

Off Grid napajanje hidrometeoroloških stanica u sistemu za prikupljanje i monitoring meteoroloških podataka duž reka Dunav i Sava u Republici Srbiji

Željko V. Despotović, Marko Tajdić, Marko Ristić, Marko Batić

Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu

Rezime – U radu je dat prikaz *Off-Grid* napajanja hidrometeoroloških stanica (HMS) u sistemu za prikupljanje i praćenje meteoroloških podataka duž plovnog puta reka Dunav i Sava na teritoriji Republike Srbije. *Off-grid* napajanje je u osnovi bazirano na fotonaponskom panelu snage 415W, bateriji 12Vdc/265Ah i odgovarajućem kontroleru punjenja sa implementiranom funkcijom praćenja tačke maksimalne snage fotonaponskog panela (MPPT kontrola). Potrošači u sistemu za prikupljanje i praćenje meteoroloških podataka su: meteorološka stanica sa pripadajućim senzorima (smer i brzina vetra, temperatura vazduha, relativna vlažnost, vazdušni pritisak i količina padavina), senzor vidljivosti, senzori pritiska i temperature vode u reci, komunikacioni interfejs sa uređajem za detekciju i merenje prisustva i karakteristika rečnih talasa (plutajuća bova), PLC kontroler kao koncentrator podataka i ostali telekomunikacioni uređaji za komunikaciju sa nadzornim komandnim centrima. Napajanje električnom energijom sistema HMS obezbeđuje pouzdano i besprekidno napajanje pomenute merne i komunikacione opreme u širokom opsegu temperatura okoline (-40°C do $+60^{\circ}\text{C}$), pri nepovoljnim vremenskim uslovima, atmosferskim uticajima (kiša, sneg, vlaga) kao i uticajima atmosferskih praznjenja koja su veoma učestala duž pomenutih rečnih tokova. Stoga je u radu dodatno istaknuta uloga i načini realizacije kako primarne zaštite oda atmosferskih praznjenja (udara groma), tako i sistema sekundarne prenaponske zaštite merne i telekomunikacione opreme.

KLjučne reči - Hidrometeorološke stanice, *Off-grid* napajanje, baterija, MPPT kontroler, zaštita od udara groma, prenaponska zaštita

I UVOD

Hidrometeorološke stanice su objekti na otvorenom koji su opremljeni raznim instrumentima i mernom opremom za merenje atmosferskih uslova, uključujući temperaturu, vlažnost, brzinu vetra i padavine. Pored toga, one prikupljaju podatke o parametrima vezanim za vodu, kao što su nivoi reka, kvalitet vode i vlažnost zemljišta. Ove stanice su strateški postavljene u različitim regionima kako bi se obezbedila sveobuhvatna pokrivenost i osiguralo tačno prikupljanje podataka [1-4].

Hidrometeorološke stanice su neophodne za praćenje vremenskih okvira, predviđanje prirodnih katastrofa i efikasno upravljanje vodnim resursima. Podatke prikupljene sa ovih stanica koriste meteorolozi, hidrolozi i drugi stručnjaci za analizu trendova,

pravljenje prognoza i razvoj strategija za ublažavanje potencijalnih rizika povezanih sa ekstremnim vremenskim događajima ili nestašicom vode [5-6].

Instrumenti instalirani u hidrometeorološkoj stanici (HMS) su pažljivo kalibrisani kako bi se obezbedila precizna merenja. Neki od uobičajenih uređaja koji se nalaze u ovim stanicama uključuju anemometre za merenje brzine vetra, kišomer za prikupljanje podataka o padavinama, barometre za praćenje atmosferskog pritiska i higrometre za praćenje nivoa vlažnosti. Pored ovih osnovnih instrumenata, moderne hidrometeorološke stanice mogu takođe imati napredne senzore i sisteme za evidentiranje podataka za praćenje i analizu u realnom vremenu.

HMS radi tako što kontinualno prikuplja podatke sa različitih senzora i instrumenata, koji se zatim obrađuju i čuvaju za dalju analizu. Prikupljeni podaci uključuju parametre kao što su temperatura, vlažnost, brzina vetra, padavine, nivoi reka i sadržaj vlažnosti zemljišta. Ove informacije su ključne za razumevanje lokalnih vremenskih promena i ciklusa vodostaja, što je neophodno za donošenje informacionih odluka u vezi sa poljoprivrednim praksama, upravljanjem vodama i povećanja gotovosti i spremnosti za katastrofe.

Podaci koje prikuplja HMS obično se prenose u centralnu bazu podataka ili centar za praćenje, posredstvom žičnih ili bežičnih komunikacionih tehnologija. Ovo omogućava meteorolozima i hidrolozima pristup podacima u realnom vremenu i obavljanje analiza kako bi generisali vremenske prognoze, hidrološke modele i procene rizika.

U mnogim slučajevima, hidrometeorološke stanice su deo veće mreže koja služi za prikupljanje i deljenje podataka na regionalnom ili nacionalnom nivou. Ovaj umreženi pristup omogućava sveobuhvatnije praćenje vremenskih i vodnih uslova, što je neophodno za predviđanje prirodnih katastrofa kao što su poplave, suše i oluje [7-8].

Hidrometeorološke stanice igraju ključnu ulogu u praćenju vremenskih okvira i parametara vezanih za vodu, pružajući korisne podatke za širok spektar primena. Neke od ključnih prednosti ovih stanica uključuju [9-11]:

- Prognoza vremena: Podaci koje prikupljaju HMS stanice su neophodni za generisanje tačnih vremenskih prognoza, koje koriste pojedinci, preduzeća i vladine agencije za planiranje aktivnosti, upravljanje resursima i reagovanje na vanredne situacije vezane za vremenske uslove.

- Upravljanje vodama: HMS pružaju ključne informacije o nivoima vode, padavinama i vlažnosti zemljišta, što je neophodno za efikasno upravljanje vodnim resursima. Ovi podaci se koriste za procenu dostupnosti vode, praćenje u uslovima suše i planiranje strategija za ublažavanje poplava.
- Pripremljenost za katastrofe: Praćenjem vremenskih okvira i vodnih uslov, HMS igraju ključnu ulogu u pripremljenosti i reagovanju na katastrofe. Prikupljeni podaci mogu biti od pomoći pri predviđanju i ublažavanju uticaja prirodnih katastrofa kao što su poplave, suše i oluje, spasavajući živote ljudstva i smanjujući štetu na imovini.
- Poljoprivredni monitoring: Poljoprivrednici i poljoprivredni planeri oslanjaju se na hidrometeorološke podatke kako bi donosili informacione odluke o praksi sadnje, navodnjavanju i žetvi. Ove informacije pomažu u optimizaciji prinosa useva, očuvanju vodnih resursa i prilagođavanju promenljivim vremenskim uslovima.
- Istraživanje životne sredine: HMS stanice pružaju vredne podatke za istraživanje i praćenje životne sredine. Naučnici koriste ove podatke za proučavanje klimatskih promena, biodiverziteta, dinamike ekosistema i drugih faktora životne sredine koji utiču na ekosisteme i ljudsko zdravlje.

Kontinualnim praćenjem vremenskih uslova i ponašanja vode, HMS doprinose boljem razumevanju prirodnog sveta i omogućavaju donošenje informacionih odluka o tome kako da se zaštititi životna sredina i kako da se obezbedi održivo upravljanje resursima.

U radu je dat dizajn i prikaz razvijenog *Off-Grid* napajanja 38 hidrometeoroloških stanica u sistemu za prikupljanje i praćenje meteoroloških podataka duž plovnog puta reka Dunav i Sava na teritoriji Republike Srbije. Razvoj ovog napajanja je ostvaren u sklopu projekta Evropske Investicione Banke i Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture Republike Srbije. Cilj ovog projekta je bio da se izgradi sistem koji će pratiti meteorološke podatke i promene fizičkih parametara na rekama Dunav i Sava.

HMS prikuplja meteorološke podatke preko senzora, koji su povezani na meteo stanicu. U sklopu sistema je predviđena i plutajuća bova čija je uloga da meri i prati parametre talasnosti vode na rekama Dunav i Sava. Svi prikupljeni podaci od senzora, šalju se komunikacionim putem žičanom ili bežičnom vezom do koncentratora podataka. Koncentrator podataka je centralni deo sistema. To je PLC uređaj *Atlas Max – RTL Hydra*, razvijen u Institutu Mihailo Pupin (IMP Automatika) iz Beograda.

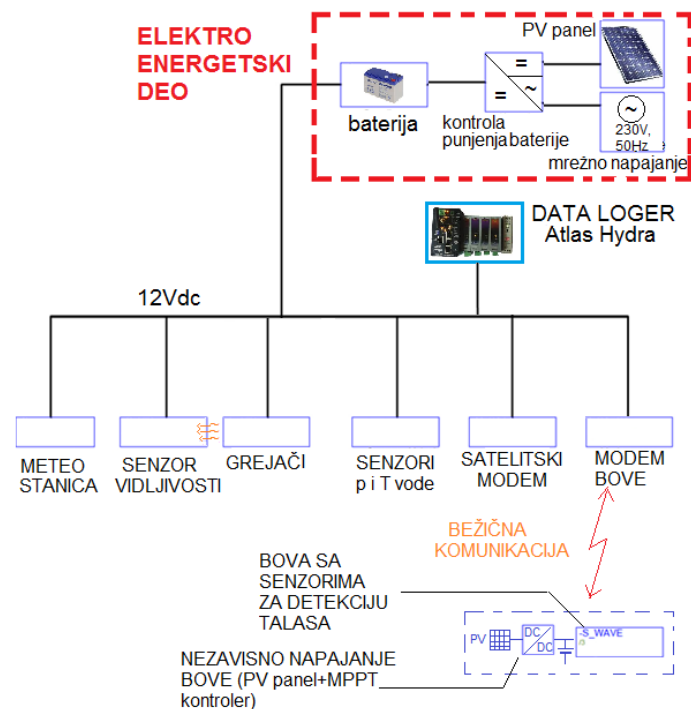
II OSNOVNA STRUKTURA NAPAJANJA HMS

Elektroenergetski deo, odnosno napajanje električnom energijom sistema HMS je tako koncipirano da obezbedi pouzdano i besprekidno napajanje merne, upravljačke i komunikacione opreme u širokom opsegu temperatura okoline (-40°C do $+60^{\circ}\text{C}$), pri najnepovoljnijim vremenskim uslovima i atmosferskim uticajima (kiša, sneg vlaga, kondenzacija i sl.). Na Slici 1 je data principna blok šema napajanja sistema HMS električnom energijom i principski prikaz svih potrošača u

sistemu.

Razvijeno napajanje je u osnovi bazirano na korišćenju solarne energije i AGM VRLA baterije sa gelom i odgovarajućeg MPPT kontrolera punjenja baterije, odnosno kao *Off-grid* sistem. Napajanje je prvobitno zamišljeno kao *Off-grid* sistem, ali je nakon obilaska lokacija utvrđeno da je za neki manji broj lokacija jedino primereno mrežno napajanje 230V, 50Hz, tako da je se u ovom sistemu predviđa opcija hibridnog sistema napajanja [12-13].

Prikaz prethodno opisanog sistema je na Slici 1 na kojoj je označen funkcionalni blok ELEKTROENERGETSKI DEO, koji ustvari predstavlja glavni funkcionalni blok napajanje HMS.



Slika 1. Principna šema sistema napajanja i potrošača u sistemu HMS

Predviđeno je napajanje merne i komunikacione opreme jednosmernim naponom napajanja 12V iz AGM VRLA baterije kapaciteta 265Ah. U ovom projektu je predviđen prostor za ugradnju još jedne ovakve baterije ako se ukaže potreba. Jednosmerni razvod 12V obezbeđuje napajanje sledećih potrošača: (1) Meteorološka stanica-MS, (2) Senzor vidljivosti sa pripadajućim grejačima, (3) Senzori pritiska (p) i temperature (T) vode, (4) Satelitski modem, (5) Modem senzora za detekciju talasa (tzv. modem bove). Komunikacija između ovog modema i bove je bežična.

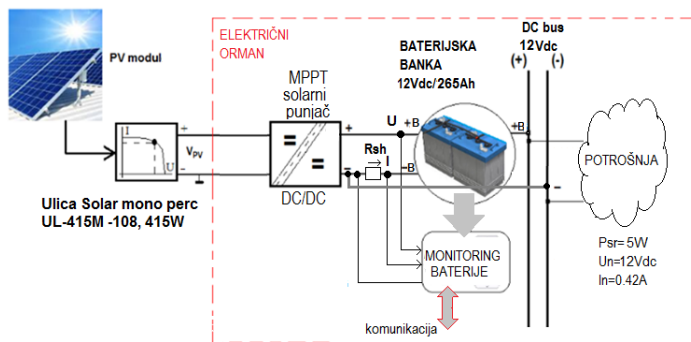
Kao što se vidi sa Slike 1, u sklopu HMS sistema se nalazi i bova koja se nalazi na površini vode reke i snabdevena je senzorima za detekciju talasa. Merna oprema na bovi se napaja iz nezavisnog sistema napajanja koji se sastoji od minijaturnih solarnih panela, baterijskog kontrolera i same baterije koji se takođe nalaze montirani na samoj bovi.

Kompletan sistem ima autonomno napajanje. Napajanje se

ostvaruje iz baterije 12Vdc, koja se dopunjava preko solarnog panela i pripadajućeg solarnog punjača sa implementiranim kontrolerom praćenja tačke maksimalne snage, tzv. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Sistem napajanja je autonoman jer ne zavisi od mesta priključenja na električnu elektroenergetsku mrežu 230V, 50Hz. To znači da se može instalirati na bilo kom području, bez obzira na postojanje distributivne električne mreže. Zbog ograničenih energetskih resursa, u smislu napajanja, za nekoliko lokacija je predviđena i opcija rezervnog napajanja iz distributivne elektroenergetske mreže 230V, 50Hz.

Na svakoj HMS je obezbeđena zaštita od atmosferskih pražnjenja upotrebom pasivne štapne hvataljke (Frenklinov štap) i pripadajućeg sistem zaštitnog uzemljenja. Kao sekundarna zaštita od prenapona su obezbeđene odgovarajuće prenaponske zaštite (PPZ) na: (1) DC strani na priključnim terminalima solarnog panela, (2) AC strani na priključnim terminalima mrežnog napajanja- kao opcija, (3) na priključcima senzora koji se nalaze potopljeni u vodi

Na Slici 2 je data blok šema sistema napajanja HMS baziranog na korišćenju solarnog panela kao osnovnog izvora električne energije. Solarni panel maksimalne izlazne snage 415W preko galvanski izolovanog MPPT punjača obezbeđuje punjenje baterije 12V/265Ah i napajanje potrošnje srednje (normirane) snage od oko 11W. U sistemu je predviđeno merenje napona i struje baterije, odnosno kompletan njen monitoring (U, I, SOC, DOD). Merenje napona se ostvaruje preko odgovarajućeg mernog kola, dok se merenje struje ostvaruje indirektno merenjem pada napona na mernom otporniku (tzv. *mernom šantu*) R_{sh} . U okviru merenja na bateriji je obezbeđen prenos merenih podataka i komunikacija sa glavnim kontrolnim modulom Atlas Hydra.

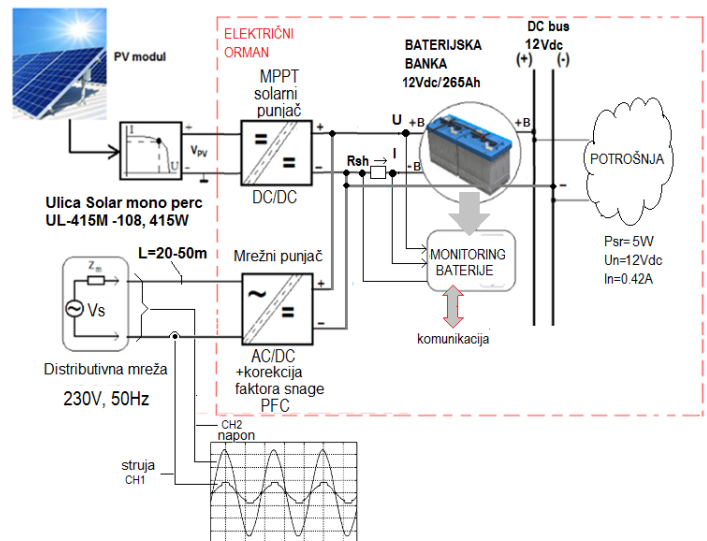


Slika 2. Blok šema napajanja sistema HMS baziranog na solarnom panelu

Na Slici 3 je data blok šema sistema napajanja HMS baziranog na korišćenju solarnog panela i opcionog mrežnog napajanja 230V, 50Hz. U ovom slučaju energetski sistem postaje hibridni sistem napajanja pri čemu je ideja da se kao primarni izvor napajanja koristi solarni panel, odnosno sunce kao OIE, dok se kao sekundarni izvor napajanja i po potrebi koristi elektroenergetska mreža. Na ovaj način elektroenergetska mreža ustvari ima ulogu rezervnog izvora napajanja. U ovom sistemu je dodat mrežni AC/DC punjač koji se vezuje paralelno sa MPPT solarnim punjačem. Mrežni punjač je sa galvanskom izolacijom i

obezbeđuje galvansko odvajanje baterije i sistema potrošača od elektroenergetske mreže 230V, 50Hz. Mrežni punjač bi obezbeđivao napajanje sistema i punjenje baterije u noćnim uslovima kao i uslovima nedostatka sunčeve energije i (ili) eventualne ispražnjenosti baterije. Sličan sistem je implementiran u okviru projekata koji su dati u referencama [7], [13],[11]. I o ovom slučaju bi bili obezbeđeni neophodna merenja napona i struje, kao i monitoring baterije.

Obzirom na blizinu reke i velike verovatnoće atmosferskih pražnjenja u njoj blizini i obzirom na investicionu vrednosti energetske, merne i komunikacione opreme predviđa se gromobranska zaštita HMS stanice, korišćenjem odgovarajućeg prihvatnog i spusnog sistema gromobrana, kao i sistema zaštitnog uzemljenja po ugledu na sistem koji je prikazan u [12].

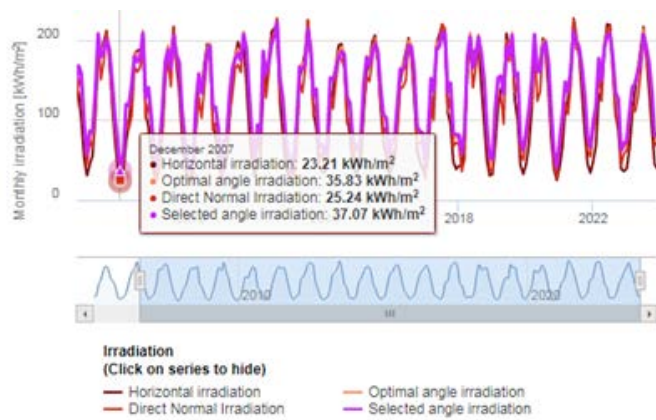


Slika 3. Blok šema napajanja sistema HMS baziranog na solarnom hibridnom sistemu: solarni panel- elektrodistributivna mreža

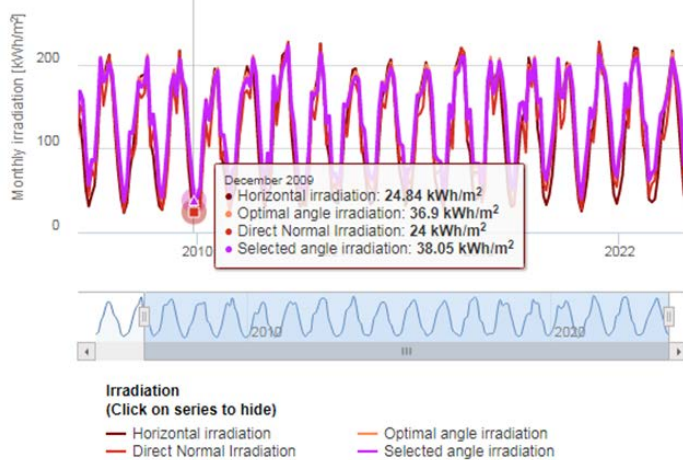
Kao prihvatni sistem je predviđena pasivna gromobranska hvataljka (Frenklinov štap) dužine 1,5 m i spusni aluminijumski provodnik $Fi=8mm$. kojim se prihvatni sistem povezuje sa zaštitnim uzemljenjem. Predviđa se zaštitno uzemljenje sa pravougaonom konturom u čijim temenima se spajaju vertikalni uzemljivači (uzemljivačke sonde) dužine 1,5 m.

Pored zaštite od atmosferskih pražnjenja predviđa se i dodatna sekundarna zaštita od udara groma. Treba napomenuti da prenaponi u sistemu HMS mogu biti posledica sekundarnih efekata udara groma ali i od prenapona koji mogu doći iz elektroenergetske mreže (sklopni prenaponi, mrežni prenaponi, naponski pikovi i sl.). Principski prikaz prenaponske zaštite sistema HMS je data na Slici 4.

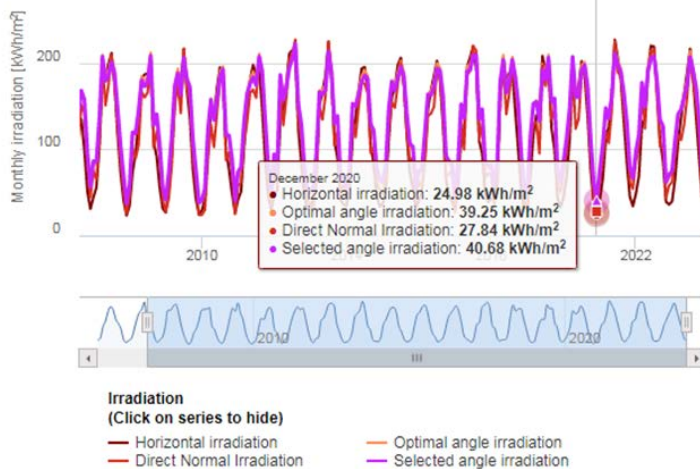
Za potrebe zaštite od prenapona i sprečavanja oštećenja opreme u hidro meteorološkim stanicama (HMS), predviđene su sledeće prenaponske zaštite : (1) PNZ-1, odnosno zaštita na signalnim vodovima za merenje relevantnih veličina (nivo, pritisak, temperatura vode i sl.); (2) PNZ-2, odnosno AS prenaponska zaštita na mrežnom ulazu, odnosno monofaznom napajanju 230V 50Hz, (3) PNZ-3, zaštita na DC ulazu sa solarnog panela.



Slika 6. Mesečne solarne iradijacije za lokaciju Bezdan na godišnjem prelazu 2007/2008.



Slika 7. Mesečne solarne iradijacije za lokaciju Bezdan na godišnjem prelazu 2009/2010.



Slika 8. Mesečne solarne iradijacije za lokaciju Bezdan na godišnjem prelazu 2020/2021.

Detaljan prikaz prelaznog intervala 2007/2008. sa karakterističnim vrednostima iradijacija je dat na Slici 9.

Na osnovu detaljni prikaza Slike 9 (prelaz Decembar 2007-

Januar 2008) se mogu uočiti razlike u iradijacijama za optimalni ugao 34° i pretpostavljeni ugao u zimskom periodu od 43° . Vrednost iradijacije u Decembru 2007. pri optimalnom uglu je iznosila $35,83 \text{ kWh/m}^2$, dok je za zimsku vrednost ugla iznosila $37,07 \text{ kWh/m}^2$.



Slika 9. Detaljni prikaz mesečnih solarnih iradijacija za lokaciju Bezdan za 2007/2008.

Tabelarni prikaz globalnih iradijacija u periodu 2005.-2023. za vrednost optimalnog ugla inklinacije solarnih panela od 34° (prema PVGIS) je dat u Tabeli 3.

Tabela 3. Globalne iradijacije za ugao inklinacije od 34°

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
January	74.26	67.7	82.19	56.22	40.32	40.35	70.64	89.65	49.21	54.55	60.39	71.99	43.72	77.95	49.86	82.01	71.74
February	74.73	69.28	83.17	115.84	70.77	53.62	77.21	75.28	55.7	74.62	78.85	75	83.12	57.38	111.25	108.62	101.4E
March	132.56	107.42	134.76	118.15	114.29	121.53	131.34	183.41	95.55	151.06	145.22	118.86	150.6	85.89	151.48	144.76	146.12
April	147.39	150.9	209.22	146.76	174.66	159.1	166.03	158.99	168.33	151.68	180.15	164.93	137.75	180.53	156.59	208.21	137.4E
May	175.71	170.37	184.19	184.89	193.38	137.69	181.58	176.55	167.95	168.69	173.23	167.55	196.04	209.37	136.59	165.33	165.8E
June	190.91	178.64	191.41	179.37	169.07	163.81	190.05	201.95	175.61	184.8	188.76	178.19	198.91	171.32	199.22	166	219.1E
July	178.56	218.43	207.76	183.75	213.06	190.03	180.21	211.14	220.83	191.62	202.27	199.56	216.09	184.88	186.77	197.73	204.11
August	145.49	146.29	191.9	212	184.58	196	210.6	225.82	193.62	185.17	189	194.69	212.84	207.15	209.66	200.91	193.6E
September	145.41	167.34	147.53	128.52	171.43	116.82	189.49	151.94	130.11	129.1	139.97	161.29	134.78	182.6	154.38	171.92	164.9
October	139.53	153.04	103.09	136.78	109.46	113.02	130.94	125.57	134.88	118.93	104.28	90.56	142.36	147.41	154.23	108.87	127.41
November	68.11	91.78	66.79	100.69	72.79	85.36	77.61	77.12	65.85	75.05	98.59	82.51	80.42	88.1	72.33	59.46	75.56
December	54.97	54.07	35.83	53.01	36.9	39.03	47.99	52.99	66.76	61.98	54.07	79.48	77.36	50.85	59.45	39.25	63.24

Na osnovu Tabele 3 (ugao inklinacije 34°) je moguće izračunati ukupnu godišnju iradijaciju, u ovom slučaju za najnepovoljniju 2007. godinu, koja iznosi $1637,84 \text{ kWh/m}^2$.

Prosečna vrednost dnevne sunčeve iradijacije za najnepovoljniji mesec - decembar, u ovom slučaju je $H_{34_1}=35,83 \text{ kWh/m}^2 / 31=1,155 \text{ kWh/m}^2$. Prosečna vrednost dnevne sunčeve iradijacije za mesec-januar, u ovom slučaju je $H_{34_2}=82,19 \text{ kWh/m}^2 / 31= 2,651 \text{ kWh/m}^2$.

Tabela 4. Globalne iradijacije za ugao inklinacije od 43°

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
January	77.87	70.68	86.28	58.38	41.58	41.31	73.65	94.18	50.69	56.55	62.83	75.29	44.86	81.7	51.58	86.07	74.94
February	76.97	70.82	85.5	119.65	71.95	54.16	79.48	77.11	56.45	76.48	81.1	76.97	85.4	58.4	115.06	112.3	104.62
March	133.71	107.81	136.09	118.64	114.8	122.17	132.4	186.21	95.94	152.78	146.82	119.55	152.15	85.75	152.95	146.39	147.76
April	145.83	149.1	207.36	144.78	173.16	157.08	164.26	156.94	166.14	149.94	178.2	163.22	136.18	178.56	154.88	206.55	135.58
May	170.77	165.54	179.22	179.85	187.93	133.84	176.27	171.61	163.42	163.89	168.41	162.64	190.34	203.57	132.81	160.78	161.09
June	183.99	172.08	184.61	173.01	163.11	157.99	183.33	194.46	169.11	178.05	181.9	172	191.76	165.38	191.83	160.23	211.16
July	172.81	211.37	200.95	177.83	206.08	183.69	174.24	204.14	213.5	185.4	195.48	193.1	208.95	178.97	180.67	191.26	197.69
August	142.64	143.49	188.55	208.31	181.54	192.5	207.23	222.02	189.86	181.95	185.59	191.45	209.23	203.64	206.15	197.55	190.01
September	145.47	167.84	148.04	128.25	172.14	116.77	190.76	152.31	129.96	129.34	139.95	161.94	135.08	183.69	154.8	172.46	165.41
October	143.37	157.57	105.18	140.44	111.85	115.93	134.29	128.89	138.6	121.76	106.72	92.45	146.2	151.44	158.85	111.3	130.97
November	70.53	96.03	69.39	105.46	75.88	89.13	80.77	80.17	68.21	77.92	103.1	86.13	83.65	92.08	75.27	61.49	78.66
December	57.61	56.55	37.07	55.27	38.05	40.22	49.89	55.36	70.16	65.13	56.4	84.01	81.74	52.94	62.37	40.68	66.45

Na osnovu Tabele 4 (ugao inklinacije 43°) je moguće izračunati ukupnu godišnju iradijaciju, u ovom slučaju za najnepovoljniju

2007. godinu, koja iznosi 1628,24 kWh/m².

Prosečna vrednost dnevne sunčeve iradijacije za najnepovoljniji mesec-decembar, u ovom slučaju je $H_{43_1}=37,07$ kWh/m²/31=1,196 kWh/m². Prosečna vrednost dnevne sunčeve iradijacije za mesec-januar, u ovom slučaju je $H_{43_2}=86,28$ kWh/m²/31= 2,783 kWh/m².

Pri proračunu je moguće koristiti dva kriterijuma: (1) dobijanje maksimalne energije iz solarnog panela u najnepovoljnijem mesecu u godini, (2) dobijanje maksimalne proizvodnje energije iz solarnog panela tokom godine.

U slučaju usvajanja prvog kriterijuma ugao zakretanja panela bi se podesio na 34°, dok bi u slučaju drugog kriterijuma taj ugao treba podesiti na 43°. U proračunu je usvojen prvi kriterijum kao primarni, obzirom na konzervativan pristup projektovanju HMS napajanja. Pri ovome je usvojen apsolutno najnepovoljniji slučaj za sunčevu iradijaciju od $H_{43_1}=1196$ Wh/m² u periodu 2005.-2023.

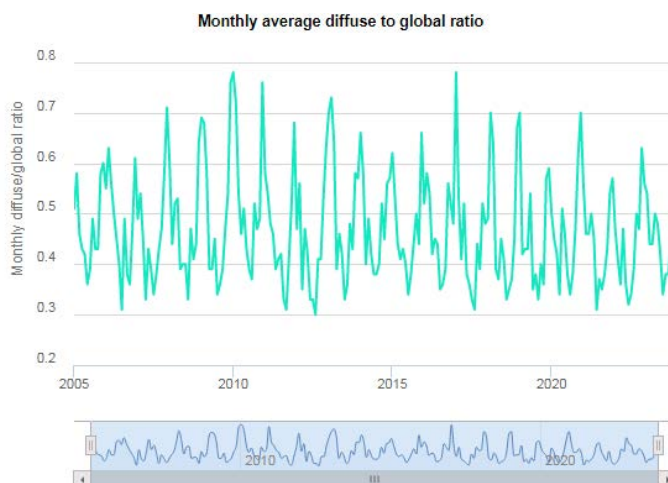
Na osnovu prethodno usvojene vrednosti iradijacije pri najnepovoljnijim uslovima i pri nagibnom uglu od 43°, srednji broj sati tzv. „vršnog sunca“ se računa prema relaciji:

$$N_{vs} = \frac{H_{43_1}(Wh / m^2)}{1000(W / m^2)} \quad (2)$$

Odnosno za $H_{43_1}=1196$ Wh/m² se dobija da je srednji broj sati tzv. „vršnog sunca“ 1,2 h.

Referentna vrednost sunčevog zračenja (prozirno nebo i normalni atmosferski uslovi) u odnosu na koju je izvršeno normiranje je

$H_{ref} = 1000$ W/m². U odnosu na ovu vrednost je referisana maksimalna snaga solarnog panela kao što je dato u katalogu proizvođača. Srednji mesečni odnos difuznog u odnosu na globalno zračenje za posmatrani period 2005-2023. i za razmatranu lokaciju je dat na Slici 10.



Slika 10. Srednji mesečni odnos difuznog i globalnog sunčevog zračenja

Srednje mesečne vrednosti temperatura za posmatrani period 2005.-2023. i za razmatranu lokaciju je preuzet i PV GIS baze.. Ispostavlja se da je za datu lokaciju apsolutni minimum -4,7°C koji se imao u Januaru 2017. Takođe se uočava da su se u većem delu ovog vremenskog perioda 2005.-2023. temperature za isti mesec Januar kretale oko 0°C.

Tabela 5. Proračun snage potrošnje

Redni broj	Uređaj	Osnovna snaga (VA)	Dodatak-1 (VA)	Dodatak-2 (VA)	P _{min} (VA)	P _{max} (VA)	Faktor jednovrem.	Normirana snaga (VA)
1.	Atlas Hydra4S	2	0,5		2,00	3,0	0,90	2,25
2.	Meteo stanica	0,77	5,64		0,77	6,4	0,45	2,88
3.	Senzor vidljivosti	3,5	1,7	6	3,50	11,2	0,45	5,04
4.	Modem ST6100	0,78	7,8		0,78	7,8	0,10	0,78
5.	Senzori pritiska i temperat.	0,3			0,30	0,3	0,10	0,03
6.	Modem bove	0,4	4		0,40	0,4	0,10	0,04
	UKPNA SNAGA (VA):				4,97	26,1		11,02
	Polje C2:	Rad meteo stanice (MS) sa grejačem						
	Polje C3:	Grejač stakla						
	Polke D3:	Grejač oklopa						

NAPOMENA: Maksimalne snage su date u slučaju uključenih grejača i slanja podataka u nadzorni centar. Procena angažovanih snaga potrošača je urađena na osnovu procene vremena rada uređaja, tj. prema faktorima jednovremenosti.

III-1 Dimenzionisanje i izbor solarnih panela

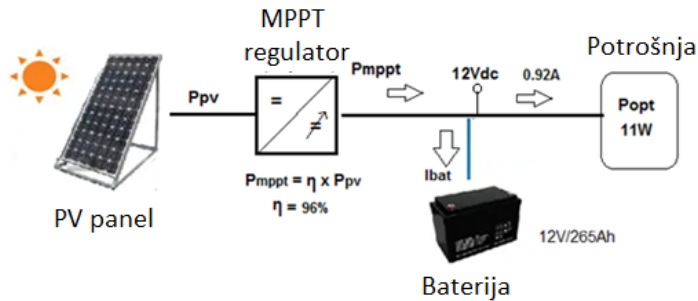
Principijska šema sistema napajanja koja je korišćena u dimenzionisanju i izboru solarnih panela je data na Slici 11.

U proračunu je pretpostavljeno da je ukupna srednja snaga potrošnje $\Sigma P_{sr} = 11$ W na 12 Vdc. Ova vrednost je dobijena tako što je ukupna instalisana snaga 21,23 W pomnožena sa pretpostavljenim faktorom jednovremenosti $K_f=0,52$.

U Tabeli 5 je data detaljno specifikacija snaga potrošača, kao i način i metodologija na osnovu koje je usvojena srednja snaga potrošnje od $\Sigma P_{sr} = 11$ W. Energija sadržana u ukupnoj potrošnji ($\Sigma P = 11$ W na 12 Vdc) je 264 Wh.

Obzirom da pored napajanja potrošnje, solarni panel treba da obezbedi i punjenje baterije procenjena je ukupna energija koju sam PV panel treba da obezbedi. Izlazni napon MPPT punjača pri punjenju baterije približno jednak 14,7 V i pri izlaznoj struji

od 14 A (SOC baterije na 50%) se na njemu ima izlazna snaga od 205,8 W. Obzirom da je efikasnost MPPT punjača $\eta_{mppt}=96\%$ ulazna snaga punjača pri ovim uslovima je 214,4 W. Obzirom da je u decembru $N_{vs}=1,2$ h (pesimistička pretpostavka), energija koju punjač mora da dobije od PV panela kako bi punio bateriju pri ovim uslovima je 257,28 Wh. Ukupna energija koju PV panel treba da isporuči potrošačima (MPPT punjač i potrošnja elektronike HMS) je 264 Wh + 257,28 Wh= 521.28 Wh.



Slika 11. Blok šema sistema napajanja koja je se korišćena za proračun i izbor solarnih panela

Uz pretpostavku da je efikasnost MPPT regulatora-punjača 96% (podatak iz kataloga proizvođača) i ako se uzme u obzir korekcionni faktor gubitaka usled padova napona na spojevima i kablovima od $K_k=95\%$ (gubici u kablovima i na spojevima od 5%) i temperaturni korekcionni faktor $K_\theta=1,1$ (pri temperaturama oko 0°C što se tiče snage PV panela javlja pozitivni temperaturni koeficijent) potrebna snaga solarnog panela pri ovim uslovima je:

$$P_{PV} = \frac{E}{N_{VS} \cdot K_k \cdot K_\theta} \quad (3)$$

Proračunom se iz relacije (3) dobija zahtevana vrednost snage PV panela od 415,63 W.

U zimskom periodu i pri realnim uslovima neba je realno očekivati da sunčeva insolacija bude 800 W/m².

Izlazni napon MPPT punjača pri punjenju baterije približno jednak 14,7 V i pri izlaznoj struji od 10 A se na njemu ima izlazna snaga od 147 W. Obzirom da je efikasnost MPPT punjača $\eta_{mppt}=96\%$ ulazna snaga punjača pri ovim uslovima je 153,1 W. Obzirom da je u decembru broj vršnih sati sunca 1,2 h (pesimistička pretpostavka), energija koju punjač može da dobije od PV panela kako bi punio bateriju je 183,72 Wh, pa je ukupna energija koju PV panel treba da isporuči potrošačima 447,72 Wh

Proračunom se dobija zahtevana vrednost snage solarnog panela od 357 W. Za obezbeđenje ove snage usvojen je mono-kristalni solarni panel tip: HALF CUT MODULE UL-415M-108HV maksimalne snage od 415W. Detaljnija tehnička specifikacija za ovaj solarni panel je data u [18].

Za najkritičniji slučaj kada je maksimalna temperatura na solarnim panelima oko 65°C (letnji period, jako zagrejan vazduh, uslovi bez vetra), pad maksimalne proizvedene snage je za oko 20%. U tom slučaju je stvarna izlazna snaga solarnog panela je $P_{out}(65^\circ C)=332$ W.

Za zahtevanu snagu opterećenja od 11 W, snaga koja je raspoloživa u ovom slučaju za punjenje baterije je 321 W. Za

izlazni napon punjača od 14,7 V struja koju on može da ostvari je 21A.

Na osnovu prethodno izloženog proračuna se zaključuje da izabrani solarni paneli zadovoljavaju energetske zahteve u najnepovoljnijim uslovima u zimskom periodu (konzervativni pristup), a takođe bez ikakvih problema i zahteve u letnjem periodu.

III-2 Proračun baterije

Ključni element u sistemu je baterija, njen kapacitet i vreme autonomije. Kapacitet baterije je izračunat iz relacije :

$$C[Ah] = \frac{E[Wh] \cdot N_d}{U_{bat_nom} \cdot DOD \cdot K_\theta \cdot \eta_{bat}} \quad (4)$$

gde su:

E [Wh] - ukupna dnevna potrošnja pri zadatoj vrednosti snage potrošnje; u ovom slučaju 264 Wh,

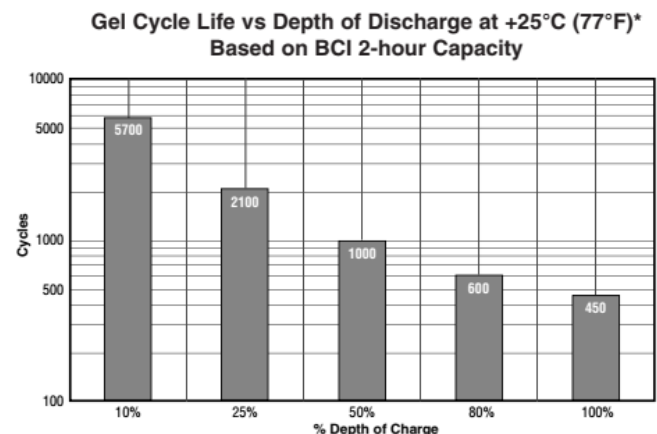
N_d - broj dana autonomije baterije (nema dopunjavanja baterije iz PV panela); pretpostavlja se da je u početnom trenutku baterija napunjena 100% (SOC=100%). U ovom slučaju je broj dana 10,

U_{bat_nom} - nominalni napon baterije, 12Vdc,

DOD - dubina pražnjenja baterije u % - usvojeno je da je u ovom ekstremnom slučaju 80%, mada je u normalnom režimu usvojena vrednost od 50%, jer pri ovoj vrednosti proizvođač baterije garantuje 1000 ciklusa punjenje-pražnjenje (ovaj broj ciklusa se striktno traži i u tenderu),

K_θ - koeficijent koji uzima u obzir temperaturni uticaj na kapacitet baterije; naročito je kritična niska temperatura (usvojena je minimalna vrednost od 0°C, pri kojoj je $K_\theta=0,85$, η_{bat} - stepen iskorišćenja baterije, usvojeno 0,98.

Dijagram BROJ CIKLUSA-DOD[%] proizvođača baterija je dat na Slici 12.



Slika 12. Karakteristika zavisnosti broja ciklusa od dubine pražnjenja DOD usvojene baterije 8G8DLTP-DEKA 12V/265Ah

Za slučaj potrošnje od 11W, $DOD=80\%$ i $N_d=10$ dana potreban kapacitet baterije je $C_{11W}=330$ Ah.

Za slučaj potrošnje od 6,7 W, $DOD=80\%$ i $N_d=9$ dana (režim „čuvanja snage“) potreban kapacitet baterije je $C_{6.7W}=181$ Ah.

Za slučaj potrošnje od 6,7 W i $DOD=55\%$ i $N_d=9$ dana (režim „čuvanja snage“) potreban kapacitet baterije je $C_{6,7W,0,55}=264$ Ah:

Usvojena je baterija $U_n=12$ V, $C^*=265$ Ah, tipa 8G8DLTP-DEKA Solar, 12V/265Ah Valve-Regulated, Gelled-Electrolyte Battery [19].

IV VERIFIKACIJE PRORAČUNA SOLARNOG NAPAJANJA HMS

U ovom poglavlju su date provere autonomije projektovanog sistema napajanja HMS. Proveravana je autonomija baterije 12V/265Ah za period od 10 dana u najnepovoljnijem slučaju. Takođe, u ovom delu su urađene provere projektovanog sistema napajanja HM u PVGIS programu.

I provera – najkritičniji slučaj (zimski period, puna potrošnja, faktor jednovremenosti $K_f=1$)

U ovoj proveri je pretpostavljeno da su maksimalne snage su date u slučaju uključenih grejača i modula za slanja podataka u upravljačko-nadzorni centar. Procena angažovanih snaga potrošača je urađena na osnovu Tabele 5 i procene vremena rada uređaja (prema faktorima jednovremenosti za pojedine module).

Ovde je pretpostavljeno da se uređaji u okviru HMS drže uključeni (osim oni koji imaju fabričku SLEEP funkciju, za koje se uzima faktor jednovremenosti 0,1), uz uslov da je kapacitet baterije veći od 80%. Na osnovu ovih pretpostavki i podataka u Tabeli 5 usvojena je puna potrošnja od 21,23 W i $DOD=20\%$. Dnevna potrošnja u (Ah) je 42,46 Ah. Maksimalni kapacitet baterije je 265 Ah, dok je stvarni raspoloživi kapacitet 53 Ah (baterija se prazni 20% punog kapaciteta).

U najgorem danu broj sati tzv. „vršnog sunaca“ je $N_{vs}=1,2$ h, tako da je što se tiče PV panela raspoloživa energija 498 Wh. Za stepen iskorišćenja MPPT regulatora $\eta_{mppt}=0,96$, stvarna energija koja je na raspolaganju sistemu je 478,08 Wh. Ovoj energiji odgovara kapacitet 39,84 Ah. Ovaj deo se injektira odnosno „ubacuje“ u sistem baterija-potrošač. Razlika od 2,62 Ah se gubi po jednom danu. Broj dana za koji će sistem doći na 80% kapaciteta baterije je jednak 53 Ah/2,62 Ah $\approx$ 20 dana.

Projektom je predviđeno da nakon 20. dana sistem ulazi u tzv. režim „čuvanja snage“, tzv. „power save“ režim. U tom cilju je i urađena provera II za ovaj režim.

II provera – Režim čuvanja snage tzv. „power save“ mode

Kao i u prethodnom slučaju, procena angažovanih snaga potrošača je urađena na osnovu procene vremena rada uređaja, tj. prema faktorima jednovremenosti. Faktor jednovremenosti određuje aplikativna logika uz uslov da je kapacitet baterije manji od 80%. U ovom režimu procenjena potrošnja je 6,66 W, uz pretpostavku o dubini pražnjenja od 50%. Kapacitet baterije je 265 Ah, ali je na raspolaganju u ovom režimu 80% od ovog kapaciteta, odnosno 212 Ah. Za 1 do 2 dana baterija će se napuniti na 100%.

III provera- broj dana autonomije

Na osnovu prethodno izračunatih kapaciteta dobijamo da je odnos 53 Ah / 42,46 Ah=1,2482 dana. Ako se ovaj broj dana oduzme od zahtevanog broja od 10 dana, može se usvojiti u proračunu baterije koji je unapred dat, da je broj dana autonomije

≈ 9 (10-1,248 = 8,7518 dana $\rightarrow$ 9 dana autonomije). Za dnevnu potrošnju od 6,66 W u režimu „čuvanja snage“ dobija se da je kapacitet jednak 13,32 Ah. Za dobijenih 8,7518 dana autonomije dobija se ukupni kapacitet 116,57 Ah. Ukupna potrošnja za 10 dana je 116,5 Ah + 53 Ah = 169,57 Ah. Na osnovu nominalnog kapaciteta baterije i ukupne potrošnje za 10 dana, dobija se dubina pražnjenja u ovom slučaju od $DOD=63,9\%$.

U nastavku su dati rezultati provera u PVGIS 5.3, odnosno simulacione provere za nekoliko slučajeva od interesa.

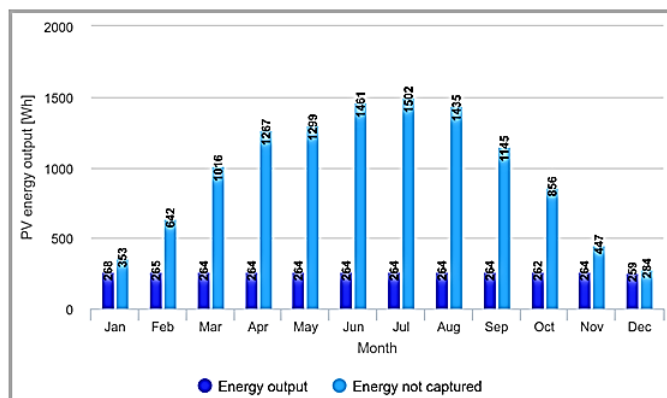
Provera proračuna napajanja HMS u PVGIS 5.3

I. Slučaj: baterija 12Vdc/265Ah, DOD=50%, potrošnja 11W

U Tabeli 6 su dati pretpostavljeni ulazi za PVGIS simulator i dobijeni karakteristični izlazi.

Tabela 6. Ulazni podaci za PVGIS simulator i dobijeni simulacioni izlazi

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	45.856,18.860
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH3
PV installed [Wp]:	415
Battery capacity [Wh]:	3168
Discharge cutoff limit [%]:	50
Consumption per day [Wh]:	264
Slope angle [°]:	43
Azimuth angle [°]:	-5.5
Simulation outputs:	
Percentage days with full battery [%]:	86.64
Percentage days with empty battery [%]:	0.2
Average energy not captured [Wh]:	1128.56
Average energy missing [Wh]:	111.48

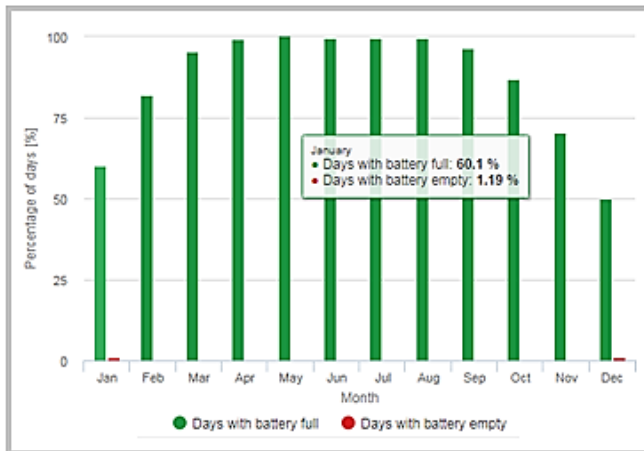


Slika 13. Performanse projektovanog Off-grid fotonaponskog sistema; PV energetski izlaz za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubini pražnjenja od DOD=50% i normiranoj potrošnji 11W

Na Slici 13 su dati dijagrami energetskog izlaza i viška energije za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubine pražnjenja DOD=50%, i pri normiranoj potrošnji od 11W.

Na Slici 14 su date performanse baterije u Off-grid sistemu napajanja HMS, koje su dobijene u PVGIS simulatoru. Na

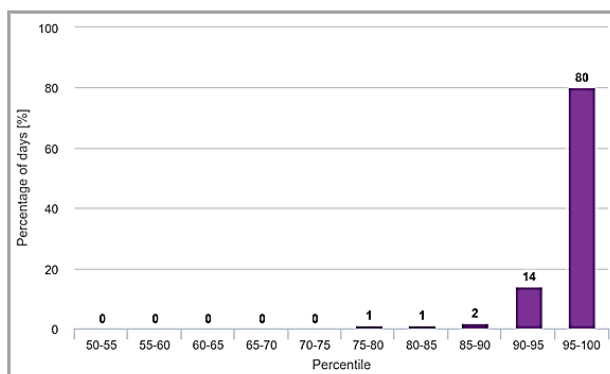
osnovu prikazanog dijagrama se uočava da je u najnepovoljnijem mesecu Januaru oko 60% dana u mesecu kada je baterija puna, a da je oko 1,2% dana u mesecu kada je baterija prazna.



Slika 14. Performanse baterije 12Vdc/265Ah, pri DOD=50%, i normiranoj potrošnji od 11W

Na Slici 15 je dat dijagram učestalosti stanja napunjenosti baterije, odnosno procentualnog broja dana od stanja napunjenosti baterije. Sa dijagrama se uočava da je oko 80% broja dana baterija napunjena na SOC=95-100%, dok je za oko 14% broja dana stanje napunjenosti u opsegu SOC= 90-95%. Za oko 1% dana stanje napunjenosti je SOC=75-80%.

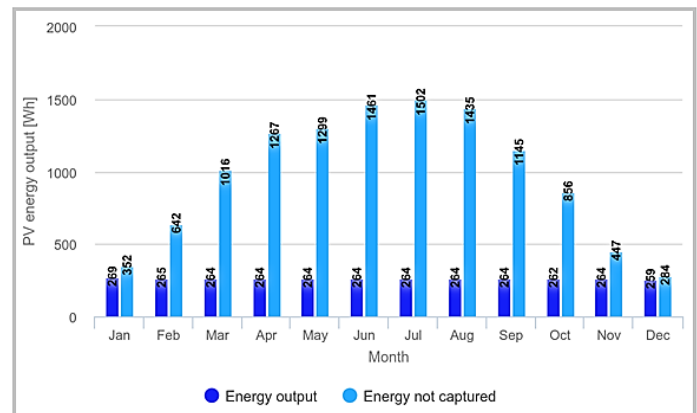
Iz prikazanih dijagrama za ovaj slučaj se zaključuje da je pri normiranoj potrošnji od $P=11W$ i DOD=50% sistem napajanja HMS u ovom slučaju zadovoljavajući i da su kritični meseci Decembar i Január, kada postoji relativno mali procentualni broj dana kada je baterija prazna. Ovaj deo može biti kompenzovan korišćenjem veće dubina pražnjenja baterije, kao što će u nastavku biti pokazano.



Slika 15. Procentualni broj dana u zavisnosti stanja napunjenosti baterije SOC 12Vdc/265Ah, DOD=50%, potrošnja 11W

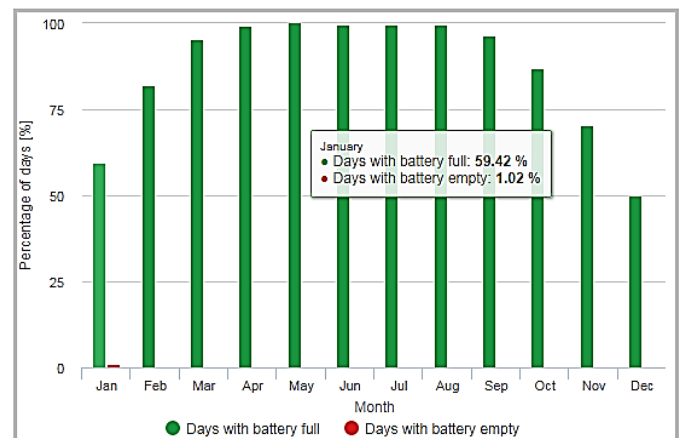
2. Slučaj: baterija 12Vdc/265Ah, DOD=70%, potrošnja 11W

Na Slici 16 su dati dijagrami energetskog izlaza i viška energije za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubine pražnjenja DOD=70%, i pri normiranoj potrošnji od 11W.

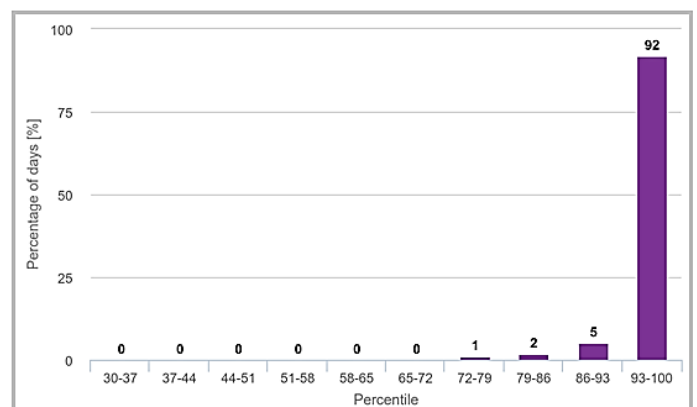


Slika 16. Performanse projektovanog Off-grid fotonaponskog sistema; PV energetski izlaz za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubini pražnjenja od DOD=70% i normiranoj potrošnji 11W

Na Slici 17 su date performanse baterije u Off-grid sistemu napajanja HMS, koje su dobijene u PVGIS simulatoru. Na osnovu prikazanog dijagrama se uočava da je u najnepovoljnijem mesecu Januaru oko 59,42% dana u mesecu kada je baterija puna, a da je oko 1% dana u mesecu kada je baterija prazna.



Slika 17. Performanse baterije 12Vdc/265Ah, pri DOD=70%, i normiranoj potrošnji od 11W

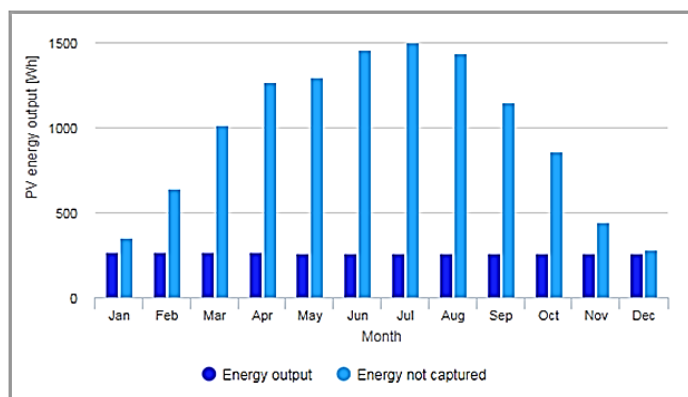


Slika 18. Procentualni broj dana u zavisnosti stanja napunjenosti baterije SOC 12Vdc/265Ah, DOD=70%, potrošnja 11W

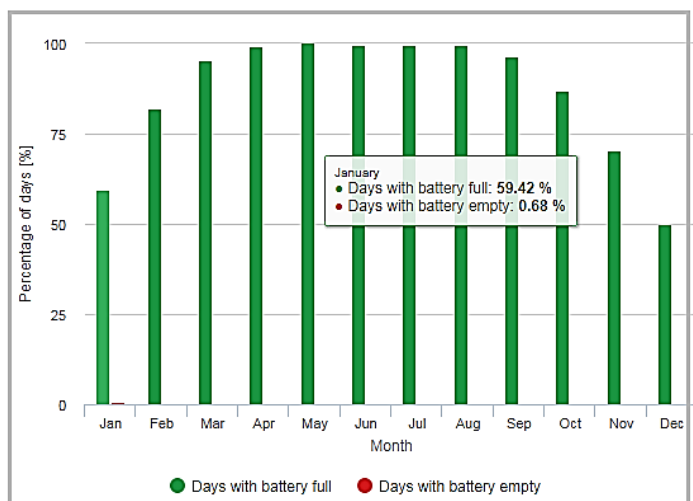
Na Slici 18 je dat dijagram procentualnog broja dana od stanja napunjenosti baterije. Sa dijagrama se uočava da je oko 92% broja dana baterija napunjena na SOC=93-100%, dok je za oko 5% broja dana stanje napunjenosti u opsegu SOC= 86-93%. Za oko 1% dana stanje napunjenosti je SOC=72-79%.

3. Slučaj: baterija 12Vdc/265Ah, DOD=80%, potrošnja 11W

Na Slici 19 su dati dijagrami energetskeg izlaza i viška energije za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubine pražnjenja DOD=80%, i pri normiranoj potrošnji od 11W.



Slika 19. Performanse projektovanog *Off-grid* fotonaponskog sistema; PV energetskeg izlaz za slučaj baterije 12Vdc/265Ah, dubini pražnjenja od DOD=80% i normiranoj potrošnji 11W

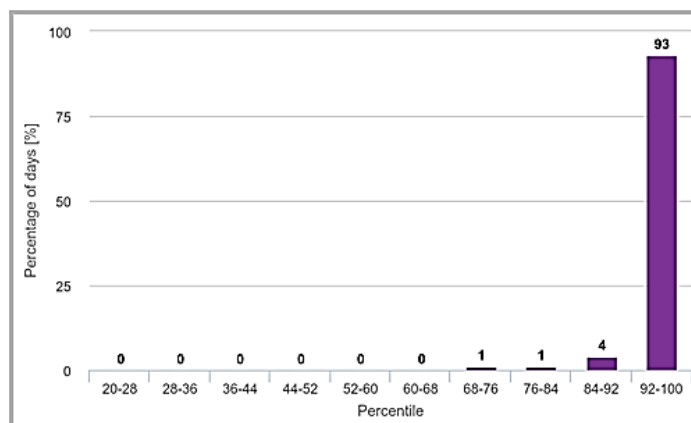


Slika 20. Performanse baterije 12Vdc/265Ah, pri DOD=80%, i normiranoj potrošnji od 11W

Na Slici 20 su date performanse baterije u *Off-grid* sistemu napajanja HMS, koje su dobijene u PVGIS simulatoru. Na osnovu prikazanog dijagrama se uočava da je u najnepovoljnijem mesecu Januaru oko 58,42% dana u mesecu kada je baterija puna, a da je svega 0,68% dana u mesecu kada je baterija prazna. Za ovaj dizajn je pokazano da u najvećoj meri zadovoljava tehničke zahteve, ali je njegov nedostatak veća dubina pražnjenja baterije DOD=80%. Ovo prema dijagramu na Slici 12 smanjuje broj ciklusa baterije na oko 800. Za DOD=50% ovaj broj ciklusa je 1000. Olakšavajuća okolnost za ovaj HMS sistem je da će u

ovom kritičnom režimu raditi samo u mesecu januaru (videti dijagram na Slici 20).

Na Slici 21 je dat dijagram procentualnog broja dana od stanja napunjenosti baterije. Sa dijagrama se uočava da je oko 93% broja dana baterija napunjena na SOC=93-100%, dok je za oko 4% broja dana stanje napunjenosti u opsegu SOC= 84-92%. Za oko 1% dana stanje napunjenosti je SOC=68-76%.



Slika 21. Procentualni broj dana u zavisnosti stanja napunjenosti baterije SOC 12Vdc/265Ah, DOD=80%, potrošnja 11W

IV ZAKLJUČAK

U radu je su predstavljeni rezultati projektovanja *Off-grid* solarnog sistema sa baterijom, nominalnog napona 12 V, kapaciteta 265 Ah za napajanje HMS sistema za akviziciju i monitoring hidrometeoroloških podataka na 38 lokacija, duž plovno putu reka Dunav i Sava. Svi prikupljeni podaci sa hidrometeoroloških senzora se šalju komunikacionim putem žičanom ili bežičnom vezom do koncentratora podataka PLC uređaj Atlas Max – RTL Hydra. Ovaj rad je imao za cilj da se predstavi zahtevni dizajn HMS napajanja u pogledu autonomije (10 dana neprekidnog rada na baterijskom napajanju). Pored ovoga, napajanje električnom energijom sistema HMS obezbeđuje pouzdano i besprekidno napajanje pomenute merne i komunikacione opreme u širokom opsegu temperatura okoline (-40 °C do +60 °C), pri nepovoljnim vremenskim uslovima, atmosferskim uticajima (kiša, sneg, vlaga) kao i uticajima atmosferskih pražnjenja koja su veoma učestala duž pomenutih rečnih tokova.

U radu su sa stanovišta provere dizajna razmotrena tri karakteristična slučaja (rad pri punoj snazi potrošnje, normiranoj snazi potrošnje i u režimu redukovane snage potrošnje- tzv. režim „čuvanja snage“). Nakon toga su predstavljeni rezultati verifikacija dizajna napajanja HMS (fotonaponski panel 415W i baterija 12V/265Ah) u okviru PVGIS 5.3 simulacionog softverskog alata. Na osnovu ovih provera je potvrđeno da projektovani sistem zadovoljava postavljene tehničke zahteve koji se tiču zahtevane autonomije baterije u najnepovoljnijim mesecima u toku godine (decembar i januar).

Nosilac kompletnog projekta (idejnog projekta, projekta za građevinsku dozvolu i projekta za izvođenje), a ujedno i realizator je Institut „Mihajlo Pupin“ d.o.o iz Beograda.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Publikovanje i objava ovog rada su najvećim delom finansirani u okviru projekta Evropske Investicione Banke (EIB) - *IMPLEMENTATION OF A NETWORK OF HYDROMETEOROLOGICAL STATIONS ALONG THE DANUBE AND SAVA RIVERS IN THE REPUBLIC OF SERBIA* čiji su finansijeri Evropska Investiciona Banka i Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture Republike Srbije za period 2023-2026. Jednim delom finansiranja istraživanja i publikovanja ovog rada je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, za period 2026. (Ugovor pod evidencionim brojem 451-03-33/2026-03/200034).

LITERATURA

- [1] Valipour, M., Bateni, S.M., Dalezios, N.R., Almazroui, M., Zekai Şen, E.H. Angelakis, A.N. Hydrometeorology: Review of Past, Present and Future Observation Methods, Hydrology, Intechopen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94939>
- [2] Bruce, J.P., Clark, R.H. *Introduction to Hydrometeorology*, Pergamon International Library of Science, Technology, Amsterdam, Netherlands: Engineering and Social Studies. Elsevier; 2013
- [3] Houser, P. Hydroclimatology and hydrometeorology, in: Richardson D., Castree, N., Goodchild, M., Kobayashi, A., Liu, W., Marston, R.A. (Eds.) *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, pp 1-13, 2016. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0966>
- [4] Betts, A.K. Understanding hydrometeorology using global models, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 85, No. 11, pp. 1673–1688, 2004. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-11-1673>
- [5] Sose, D.V., Ajij, D., Sayyad F. Weather Monitoring Station: A Review, International Journal of Engineering Research and Application, Vol. 6, No. 6, Part -1, pp. 55–60, 2016. https://www.academia.edu/27324543/Weather_Monitoring_Station_A_Review
- [6] Gahlot, N., Gundkal, V., Kothimbire, S., Thite, A. Zigbee based weather monitoring system, The International Journal of Engineering and Science (IJES), Vol. 4, No. 4, pp.61–66, 2015. <https://www.theijes.com/papers/v4-i4/Version-2/I0442061066.pdf> [pristupljeno 11.01.2026]
- [7] Despotović, Ž.V., Tajdić, M. Design and Implementation of a Hybrid Power for Telecommunication and Measuring Remote Station of the Surveillance, Alert and Warning System, in Proc. 29th Telecommunications Forum TELFOR 2021, Belgrade, Serbia, pp. 1-4, 23-24 November 2021. <https://doi.org/10.1109/TELFOR52709.2021.9653255>
- [8] Tajdić, M., Despotović, Ž.V., Kon, J. Design and Implementation of an Uninterruptible Power Supply for Command and Control Centre of the Surveillance, Alert & Warning System, in Proc. 20th International IEEE Symposium INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, pp. 1-6, 17-19 March 2021. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH51037.2021.9400686>
- [9] Ristić, M., Despotović, Ž.V., Batić, M., Tajdić, M., Maksimović-Vasović, I. Development and Implementation Off Grid Powered Hydro Meteorological Stations Along the Sava and Danube Waterways, in Proc. International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Belgrade, Serbia, 1. July 2025.
- [10] Despotović, Ž.V., Tajdić, M., Kon, J. Hibridno napajanje telekomunikacione i merne opreme daljinskih merih stanica u sistemu zaštite od poplava, Energija Ekonomija Ekologija, Vol. 1–2, pp. 102–111, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.102D>
- [11] Tajdić, M., Despotović, Ž.V., Kon, J. Realizacija besprekidnog napajanja komandno-upravljačkog centra u sistemu za osmatranje, obaveštavanje i uzbunjivanje (OOiU), Energija Ekonomija Ekologija, Vol. 23, No. 2, pp. 64-72, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.64T>
- [12] Despotović, Ž.V., Dimić, G., Tajdić, M. Dimenzionisanje solarnog napajanja alarmne stanice u sistemu za osmatranje, obaveštavanje i uzbunjivanje (OOiU), Presentation, 2021. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26001.35685>
- [13] Despotović, Ž.V., Tajdić, M., Design, Implementation and Experimental Testing of a Hybrid Power Supply of Remote Measuring Station in the Surveillance, Alert & Warning System (SAWS), TELFOR Journal, Vol. 14, No. 1, pp.12-19, 2022. <https://doi.org/10.5937/telfor2201012D>
- [14] Jacobson, M., Jadhav, V. World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels, Solar Energy, Vol. 169, pp. 55–66, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.030>
- [15] Solar Panel Tilt Angle Calculator, <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator> [pristupljeno 20.10.2025]
- [16] Solar Panel Azimuth Angle Calculator, <https://footprinthero.com/solar-panel-azimuth-angle-calculator> [pristupljeno 20.10.2025]
- [17] PVGIS 5.3 - SARA3, <https://pvgis.com/en/pvgis-5-3> [pristupljeno 20.10.2025]
- [18] Solar design & proposal software for residential, commercial & battery systems — in minutes https://solarproof.com.au/datasheets/panel_datasheet_63babd977fba37a96e364899b482336c.pdf [pristupljeno 20.10.2025]
- [19] 8G8DLTP-DEKA https://www.solaris-shop.com/content/8G8DLTP-DEKA%20Specs.pdf?srsltid=AfmBOoq1PEyDVZ8C374Q_SpCs6sw-r4a27rwdpGAKPa98eP_eg7deai [pristupljeno 20.10.2025]

AUTORI/AUTHORS

Željko V.Despotović - Dr, dipl.el.iž., Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija, e-mail: zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710) (**koresponding autor**)

Marko Tajdić - Dipl.el.inž., Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija, e-mail: marko.tajdic@pupin.rs, ORCID [0009-0000-1187-2988](https://orcid.org/0009-0000-1187-2988)

Marko Ristić - Dr, dipl.maš.inž., Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija, e-mail: marko.ristic@pupin.rs, ORCID [0009-0005-9621-4584](https://orcid.org/0009-0005-9621-4584)

Marko Batić - Dr, dipl.el.inž., Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija, e-mail: marko.batic@pupin.rs, ORCID [0000-0002-8443-3932](https://orcid.org/0000-0002-8443-3932)

Off Grid Power Supply of Hydro Meteorological Stations in the System for Collecting and Monitoring of Meteorological Data along the Danube and Sava Rivers in the Republic of Serbia

Abstract – The paper presents the *Off-Grid* power supply of hydro meteorological stations (HMS) in the system for collecting and monitoring meteorological data along the waterway of the Danube and Sava rivers on the territory of the Republic of Serbia. The *Off-grid* power supply is based on a 415W photovoltaic panel, a 12Vdc/265Ah battery and a suitable charge controller with an implemented photovoltaic panel maximum power point tracking (MPPT) function. Consumers in the meteorological collecting and data monitoring system are: meteorological station with associated sensors (wind direction and speed, air temperature, relative humidity, air pressure and rainfall amount), visibility sensor, pressure and water temperature sensors in the river, communication interface with a device for detecting and measuring

the presence and characteristics of river waves (floating buoy), a PLC controller as a data concentrator and other telecommunication devices for communication with supervisory command centers. The electric power supply of the HMS system ensures reliable and uninterrupted power supply of the mentioned measuring and communication equipment in a wide range of ambient temperatures (-40°C to $+60^{\circ}\text{C}$), in adverse weather conditions, atmospheric influences (rain, snow, humidity) as well as the effects of atmospheric discharges, which are very frequent along the mentioned waterways. Therefore, the role and methods of implementation of both primary protection against atmospheric discharges (lightning strikes) and secondary over-voltage protection of measuring and telecommunication equipment are additionally highlighted in the paper

Index Terms – Hidrometeorological stations, Off-grid power supply, battery, MPPT controller, lightning protection, over voltage protections.