

# Hibridni besprekidni sistem napajanja za navodnjavanje povrtnarskih kultura na parceli "Grabovac"- Obrenovac

## Hybrid Uninterruptible Power Supply System for Irrigation of Vegetable Crops on the Grabovac - Obrenovac Plot

Željko V. Despotović, Ilija R. Stevanović

Institut "Mihajlo Pupin", Univerzitet u Beogradu, Srbija

**Rezime** - U radu je prikazana realizacija hibridnog besprekidnog sistema napajanja koji se koristi u sistemima navodnjavanja „kap po kap“ i „Agrokapilaris“, povrtnarskih kultura na ogleđnoj parceli Srednje Tehničke Poljoprivredno-Hemijske škole iz Obrenovca, na lokaciji mesta Grabovac. Hibridni sistem napajanja je dominantno baziran na korišćenju obnovljivih izvora energije (vetar i sunce) uz upotrebu baterijske banke. Dodatno je realizovan elektronski kontrolisan brzi elektronski statički prekidač, kojim se obezbeđuje neprekidnost napajanja sistema za navodnjavanje. Tendencija je da sistem navodnjavanja prvenstveno radi u tzv. „režimu korišćenja zelene energije“, a samo u slučajevima nedostatka vetra i sunca, ili u slučaju ispražnjenosti baterijske banke, sistem se automatski i u veoma kratkom intervalu vremena, prebacuje na elektrodistributivnu mrežu 230 V, 50 Hz. U okviru realizovanog sistema su ugrađeni vetro-turbina snage od 500 W, sistem od četiri solarna panela ukupne snage 1100 W, baterijska banka 24 Vdc / 240 Ah i pripadajući uređaji energetske elektronike (MPPT punjači baterija i inverter izlazne snage 1600 W).

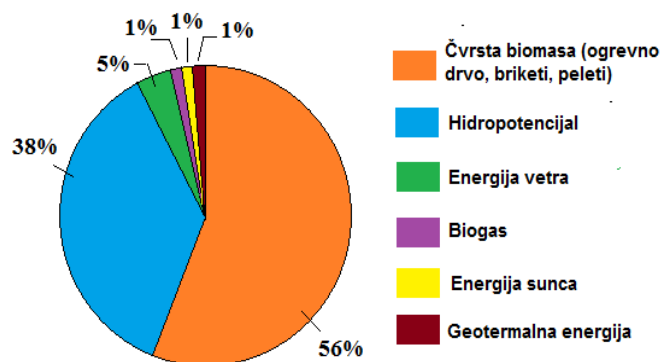
**Ključne reči** - hibridni sistem, napajanje, OIE, vetro-turbina, solarni paneli, energetska elektronika

**Abstract** - The paper presents the realization of a hybrid uninterruptible power supply system used in drip and "Agrokapilaris" irrigation systems for vegetable crops on the experimental plot of the Secondary Technical Agricultural-Chemical School from Obrenovac, at the location of Grabovac. The hybrid power supply system is predominantly based on the use of renewable energy sources (wind and sun) with the use of a battery bank. An electronically controlled fast electronic static switch is additionally implemented, which ensures uninterrupted power supply to the irrigation system. The tendency is that the irrigation system primarily works in the so-called "green energy use mode", and only in cases of lack of wind and sun, or in case of battery discharge, the system automatically (in a very short time interval) switches to the 230 V, 50 Hz electricity distribution network. Within the realized system, a 500 W wind turbine, an 1100 W system of four photovoltaic panels, a 24 Vdc / 240 Ah battery bank and associated power electronics devices (MPPT battery chargers and 1600 W output power inverter) were installed.

**Index Terms** - hybrid system, power supply, RES, wind turbine, solar panels, power electronics

### I UVOD

Korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE) i bolje iskorišćavanje energije vetra i sunca, zajedno sa proizvodnjom biomase i mogućnostima proizvodnje energetske useva, značajna je prednost i šansa Srbije u oblasti tehnološkog razvoja i zaštite životne sredine (Strategija poljoprivrede i ruralnog razvoja Republike Srbije za period 2014-2024. god.). Proizvodnja energije iz OIE u Srbiji je još uvek na niskom nivou. Prema podacima Energetskog bilansa Republike Srbije za 2019. godinu [1], učešće OIE u domaćoj proizvodnji primarne energije iznosi 19.5% (procena za 2018.), odnosno 18.9% (planirano za 2019.), pri čemu u strukturi proizvodnje energije iz OIE dominantno učešće ima drvena biomasa i hidro energija, dok je učešće energije vetra, biogasa, energije sunca i geotermalne energije veoma nisko kao što pokazuje grafikon na Slici 1.



Slika 1. Energetski bilans OIE Srbije iz 2019 god. [1]

Republika Srbija je članica Energetske zajednice, i u cilju integracije njenog energetskeg sektora u energetske sistem EU i ispunjavanja preuzetih obaveza u primeni evropskih direktiva i odluka, nacionalnim strateškim dokumentima predviđeno je efikasnije korišćenje energije i povećanje proizvodnje iz OIE u bruto finalnoj potrošnji energije.

Tehničko rešenje koje je predstavljeno u ovom dokumentu predstavlja jedan mali doprinos u povećanju iskorišćenja OIE i odnosi na rešavanje problematike optimalnog i energetski efikasnog iskorišćenja energije sunca i vetra. Pored toga, u okviru njega je implementirano pouzdano besprekidno napajanje sistema za navodnjavanje i unapređenja agro-tehničkih mera navodnjavanja povrtarskih kultura na poljoprivrednom dobru Srednje poljoprivredno-Hemijske Škole-Obrenovac, parcela na lokaciji sela "Grabovac".

Hibridni sistemi za napajanje električnom energijom u principu predstavljaju elektroenergetske sisteme koji sadrže više od jednog izvora električne energije. Uopšteno govoreći, hibridni sistemi napajanja snabdevaju potrošače električnom energijom, koja se dobija uglavnom iz obnovljivih izvora [2-7]. Ti sistemi se najčešće sastoje od vetrogeneratora, solarnih panela, hidrogenatora, a u nekim slučajevima kada se zahteva veća autonomija napajanja se koriste i dizel-električni ili benzinski agregati [8-10]. Pomenuti agregati su relativno jeftini, ali njihovo korišćenje je skopčano sa problemima ugradnje, montaže, provetravanja i u krajnjem slučaju značajnijeg zagađenja okoline. Stoga se u specijalnim slučajevima, u ovim hibridnim sistemima kao dopunski izvor može koristiti i elektro-distributivna mreža. U ovim slučajevima je neophodno koristiti automatski statički prekidač kojim se obezbeđuje brzo i pouzdano prebacivanje sistema na mrežno napajanje i obrnuto sa mrežnog napajanja na sistem OIE. Na ovaj način pomenuti hibridni sistemi napajanja postaju i besprekidni.

Hibridni sistemi su jako pogodni za napajanja sistema za navodnjavanje koji se nalaze u ruralnim oblastima i teško dostupnim lokacijama, gde nema mogućnosti napajanja sa elektrodistributivne mreže ili je ovo mrežno napajanje intermitentnog karaktera [8-10]. Kapacitet hibridnih sistema se kreće u opsegu od nekoliko stotina vati do nekoliko desetina kilovata. Ovi sistemi najčešće mogu da skladište električnu energiju, koja je potrebna pri pojavi pikova potrošnje ili kada je snaga mreže mala. Skladištenje se vrši u akumulatorskim baterijama pomoću kojih se povećava fleksibilnost i pouzdanost sistema. Veoma čest slučaj je da se napajanje sistema za ispumpavanje vode ostvaruje posredstvom rezervnih (tzv. "back-up") sistema napajanja. U ovim sistemima se pored baterijske banke (DC izvor) koristi drugi AC izvor, odnosno napojna distributivna mreža.

Renomirani proizvođači ovakvih sistema (VESTAS, *General Electric*, SIEMENS...) nude rešenja za velike snage (> 10 kW) i ona su po pravilu "On-Grid" sistemi sa sinhronizacijom glavnog invertora i "krute" distributivne mreže. Ovi hibridni sistemi su bazirani na isporuci energije proizvedene iz sunca i vetra u elektrodistributivnu mrežu. Ova rešenja nisu prilagođena za relativno male potrošače (potrošače malih snaga), kakvi se sreću u aplikacijama u poljoprivredi, odnosno u sistemima navodnjavanja.

Na tržištu malih hibridnih sistema (sistemi sa relativno malim zahtevima u pogledu snage) se nude slična tehnička rešenja koja se uglavnom odnose na hibridne sisteme malih snaga (do 4 kW) bazirane na korišćenju vetra i sunca, uz upotrebu baterijske banke. U većini slučajeva se ostvaruje kombinacija napajanja sa skupim, bučnim i veoma zagađujućim dizel električnim ili

benzinskim elektro agregatima. Ova rešenja sa dizel ili benzinskim elektro agregatima, kao i rešenja se korišćenjem mrežnih priključaka (elektro distributivna mreža), su veoma skupa i ne uključuju ostalu infrastrukturu kao što su polaganje kablovskih trasa, daljinska komunikacija i praćenje statusa sistema napajanja, baterijske banke, sistema za navodnjavanje, zaštita od atmosferskih pražnjenja, prenaponske zaštite i sl.

Na osnovu pregleda literature u ovoj oblasti, kao i pregleda komercijalizovanih rešenja [11-14], zaključak je da su ovi hibridni sistemi realizovani uglavnom kao kombinacija korišćenja energije sunca i vetra (opciono dizel ili benzinski elektro agregat) i da nema baš mnogo dostupnih standardnih rešenja po sistemu "ključ u ruke", sa integracijom mrežnog napajanja i elektronske statičke preklopke. Uglavnom su sistemi realizovani u zavisnosti od konkretne situacije i za konkretnu aplikaciju koja zavisi od uslova navodnjavanja za datu lokaciju ili poljoprivrednu parcelu. Cene raspoloživih komercijalnih hibridnih sistema napajanja su relativno visoke i nisu obično ni tehnički ali i novčano primerene specifičnim projektnim zahtevima koji se traže u sistemima za unapređenje agrotehničkih mera navodnjavanja. U skoro svim slučajevima komercijalnih rešenja za ovakve sisteme se ne nudi varijanta sa integracijom postojećeg napajanja sa mrežnim napajanjem 230 V, 50 Hz i upotrebom statičke preklopke.

Shodno prethodnim razlozima, pristupilo se projektovanju, optimizaciji i realizaciji novog besprekidnog, hibridnog sistema napajanja i kompletne elektroenergetske i telekomunikacione instalacije, uključujući i sistem uzemljenja i prenaponskih zaštita. Primenjeno tehničko rešenje hibridnog besprekidnog sistema napajanja, kao jedna od bitnih mera za unapređenje napajanja na olednoj parceli "Grabovac", pored svoje osnovne funkcije-napajanje sistema navodnjavanja „kap po kap“ i „Agrokapilaris“ povrtarskih kultura, predstavlja i doprinos popularizaciji, promociji i transferu znanja o mogućnostima korišćenja OIE u poljoprivrednoj proizvodnji u Republici Srbiji.

## II ENERGETSKI ZAHTEVI POTROŠNJE U SISTEMU NAVODNJAVANJA NA LOKACIJI "GRABOVAC"

Predloženi hibridni sistem i besprekidni sistem napajanja u potpunosti zadovoljava zahteve potrošnje. U nastavku teksta je dat opis sistema potrošača po snagama, kao i detaljniji opis svakog od potrošača na pomenutoj poljoprivrednoj parceli.

Glavni energetski potrošač u sistemu je potapajuća pumpa za navodnjavanje, protoka 10-65 l/min, maksimalnog napora 35 m, koja je potopljena u bunaru sa podzemnom vodom, na dubini od oko 25 m. Korisna izlazna mehanička snaga pumpe je 750 W, dok je ulazna električna snaga elektromotora pumpe 1300 W<sub>max</sub>. Korišćeni elektromotor je monofazni, napona napajanja 230 V, 50 Hz. U okviru sistema plastenika, predviđena je dupla folija na naduvavanje, gde se uz pomoć kompresora koji se ugrađuje unutar plastenika uduvava vazduh iz plastenika u prostor između folija i na taj način pravi dobra toplotna izolacija, odličan termički efekat i dobra zategnutost folija. Za rad kompresora potrebno je obezbediti električnu energiju napona 230 V, 50 Hz i snagu oko 100 W. Pored kompresora se koristi pritisna prekidač ili opciono vremenski programator (tajmer), koji regulišu uključivanje i isključivanje kompresora, odnosno

održavaju pritisak u međuprostoru između dve folije. Provetravanje plastenika je obezbeđeno na dve bočne strane roletnama, pri čemu se koriste odvojeni elektromotorni pogoni za obe strane. Ovi pogoni su sa relativno velikom redukcijom brzine i njihova snaga ne prelazi 200 W. Na osnovu prethodnog, proizilazi da je instalisana snaga potrošnje na ovom sistemu za navodnjavanje oko 1600 W. Olakšavajuća okolnost je ta što u sistemu nikada ne rade svi potrošači istovremeno, tako da je maksimalna jednovremena snaga oko 1300 W (u projektnim zahtevima usvojen je realan koeficijent jednovremenosti od 0,8).

Primena energije vetra u kombinaciji sa solarnom energijom predstavlja jedan od najefikasnijih hibridnih sistema napajanja za različite namene koje se odnose na primeni i unapređenju agrotehničkih mera u sistemima navodnjavanja. Povoljnu okolnost predstavlja i ta činjenica da u periodima godine kada se imaju slabije sunčeve insolacije (poznata jesen, zima, rano proleće) prirodno dominira energija vetra. Takođe i u letnjem periodu (koji inače podrazumeva dominantnu energiju Sunca), naročito u planinskim oblastima, ali ne retko i u ravničarskim, u noćnim uslovima kada nema sunčeve energije, energija vetra postaje dominantna. Na ovaj način se ove dve vrste obnovljive energije dopunjavaju, tako da se tokom cele godine ima skoro neprekidni sistem koji može da obezbedi napajanje sistema za navodnjavanje. Ukoliko se kao dodatni izvor obezbedi napajanje iz distributivne mreže 230 V, 50 Hz, uz obavezno korišćenje statičkog prekidača, onda se može govoriti o besprekidnom sistemu napajanja za navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Treba napomenuti da je u ovim sistemima potreban baterijski sistem za akumulaciju energije vetra i solarnu energiju (tzv. „baterijska banka“) i on treba da obezbedi napajanje sistema za navodnjavanje u periodima kada nema dovoljno energije vetra i (ili) energije sunca. U slučaju kada je baterijska banka ispražnjena i nije u stanju da obezbedi napajanje potrošača preko glavnog AC/DC pretvarača invertora, napajanje preuzima distributivna mreža 230 V, 50 Hz.

U nastavku rada će biti prikazana realizacija jednog ovakvog sistema napajanja koji je primenjen na postrojenju za ispušavanje vode i zalivanja povrtarskih kultura po sistemu „kap po kap“ na školskoj oglednoj parceli Srednje Tehničke Poljoprivredno-Hemijske škole iz Obrenovca, na lokaciji mesta Grabovac. Pored pomenutih osnovnih zahteva za energetskim napajanjem potrošača u realizovanom tehničkom rešenju je obezbeđen sistem zaštitnog uzemljenja, sistem zaštite od atmosferskih pražnjenja, prenaponske zaštite i formiranje kablovskih trasa i polaganje svih potrebnih kablova (napojni energetski i signalni kablovi).

### III OSNOVNA KONCEPCIJA SISTEMA HIBRIDNOG NAPAJANJA

Na Slici 2 je prikazana dispozicija objekata i elektro-mehaničke opreme na oglednom dobru Srednje poljoprivredno-hemijske škole iz Obrenovca, koje je locirano u mestu Grabovac.

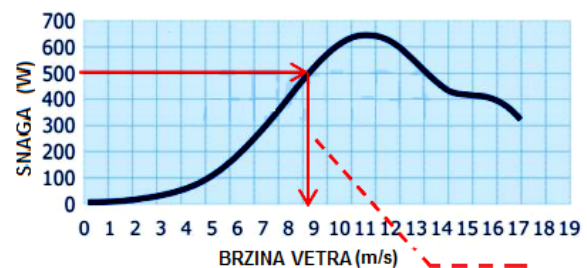
Energija sunca se obezbeđuje iz četiri solarna panela, svaki maksimalne snage 275 W, pri maksimalnoj sunčevoj insolaciji od oko 1000 W/m<sup>2</sup>. Energija vetra se obezbeđuje iz vetroturbine čiji generator na svom izlazu može da ostvari maksimalnu snagu od 500 W pri brzini vetra od 9 m/s.

Korišćena vetro-turbina u ovom sistemu je AEOLOS H500. Turbina je izvedena sa tri kraka, odnosno lopatice koje su načinjene od kompozitnog materijala PA66, pri čemu je rotor prečnika 2.7 m, efektivne površine preseka kroz koje se obrću lopatice (tzv. „swept area“) od 5.7 m<sup>2</sup>. Nominalna brzina obrtanja rotora vetroturbine je oko 480 ob/min. Izlazni generator vetroturbine je trofazni sa permanentnim magnetima u pobudi, nominalnog napona 24 Vac, izlazne učestanosti 50 Hz (60 Hz), i energetske efikasnosti >0.85 (odnosno >85%). Na Slici 3 je data izlazna karakteristika snage korišćene vetroturbine AEOLOS H500. Prikazana karakteristika daje zavisnost izlazne električne snage vetrogeneratora izražene u [kW] u funkciji brzine vetra izražene u [m/s].



Slika 2. Dispozicija objekata i opreme na oglednom dobru „Grabovac“

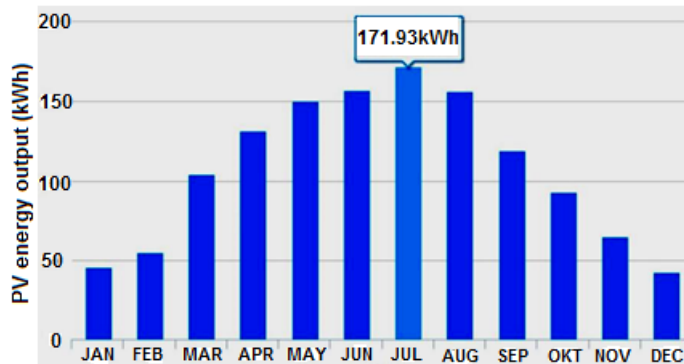
Sa ove karakteristike se uočava da se pri brzini od oko 9 m/s ima na izlazu približno deklarirana električna snage od 500 W. Pri ovim uslovima je godišnja električna proizvodnja od oko 5466 kWh. Ovo je optimistička vrednost i u proceni treba računati sa srednjom godišnjom brzinom vetra od 5 m/s (obzirom na stohastički karakter ove veličine), tako da se pri tom uslovu može računati sa srednjom godišnjom električnom proizvodnjom od oko 1200 kWh.



BRZINA VETRA (m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
SNAGA (W)	17	40	85	155	248	365	480	580
GODIŠNJA PROIZV. EN.(MWh)	0.22	0.63	1.26	2.17	3.25	4.47	5.46	6.1

Slika 3. Karakteristika izlazne snage generatora vetroturbine AEOLOS H500

Na Slici 4 su prikazana srednje mesečne proizvodnja električne energije (u toku jedne godine) iz četiri fotonaponska panela fiksnog nagiba, ukupne snage 1100 W, na lokaciji mesta Grabovac, dobijena korišćenjem softvera PVGIS [15].



**Slika 4.** Srednje mesečne proizvodnje električne energije (2018 god.) za četiri solarna panela zbirne snage 1,1 kW za lokaciju mesta Grabovac

Najveća srednja vrednost proizvedena električne energije iz solarnih panela se ima u periodu april-septembar (minimalna vrednost u septembru od oko 120 kWh i maksimalna vrednost u julu od oko 171 kWh). Sa prethodnog dijagrama se takođe može uočiti da je ukupna srednja godišnja proizvodnja ove grupe panela oko 1290 kWh, što je približno jednako predstavljenoj srednjoj godišnjoj proizvodnji vetroturbine.

Principska blok šema hibridnog sistema napajanja je data na Slici 5. Sistem obnovljivih izvora (vetar i sunce) na ovoj lokaciji može da obezbedi maksimalnu snagu od oko 1600 W. Jednosmerni izlazni napon paralelno povezanih solarnih panela je 18-36 Vdc (nominalno 24 Vdc). Napon vetrogeneratora je trofazni vrednosti od oko 30 Vac i on se specijalni elektronskim sklopom pretvara u jednosmerni napon vrednosti od oko 28V dc. Pomenuti jednosmerni naponi se koriste za punjenje baterijske banke nominalnog napona 24 Vdc, kapaciteta 240 Ah. Paralelno svakoj baterijskoj grupi su vezani moduli za izjednačavanje napona i struja na baterijama EQ1 i EQ2. Na ovaj način se postiže ravnomerno „trošenje baterija“ i podiže se životni vek baterija, koje inače predstavljaju najskuplji deo sistema. Izlazni napon hibridnog sistema napajanja je naizmenični 230 V, 50 Hz, tako da je u sistemu prisutan energetski pretvarač (inverter) koji pretvara jednosmerni napon baterijske banke od 24 Vdc u napon 230 Vac.

Stabilizacija napona i struje iz solarnog panela i punjenje baterijske banke je ostvareno DC/DC pretvaračem (punjačem) koji u sebi ima implementiran algoritam praćenja tačke maksimalne snage (*“Maximum Power Point Tracking”* - MPPT). Ovim sklopom je obezbeđeno kontrolisano i optimalno punjenje baterijske banke maksimalnom strujom od 10 A (kada je najjača insolacija, odnosno 1000 W/m<sup>2</sup>). Ovaj sklop poseduje sve potrebne električne zaštite (naponske i strujne) i obezbeđuje maksimalno iskorišćenje nelinearne krive raspoložive snage solarnog panela [16-17].

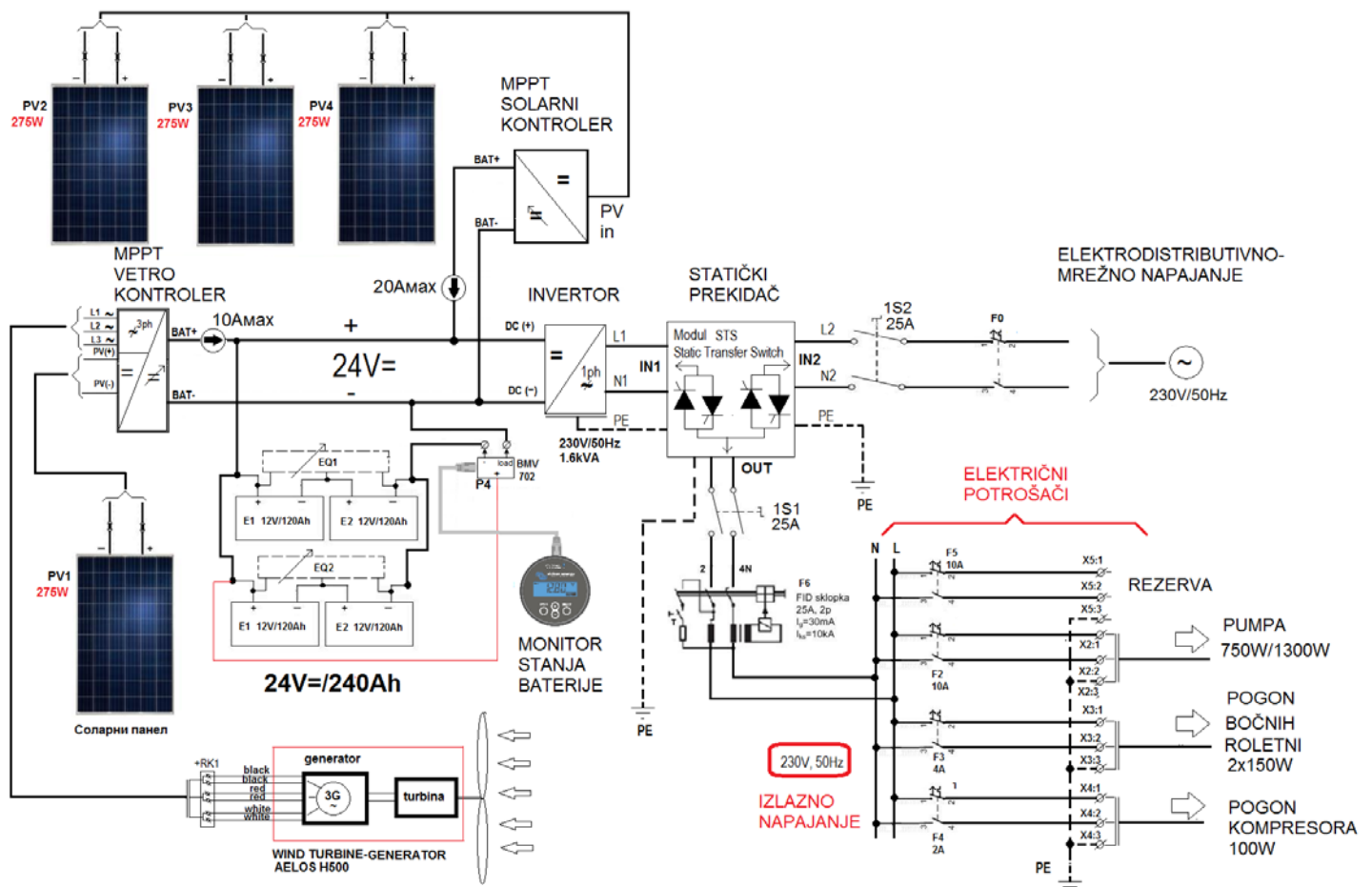
Uređaj za konverziju jednosmernog napona baterijske banke u naizmenični napon 230 V, 50 Hz, koji se inače popularno naziva

inverter, obezbeđuje napajanje svih potrošača u sistemu, u slučaju dok ima dovoljno energije iz obnovljivih izvora ili baterijske banke. Ovaj uređaj daje na svom izlazu maksimalnu prividnu snagu od 3200 VA, odnosno aktivnu snagu od 2400 W, pri faktoru snage od 0,8. Ova snaga se odnosi na najnepovoljnije temperaturne uslove radne okoline, odnosno na okolnu temperaturu od +40 °C. Pri nižim temperaturama okoline (tipično do +25 °C) izlazna aktivna snaga koja se može ostvariti je oko 2800 W. Obzirom da je najkritičnije opterećenje za ovaj energetski stepen, pumpa sa pokretačkim monofaznim elektromotorom ulazne snage 1300 W, izabran je izlazni modul koji pri startu pumpe (najkritičniji režim) daje izlaznu maksimalnu snagu od 10 kW u kratkotrajnom vremensko intervalu od 1s. Izlazni inverter sadrži sve potrebne naponske zaštite (podnaponska i prenaponska) kako na svom jednosmernom ulazu, tako i na izlaznim priključcima 230 V, 50 Hz. Pored ovih zaštita su obezbeđene strujne zaštite od preopterećenja i od kratkog spoja na izlazu invertora.

Napon koji obezbeđuje vetro-generator je trofazni, sinusni i maksimalne efektivne vrednosti od oko 35 Vac pri brzini vetra od oko 10 m/s, dok je pri brzini vetra od 9 m/s ovaj napon efektivne vrednosti of oko 24 Vac. Pri ovim uslovima struja po fazi je oko 6 A. Stabilizacija napona vetrogeneratora je obezbeđena posebnim MPPT modulom koji je predviđen za paralelan rad sa solarnim MPPT kontrolerom (punjačem). Ulazni trofazni napon vetrogeneratora se pretvara u jednosmerni napon posredstvom ulaznog ispravljača, a ovaj ispravljeni napon se zatim stabilizuje i prilagođava baterijskom naponu. Izlazna struja koju obezbeđuje ovaj modul je oko 20 A pri maksimalnoj brzini vetra, tako da je ukupna struja punjenja baterije, uzimajući u obzir i solarne panele, oko 30 A pri maksimalnim ulaznim snagama iz obnovljivih izvora energije (vetra i sunca). Vetro-generatorski MPPT modul ima implementiranu dodatnu funkciju mehaničkog kočenja vetrogeneratora (aktiviranje mehaničke kočnice) u uslovima jakih (olujnih vetrova) kada se imaju brzine vetra veće od 10 m/s. U konkretnom slučaju je mehaničko kočenje vetro-generatorskog sklopa obezbeđeno pri brzini vetra od 10 m/s. Sa karakteristike snage koja je prikazana na Slici 2 se upravo uočava da se pri brzini vetra od 11 m/s (što predstavlja kritičan slučaj) ima maksimalna (tzv. „prevalna“ snaga od 650 W. Rad pri ovim uslovima nije preporučljiv, p je obezbeđeno kontrolisano mehaničko kočenje generatora u režimu do 10 m/s.

Autonomija izvedenog sistema napajanja, kada se koristi pomenuta baterijska banka je oko 2,5 h ako se baterije prazne na dubinu pražnjenja od 50%, dok je za veće dubine pražnjenja (oko 80-90%) moguće obezbediti energiju u intervalu od 4 h. Realni zahtev što se tiče vremena autonomije, u sklopu primena agrotehničkih mera navodnjavanja „kap po kap“ na ovom poljoprivrednom dobru, je oko 2 h. U slučaju potpunog pražnjenja baterijske banke i redukovane snage iz obnovljivih izvora ( u slučaju kada nema vetra i sunčeve insolacije) predviđeno je automatsko uključivanje mrežnog napajanja 230 V, 50 Hz, putem automatske statičke preklopke (tzv. *“Static Trasfer Switch”*), koji je prikazan na električnoj principskoj šemi na Slici 5, tako da je obezbeđeno neprekidno snabdevanje sistema potrošača, odnosno sistema za navodnjavanje, pogona kompresora plastenika i pogona roletni za provetravanje plastenika. U okviru baterijske banke je realizovan specijalan





Slika 5. Principalska blok šema hibridnog napajanja potrošača na oglednom dobru Grabovac

digitalni elektronski sklop sa energetske mernim otpornikom (strujnim šantom), osetljivosti 1 mV / 1 A, za strujni opseg 0-500 A, kojim je obezbeđen monitoring i kontrola stanja baterijske banke. Na LCD displeju ovog modula je moguće selektivno očitavati sledeće relevantne veličine: struju punjenja/praznjenja baterije izraženu u [A], napon baterije u [V], trenutnu raspoloživu i procenjenju energiju baterije do krajnje dubine praznjenja, izražene u [kWh], dubinu ispražnjenosti baterija izražene u [%], kao i stanje napunjenosti baterijske banke izražene u [%]. Prekostrujna zaštita svih sklopova je izvedena automatskim zaštitnim prekidačima, dok zaštita od strujnog udara na strani 230 V, 50 Hz, izvedena dvopolnom zaštitnom sklopom za 25 A, sa diferencijalnim dejstvom (FID sklopka) označena na blok šemi sa F6. Struja reagovanja diferencijalne zaštite je podešena na 30 mA.

Potrošači koji se napajaju sa monofazne sabirnice 230 V, 50 Hz (pogon pumpnog agregata električne snage 1300 W, pogon bočnih roletni plastenika, pogon kompresora plastenika) su zaštićeni od prevelikih struja (struja preopterećenja) i kratkih spojeva, dvopolnim automatskim zaštitnim prekidačima. Razvod pogona bočnih roletni i pogona kompresora plastenika su izvedeni sa razvodnog ormarića koji je postavljen na DIN35 montažnu šinu na konstrukciji neposredno na ulazu u plastenik sa desne strane. U okviru ovog ormarića je predviđena monofazna servisna utičnica za 16A.

Sva pomenuta oprema i moduli energetske opreme su smešteni u energetske glavnom razvodnom ormanu (GRO). Razvodni orman je predviđen za montažu na metalni nosač koji je fundiran na podestu na zemlji. Dimenzije GRO su 1000x800x400 mm, a sam razvodni orman je izrađen je od dva puta dekapiranog lima, debljine 2.5 mm i što je veoma bitno (obzirom da je izložen spoljašnjim uticajima) predviđen je u stepenu zaštite IP66. Obzirom da je GRO izložen različitim klimatskim uticajima vođeno je računa da oprema u njemu bude u približno stabilnim temperaturnim uslovima i u normalnim uslovima relativne vlažnosti. U tom cilju je predviđeno prinudno hlađenje GRO i u njega je postavljena grupa termostat-higrostat zajedno sa grejačem i ventilatorom. Na bočnim stranama GRO je obezbeđen usis i potis vazduha za hlađenje. U periodima kada je relativno visoka temperatura okoline (letnji period sa temperaturom okoline +40 °C) uključuje se preko termostata sistem za ventilaciju ormara, tako da je kroz pripadajuće žaluzine na gornjoj strani obezbeđen odvod toplog vazduha. U periodima kada su niske temperature (zimski period) radi sprečavanja kondenzacije u ormanu uključuje se preko grupe posebne termostat-higrostat, grejač snage oko 60 W, na naponu 230 V, 50 Hz koji zajedno sa ventilatorom zagreva unutrašnjost ormara, održava zadatu vlažnost unutrašnjeg prostora i sprečava pojavu kondenzacije. Na bočnoj strani ormara je postavljena priključna kutija u kojoj se nalazi glavni prekidač električnog pogona pumpe, kao i dve vizuelne svetlosne indikacije: rad na obnovljivoj

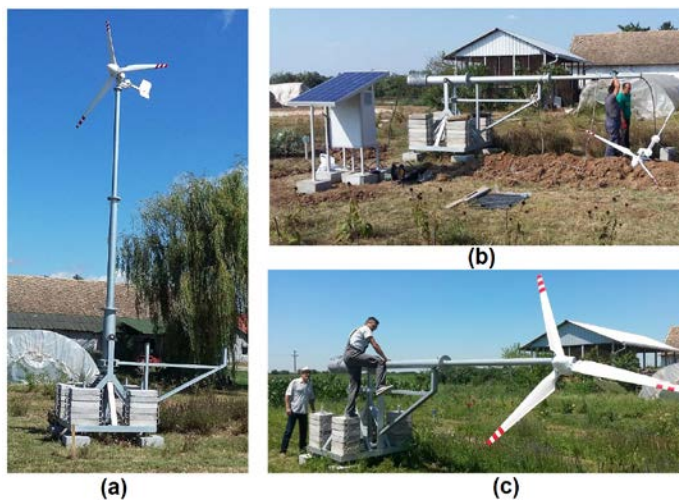
energiju (zelena signalna sijalica) i rad na elektro-distributivnom mrežnom napajanju 230 V, 50 Hz, kada je uključena crvena signalna sijalica.

Pored pomenutih instalacija obnovljivih izvora u sistemu napajanja je izvedeno i zaštitno uzemljenje koje obezbeđuje zaštitu od strujnog udara, obzirom da je glavni pogonski napon sistema 230 V, 50 Hz koji je smrtonosan.

#### IV REZULTATI REALIZACIJE HIBRIDNOG SISTEMA BESPREKIDNOG NAPAJANJA U GRABOVCU

Realizacija kompletnog hibridnog postrojenja je izvršena u deset faza. U ovom poglavlju će biti predstavljeni ključni rezultati koji su ostvareni za svaku od ovih aktivnosti.

Prva aktivnost koja je urađena na lokaciji oglednog dobra u Grabovcu je bila montaža stuba vetroturbine sa zakretnim mehanizmom. Sama konstrukcija stuba i zakretnog mehanizma predstavljaju novo i originalno rešenje IMP. Neke od najbitnijih faza u toku ove aktivnosti su date prikazom na Slici 6.



**Slika 6.** Montaža stuba vetroturbine

(a) izgled vertikalno postavljenog stuba sa vetro-turbinom, (b) stub postavljen u horizontalni položaj radi montaže generatora i polaganje generatorskog kabela, (c) obaranje stuba u horizontalni položaj

Na Slici 6(a) je dat prikaz postavljene vetroturbine sa generatorom, na stubu visine 6m od površine zemlje. Nakon postavljanja je izvršeno fundiranje stuba sa betonskim nosačima i odgovarajućim kontra-tegovima. Stub vetroturbine ima mogućnost zakretanja i obaranja iz vertikalnog u horizontalni položaj. Horizontalni položaj je u stvari servisni položaj i služi kada se vrše intervencije na samoj turbini ili elektro-generatoru. Tako je na Slici 6(b) prikazana dispozicija stuba u horizontalnom položaju, koji je predviđen za montažu generatora, postavljanje napojnog kabela elektro-generatora i servisiranje samog generatora i njegovih ključnih elemenata. Slika 6(b) upravo prikazuje montažu i polaganje generatorskog kabela ka GRO. Na Slici 6(c) je dat prikaz oborene vetroturbine u horizontalnom položaju i postavljanje mehaničkih graničnika i sigurnosne mehaničke opreme.

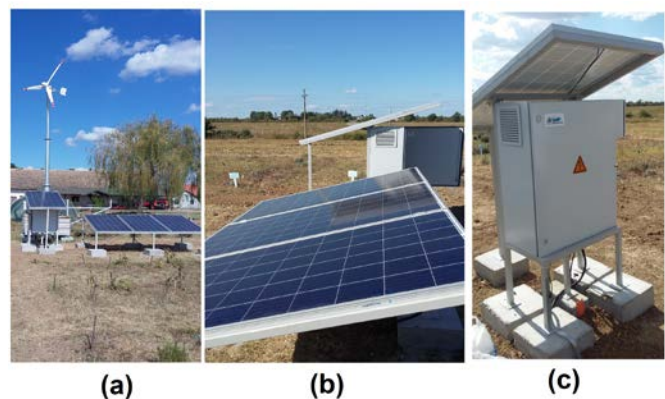
Druga aktivnost u realizaciji ovog projekta se odnosila na iskop

kablovskih kanala za smeštaj svih potrebnih energetske napojnih i signalnih kablova. Treba napomenuti da je u isti kanal položen cevovod za navodnjavanje plastenika, na dubini od oko 1 m, odnosno 0.5 m ispod kablovske instalacije.

Treća aktivnost se odnosila na polaganje svih potrebnih energetske i signalnih kablova dispoziciono postavljenih na nivou u zemlji koji se nalazi iznad nivoa cevovoda za distribuciju tehničke vode za navodnjavanje. Svi kablovi (energetski i signalni) su tipa PP41 i položeni su na dubini od 0.5 m, prema svim propisima i procedurama za ovaj tip instalacija.

Četvrta aktivnost je realizovana nakon polaganja kablova, a odnosila se na dodatnu zaštitu, obeležavanje i zatrpavanje kablovskih trasa. U okviru ove aktivnosti je izvršeno postavljanje kablovskih PVC štitnika, neposredno na rastojanju 20 cm iznad pozicije kabla i postavljanje upozoravajuće trake duž cele kablovske trase na rastojanju od oko 20 cm iznad plastičnih štitnika. Na ovaj način je izvršena dodatna mehanička zaštita i obeležavanje trase. Ovo je bilo izvedeno imajući u vidu da će se na tom delu oglednog dobra vršiti odgovarajući povrtarski radovi i sađenje određenih kultura, čime bi postojala potencijalna mogućnost oštećenja kablova.

Peta aktivnost se odnosila na postavljanje sistema zaštitnog uzemljenja (uzemljivačkih sondi dužine 1,5 m i zemljovoda, odnosno pocinkovane čelične trake približne dužine oko 20 m. Uzemljivačke sonde dužine 1,5m (3 kom) su postavljene na dubini 0,5 m, na međusobnom rastojanju od oko 6,5 m. Na ovaj način je postignuta homogena raspodela otpora rasprostiranja svake pojedinačne sonde, ali i kompletnog linijskog uzemljivača. Sonde su međusobno povezane sa zemljovodom koji je izveden pocinkovanom čeličnom trakom FeZn 25x4 mm. Proračunska vrednost ovako izvedenog otpora uzemljenja, uz usvojeni tip tla (mešavina gline 60% i peska 40%) je  $R_{uz} \leq 10 \Omega$ .



**Slika 7.** Montaža GRO i solarnih panela

(a) izgled postrojenja nakon montaže, (b) izgled nosača solarnih panela, (c) izgled i fundiranje GRO

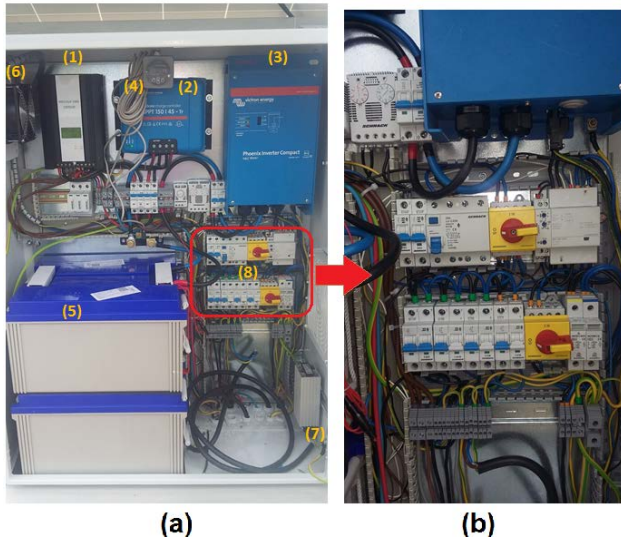
Šesta aktivnost se odnosila na anti-korozivnu izolaciju svih spojeva u instalaciji uzemljivača i zatrpavanje uzemljivačkih sondi i pocinkovane čelične trake. Nakon toga je realizovana sedma aktivnost u cilju montaže GRO i pripadajućih solarnih panela. Prikaz rezultata ove aktivnosti je dat na Slici 7.

Na Slici 7(a) je prikazan izgled kompletnog hibridnog postrojenja koje se sastoji od vetro-turbine na pripadajućem



stubu visine 6m, sistema solarnih panela (3 panela na nosačima montiranim na zemlji + 1 zakrenuti panel iznad konstrukcije GRO) i samog GRO. Na slici 7(b) je prikazan sistem solarnih panela (3+1) GRO sa pogledom prema GRO. Na slici 7(c) je dat izgled postavljenog i fundiranog GRO koji se nalazi u senci solarnog panela.

Na Slici 8 je dat detaljni prikaz unutrašnjosti GRO sa pripadajućom elektro-energetskom opremom.



**Slika 8.** GRO sa pripadajućom opremom; (a) unutrašnjost ormara sa modulima energetske elektronike, (b) pozicija automatskog statičkog prekidača i ostale zaštitne i sklopne opreme

Kao što se vidi sa Slike 7(a) unutar GRO je smeštena sledeća elektro-energetska oprema: (1) MPPT kontroler (DC ulaz za 1 solarni panel i tri AC ulaza sa priključaka vetrogeneratora), (2) Dodatni MPPT solarni kontroler za stabilizaciju napajanja tri solarna panela, (3) DC/AC pretvarač (invertor) 24 V=230 V, 50 Hz, snage 3000 VA, (4) Modul za monitoring stanja "baterijske banke" (prikazi napon, struja, dubina ispražnjenosti i prikaz raspoložive energije izražene u kWh), (5) baterijska banka 24 V=2 x 120 Ah, (6) ventilator za hlađenje GRO, (7) grejač snage 60 W za grejanje ormara u zimskom periodu, radi sprečavanja kondenzacije (8) automatski statički prekidač i ostala zaštitna i sklopna oprema. Na Slici 7(b) je dat detaljni prikaz unutrašnjosti ormara, sa akcentom na automatski statički prekidač i sklopni deo koga čine: zaštitna FID sklopka sa diferencijalnim dejstvom i zaštitna automatska prekostrujna oprema, prenaponske zaštite i ostala sklopna oprema (grebenaste sklopke i sl.).

U okviru osme aktivnosti je izvršena montaža pomoćnih razvodnih ormara i električnih razvodnih kutija pojedinih potrošača u sistemu. Izvršena je montaža pomoćnog razvodnog ormara (razvodnog ormarića) u plasteniku i iz koga se obezbeđuje elektroenergetski razvod pogona kompresora plastenika i pogona podizača bočnih roletni plastenika.

U devetoj aktivnosti je izvršeno povezivanje svih potrošača koji se napajaju iz GRO i pomoćnih razvodnih ormarića i razvodnih kutija (potapajuća pumpa u bunaru, ulazne električne snage

1300 W i pogon kompresora u plasteniku, snage 100 W).

Na kraju, u desetoj aktivnosti realizacije ovog projekta je izvršeno kompletno funkcionalno testiranje i puštanje celokupnog hibridnog elektroenergetskog postrojenja u eksploatacioni rad.

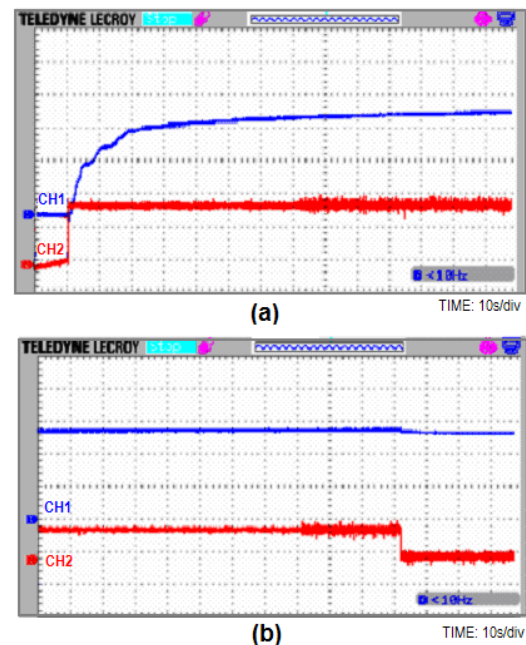
#### V EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom poglavlju će biti predstavljeni neki ključni eksperimentalni rezultati koji su dobijeni tokom eksploatacionog testiranja i puštanja u rad sistema hibridnog besprekidnog napajanja u Grabovcu.

Na Slici 9 je dat eksperimentalni snimak režima punjenja baterije preko MPPT punjača solarnih panela. Kada je vršeno ovo snimanje (septembar 2020.) dominantni izvor obnovljive energije je bilo sunce, tako da se dati snimak odnosi na solarne panele.

Na Slici 9(a) je prikazan vremenski interval punjenja baterije 24 V=240 Ah sa početnog nivoa napona od 23.5 Vdc i pri konstantnoj struji punjenja od oko 18 A.

Na Slici 9(b) je prikazan eksperimentalni snimak vremenskog intervala na kraju punjenja pri čemu je napon baterije iznosio oko 28 Vdc, kada je baterija bila napunjena na SOC=100%. Nakon dostizanja SOC = 100% struja iz MPPT punjača je redukovana na vrednost struje „trickle charge“.

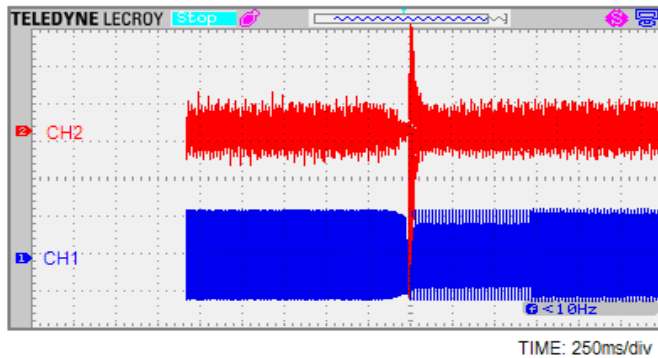


**Slika 9.** Režim punjenja baterije MPPT punjača solarnih panela (a) vremenski interval na početku punjenja: napon baterije CH1-[1V/div], struja punjenja CH2-[10A/div], (b) vremenski interval na kraju punjenja: napon baterije CH1-[10V/div], struja punjenja CH2-[20A/div]

Na Slici 10 je dat eksperimentalni snimak struje i napona pogonskog motora pumpe pri njegovom prelasku sa invertorskog napajanja na mrežno napajanje.

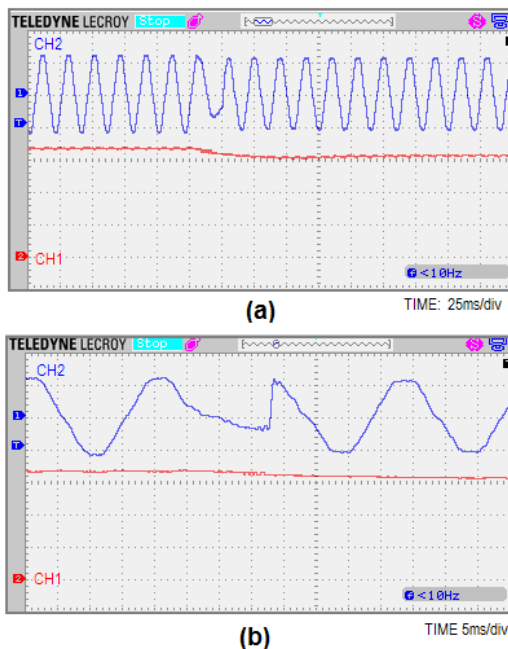
Sa snimka se uočava da se u veoma kratkom trenutku izvrši prebacivanje napajanja putem elektronski kontrolisane statičke

preklopke. Uočava se strujni pik pri ponovnom startu motora pumpe koji odgovara njegovoj polaznoj struji od oko 50 A. Takođe se uočava da se pri ovom prelasku javlja propad napona u intervalu od oko 100 ms u toku koga se izvrši kompletno prebacivanje napajanja i ponovni start pumpe. Sa datog snimak se uočava da je u normalnom radu pumpe, efektivna vrednost struje elektromotora pumpe iznosila oko 5 A, što približno odgovara nominalnoj struji motora pumpe čija je ulazna električna snaga 1300 W<sub>max</sub>.



**Slika 10.** Režim prelaska rada pumpe sa invertorskog napajanja 230 V, 50 Hz na mrežno napajanje; CH1-napon motora pumpe [250 V/div], CH2-struja motora pumpe [15 A/div]

Na Slici 11 su dati eksperimentalni snimci testiranja statičke preklopke prilikom prelaska mrežnog napajanja na invertorsko napajanje u režimu kada su aktivni potrošači manjih snaga, do 300 W, odnosno pogon kompresora i pogon za podizanje roletni koji se nalaze u plasteniku).



**Slika 11.** Testiranje statičke preklopke prilikom prelaska sa mrežnog napajanja na invertorsko napajanje; CH1-napon baterije [8V/div], CH2-napon potrošača (pogon kompresora i pogon roletni plastenika) [250V/div]; (a) karakteristični talasni oblici, (b) detaljan prikaz intervala neposredno pre prebacivanja statičke preklopke

Na Slici 11(a) je dat prikaz napona baterije i napona na potrošačima. Sa snimka se uočava da se pri prelasku na invertorsko napajanje ima određeni pad napona na bateriji, ali da je prelazak na invertorsko napajanje ostvaren u relativno kratkom intervalu. Detaljniji prikaz ovog intervala je dat na snimku na Slici 11(b) gde se uočava da je vreme prelaska oko 20 ms. Ovo vreme je značajno kraće u odnosu kada je opterećenje invertora motor pumpe, obzirom da se radi o potrošačima značajno manje snage.

## VI ZAKLJUČAK

U radu je prikazana realizacija jednog tipa hibridnog sistema napajanja koji obezbeđuje autonomno i neprekidno napajanje potrošača u sistemu navodnjavanja „kap po kap“ povrtarskih kultura na ogleđnoj parceli Srednje Tehničke Poljoprivredno-Hemijske škole iz Obrenovca, na lokaciji mesta Grabovac. Nakon prikazane koncepcije sistema hibridnog napajanja, opisane su aktivnosti realizacije projekta i dati neki ključni eksperimentalni rezultati.

Prikazani rad je jedan od rezultata realizacije projekta „Prirodni resursi vetra i vode u cilju unapređenja agro-tehničke mere navodnjavanja: primena zelenih tehnologija u funkciji održivog ruralnog razvoja Srbije“ (tema 9), u okviru Programa podsticaja za unapređenje sistema kreiranja i prenosa znanja kroz razvoj tehničko-tehnoloških, primenjenih, razvojnih i inovativnih projekata u poljoprivredi i ruralnom razvoju u 2019 godini. Projekat broj 680-00-00029/2019-02 je finansiran od strane Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije-Uprava za agrarna plaćanja, Beograd (Period realizacije 02.10.2019 – 02.10.2020).

Studiju izvodljivosti i projekat br. 680-00-00029/2019-02 su realizovali:

- Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd (IEP), nosilac projekta i vodeći partner;
- Institut Mihajlo Pupin, d.o.o, Beograd, Centar za robotiku, partner na projektu (izrada projekta za izvođenje, tehnička realizacija hibridnog postrojenja);
- Poljoprivredno-hemijska škola u Obrenovcu, partner na projektu.

## ZAHVALNICA

Istraživanje i tehnička realizacija opisanog sistema napajanja u ovom radu je finansijski podržano od Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije (period 2019.-2020.) i Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (period 2020.-2021.)

## LITERATURA

- [1] Energetski bilans Republike Srbije za 2019. godinu, Službeni glasnik RS br.105/18
- [2] Čorba, Z., Katić, V., Porobić, V. Hybrid wind-solar power source for remote farms in Vojvodina, in Proc. 4<sup>th</sup> International Conference DEMSEE 2009, Belgrade, CD ROM, Paper No. P-4.1, 2009.
- [3] Radaković, Z., Paunović, N., Mitev, I. Optimalno projektovanje hibridnog sistema za off-grid napajanje električnom energijom, in Proc. 17. Telekomunikacioni forum TELFOR 2009, Beograd, pp. 1157-1160, 24-26 Novembar 2009.
- [4] Katić, V., Čorba, Z. Korišćenje solarne energije za proizvodnju električne energije. In Forum Solar Therm 2012.



- [5] Batic, M., Vitorovic, A., Despotovic, Z. The Consideration of Optimal Control Algorithms for Hybrid Renewable Energy Systems. In Proc. *XVI International Conference YU INFO 2010*, Vol. 1/2010, Kopaonik, 03-06. Mart 2010.
- [6] Stankov, S. Napajanje individualnih potrošača hibridnim sistemima, In Proc. *27. Medunarodni kongres o procesnoj industriji - Procesing*, Vol.27, No.1, Beograd 22-24 Septembar 2014.
- [7] Despotović, Ž., Tajdić, M., Kon, J. Hibridno napajanje telekomunikacione opreme daljinskih mernih stanica u sistemima zaštite od poplava, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. XXII, No 1-2, pp. 102-111, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEEE20-1-2.102D>
- [8] Durgam, S.S., Musale, A.B., Balki, S.A., Gahane, P.S., Awale, L.B. AC Hybrid Charge Controller, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 5, Issue 3, (part -5), pp. 5-10, 2015.
- [9] Nayar, C.V., Ashari, M., Keerthipala, W.W.L. A grid-interactive photovoltaic uninterruptible power supply system using battery storage and a back up diesel generator, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 15, Iss. 3, pp. 348-353, 2000. <https://doi.org/10.1109/60.875502>
- [10] Mahmoud, M.M., Ibrik, I.H. Techno-economic feasibility of energy supply of remote villages in Palestine by PV-systems, diesel generators and electric grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.10, No.2, pp. 128-138, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.001>
- [11] Solar / Wind Hybrid Systems, [https://www.solaronline.com.au/solar\\_wind\\_hybrid\\_systems](https://www.solaronline.com.au/solar_wind_hybrid_systems) [pristupljeno 20.01.2021]
- [12] Agriculture Solar and Wind Energy [http://www.agriculturesolar.com/3b\\_wind\\_&\\_solar\\_energy\\_in\\_agriculture.html#.X-c7DdThCVM](http://www.agriculturesolar.com/3b_wind_&_solar_energy_in_agriculture.html#.X-c7DdThCVM) [pristupljeno 20.01.2021]
- [13] Jain Jyot Solar Wind Hybrid System, [http://jainpipe.com/Solar/jain\\_jyot/jain%20jyot%20solar%20wind%20hybrid%20system.htm](http://jainpipe.com/Solar/jain_jyot/jain%20jyot%20solar%20wind%20hybrid%20system.htm) [pristupljeno 20.01.2021]
- [14] All in Solar Energy <https://www.todoensolar.com/Solar-wind-hybrid-system> [pristupljeno 20.01.2021]
- [15] Photovoltaic Geographical Information System [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP) [pristupljeno 20.01.2021]
- [16] Shen, CL., Ko, YX. Hybrid-input power supply with PFC (power factor corrector) and MPPT (maximum power point tracking) features for battery charging and HB-LED driving, *Energy*, Vol.72, No.1, pp. 501-509, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.072>
- [17] Majstorović, M., Despotović, Ž.V., Mršević, D., Đurić, B., Milešević, M., Stević, Z. Implementation of MPPT methods with SEPIC converter, In Proc. *19th International IEEE Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH) 2020*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina; pp 1-6, 18-20. Mart 2020. <https://doi.org/10.1109/infoteh48170.2020.9066296>

## AUTORI

**dr Željko V. Despotović**, Institut „M.Pupin“, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, zdespot@etf.rs  
**Ilija R. Stevanović**, master maš.inž., Institut „M.Pupin“, Univerzitet u Beogradu, ilija.stevanovic@pupin.rs