeće:

- 5 kW FN polje
- 1 kW vjetroagregat jačine 1 kW
- 1 kW diesel agregat
- 12 baterija (životni vijek procijenjen na 12 godina)
- 2 kW inverter

Sljedećim je grafom prikazana mjesečna proizvedena električna energija po komponentama sustava:

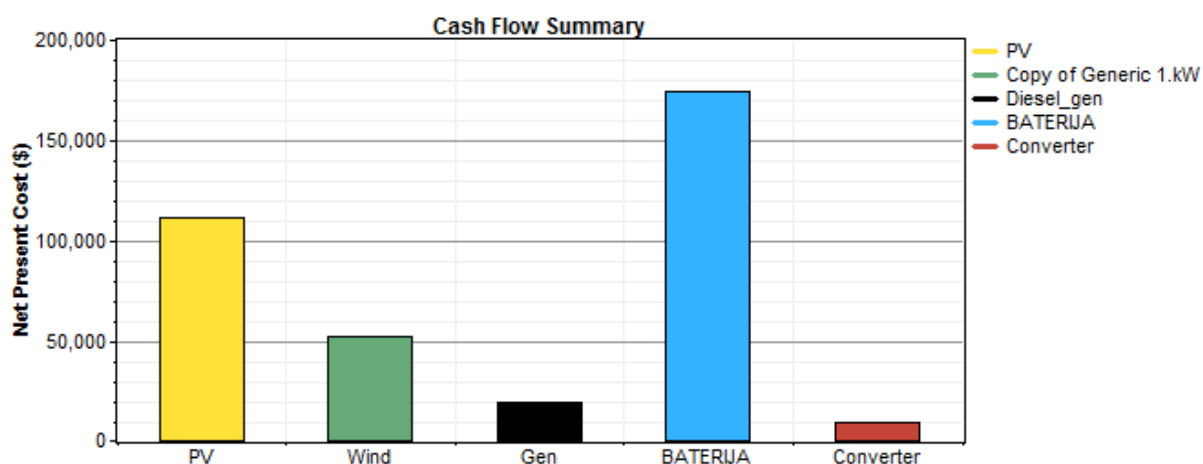
FN sustav – žuta boja, vjetroagregat – zelena boja i diesel agregat – crna boja



Slika 13 Mjesečno proizvedena električna energija

Sljedećim je grafom prikazana ukupna projekcija troškova za radni vijek od 25 godina, po komponentama sustava:

FN sustav – žuta boja, vjetroagregat – zelena boja i diesel agregat – crna boja, baterijska banka – plava boja, izmjenjivač – crvena boja



Slika 14 Projekcija troškova

U konačnom izračunu, operativni troškovi iznose 18.052,00 KN/god, gdje bi FN sustav proizveo 7.912,00 kWh/god (79 %), vjetroagregat 1.727,00 kWh/god (17 %) i diesel agregat 358 kWh/god (4 %), što ukupno iznosi 9.996,00 kWh/god (100 %). Iznos početne investicije iznosi 138.900,00 KN, a ukupni troškovi održavanja tijekom radnog vijeka od 25 godina iznose 231.895,00 KN ili 773,00 KN mjesečno, što se smatra prihvatljivim za investitora. U ukupne troškove održavanja uključeni su troškovi diesel goriva, troškovi preventivnih radnji održavanja (O&M engl. operating and maintenance), kao i troškovi zamjene

nakon predviđenog radnog vijeka, ali i likvidacijska vrijednost čime smo upotpunili konačni izračun ukupnih životnih troškova. (Tablica 5)

5.4 Troškovnik inicijalne investicije

| Komponenta | Jedinična cijena [KN] | Komada | Ukupna cijena [KN] |
|--|-----------------------|--------|---------------------|
| FN panel 1kW + paušal Solvis SV60E 255E | 6.470,00 | 5 | 32.350,00 |
| Baterijski članak Rolls 4 KS 27 P | 7.000,00 | 12 | 84.000,00 |
| Regulator punjenja Tristar MPPT | 3.840,00 | 1 | 3.840,00 |
| Izmjenjivač Victron Energy, model MultiPlus 24/3000/30 | 10.000,00 | 1 | 10.000,00 |
| Vjetroagregat +regulator punjenja Southwest Windpower sw air 1 kW | 10.000,00 | 1 | 10.000,00 |
| Diesel agregat 1 kW Boomaster DG1500 1 kW | 2.550,00 | 1 | 2.550,00 |
| UKUPNO: | | | 138.900,00KN |

Tablica 4 Troškovnik inicijalne investicije

5.5 Troškovnik održavanja za vremenski period od 25 godina

| | Jedinična cijena [KN] | Ukupna cijena [KN] |
|--|-----------------------|---------------------|
| Troškovi preventivnih radnji održavanja (O&M) | 162.309,00 | 162.309,00 |
| Troškovi zamjene nakon predviđenog radnog vijeka | 80.008,00 | 80.008,00 |
| Likvidacijska vrijednost | -24.654,00 | -24.654,00 |
| Diesel gorivo | 9 kn/l | 14.233,00 |
| UKUPNO: | | 231.895,00KN |

Tablica 5 Troškovnik održavanja za vremenski period od 25 godina

Bitno je napomenuti da je prosječna cijena diesel goriva podešena na 9 kn/l, a maksimalna godišnja potrošnja je dobivena 124 l/god.

5.6 Usporedba rezultata

Slijedi usporedba rezultata koji su dobiveni statičkim izračunom u odnosu na optimizirane rezultate koji su dobiveni dinamičkim izračunom programskim paketom Homer Legacy verzija 2.68 beta. Važno je napomenuti da se radi o istim trošilima za isti hibridni autonomni sustav napajanja.

| Komponenta | Statički proračun [komada] | Dinamički proračun - Homer [komada] | Razlika u cijeni |
|---|----------------------------|-------------------------------------|------------------|
| FN panel 255 W + paušal Solvis SV60E 255E | 54 | 20 | 54.978,00 |
| Baterijski članak Rolls S 4KS27P | 8 | 12 | -28.000,00 |
| Regulator punjenja | 1 | 1 | - |

| | | | |
|---|---|----------------|--------------------|
| Tristar MPPT, model TS-MPPT-60 , snage 1600 W | | | |
| Izmjenjivač Victron Energy, model MultiPlus 24/3000/30, snage 3000 W | 1 | 1 | - |
| Vjetroagregat + regulator punjenja Southwest Windpower sw air 1 kW | 1 | 1 | - |
| Diesel agregat 1 kW Boomaster DG1500 1 kW | 1 | 1 | - |
| | | UŠTEDA: | 26.978,00KN |

Tablica 6 Usporedba rezultata dobivenih statičkim i dinamičkim proračunom

Iz gornje je tablice jasno vidljiva razlika u cijeni FN panela koje smo dobili statičkim izračunom u odnosu na dinamički. Razlika od 32 panela za isti sustav napajanja spušta cijenu investicije za 54.978,00 KN. Bitno je napomenuti da broj baterijskih ćelija nije ostao isti, već se on dinamičkim izračunom povećao. Na osnovi te razlike troškovi početne investicije su se povećali za 28.000,00 kn, a ukupna ušteda je još uvijek ostala solidnih 26.978,00 kn. Na ovom je primjeru dokazano da optimizacija hibridnog autonomnog sustava napajanja programskim alatom Homer ujedno snižava i inicijalnu cijenu investicije, a samom optimizacijom u koju su uključeni vjetroagregat te diesel agregat, postizemo 100% autonomiju za predviđeni vremenski rok. Na prvi pogled dinamički proračun izgleda poddimenzionirano u odnosu na statički, ali treba uzeti u obzir da se radi o hibridnim autonomnim sustavima napajanja gdje su glavni izvori energije vremenski nepredvidljivi i upravo zbog toga je nužna rezerva u vidu vjetroagregata, diesel agregata te većeg kapaciteta baterijske banke, kako bi kroz cijelu godinu sustav napajanja ispravno izvršavao svoju namjenu.

6 Održavanje hibridnog autonomnog sustava za napajanje

Kao što je u prvom dijelu navedeno, održavanje je skup svih aktivnosti s ciljem osiguranja njegovog ispravnog rada. Samim održavanjem ovog hibridnog autonomnog sustava cilj nam je funkcionalnost i ispravnost u svim uvjetima rada. Upravo zbog tog razloga se opisuje održavanje kompletnog sustava u koji uključujemo sljedeće poslove.

- održavanje FN panela
- održavanje baterija
- održavanje vjetroagregata
- održavanje diesel agregata
- periodički pregledi hibridnog autonomnog sustava za napajanje
- otklanjanje uočenih nedostataka
- sustavno praćenje rada sustava
- termovizijski pregled panela i spojeva vodiča

6.1 Održavanje FN panela

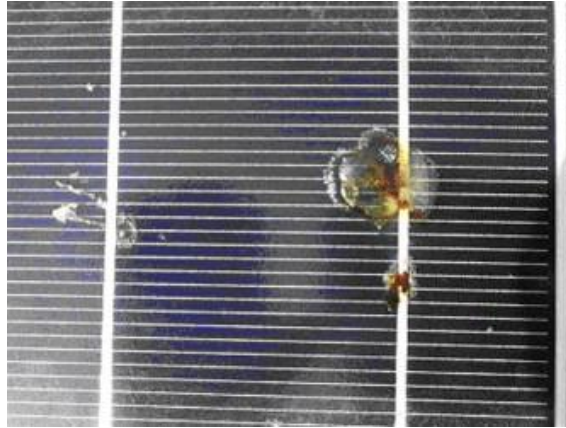
U usporedbi sa većinom drugih tehnologija koje stvaraju električnu energiju, solarne elektrane nisu prezahtjevne za održavanje i servisiranje, ali pravilno održavanje solarne elektrane osnova je za postizanje planiranog energetskeg prinosa i produljivanja životne dobi sustava.

Redovito preventivno održavanje smanjuje potrebu za neplaniranim održavanjem. Unatoč redovitom preventivnom održavanju, neispravnosti se u potpunosti ne mogu izbjeći.

Bez pravilnog čišćenja i održavanja paneli mogu smanjiti efikasnost do 15% na nezagađenim područjima, i do čak 25% na jako zagađenim područjima.

Pošto se navedeni FN paneli nalaze na otočiću usred Jadranskog mora, jasna je stvar da će održavanje tj. čišćenje biti prioritarna stvar upravo zbog soli koja se nakuplja na samim panelima i time smanjuje efikasnost panela, tj. kompletnog sustava. Osim soli koja će se vrlo vjerojatno skupljati na čitavom panelu, velike nam probleme može zadati i ptičji izmet koji se praktički ponaša kao da imamo sjenu na panelu koja je jako opasna za same ćelije gdje čak nerijetko može doći

i do pregrijavanja ćelije (engl. local hot spots), što zorno vidimo iz sljedeće slike. (slika 15)



Slika 15 Pregrijana zasjenjena ćelija

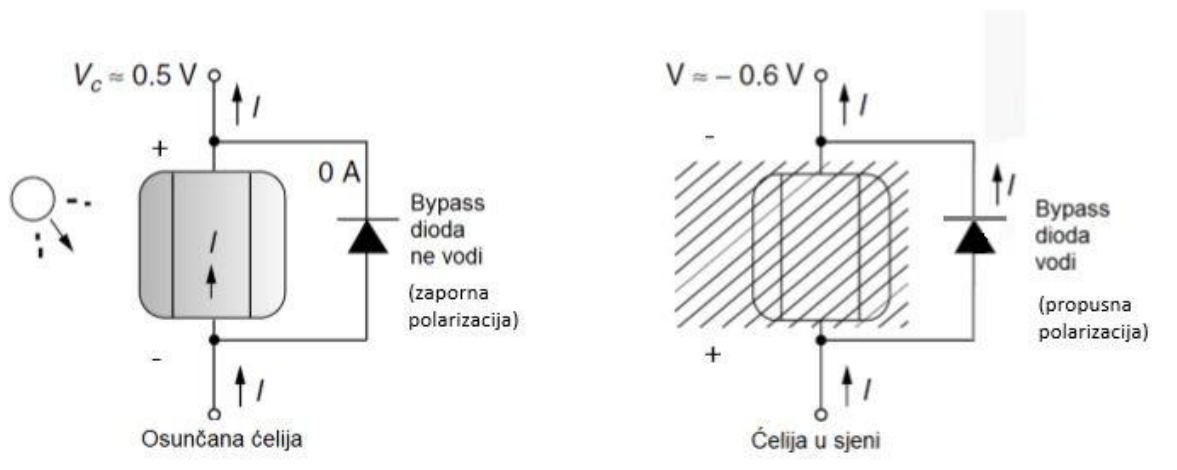
Razlog zagrijavanja ćelije je sljedeći:

- Modul je sastavljen od n-ćelija – svaka ćelija doprinosi naponu sa približno 0,5 V
- Pretpostavimo da je n-ta ćelija u potpunoj sjeni - zasjenjena ćelija postaje trošilo pa sa na njoj javlja pad napona i disipacija topline

Osim pregrijavanje ćelije, dolazi i do drastičnog pada snage cijelog panela, pa se zbog tog negativnog utjecaja zasjenjenja koriste prenosne diode (engl. bypass diode).

Razlozi korištenja prenosnih dioda:

- omogućuje “premošćivanje” zasjenjenih ćelija
- limitira pad napona na relativno niskih -0,6 V
- uz to, sprječava nastanak vrućih točaka



Slika 16 Prikaz prolaska struje kroz bypass diodu za osunčanu i ćeliju u sjeni

U praksi je nepraktično stavljati bypass diodu na svaku ćeliju, ali proizvođači obično stavljaju nekoliko dioda preko skupine ćelija.

6.2 Održavanje baterija

Kao prvo treba napomenuti da se kod solarnih sustava koriste klasične olovne baterije tipa VRLA (engl. valve regulated lead acid) koje su hermetički zatvorene. Samo u slučaju nekontroliranog punjenja ili kvara u samoj bateriji, kad se u kućištu može pojaviti plin, višak se ispušta kroz sigurnosni ventil.

U toj tehnologiji najčešće se pojavljuju dva tipa baterija - AGM (engl. Absorbent Glass Mat) i gel-baterije. U AGM - bateriji elektrolit je upijen u masu umreženih staklenih vlakana, dok je u gel - bateriji imobiliziran u želatinoznoj masi. To znači da u ovim baterijama nema bućkanja tekućeg elektrolita (kiselina) kao u običnom automobilskom akumulatoru.

Kada je riječ o održavanju baterija koje koristimo kod solarnih sustava najbitnija je stavka kontrola i mjerenje napona, kontrola temperature prostora u kojem se baterije nalaze te vizualni pregled baterija.

Mjerenje napona baterija provodi se bez opterećenja prema sljedećoj tablici.

| Nazivni napon baterije | 12 | 24 | 48 |
|---|----------------|------------------|----------------|
| Baterija napunjena 100 %, 2 sata nakon punjenja | 12,8 V - 13 V | 25,6 V - 26 V | 51,2 V - 52 V |
| Baterija napunjena 50 % | 12,3 V | 24,6 V | 49,2 V |
| Potpuno ispražnjena baterija | 11,7 V | 23,4 V | 46, 8 V |
| Napon punjenja | 14,2 V -14,4 V | 28,4 V - 28, 8 V | 56, 8 V - 58 V |

Tablica 7 Normalne vrijednosti napona na ispravnim baterijama

6.3 Održavanje vjetroagregata

Svaki vjetroagregat prate aktivnosti bez kojih nije moguće zamisliti njegov rad:

- Daljinsko upravljanje vjetroagregata
- Servisiranje i održavanje vjetroagregata, kako planirano, preventivno tako i neplanirano, korektivno održavanje, te
- Ispоруka rezervnih dijelova

Planirano održavanje vjetroagregata obavlja se uvijek u razdobljima u kojima će zaustavljanje vjetroagregata vlasniku vjetroelektrane uzrokovati najmanji gubitak proizvodnje.

Za vjetroagregate redovito održavanje je ovisno o tome jesu li turbine starije, manje, novije ili veće. Za starije manje turbine redovito održavanje je predviđeno u intervalima od tri do šest mjeseci, dok je za novije veće turbine taj period nešto dulji, odnosno svakih pola godine do godinu dana. Za održavanje se može brinuti vlasnik ili najčešće se potpisuje ugovor na 5 godina s proizvođačem u kojemu on preuzima potpuno održavanje. Također jedan od načina je vlastito održavanje, dok se za veće zahvate iznajmljuju vanjski neovisni servisi.

Redovito održavanje podrazumijeva sljedeće zahvate:

- Analiza vibracija
- Analiza ulja

- kontrola curenja ulja na prijenosniku snage, uljnoj crpki, filterima, crijevima
- nadzor na prijenosniku snage
- kontrola nivoa ulja u prijenosniku snage
- mijenjanje ulja
- zamjena filter elemenata (zračni filtri, uljni filtri)
- kontrola hlađenja ulja

6.3.1 Analiza vibracija

Analiza vibracija je najraširenija, dobro poznata, tehnologija za rotirajuće elemente praćene sustavom održavanja. Također je i najučinkovitija metoda za rano otkrivanje i predviđanje kvarova u mehaničkoj opremi.

Koriste se senzori položaja, brzine i akcelerometri koji se smještaju na određenim elementima i njihovim sustavima elektrane, kao što su osovine, ležajevi, prijenosnici i lopatice.

6.3.2 Analiza ulja

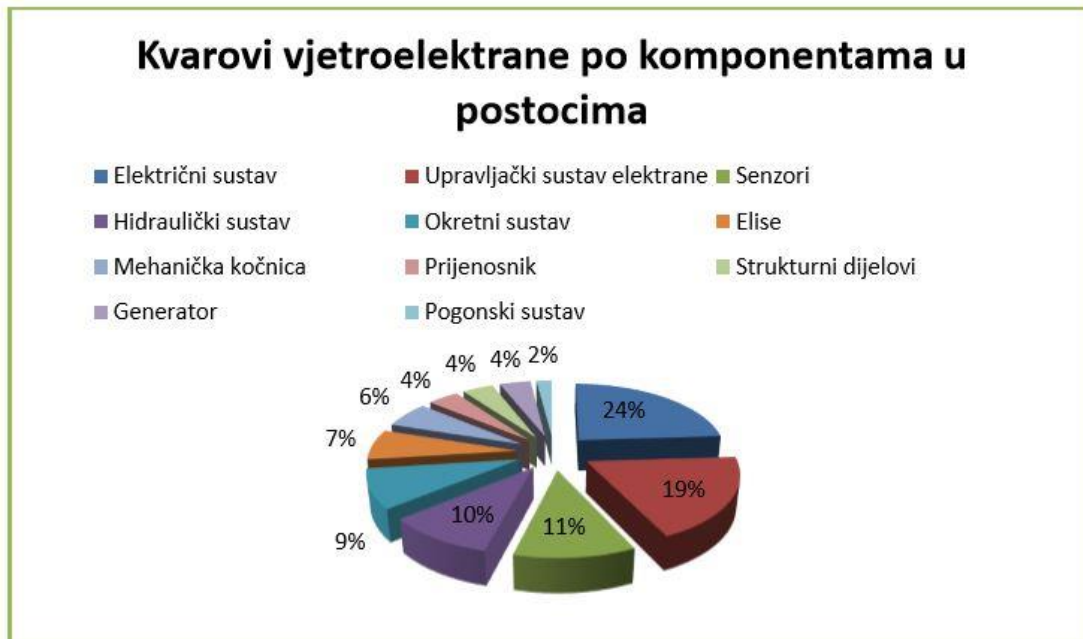
80% problema u prijenosniku može se pripisati ležajevima koji postupno vode oštećenju zupčanika a razlog je loše ulje ili premalo ulja.

Iako je analiza ulja jedina metoda za određivanje krhotina u prijenosniku ta metoda ima dva ograničenja. Prva je visoka cijena praćenja za vrijeme rada, a druga je nemogućnost praćenja kvarova izvan prijenosnika. [7]

6.3.3 Praćenje temperature

Kod vjetroelektrana, najčešće se prati temperatura ležajeva, ulja, namota generatora, itd. Na osnovu temperature kvarovi se mogu relativno lako otkriti, jer svaki element ima ograničenja temperature, odnosno temperaturno područje u kojem je dozvoljen rad.

Također okolni elementi mogu utjecati na temperaturu promatranog elementa što umanjuje kvalitetu ove vrste praćenja, odnosno nije pametno koristiti praćenje temperature kao primarni izvor informacija za održavanje sustava.



Slika 17 Kvarovi vjetroelektrane po komponentama u postocima

6.4 Održavanje diesel agregata

Održavanje diesel agregata se provodi u nekoliko točaka od kojih se posebno opisuju sljedeći pregledi i kontrole.

6.4.1 Pregled i servis diesel motora

- vizualni pregled agregata
- zamjena ulja u diesel motoru
- zamjena rashladne tekućine u sistemu hlađenja (za motore s vodenim hlađenjem) (svake 2 godine)
- zamjena filtera ulja i goriva
- pregled i podešavanje klinastih remena za pogon ventilatora
- pregled i čišćenje ili zamjena filtera zraka
- kontrola i pregled elektropokretača (četkice, kolektor itd.)

6.4.2 Pregled i servis generatora

- pregled elastične spojke između diesel motora i generatora

- pregled i po potrebi zamjena četkica generatora ili kontrola rotirajućeg ispravljača
- poliranje kliznih prstenova
- podmazivanje ležajeva

6.4.3 Pregled i servis rasklopnog ormara s pripadajućom upravljačkom automatizacijom

- pregled i ispitivanje funkcionalnosti svih mjernih podsklopova
- kontrola rada ventilatora prostorije i pokretnih žaluzina na sistemu dovoda i odvoda zraka
- ispitivanje funkcionalnosti upravljačke automatike u svim režimima rada
- simuliranje i ispitivanje svih vitalnih alarma
- ispitivanje pod raspoloživim opterećenjem u trajanju 1 sat.

6.5 Plan održavanja hibridnog autonomnog sustava napajanja

| | Opis preventivnog održavanja | Vremenski period | Predviđeno vrijeme rada |
|----------------------------------|---|------------------|-------------------------|
| FN paneli | Čišćenje panela od prljavštine | 2 tjedna | 120 min |
| | Kontrola spojnih mjesta | 1 mjesec | 60 min |
| Baterijska banka | Mjerenje napona baterijske ćelije prema tablici 7 | 6 mjeseci | 30 min |
| | Vizualni pregled baterije | 6 mjeseci | 10 min |
| Vjetroagregat | Kontrola ulja u prijenosniku | 1 mjesec | 30 min |
| | Zamjena ulja i filtera u prijenosniku | 6 mjeseci | 120 min |
| | Analiza vibracija | 1 mjesec | 60 min |
| | Kontrola hlađenja ulja | 1 mjesec | 30 min |
| Diesel agregat | Doprema diesel goriva | 2 tjedna | 30 min |
| | Kontrola ulja | 1 mjesec | 10 min |
| | Zamjena ulja i filtera | 12 mjeseci | 60 min |
| | Kontrola elastične spojke | 6 mjeseci | 30 min |
| | Mjerenje napona i struje pod opterećenjem | 6 mjeseci | 30 min |
| | Kontrola elektropokretača | 6 mjeseci | 30 min |
| Izmjenjivač i regulator punjenja | Pokretanje test programa | 6 mjeseci | 30 min |

Tablica 8 Plansko održavanje hibridnog autonomnog sustava napajanja

7 Zaključak

Zadatak ovog rada bio je pokazati jedan od načina kako projektirati, optimizirati i održavati hibridni autonomni sustav napajanja, upotrebom jednog od alata koji u današnje vrijeme tehnologija i informacija stoji na raspolaganju. Pokazano je da se statičkim proračunom mogu na jednostavan način izračunati približne vrijednosti fotonaponskog sustava ali da je za potpunu autonomiju i funkcionalnost zamišljenog sustava potrebna optimizacija iz razloga nepredvidljivosti resursa. Sama optimizacija sustava kod obnovljivih izvora energije je povezana sa smanjenjem troškova inicijalne investicije a ujedno i povećanjem autonomnosti i stabilnosti sustava. Dodavanjem dobro isplaniranog preventivnog održavanja dobiva se održavano - optimizirani sustav napajanja koji će sigurno ispunjavati sve zahtjeve u svim režimima rada.

U programsku simulaciju uključeni su i troškovi preventivnih radnji održavanja (O&M engl. operating and maintenance), kao i troškovi zamjene nakon predviđenog radnog vijeka, ali i likvidacijska vrijednost čime je upotpunjen konačni izračun ukupnih životnih troškova te je utvrđeno njegovo podudaranje sa prethodnim izračunom.

Ujedno se i zaključuje da svakom komercijalnom rješenju ovog tipa treba pristupiti kao rješavanju inženjerskog problema projektantskim metodama, a ne inženjerskim koje odlikuje korištenje heuristika (pravila palca), što je potvrđeno proračunom i usporedbom potrebnih komponenata autonomnog hibridnog sustava napajanja dobivenih statičkim proračunom, odnosno, simulacijom u namjenskom programskom alatu.

U Varaždinu, dana _____

(POTPIS)

8 Literatura

- [1] KONDIĆ Ž., ČIKIĆ A., KONDIĆ V., Osnove održavanja mehatroničkih sustava 1, *Visoka tehnička škola u Bjelovaru*, Bjelovar, 2013.
- [2] KONDIĆ Ž., SAMARDŽIĆ I., MAGLIĆ L., ČIKIĆ A., Pouzdanost industrijskih postrojenja, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, Slavonski Brod, 2011.
- [3] FLEGAR I., Osnove projektiranja električkih uređaja, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [4] Internet izvori:
https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/20_12_2011_13552_1_Uvod_u_odrzavanje_opreme.pdf dostupno 15. Lipnja 2016.
- [5] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Odr%C5%BEavanje>, dostupno 15. Lipnja 2016.
- [6] MEŠTROVIĆ Z., Obnovljivi izvori energije, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [7] Radovi na konferenciji: TOPIĆ D., VEZMAR S., LAJOS J. Održavanje vjetroelektrane na temelju promatranja stanja sustava, Travanj 2015.
https://www.researchgate.net/publication/275041001_Odrzavanje_vjetroelektrane_na_temelju_promatranja_stanja_sustava, dostupno 15.lipnja 2016.
- [8] <http://hrote.hr/default.aspx?id=132>, dostupno 15.lipnja 2016.
- [9] Časopis majstor: Mali fotonaponski sustavi: Tajne moćnih baterija, br. 9-10/13, Rujanj 2013., str. 1-8.
- [10] <http://hrote.hr/default.aspx?id=132> , dostupno 15.Lipnja 2016.

9 Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1 Pitanja za potpuno definiranu tehnologiju održavanja [2] | 4 |
| Slika 2 Princip rada FN ćelije spojene na trošilo | 8 |
| Slika 3 Efikasnost raznih tehnologija | 8 |
| Slika 4 Vjetroagregat sa označenim dijelovima | 9 |
| Slika 5 Sastavni dijelovi gondole | 10 |
| Slika 6 Dijagram toka dimenzioniranja FN sustava | 11 |
| Slika 7 Lokacija za izgradnju hibridnog autonomnog sustava napajanja | 16 |
| Slika 8 Slika otočića Sv. Andrija kod Dubrovnika | 17 |
| Slika 9 Dnevna ozračenost za navedenu lokaciju | 18 |
| Slika 10 Godišnji profil potrošnje istosmjernih trošila | 19 |
| Slika 11 Godišnji profil potrošnje izmjeničnih trošila | 19 |
| Slika 12 Niz optimiziranih rezultata dobivenih u Homer Legacy | 20 |
| Slika 13 Mjesečno proizvedena električna energija | 21 |
| Slika 14 Projekcija troškova | 21 |
| Slika 15 Pregrijana zasjenjena ćelija | 26 |
| Slika 16 Prikaz prolaska struje kroz bypass diodu za osunčanu i ćeliju u sjeni ... | 27 |
| Slika 17 Kvarovi vjetroelektrane po komponentama u postocima | 30 |

10 Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1 Profil potrošnje radarske postaje | 11 |
| Tablica 2 Vršni sati sunca | 17 |
| Tablica 3 Radni sati/dan za izmjenična trošila | 19 |
| Tablica 4 Troškovnik inicijalne investicije | 22 |
| Tablica 5 Troškovnik održavanja za vremenski period od 25 godina | 23 |
| Tablica 6 Usporedba rezultata dobivenih statičkim i dinamičkim proračunom | 24 |
| Tablica 7 Normalne vrijednosti napona na ispravnim baterijama | 28 |
| Tablica 8 Plansko održavanje hibridnog autonomnog sustava napajanja | 32 |

11 Prilozi

11.1 Prilog 1



4 KS 27P

4 VOLTS



| | | | | |
|--------------------|---|-------------|--------|---------------|
| CONTAINER: (INNER) | Polypropylene | WEIGHT DRY: | 113 kg | 249 Lbs. |
| COVER: (INNER) | Polypropylene - heat sealed to inner container | WEIGHT WET: | 154 kg | 339 Lbs. |
| CONTAINER: (OUTER) | High Density Polyethylene | LENGTH: | 400 mm | 15 3/4 Inches |
| COVER: (OUTER) | High Density Polyethylene snap fit to outer container | WIDTH: | 270 mm | 10 5/8 Inches |
| TERMINALS: | Flag with stainless steel nuts & bolts | HEIGHT: | 629 mm | 24 3/4 Inches |
| HANDLES: | Molded | | | |

| | | |
|---|---------|---------------|
| PLATE HEIGHT: | 432 mm | 17.000 Inches |
| PLATE WIDTH: | 143 mm | 5.625 Inches |
| THICKNESS (POSITIVE): | 6.99 mm | 0.275 Inches |
| THICKNESS (NEGATIVE): | 4.57 mm | 0.180 Inches |
| POSITIVE PLATE DOUBLE WRAPPED WITH SLYVER | | |
| ENVELOPED WITH HEAVY DUTY SEPARATOR | | |



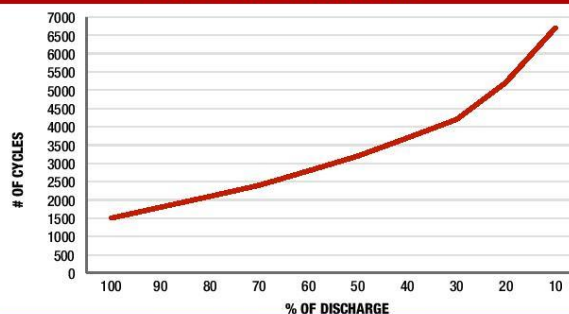
| | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------|
| CELLS: | 27 Plates/Cell | 2 Cell |
| SEPARATOR THICKNESS: | 3 mm | 0.105 Inches |
| GLASS MAT INSULATION: | 1 mm | 0.020 Inches |
| ELECTROLYTE RESERVE: ABOVE PLATES | 95 mm | 3.75 Inches |

| | | |
|------------------------------|---------------|--------------|
| COLD CRANK AMPS (CCA): | 0°F / -17.8°C | 4023 |
| MARINE CRANK AMPS (MCA): | 32°F / 0°C | 5030 |
| RESERVE CAPACITY (RC @ 25A): | | 4648 Minutes |

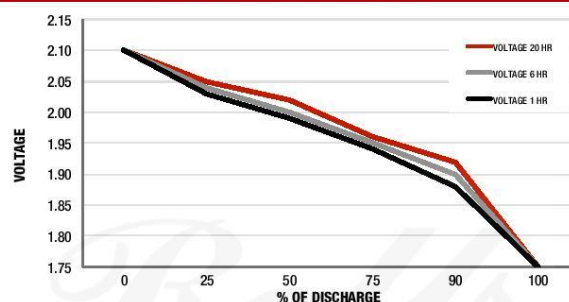
CAPACITY 1460 AH

| HOUR RATE: | SPECIFIC GRAVITY | CAPACITY / AMP HOUR | CURRENT / AMPS |
|-----------------|------------------|---------------------|----------------|
| @ 100 HOUR RATE | 1.280 | 2059 | 20.59 |
| @ 72 HOUR RATE | 1.280 | 1942 | 26.97 |
| @ 50 HOUR RATE | 1.280 | 1796 | 35.92 |
| @ 24 HOUR RATE | 1.280 | 1518 | 63.27 |
| @ 20 HOUR RATE | 1.280 | 1460 | 73.00 |
| @ 15 HOUR RATE | 1.280 | 1358 | 90.52 |
| @ 12 HOUR RATE | 1.280 | 1270 | 105.85 |
| @ 10 HOUR RATE | 1.280 | 1212 | 121.18 |
| @ 8 HOUR RATE | 1.280 | 1139 | 142.35 |
| @ 6 HOUR RATE | 1.280 | 1037 | 172.77 |
| @ 5 HOUR RATE | 1.280 | 978 | 195.64 |
| @ 4 HOUR RATE | 1.280 | 905 | 226.30 |
| @ 3 HOUR RATE | 1.280 | 818 | 272.53 |
| @ 2 HOUR RATE | 1.280 | 701 | 350.40 |
| @ 1 HOUR RATE | 1.280 | 496 | 496.40 |

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



Amphere Hour capacity ratings based on specific gravities of 1.280. Reduce capacities 5% for 1.265 specific gravity and 10% for specific gravities of 1.250

WWW.ROLLSBATTERY.COM

SURRETTE BATTERY COMPANY 1 STATION RD SPRINGHILL, NS CANADA B0M 1X0

SPEC 01

1/1/2014 REV. 1

11.2 Prilog 2



MODEL SV60 E



-  Premium kvaliteta
-  Raspon izlazne snage
255 - 270 Wp
-  100% EL testing
-  Mehaničko
opterećenje do 5400 Pa
-  Mala težina
-  Efikasnost modula
do 16,50 %
-  Pozitivna tolerancija
izlazne snage -0/+4,9 W
-  Proizvedeni u Hrvatskoj
-  IEC EN 61215 certificiran
-  IEC EN 61730-1 certificiran
-  IEC EN 61730-2 certificiran

Jamstva:

- 10** godina, proizvođačko jamstvo
- 12** godina na 90% izlazne snage
- 25** godina na 80% izlazne snage



| Vrijednosti parametara pri standardnim testnim uvjetima (STC) | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| MODEL | SV60-255 E | SV60-260 E | SV60-265 E | SV60-270 E |
| Vršna snaga P_{MPP} [W] | 255 | 260 | 265 | 270 |
| Dozvoljeno odstupanje [W] | -0/+4,9 | | | |
| Struja kratkog spoja I_{SC} [A] | 8,77 | 8,83 | 8,85 | 8,91 |
| Napon praznog hoda U_{OC} [V] | 37,9 | 38,4 | 38,5 | 39,0 |
| Nazivna struja I_{MPP} [A] | 8,34 | 8,44 | 8,48 | 8,57 |
| Nazivni napon U_{MPP} [V] | 30,8 | 31,1 | 31,3 | 31,6 |
| Dozvoljeno odstupanje napona i struje [%] | ± 3 | | | |
| Efikasnost modula [%] | 15,58 | 15,88 | 16,19 | 16,50 |

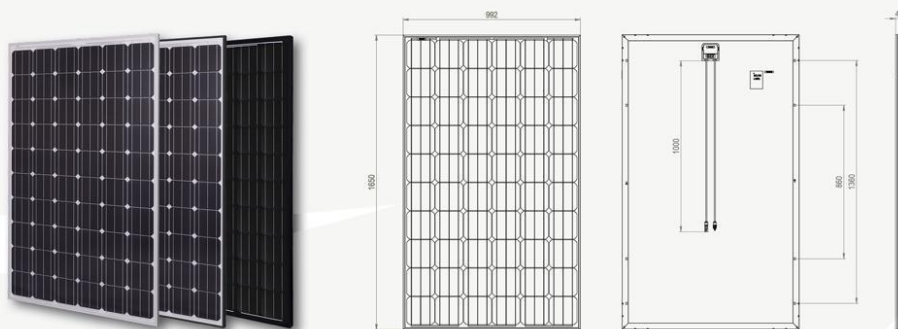
STC: 1000W/m² ozračenje, 25 °C temperatura ćelije, AM1,5 g optička masa zraka prema normi EN 60904-3
 Prosječni pad učinkovitosti od 3,8 % pri izolaciji od 200 W/m² prema normi EN 60904-1

| Vrijednosti parametara u točki NOCT | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| MODEL | SV60-255 E | SV60-260 E | SV60-265 E | SV60-270 E |
| Vršna snaga P_{MPP} [W] | 186,2 | 190,4 | 192,5 | 196,3 |
| Dozvoljeno odstupanje [W] | -0/+4,9 | | | |
| Struja kratkog spoja I_{SC} [A] | 7,05 | 7,09 | 7,11 | 7,16 |
| Napon praznog hoda U_{OC} [V] | 35,0 | 35,4 | 35,5 | 36,0 |
| Nazivna struja I_{MPP} [A] | 6,60 | 6,68 | 6,71 | 6,78 |
| Nazivni napon U_{MPP} [V] | 28,2 | 28,5 | 28,6 | 28,9 |

NOCT: module operating parameters at 800 W/m² irradiance, 20 °C ambient temperature, 1 m/s wind speed

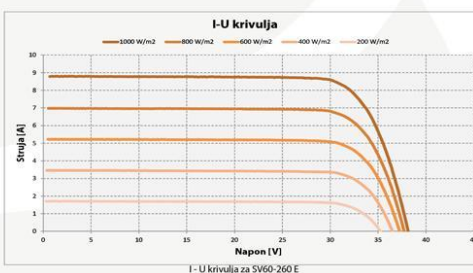
| MECHANICAL DATA | |
|----------------------------|---|
| Dimenzije (V x S x D) [mm] | 1650 x 992 x 40 |
| Masa [kg] | 18,7 |
| Broj i vrsta ćelija | 60 ćelija, monokristalični Si, 156 x 156 mm |
| Enkapsulacija ćelija | Etilen-vinil acetat(EVA) |
| Staklo | 3,2 mm kaljeno sunčano staklo |
| Pozadina | Višeslojna poliesterska folija |
| Okvir | Okvir od anodiziranog aluminija s dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu |
| Priključna kutija | IP67 s 3 Bypass diode |
| Priključni kablovi | Kabel 4mm ² , dužine 1000mm, MC4 kompatibilne priključnice |

NAPOMENA: Za verzije modula SV60 E YYY, naponi i struja mogu varirati ovisno o odabranoj varijanti YYY (YYY = slovo(a)), R za AR premaz stakla, F za crni okvir, B za srebrni okvir i crnu poliestersku foliju, BC za crni okvir i crnu poliestersku foliju



| RADNI UVJETI | |
|--|---------------------------------------|
| Temperaturno područje [°C] | -40 to +85 |
| Maksimalni napon sustava [V] | 1000 |
| Najveća dopuštena prekidna struja osigurača po nizu fotonaponskih modula | 13A |
| Najveća dopuštena reverzna struja | 13A |
| Maksimalno opterećenje | Ispitano do 5400 Pa |
| Otpornost na udar | Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s |

| TEMPERATURNNA SVOJSTVA | |
|--|-------|
| Temperaturni koeficijent snage P_{MPP} [%/K] | -0,42 |
| Temperaturni koeficijent struje I_{SC} [%/K] | 0,05 |
| Temperaturni koeficijent napona U_{OC} [%/K] | -0,33 |



I - U krivulja za SV60-260 E





IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Tomislav Polanec (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Održavanje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava napajanja programskim alatom Homer Energy (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Tomislav Polanec
(*vlastoručni potpis*)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Tomislav Polanec (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~a~~ s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Održavanje i optimizacija hibridnog autonomnog sustava napajanja programskim alatom Homer Energy (*upisati naslov*) čiji sam autor/~~ica~~.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Tomislav Polanec
(*vlastoručni potpis*)