

Sistem napajanja i pametno upravljanje poljoprivrednim zemljištem korišćenjem obnovljivih izvora energije

Power Supply System and Smart Management of Agriculture Land Using Renewable Energy Sources

Željko Despotović, Aleksandar Rodić, Ilija Stevanović

*Institut „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Beogradu

Rezime - U radu je predstavljena realizacija sistema napajanja baziranog na obnovljivim izvorima energije (sunce i vetar) koji se koristi za navodnjavanje povrtarskih kultura i za pametno upravljanje poljoprivrednog zemljišta na parceli od 10ha na lokaciji mesta „Belegiš“. Rezultati predstavljeni u ovom radu su deo projekta Instituta „Mihajlo Pupin“, "Pametno upravljanje poljoprivrednim zemljištem i prirodnim resursima korišćenjem savremenih tehnologija". Projekat je podržan od strane Razvojne agencije Ujedinjenih Nacija (UN) i Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije. Realizovano tehničko rešenje je nagrađeno je kao jedno od 11 najboljih inovativnih i klimatski pametnih rešenja u okviru programa "Lokalni razvoj otporan na klimatske promene" koji Program Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP) sprovodi u partnerstvu sa Ministarstvom zaštite životne sredine, uz finansijsku podršku Globalnog fonda za životnu sredinu (GEF). U okviru sistema napajanja su realizovani solarna elektrana snage izlazne snage 8kW, vetrogeneratorski (VGS) sistem snage 0.5kW, baterijska banka 48Vdc/720Ah, kao primarni izvori napajanja i dizel električni agregat (DEA) snage 7.5kW kao pomoćni izvor napajanja. Pored ovog sistema napajanja je realizovan i sistem za daljinsko upravljanje navodnjavanjem i pametnim upravljanjem zemljištem i prirodnim resursima. Projekat je pored pomenutih sistema obuhvatio i sistem zaštite od atmosferskih pražnjenja i kompletan sistem video nadzora na datoj parceli.

Ključne reči – energetika, održivi razvoj, obnovljivi izvori energije, navodnjavanje, poljoprivreda, električno napajanje

Abstract - The paper presents the realization of a power supply system based on renewable energy sources (sun and wind) which is used for irrigation of vegetable crops and for smart management of agricultural land on a plot of 10 ha at the location of the village "Belegiš". The results presented in this paper are part of the project of the Mihajlo Pupin Institute, "Smart management of agricultural land and natural resources using modern technologies". The project is supported by the United Nations Development Agency and the Ministry of Environment of Republic Serbia. The implemented technical solution was awarded as one of the 11 best innovative and climate-smart solutions within the program "Local Development Resistant to Climate Change" implemented by the United Nations Development Program (UNDP) in partnership with the Ministry of Environment, with financial support from the Global

Environment Fund (GEF). Within the power supply system are realized the solar power plant with an output power of 8 kW, the wind generator system with a power of 0.5 kW and battery bank of 48 Vdc / 720Ah, as primary power sources and a diesel electric generator (DEA) with a power of 7.5 kW as an auxiliary power source. In addition to this power supply system, a system for remote management of irrigation and smart management of land and natural resources has been implemented. In addition to the mentioned systems, the project also included a system of protection against atmospheric discharges and a complete video surveillance system on a given plot.

Index Terms – Energy, Sustainable development, Renewable energy sources, Irrigation, Agriculture, Power supply system

I UVOD

Porast broja stanovništva na Zemlji, uticaj klimatskih promena, sve veće industrijsko i komunalno zagađenje sa jedne strane i razvoj naučnih i tehnoloških dostignuća u poljoprivredi sa druge strane, uslovljavaju dinamičan razvoj ovog sektora. Rast svetske populacije i shodno tome porast zahteva za hranom i prehrambenim proizvodima su u suprotnosti sa činjenicama da se zbog klimatskih promena i njihovih neposrednih posledica (suše i poplave, zagađenja zemljišta, vode i vazduha), obradivo poljoprivredno zemljište stalno smanjuje [1-3]. Pored ovoga demografska kretanja su takvog karaktera da značajnije raste broj stanovnika u urbanim sredinama, dok je u ruralnim i seoskim sredinama naseljenost veoma mala. Ove činjenice dovode do disproporcije između zahteva i mogućnosti poljoprivredne proizvodnje. Dodatni problem predstavlja činjenica da je u selima radne snage sve manje [4-6].

Poslednjih decenija beleži se rast koncentracija gasova staklene bašte koji su prirodni deo atmosfere. Osim vodene pare, najznačajniji gasovi sa efektom staklene bašte su ugljen-dioksid CO₂, koji je odgovoran za oko 60% od ukupne dodatno proizvedene toplote, metan (oko 20%), hloro-fluoro ugljenici (oko 10%), azot-suboksid N₂O (oko 6%) i troposferski ozon (oko 2%). Procene pokazuju da sektor poljoprivrede, šumarstva i korišćenja zemljišta na globalnom nivou emituje nešto manje od četvrtine ukupnih antropogenih emisija gasova staklene bašte, ugrožavajući na ovaj način resurse od kojih je direktno zavisna [7].

Poljoprivreda je jedna od ključnih komponenti ekonomskog razvoja Republike Srbije jer, osim ekonomskog, ima i izražen socijalni i ekološki značaj. Međutim, poljoprivreda u Srbiji se još uvek u značajnoj meri odvija na tradicionalan način, bez uvođenja savremenih znanja i agrotehničkih mera primerenih razvijenim i ekološki-svesnim državama. Tamo gde se i primenjuju agrotehničke mere, to se radi na neracionalan i ekonomski neodrživ način. Kao primer može se navesti mera navodnjavanja useva, koja je u uslovima klimatskih promena ključna karika u lancu proizvodnje. Iako se u Srbiji navodnjača samo oko 2% korisnog poljoprivrednog zemljišta, ova agrotehnička mera se izvodi mahom uz primenu agregata na fosilna goriva (benzin i dizel), koji sagorevanjem oslobađaju štetne gasove koji odlaze u atmosferu i pojačavaju efekte staklene bašte, zagađuju ekosistem i na taj način uzrokuju značajne ekonomske gubitke.

Globalna potražnja za energijom je u stalnom porastu i ona će se povećati za 40-50% do kraja 2035 godine, a zemlje koje su na sadašnjem nivou u razvoju, će činiti većinu ove potražnje [8]. Očekuje se da će fosilna goriva nastaviti da ispunjavaju najveći deo potreba, kao primarni izvor energije. Međutim, upotreba obnovljive energije se stalno povećava i imaće svakako trend rasta u budućnosti.

Kombinacija odgovarajućih energetske tehnologije, opreme i objekata u poljoprivrednom sektoru su neophodni kako bi se napravio postepeni prelazak sa postojećih tradicionalnih na energetske pametne sisteme. Ovi sistemi imaju najznačajniju primenu u sistemima navodnjavanja, sistemima za proizvodnju hrane i sl. Sinergija pomenutih tehnologija i objekata zavisiće od prirodnih uslova, infrastrukture i veština dostupnih radnoj snazi. Postoje mnoge tehnologije koje mogu biti deo energetske pametnih (tzv. „*energy smart*“) poljoprivrednih sistema uključujući implementaciju sledeće opreme: solarnih panela, vetroturbina, solarnih kolektora, jedinica za proizvodnju biogasa, opreme za ekstrakciju i prečišćavanje bio ulja, postrojenja za fermentaciju i destilaciju, postrojenja za proizvodnju etanola, jedinice za pirolizu, oprema za hidro-termalnu konverziju energije, pumpe za navodnjavanje, sistemi za nadzor i upravljanje bazirani na savremenim informaciono-komunikacionim tehnologijama (IKT) i sl. Pomenute tehnologije dodatno dovode do povećanja proizvodnje u blizini izvora sirovina [9].

U ovom radu je predstavljena jedna realizacija sistema hibridnog napajanja pretežno baziranog na obnovljivim izvorima energije (OIE), odnosno na energiji sunca i vetra, koji se koristi za navodnjavanje povrtarskih kultura i za pametno upravljanje poljoprivrednog zemljišta na parceli od 10 ha na lokaciji mesta „Belegiš“. Pored obnovljivih izvora u sistemu je upotrebljen dizel-električni generator, kao rezervni izvor napajanja, tako da je njegova upotreba ograničena jedino na vremenske intervale kada je proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora niska, ili kada su obnovljivi izvori u totalnom deficitu.

Između ostalog, u radu su predstavljeni rezultati, koji su bili deo projekta Centra za robotiku, Instituta „Mihajlo Pupin“ pod nazivom: „*Pametno upravljanje poljoprivrednim zemljištem i prirodnim resursima korišćenjem savremenih tehnologija*“, period 2018.-2021. Projekat je bio podržan od strane Razvojne

agencije Ujedinjenih Nacija (UN) i Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije. Realizovano postrojenje na lokaciji mesta „Belegiš“ je nagrađeno je kao jedno od 11 najboljih inovativnih i klimatski pametnih rešenja u okviru programa „*Lokalni razvoj otporan na klimatske promene*“ koji Program Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP) sprovodi u partnerstvu sa Ministarstvom zaštite životne sredine, uz finansijsku podršku Globalnog fonda za životnu sredinu (GEF). U okviru sistema napajanja iz obnovljivih izvora energije su realizovani: (1) solarna elektrana izlazne snage 8kW, (2) VGS sistem izlazne snage 1kW, (3) baterijska banka 48Vdc/720Ah, kao primarni izvori napajanja i (4) dizel električni agregat (DEA) snage 7.5kW kao rezervni izvor napajanja.

Pored ovog sistema napajanja realizovan je sistem za regulaciju pritiska u cevovodu sistema za navodnjavanje baziran na frekventnoj regulaciji pogonskog elektromotora pumpe za navodnjavanje i sistem za daljinsko upravljanje navodnjavanjem i pametnim upravljanjem zemljištem i prirodnim resursima na datoj lokaciji. Projekat je pored pomenutih sistema obuhvatio i sistem zaštite od atmosferskih pražnjenja i kompletan sistem video nadzora na poljoprivrednoj parceli.

II TEHNIČKI OPIS SISTEMA

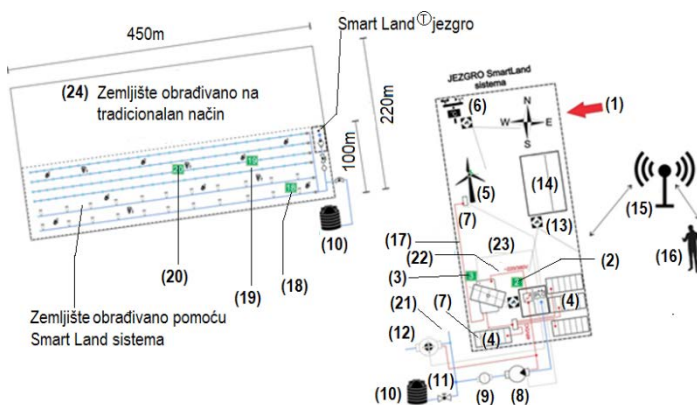
Na poljoprivrednom porodičnom gazdinstvu u selu Belegiš, na parceli obradivog zemljištu površine od oko 10 hektara podignut daljinski komandovan sistem za pametnu, ekološku i ekonomski održivu proizvodnju (tzv. „*Smart Land*“ sistem). Sistem napajanja („*Off Grid*“) je u najvećem delu baziran na iskorišćenju i konverziji energije iz obnovljivih izvora (sunce i vetar), koja se prvenstveno koristi za sistem navodnjavanja na datoj parceli. U okviru sistema je realizovan digitalizovani pametni sistem za navodnjavanje, kao i sofisticirana regulacija pritiska u zalivnom sistemu čime je obezbeđen energetske efikasan rad pumpnog postrojenja, čime je značajno poboljšana i efikasnost kompletnog sistema napajanja.



Slika 1. Pogled na „*Smart Land*“ postrojenje za daljinsko upravljanje proizvodnjom na porodičnom poljoprivrednom gazdinstvu u Belegišu – pogled na parcelu (gore) i pogled na samo napojno postrojenje bazirano na OIE (dole).

Na Slici 1 je dat prikaz pozicije pametnog postrojenja za napajanje i daljinsko upravljanje sistema za navodnjavanje, izgled samog napojnog postrojenja i položaj parcele od oko 10 hektara.

Na Slici 2 je ilustrovana principiska funkcionalna šema postrojenja i navedeni su svi funkcionalni elementi koji čine ovaj pametni sistem. Rešenje se sastoji od: (a) sistema hibridnog napajanja, odnosno mini elektrane, koja kombinuje energiju sunca i vetra, uz prisustvo isključivo rezervnog napajanja obezbeđenog iz dizel električnog agregata (DEA), (b) centralizovanog informacionog sistema koji upravlja sistemom za navodnjavanje i tečnom prihranom useva, štedeći vodene resurse i preparate, (c) distribuirane bežične senzorske mreže za praćenje stanja zemljišta i useva (temperatura, vlažnost, pH vrednost i električna provodnost), (d) digitalne meteorološke stanice. Pored ovih glavnih sistema, u okviru postrojenja su obezbeđeni sistemi zaštite od atmosferskih pražnjenja, sistem uzemljenja, sistem sekundarne prenaponske zaštite i sistem daljinskog video nadzora postrojenja.



Slika 2. Funkcionalna šema „Smart Land“ postrojenja (sa Slike 1) za daljinski nadzor i upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom na otvorenoj poljoprivrednoj parceli u Belegišu

Pomenuti elementi postrojenja su detaljnije prikazani na Slici 2, a u nastavku se daje detaljnije značenje pojedinih pozicija: (1) Ulaz u zaštićeni prostor "Smart Land" gazdinstva, (2) arteški bunar uključujući pumpno postrojenje sa razvodnim ormanom pumpe i baznom stanicom u okviru njega, (3) Mobilni automatizovani solarni generator *MobiSun – Pro Energy* [10-12], (4) Stacionarni PV sistemi od dve grupe, svaka od 12 solarnih panela, ukupne snage 6kW (5) Mini vetroturbina snage 500W/48VDC, (6) Digitalna meteorološka stanica, (7) DC sabirni razvodni elektro orman grupe PV panela, (8) Potapajuća pumpa za vodu izlazne mehaničke snage 3kW, (9) Filter za otklanjanje nečistoća iz vode, (10) Rezervoar za tečno đubrivo i fito-zaštitne preparate, (11) Nepovratni ventil pumpe, (12) Elektromagnetni ventili sistema za navodnjavanje, (13) Video nadzor, (14) Pomoćni ekonomski objekat, (15) GSM/GPRS antena, (16) Čovek-operator sa personalnim uređajem, (17) Ograda jezgra „Smart Land“ sistema, (18) Rasprskivački uređaji sistema za navodnjavanje, (19) Senzori temperature i vlažnosti vazduha i zemljišta [13], (20) Senzor pH vrednosti zemljišta [13], (21) Vodovodni cevovod sistema za navodnjavanje, (22) Elektroenergetske kablovske instalacije, (23) Upravljačke

instalacije za prenos signala, (24) Zemljište poljoprivrednog gazdinstva u ataru sela Belegiš.

III POTROŠAČI U SISTEMU NAVODNJAVANJA

Na Slici 3 je prikazana principiska blok šema hibridnog sistema napajanja (sunce, vetar, DEA) elektroenergetskih modula koji se koriste u sistemu navodnjavanja. Sistem napajanja je baziran na uređajima energetske elektronike u okviru koga su zastupljeni svi tipovi elektroenergetskog pretvaranja električne energije (DC/DC, DC/AC, AC/DC) [14-16]. Optimizacija proizvodnje energije iz ovog hibridnog sistema je izvršena u skladu sa sofisticiranim algoritmom koji je predložen u referenci [17].

Hibridni sistem napajanja obezbeđuje posredstvom, frekventnog regulatora +FR regulisani pogon trofaznog elektromotora potapajuće pumpe napona. Glavnim projektom je odabrana potapajuća pumpa firme PEDROLLO, tip 4SR10-15. Optimalna radna tačka pumpe na H-Q dijagramu pri maksimalnoj snazi od $P_2=3$ kW pri maksimalnom stepenom iskorišćenja od $\eta=63\%$, se dobija za maksimalni napor pumpe $H^*=70$ m i za maksimalni protok od oko $Q^*=160$ l/min, što zadovoljava sve zahteve navodnjavanja na pomenutoj parceli [18]. Pogonski elektromotor pumpe je trofazni asinhroni napona 3x400/230V, 50Hz, maksimalne ulazne električne snage $P_1=4,8$ kW. Nominalna ugaona brzina pogonskog vratila elektromotora pumpe je 1450 o/min.

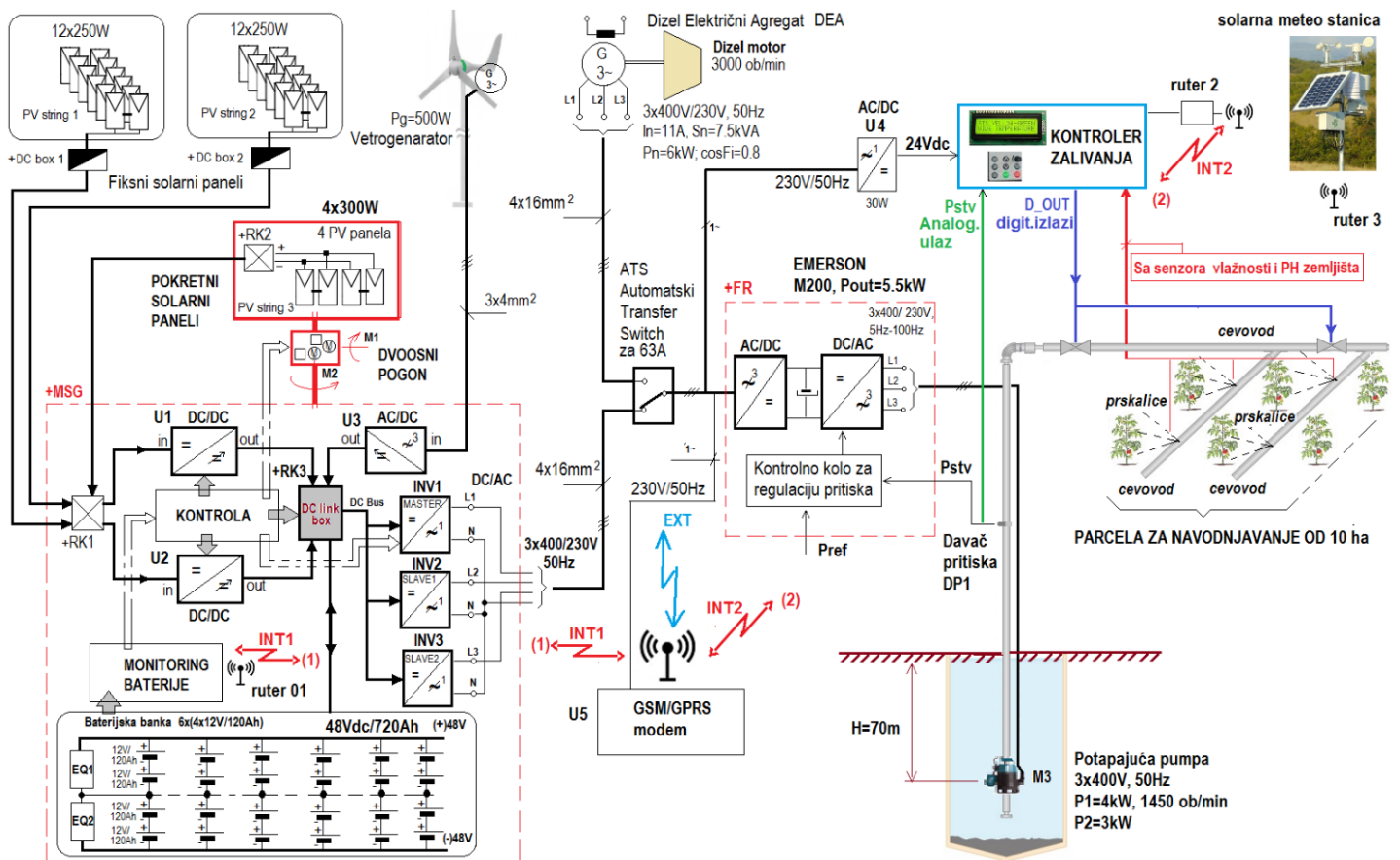
Shodno prethodnim zahtevima za pogonskim motorom pumpe za navodnjavanje projektovan je frekventni regulator (+FR) maksimalne izlazne snage 5.5 kW. Izabran je frekventni regulator serije M200, proizvodnje EMERSON[19]. Obzirom da je stepen iskorišćenja +FR pri nominalnoj radnoj snazi, $\eta_{fr}=90\%$, dobija se da je ukupna snaga potrošnje pumpnog sistema (snaga na ulazu +FR) $P_{ps}\approx 6$ kW. U sklopu frekventne regulacije pogonskog elektromotora pumpe je realizovano kontrolno kolo za regulaciju pritiska (implementiran je PI regulator pritiska) u cevovodu sa prskalicama kojim je obezbeđeno navodnjavanje zemljišta na datoj parceli. Kao povratna sprega po pritisku se koristi davač pritiska DP1, opsega 0-10 bar, proizvodnje WIKA. Zadavanje referentne vrednosti P_{ref} se ostvaruje na tastaturi frekventnog regulatora.

Sledeći potrošač u sistemu, ali značajno manje snage potrošnje (maksimalne snage 100 W), je kontroler zalivanja CMC-08-24 firme CEPEX [20] u okviru koga se na osnovu informacija sa senzora vlažnosti i PH zemljišta, pobuđuju odgovarajući digitalni izlazi D_OUT (u tri programska moda), koji obezbeđuju uključivanje odgovarajućih elektromagnetnih ventila u cevovodu za navodnjavanje, kao što prikazuje Slika 3. Kontroler podržava uključivanje standardno 8 elektromagnetnih ventila (uz proširenja i do 24 maksimalno). U okviru kontrolera zalivanja je obezbeđen i analogni ulaz sa davača pritiska DP1. Napajanje kontrolera zalivanja se ostvaruje AC/DC pretvaračem U4 (ispravljačem) ulaznog napona 230 V, 50 Hz i jednosmernog izlaznog napona 24 Vdc i struje ≈ 4 A, što za stepen iskorišćenja ovog modula od 90%, daje ulaznu snagu od oko 110 W.

U sistemu navodnjavanja je realizovan GSM/GPRS modem koji komunicira preko dva WIRELESS rutera (jedan se koristi uz kontroler baterijske banke, a drugi za kontroler zalivanja). Ovaj

modem preko svog eksternog linka šalje sve zahtevane statuse i podatke korisniku. Takođe korisnik može putem ovog linka uključiti ili isključiti pojedine potrošače. Potrošnja ovog modemskeg sistema ne prelazi 50 W. U sistemu je takođe

realizovan sistem video nadzora koji obezbeđuje zaštitu sistema od provale i krađe. Ovaj sistem se napaja iz 48 Vdc i njegova maksimalna snaga potrošnje iznosi oko 100 W.



Slika 3. Blok šema sistema napajanja iz OIE i kontrole „Smart Land“ postrojenja sa daljinskim nadzorom i upravljanjem poljoprivrednom proizvodnjom na otvorenoj poljoprivrednoj parceli.

Solarna meteorološka stanica se napaja preko sopstvenih solarnih panela snage 50 W i sopstvene baterije, tako da ne opterećuje hibridno napajanje sistema. U Tabeli 1 su date snage potrošnje svih potrošača električne energije na datoj parceli.

Tabela 1. Pregled potrošača električne energije na parceli

Potrošač	Snaga (W)
Pumpno postrojenje sa frekventnim regulatorom	5300
Kontroler zalivanja	110
Sistem video-nadzora	100
Wireless ruteri (3 kom.)	30
GSM/GPRS modem (2 kom.)	60
Kola pomoćne elektronike u „stand by“ režimu	100
SUMARNO	5700

IV HIBRIDNI SISTEM NAPAJANJA POTROŠAČA

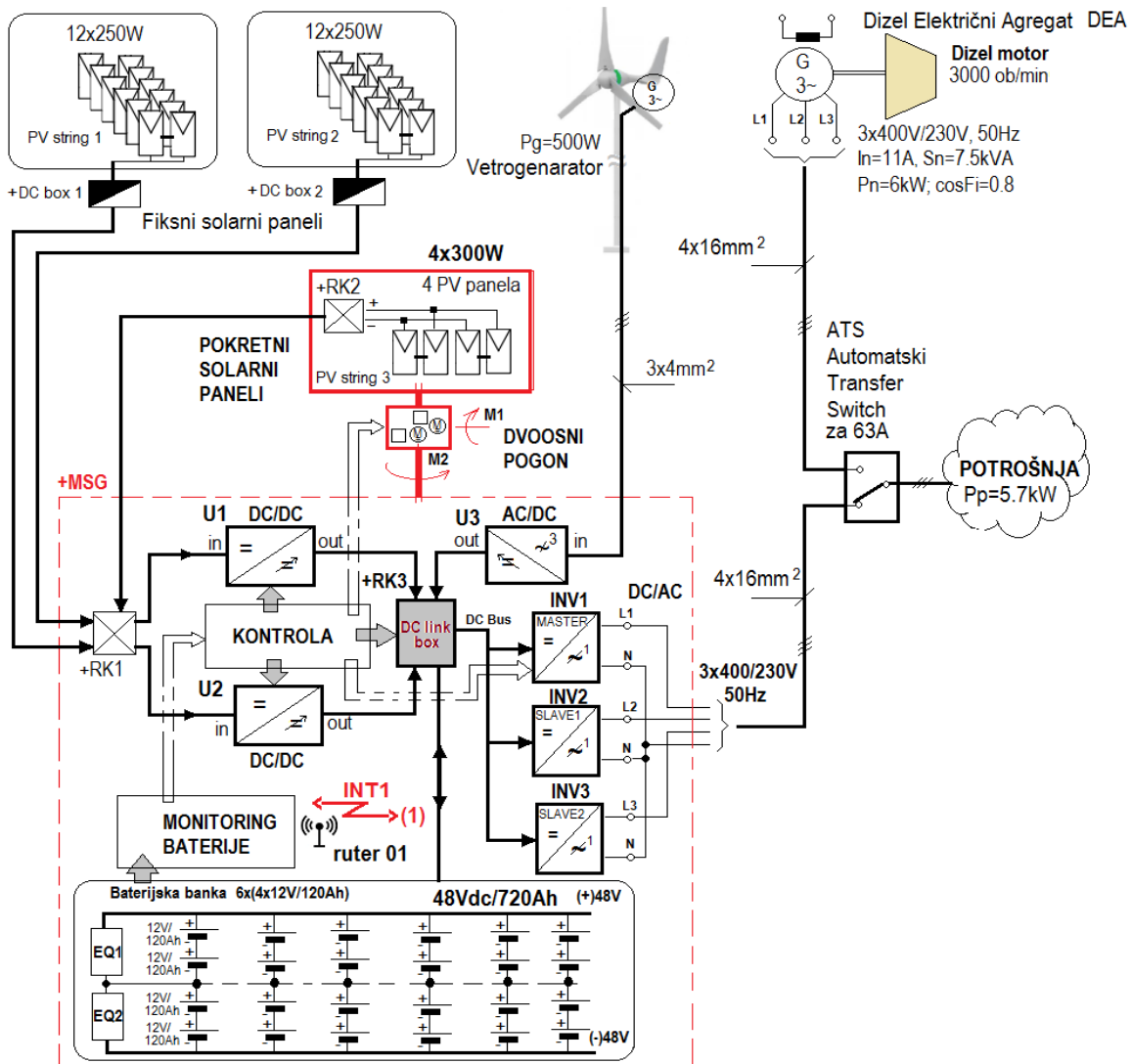
Hibridni sistem napajanja potrošača je prikazan na integralnoj funkcionalnoj blok šemi na Slici 3, dok je na Slici 4 prikazan

detaljnije sa svim ključnim elementima i blokovima energetske elektronike, odnosno energetskim pretvaračima.

Celokupna potrošnja u ovom sistemu se pretežno napaja iz OIE, odnosno solarnih panela i vetra. Kao što se sa Slike 4 vidi za dati sistem je projektovana je baterijska banka 48 Vdc/720 Ah (6 paralelnih grana i u svakoj grani 4 redno vezane baterije od 12 Vdc/120 Ah). Izabran je nominalni baterijski napon od 48Vdc (minimalno 40 Vdc.... maksimalno 55.6 Vdc) kako bi se postigao kompromis u pogledu struja kablovskog razvoda, zagrevanja kablova, gubitaka snage u instalaciji. Svaka baterijska grana je obezbeđena sa modulima za izjednačenje napona i struja EQ1i, EQ2i (i=1...6), na rednim vezama od dve baterije i koji su za nominalni napon 24Vdc (videti Sliku 4). Na ovaj način se u znatnoj meri produžava radni vek baterijske banke. Baterijska banka je vezana u energetske čvorište tzv. „DC link box“ koje predstavlja centralni energetski DC sabirni orman na koji su povezani solarni MPPT punjači U1 i U2, punjač vetrogeneratorskog (VG) U3 i DC energetski ulazi DC/AC pretvarača invertora INV1, INV2 i INV3.

Raspoloživa energija iz baterijske banke 720 Ah pri nominalnom naponu 48 Vdc je $720 \text{ Ah} \times 48 \text{ V} = 34,56 \text{ kWh}$. Za dubinu pražnjenja baterijske banke od 50%, autonomija sistema za navodnjavanje (frekventni regulator, elektromotor pumpe) je $(34,56 \text{ kWh}/2)/5,3 \text{ kW} = 3,2 \text{ h}$. Za dubinu pražnjenja baterijske

banke od 80% (u ovom režimu je značajno manji vek trajanja baterija, odnosno manji broj ciklusa punjenje-pražnjenje u odnosu na slučaj kada je dubina pražnjenja 50%) autonomija rada pumpnog sistema je oko 5 h.



Slika 4. Blok šema hibridnog sistema napajanja potrošača na postrojenja za navodnjavanje na parceli „Belegiš“

Pomenuti slučajevi se odnose na režim rada kada nema sunčeve energije, odnosno kada opterećenje direktno prazni bateriju. U realnim uslovima potrošnja električne energije će biti podržana i iz solarnih panela koji su raspoređeni u tri grupe, kao što pokazuje Slika 4. Sistem čine dva stringa fiksnih solarnih panela montiranih na odgovarajućim nosačima, odnosno pod konstrukcijom na zemlji (PV string-1 i PV string-2) od po 12 panela, svaki snage od 250 W i grupa od 4 solarna panela, svaki snage od 350 W koji su montirani na sistemu za dvo-osno praćenje sunca mobilne solarne jedinice MSG [11]. Tako je ukupna instalisana snaga u solarnim panelima $2 \times 12 \times 250 \text{ W} + 4 \times 350 \text{ W} = 7,4 \text{ kW}$. Ako se uzme u obzir i vetroturbina sa pripadajućim električnim generatorom snage $P_g = 500 \text{ W}$, dobija se da je ukupni prinos iz OIE približno 8 kW aktivne snage. U realnom slučaju rad pumpnog postrojenja se ostvaruje pri aktivnoj snazi od oko 4 kW, tako da će se približno

polovina proizvedene električne energije iz OIE koristiti za punjenje baterijske banke, a druga polovinom za napajanje pumpnog agregata. Na ovaj način je postignut balans između proizvedene i korišćene energije u pomenutom hibridnom sistemu napajanja za navodnjavanje useva.

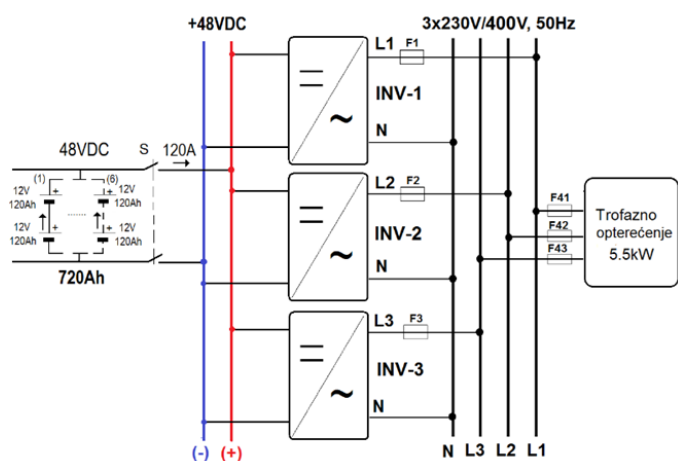
U okviru predstavljenog hibridnog sistema napajanja posebno mesto zauzima deo sa modulima energetske elektronike, odnosno sistem energetske pretvarača. Ovaj sistem sa centralnom kontrolnom jedinicom koji smešten na mobilnoj jedinici MSG ima zadatak da obezbedi kontrolisano punjenje i pražnjenje baterijske banke, kako iz solarnih panela, tako i iz VG, ali takođe ima ulogu da obezbedi sinhronizaciju i rad izlaznih invertora INV1, INV2, i INV3 u trofaznoj sprezi „zvezda“ [21].

Stabilizacija napona i struje iz solarnih panela i punjenje baterijske banke je ostvareno DC/DC pretvaračima (punjačima)

U1 i U2, koji u sebi imaju implementirane algoritme praćenja tačke maksimalne snage solarnih panela ("Maximum Power Point Tracking"-MPPT). Ovim uređajima je obezbeđeno kontrolisano i optimalno punjenje baterijske banke. Svi pretvarački uređaji poseduju sve potrebne električne zaštite (naponske i strujne) i obezbeđuje maksimalno iskorišćenje nelinearne krive raspoložive snage solarnog panela [22-24].

Linijnski napon koji obezbeđuje VG je 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 od oko 28 Vac. Pri ovim uslovima struja po fazi je oko 10 A. Stabilizacija napona VG je obezbeđena posebnim MPPT punjačem U3 koji je predviđen za paralelan rad sa solarnim MPPT kontrolerima (punjačima) U1 i U2. Ulazni trofazni napon VG se pretvara u jednosmerni napon posredstvom ulaznog ispravljača, a ovaj ispravljeni napon se zatim dodatno stabilise i prilagođava baterijskom naponu. Izlazna struja koju obezbeđuje ovaj modul je oko 20A pri maksimalnoj brzini vetra, tako da je ukupna struja punjenja baterije koja se dovodi u „DC link“ razvod oko 140 A, uzimajući u obzir i solarne panele (svaka grupa PV panela obezbeđuje struju od oko 60 A; dve rupe 2x60 A). Dakle struja od oko 140 A se ima u DC među kolu, pri maksimalnim ulaznim snagama iz obnovljivih izvora energije (vetra i sunca). VGS MPPT modul ima implementiranu dodatnu funkciju mehaničkog kočenja VG (aktiviranje mehaničke kočnice) u uslovima jakih (olujnih vetrova) kada se imaju brzine vetra veće od 10 m/s. U konkretnom slučaju je mehaničko kočenje VGS sklopa obezbeđeno pri brzini vetra od 10 m/s.

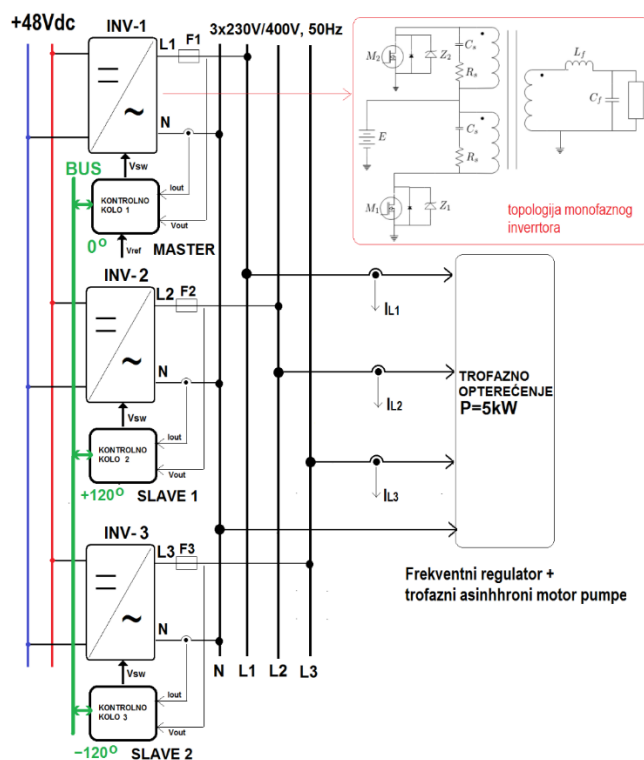
Tropolna šema povezivanja invertora je data na Slici 5. Osnovni ovog sistema čine monofazni invertori INV1-INV3, svaki snage 2.2kW, koji su sa DC strane spregnuti paralelno, dok su im AC izlazi spregnuti u trofaznoj sprezi – "zvezda", sa izvedenim nultim provodnikom. Ovim sistemom je moguće napajati trofazne otporne i (ili) induktivne potrošače u spregama „zvezda“ i „trougao“, monofazne potrošače, kao i nesimetričnu potrošnju.



Slika 5. Šema povezivanja monofaznih invertora u trofaznu spregu

Kod nesimetričnih potrošača (čak i sa potpunom asimetrijom faznih napona) je moguće ostvariti pouzdanu isporuku električne energije i obezbediti pouzdanu njihovo napajanje. Izlazni trofazni napon koji se dobija ovom konfiguracijom je 230V/400V, 50 Hz,

pri čemu je moguće obezbediti maksimalnu izlaznu struju od 12 A po fazi. Izlaz je i u ovom slučaju sposoban da podrži kratkotrajno preopterećenje od 30 A po fazi u vremenskom intervalu od 4 s. Na ovaj način je moguće obezbediti pouzdan start trofazne pumpe snage do 5,5 kW. Da bi invertorski sistem bio u potpunosti funkcionalan potrebno je pored energetskog spreznja obezbediti i sinhronizaciju invertora. Principijska blok šema sinhronizacije upravljačkih modula invertora u sklopu hibridnog sistema napajanja je data na Slici 6, na kojoj je dat način povezivanja i sinhronizacije invertora za slučaj trofazne sprege na izlazu.



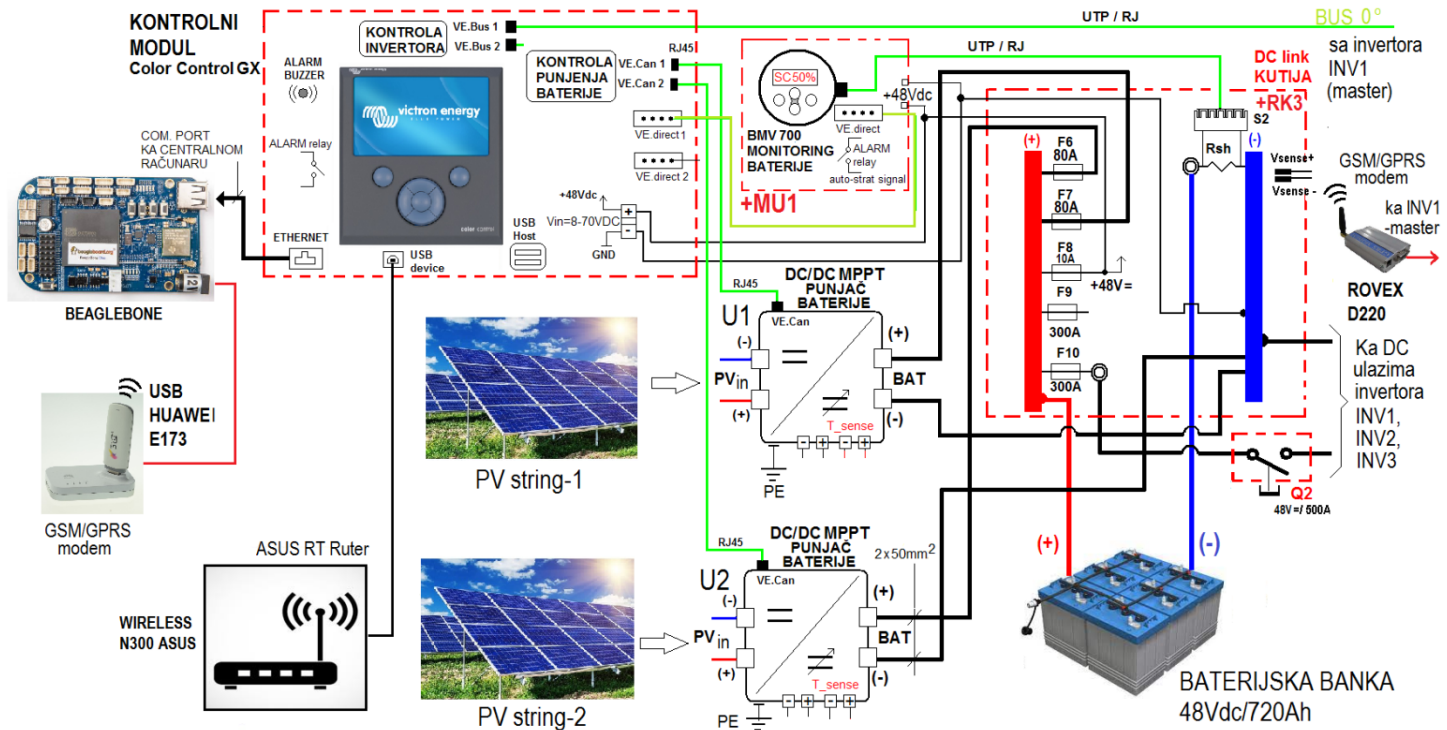
Slika 6. Sinhronizacija i povezivanje upravljačkih kola invertora u trofaznoj sprezi

Kontrolno kolo svakog od invertora je realizovano sa dve povratne sprege, jedna po izlaznom naponu i druga po izlaznoj struji [25-27]. Signali povratne sprege po izlaznom naponu (označen sa V_{out}) i po izlaznoj struji (označen sa I_{out}) se dovode na analogne ulaze kontrolnog kola.

Referentni signal napona V_{ref} se takođe dovodi na ulaz kontrolnog kola i on određuje željenu vrednost napona na opterećenju. Izlazi iz kontrolnog kola V_{sw} su u stvari digitalni (prekidački) i služe za upravljanje pobudnim kolima MOSFET prekidača koji se nalaze u sklopu topologije invertora. Inače je topologija invertora realizovana sa dve grupe MOSFET prekidača i sa transformatorom sa srednjom tačkom (dva primara i jedan sekundar). Na sekundaru je korišćen LC filter u „T sprezi“, za filtraciju PWM napona na sekundaru transformatora i dobijanje sinusnog napona na izlazu. U kontroli je primenjena sinusna PWM naponska modulacija sa trougaonim nosiocem 50% (trajanje usponske ivice jednako trajanju silazne ivice), učestanosti 50 kHz.

Pored opisanih ulaza i izlaza svako od upravljačkih kola invertora ima komunikacioni port preko koga su povezani na zajednički komunikacioni BUS interfejs. Komunikacioni BUS je izveden kao *Can BUS*, pri čemu je ustanovljen i preciziran protokol po kojem „komuniciraju“ invertori. Pri ovome je veoma bitno da jedan od invertora bude MASTER, dok su ostala dva

SLAVE1 i SLAVE 2. Podešavanje svih funkcija i dodeljivanje uloga invertorima je moguće ostvariti softverski preko odgovarajuće softverske aplikacije. Opciono uloge invertora se mogu dodeljivati i hardverski podešavanjem odgovarajuće kombinacije DIP prekidača koji se nalaze u sklopu svakog od kontrolnih kola invertora.



Slika 7. Blok šema upravljačkog dela sistema hibridnog napajanja „Smart Land“ postrojenja

U trofaznoj sprezi koja je prikazana na Slici 6 se ostvaruje sinhronizacija invertora na takav način da su fazni pomeraji referentnih signala za upravljačka kola invertora SLAVE1 i SLAVE2 jednaka $\theta+120^\circ$ i $\theta-120^\circ$ respektivno, gde je θ fazni pomeraj MASTER upravljačkog kola. Uobičajeno je da se usvaja da je fazni pomeraj MASTER invertora $\theta=0^\circ$.

Kao rezervni izvor trofaznog napajanja je izveden dizel električni agregat (DEA), koji je pogonjen dizel motorom maksimalne snage od oko 8 kW pri brzini obrtanja od oko 3000 ob/min. Električni generator u sklopu DEA je trofazni sinhroni generator sa nezavisnom pobudom na rotoru napona $3 \times 400\text{V}/230\text{V}$, 50Hz, nominalne struje $I_n=11\text{ A}$, nominalne prividne snage $S_n=7.5\text{ kVA}$, nominalne aktivne snage $P_n=6\text{ kW}$ i nominalnog faktora snage $\cos\varphi=0.8$. DEA se koristi isključivo u režimu kada je snaga iz OIE značajno redukovana (u slučaju kada nema vetra i sunčeve insolacije) i kada je baterijska banka ispražnjena ispod dubine pražnjenja od 80%.

U slučaju potpunog pražnjenja baterijske banke i redukovane snage iz obnovljivih izvora predviđeno je automatsko uključenje trofaznog napajanja iz DEA putem automatske statičke sklopke (tzv. "Automatic Trasfer Switch"-ATS), koji je prikazan na električnoj principskoj šemi na Slici 4, tako da je obezbeđeno neprekidno snabdevanje sistema potrošača, odnosno sistema za navodnjavanje.

V MERNO-UPRAVLJAČKI DEO SISTEMA

Merno upravljački deo sistema je prikazan na principskoj blok šemi na Slici 7. Kontrolni modul kojim se vrši kontrola punjenja baterijske banke, kontrola rada invertora kao i akvizicija svih potrebnih merenja u sistemu hibridnog napajanja, je baziran na modulu *Color Control GX* (CCGX) proizvodnje VICTRON. Preko ETHERNET porta ovaj modul je povezan sa centralnim računarskim sistemom koji kontrolise rad celokupnog postrojenja. Ovaj računarski sistem je baziran na BEAGLEBONE BLACK procesoru. Ovaj modul ima mogućnost prijema i slanja podataka daljinski putem GSM/GPRS modula putem koga je moguće pratiti sve relevantne parametre sistema, a takođe je moguće daljinski uključiti ili isključiti pojedine funkcionalne blokove.

U okviru baterijske banke je realizovan specijalan merni digitalni elektronski sklop napona i struje baterijske banke (tzv. „baterijski monitor“), baziran na modulu BMV702 proizvodnje VICTRON, na blok šemi na Slici 7 označen sa +MU1.

Napajanje ovog modula je ostvareno sa baterijske banke 48Vdc. Opseg DC napajanja ovog modula je 8-70 Vdc. Ovaj kontrolni modul ima nekoliko komunikacionih portova: VE-direct1 (preko njega je povezan baterijski monitor BMV702), VE-direct2 (u ovoj aplikaciji se ne koristi), VE-Bus1 (preko njega se ostvaruje komunikacija sa invertorskom grupom, tačnije sa MASTER

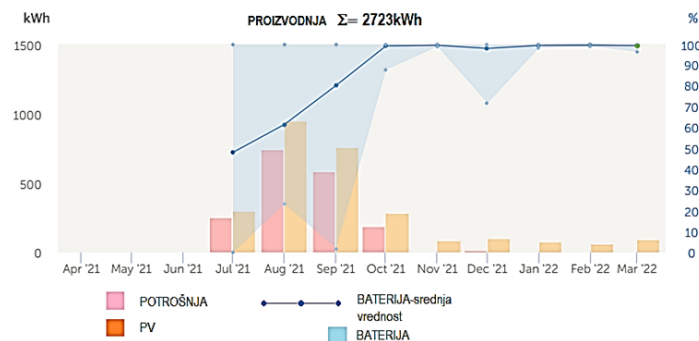
invertorom INV-1), VE-Can1 (za komunikaciju sa MPPT punjačem U1), VE-Can2 (za komunikaciju sa MPPT punjačem U2). Modul CCGX ima nekoliko portova za povezivanje sa ruterom

U mernom kolu baterijske banke se koristi energetski merni strujni šant Rsh (merni otpornik u DC sabirnoj priključnoj kutiji), osetljivosti 1mV/1A, za strujni opseg 0-500A, kojim je obezbeđen monitoring i kontrola stanja baterijske banke. Napon napajanja na DC sabirnicama, kao i signal struje šanta Rsh se direktno vode na modul BMV702 preko UTP /RJ kabla. Ovaj modul je povezan sa kontrolnim modulom CCGX preko porta VE-direct1. Na LCD displeju „baterijskog monitora“ BMV702 je moguće selektivno očitavati sledeće relevantne veličine: struju punjenja/praznjenja baterije izraženu u [A], napon baterije u [V], trenutnu raspoloživu i procenjenu energiju baterije do krajnje dubine praznjenja, izražene u [kWh], dubinu ispražnjenosti baterija izražene u [%], kao i stanje napunjenosti baterijske banke izražene u [%]. Statusi svih ovih veličina se šalju putem komunikacionog porta VE-direct na modul CCGX, a sa njega putem ETHERNET konekcije na centralni računar. Centralni računar komunicira se korisnikom putem pripadajućeg GSM/GPRS modema.

VI EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom poglavlju su predstavljeni neki ključni eksperimentalni rezultati koji se odnose na bilanse proizvedene električne energije na godišnjem, mesečnom i dnevnom nivou za karakteristični mesec sa najvećom proizvodnjom (avgust 2021). Eksperimentalni rezultati su dobijeni na osnovu logovanja podataka koje je ostvareno u modulu merno upravljačkom modulu CCGX. Merenja su vršena u periodu od 1.07.2021 (kada su hibridni sistem napajanja i pripadajući akvizicioni sistem kompletno implementiran i pušten u rad) do 30.03.2022.

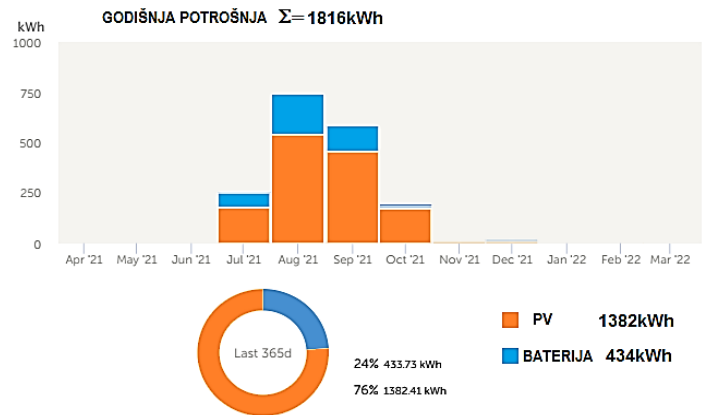
Na Slici 8 su dati dijagrami proizvodnje električne energije iz PV panela, potrošnje električne energije i deo koji je akumuliran u baterijskoj banci (trenutne i srednje vrednosti). Najveća proizvodnja električne energije od oko 920 kWh iz PV panela je ostvarena u avgustu mesecu.



Slika 8. Dijagrami proizvodnje i potrošnje električne energije na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ za period jul 2021-mart 2022.

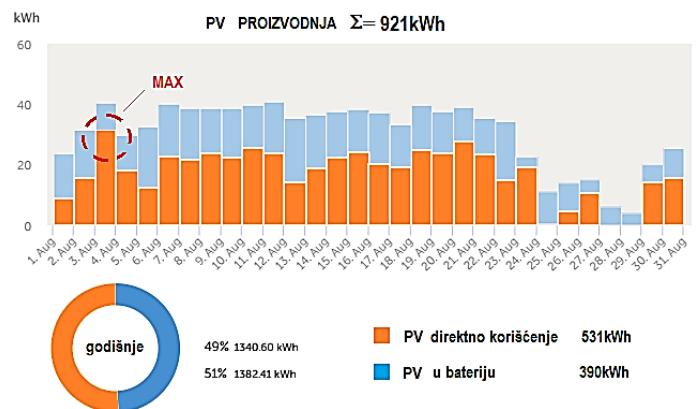
U julu mesecu koji je bio vremenski nestabilan i sa dosta kišnih dana je ostvarena proizvodnja od oko 200 kWh, dok je u septembru mesecu koji je bio sa dosta sunčanih dana je ostvarena

relativno velika proizvodnja od oko 700 kWh i u oktobru oko 200 kWh. U ostalim mesecima su ostvarene značajno manje vrednosti proizvodnje po mesecima (period novembar 2021 – mart 2022). Sumarno gledano ukupna proizvodnja električne energije na datoj lokaciji i u datom periodu je iznosila oko 2723 kWh. Ukupna potrošnja za dati period je iznosila 1816 kWh, od toga iz PV panela 1382 kWh i 434 kWh za punjenje baterijske banke 48Vdc/720Ah, što u procentualnom iznosu daje 76% za energiju potrošenu iz sunca i 24% potrošene energije za punjenje baterijske banke (videti detaljni prikaz dijagrama na Slici 9). Kao što prikazuju rezultati merenja na Slici 8, u periodu od novembra 2021 - marta 2022 nije bilo potrošnje obzirom da navodnjavanje počinje od kraja maja, tako da je u ovom periodu akumulirana energija u baterijskoj banci oko 1500 kWh.



Slika 9. Detaljni dijagram potrošnje električne energije (iz PV panela i baterijske banke) na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ za period jul 2021-mart 2022.

Kao što se iz prethodno prikazanih dijagrama može uočiti, najveća proizvodnja električne energije je ostvarena u avgustu mesecu i ona je iznosila sumarno 921 kWh. Dijagram ukupne mesečne proizvodnje za mesec avgust 2021. je dat na Slici 10. Sa dijagrama na Slici 10 se dobija da je iz PV panela direktno iskorišćeno 531 kWh, dok je iz PV panela u baterijskoj banci akumulirano 390 kWh.

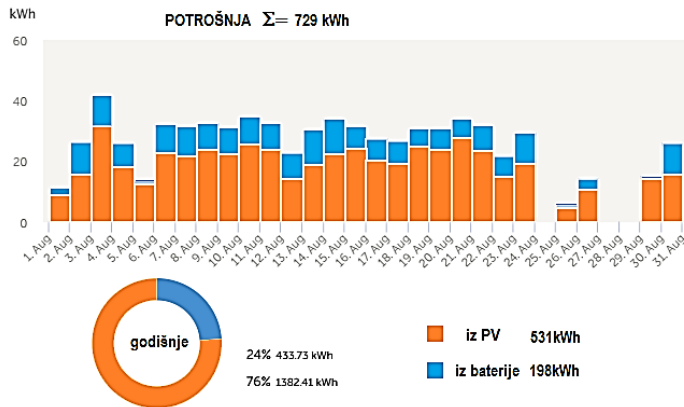


Slika 10. Dijagram srednje mesečne proizvodnje električne energije za mesec avgust 2021 na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“

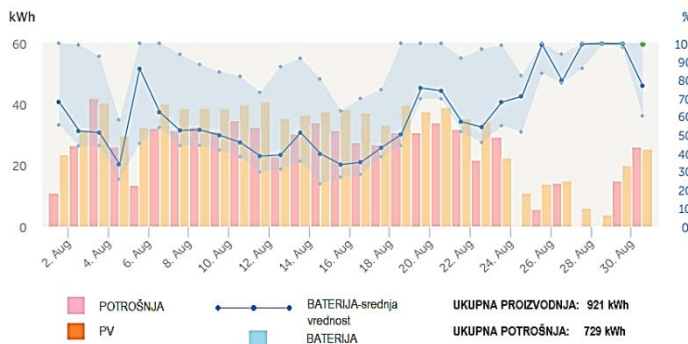
Sa dijagrama proizvodnje električne energije sa Slike 10 se uočava da je najveća proizvodnja od 41 kWh ostvarena 4 avgusta 2021.

Na Slici 11 su dati dijagrami potrošnje za mesec avgust 2021. U ovom mesecu je ostvarena ukupna potrošnja od 729 kWh, od toga iz PV panela 531 kWh, a iz baterijske banke 198 kWh.

Na Slici 12 su dati integralno dijagrami proizvodnje i potrošnje električne energije, kao i energetska potencijal baterijske banke, na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ za avgust 2021.



Slika 11. Dijagram srednje mesečne potrošnje električne energije (iz PV panela i baterijske banke) na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ za mesec avgust 2021.



Slika 12. Integralni dijagrami srednje mesečne proizvodnje i potrošnje električne energije na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ za mesec avgust 2021.

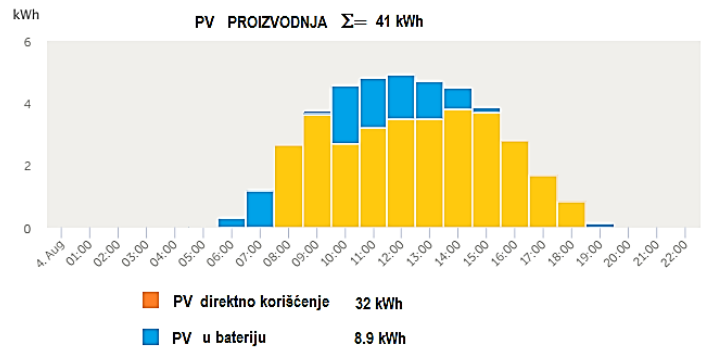
Na Slikama 13-15 su prikazani karakteristični dijagrami dnevne proizvodnje, dnevne potrošnje i integralni dijagram dnevne potrošnje za 4 avgust 2021 (u ovom danu se imala apsolutno maksimalna proizvodnja na mesečnom i na godišnjem nivou).

Na Slici 13 su prikazani dijagrami dnevne proizvodnje električne energije za 4 avgust 2021. Ukupna proizvodnja je iznosila 41 kWh, od toga je iz sunca direktno iskorišćeno 32 kWh, dok je u baterijskoj banci akumulirano 8,9 kWh.

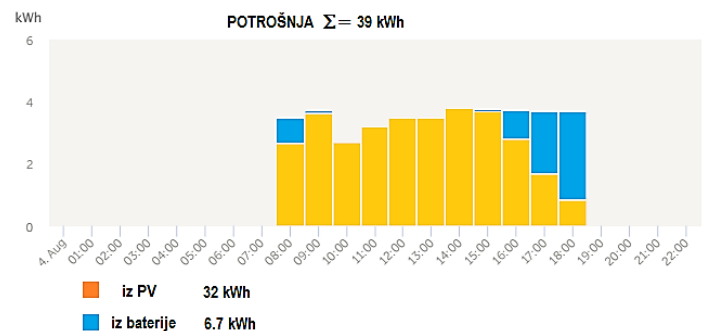
Na Slici 14 su za isti dan prikazani dijagrami dnevne potrošnje. Ukupna potrošnja je iznosila 39 kWh, od toga iz solarnih panela 32 kWh i iz baterijske banke 6,7 kWh.

Na Slici 15 su prikazani integralno dnevni dijagrami proizvodnje

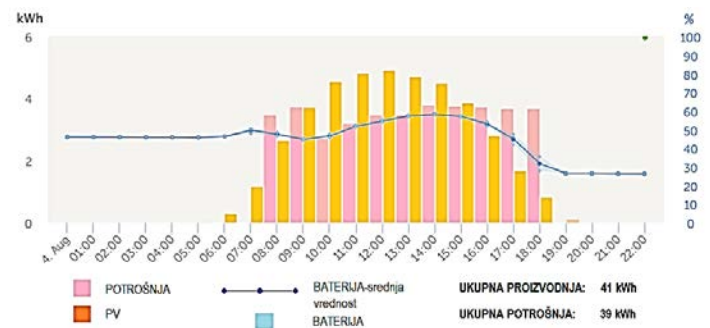
i potrošnje električne energije, kao i energije akumulirane u baterijskoj banci za 4 avgust 2021.



Slika 13. Dijagrami dnevne proizvodnje električne energije na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ na dan 4 avgust 2021.



Slika 14. Dijagrami dnevne potrošnje električne energije na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ na dan 4 avgust 2021.



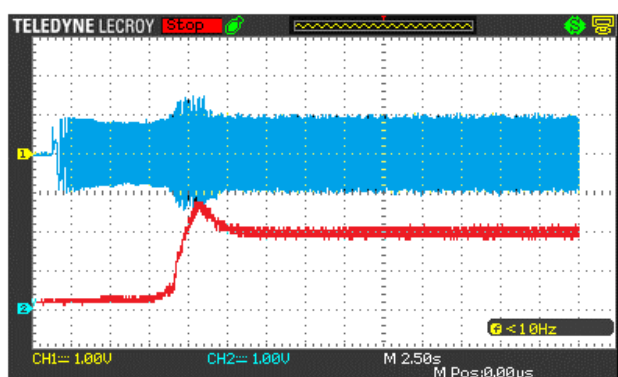
Slika 15. Integralni dijagrami dnevne proizvodnje i potrošnje električne energije, kao i akumulirane energije baterijske banke na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* „Belegiš“ na dan 4 avgust 2021.

Na Slici 16 su dati osciloskopski snimci fazne struje motora pumpe (opterećenje je simetrično pa se može smatrati da su vrednosti struja u ostale dve faze iste efektivne vrednosti) i pritiska u instalaciji cevovoda prskalica u sistemu navodnjavanja. Zadata vrednost pritiska u instalaciji je bila podešena na vrednost $P_{ref}=8$ bar.

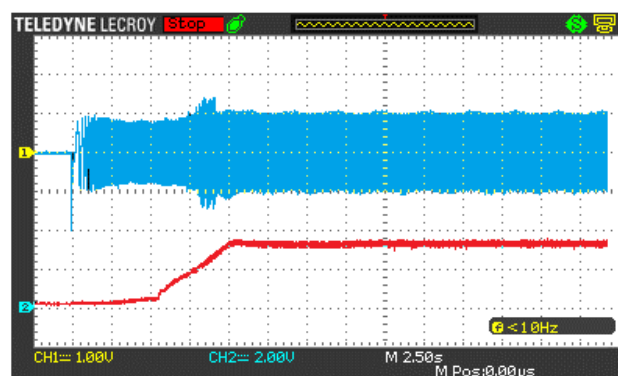
Regulacioni sistem pritiska je tako koncipiran da se na relativno jednostavan način može zadavati tip regulacije (P, PI, PID), kao i odgovarajuća pojačanja.

Na Slici 16(a) su prikazani talasni oblici za slučaj implementiranog P regulatora pritiska. Zadana vrednost pritiska postiže za znatno kraće vreme ali sa određenim premašajem od 50%. U ovom slučaju se takođe uočava da je stvarana vrednost pritiska oko 9 bara i da ona odstupa od zadate vrednosti od 8 bara, što je posledica činjenice da je u sklopu regulatora pritiska bio implementiran P sistem regulacije.

Na Slici 16(b) su prikazani dati talasni oblici za slučaj implementiranog PI regulatora uz odgovarajuće podešavanje parametara. U ovom slučaju se zadata vrednost pritiska sa zadovoljavajućom tačnošću postiže postepeno u intervalu od oko 5s, bez premašaja pritiska u instalaciji.



(a)



(b)

Slika 16. Osciloskopski snimci fazne struje invertora INV1 (master) i pritiska u instalaciji prskalica u sistemu navodnjavanja; (a) P regulator pritiska, (b) PI regulator pritiska; CH1- fazna struja invertora INV-1 (master), 5A/div, CH2-signal sa davača pritiska, 5 bar/div; vremenska baza 2.5s/div

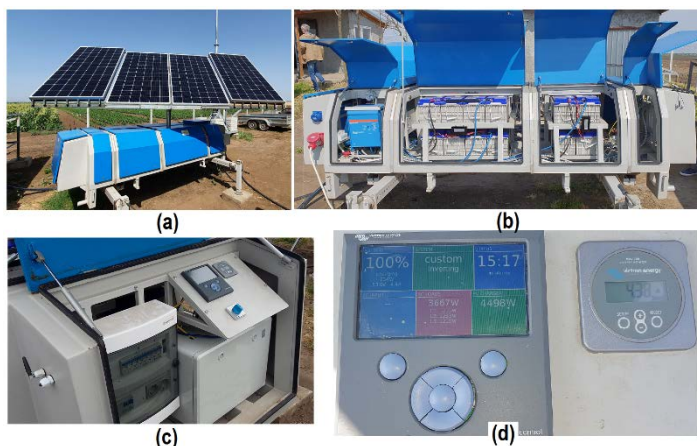
VII REALIZACIJA POJEDINIH DELOVA SISTEMA HIBRIDNOG NAPAJANJA

Na Slici 17 je prikazan realizovani sistem hibridnog napajanja potrošača, odnosno pumpnog zalivnog sistema na poljoprivrednoj parceli *Smart Land- Belegiš*, sa prikazom osnovnih funkcionalnih celina.

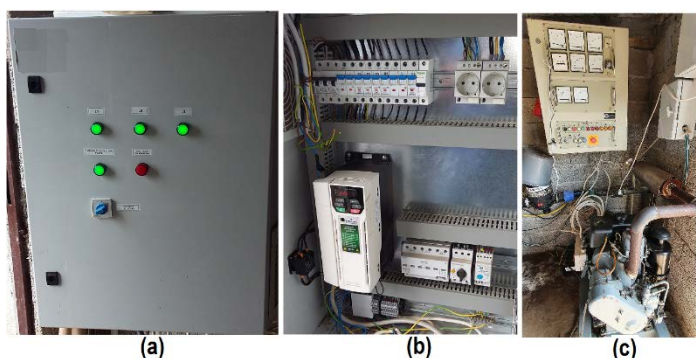


Slika 17. Realizacija hibridnog sistema napajanja banke na poljoprivrednoj parceli *Smart Land -„Belegiš“* sa pojedinim funkcionalnim celinama: (1) baterijska banka, uređaji energetske elektronike i merno-regulacioni deo, (2) prostorija za smeštaj razvodnog ormara pumpnog agregata sa frekventnim regulatorom i razvodnog ormara DEA, (3) sistem solarnih panela 12x250W i 4x350W, (4) montažni stub sa VG snage 500W, (5) meteorološka stanica

Na ovom prikazu se uočavaju osnovne funkcionalne celine: (1) baterijska banka, uređaji energetske elektronike i merno-upravljački deo (detaljan prikaz na Slici 18); (2) prostorija za smeštaj razvodnog ormara pumpnog agregata sa frekventnim regulatorom i razvodnog ormara DEA (detaljni prikaz na Slici 19), (3) sistem solarnih panela (detaljni prikaz na Slici 20), (4) montažni stub vetroturbine sa VG (detaljni prikaz na slici 21) i (5) meteorološka stanica.



Slika 18. Baterijska banka i prateći uređaji; (a) izgled uređaja MSG sa 4 solarna panela ukupne snage 4x350W, (b) izgled baterijske banke sa pratećim uređajima energetske elektronike (DC7DC, DC/AC), (c) izgled merno upravljačkog pulta sa ugrađenim kontrolerom CCGX i baterijskim monitorom BMV702, (d) eksploatacioni prikaz parametara u radnom režimu hibridnog napajanja



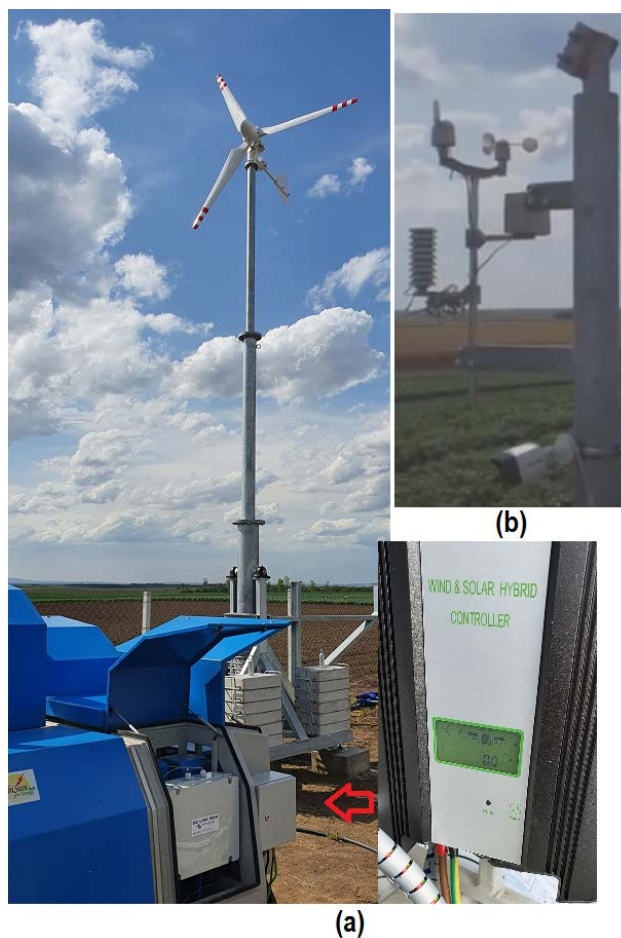
Slika 19. Prikaz energetske opreme u prostoriji za smeštaj pogona pumpnog agregata i DEA; (a) vrata RO pumpnog agregata sa komandnom i signalizacionom opremom, (b) unutrašnji izgled RO pumpnog agregata i pozicija frekventnog regulatora FR izlazne snage 5.5kW, (c) dispozicija DEA i pratećeg razvodnog ormara



Slika 20. Dispozicija sistema solarnih panela (ukupne snage $2 \times 12 \times 250 \text{W} = 6 \text{kW}$) i montažnog stuba vetroturbine.

Na Slici 20 je prikazana dispozicija fiksnih solarnih panela raspoređenih u dve grupe od po 12 solarnih panela. Svaki solarni panel je snage 250W, tako da je ukupna snaga ovog dela solarnog sistema 6kW. Na Slici 18(a) je prikazan deo solarnih panela (4 kom.) koji se nalazi na uređaju MSG. U ovom slučaju je snaga svakog od solarnih panela 350W, tako da je ukupna snaga solarnih panela na MSG uređaju 1.5kW. Na osnovu ovoga je ukupna snaga solarnih panela na *Smart Land* postrojenju 7.5kW, što u potpunosti zadovoljava celokupnu potrošnju.

Na Slici 21 je prikazana dispozicija realizovanog VGS sistema uključujući i preklopivi montažni stub po tzv. sistemu „đeram“ [16], MPPT punjač u okviru baterijske banke, kao i digitalnu meteorološku stanicu napajanu iz sopstvenog solarnog panela snage 50W.



Slika 21. Dispozicija VGS postrojenja; (a) izgled preklopivog montažnog stuba i pozicija montaže MPPT kontrolera VG u sklopu baterijske banke, (b) meteorološka stanica na sopstvenom stubu

VIII ZAKLJUČAK

U radu je prikazana realizacija jednog tipa hibridnog sistema napajanja koji obezbeđuje autonomno i neprekidno napajanje potrošača u sistemu navodnjavanja povrtarskih kultura na poljoprivrednoj parceli *Smart Land* u selu Belegiš. U radu je prikazana osnovna koncepcija sistema hibridnog napajanja, dati neki ključni eksperimentalni rezultati i aktivnosti u realizaciji projekta. Prikazani rad je jedan od rezultata realizacije projekta "Pametno upravljanje poljoprivrednim zemljištem i prirodnim resursima korišćenjem savremenih tehnologija" koji je realizovan u Institutu „Mihajlo Pupin“. Projekat je bio podržan od strane Razvojne agencije Ujedinjenih Nacija (UN) i Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije. Pored Instituta „Mihajlo Pupin“, na projektu je učestvovao i Institut za ekonomiku poljoprivrede - IEP, Beograd, čiji su saradnici dali značajan doprinos u proceni ekonomske održivosti i detaljnoj izradi tehnokonomске analize celokupnog projekta.

Pored opisanog sistema hibridnog napajanja u okviru projekta je realizovan sistem za daljinsko upravljanje navodnjavanjem i pametnim upravljanjem zemljištem i prirodnim resursima. Takođe, projektom su bili obuhvaćeni i realizacija sistema zaštite od atmosferskih pražnjenja (prihvatni sistem je realizovan sa

hvataljkom tipa „rani start“), realizacija sistema zaštitnog uzemljenja, kao i realizacija kompletnog sistema video nadzora na datoj parceli u cilju obezbeđenja od provale i krađe. Na ovaj način je postignuta potpuna samoodrživost sistema navodnjavanja na jednoj konkretno realizovanoj *Smart Land* poljoprivrednoj parceli.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

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

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Sayed Y. A., Fadl M.E. Agricultural Sustainability Evaluation of the New Reclaimed Soils at Dairut Area, Assiut, Egypt using GIS Modeling, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 24, pp. 707–719, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.002>
- [2] Rikalović, G., Vračarević, B. Energetska politika kao faktor održivog razvoja, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 66-72, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.66R>
- [3] Daly, H.E. *Ecological economics and sustainable development, Selected Essays of Herman Daly*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2007.
- [4] Rodić, A., Despotović, Ž.V., Stevanović, I. Pametna poljoprivreda- Mogućnosti digitalizacije i automatizacije u ekološki i ekonomski održivoj poljoprivrednoj proizvodnji, u monografiji : S.Roljević (Ed.), *Primena novih tehnologija u cilju pametnog upravljanja procesom gajenja povrća u zaštićenom prostoru*, Pogl. 2, (str. 27-58), Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, 2021.
- [5] Subić, J., Kljajić, N., Jeločnik, M. *Obnovljivi izvori energije i navodnjavanje u funkciji održivog razvoja poljoprivrede: ekonomski aspekti*, Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, 2017.
- [6] Jeločnik, M., Subić, J., Nastić, L. *Upravljanje troškovima na poljoprivrednim gazdinstvima*, Institut za ekonomiku u poljoprivrede, Beograd, 2021.
- [7] Geoghegan, T., Anderson, S., Dixon, B. *Opportunities to achieve poverty reduction and climate change benefits through low-carbon energy access programmes*, The Ashden Awards for sustainable energy, GVEP International & IIED. (available at 2008)
- [8] *International Energy Agency (IEA)*. World energy outlook, Paris, 2011.
- [9] *The future of food and agriculture – Trends and challenges*, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017, <https://www.fao.org/3/i3325e/i3325e05.pdf>
- [10] Despotović, Ž., Jovanović, M., Stevanović, I. *Primena mobilnih solarnih jedinica u ratarstvu i stočarstvu, Zbornik radova-IV Sajam Energetske Efikasnosti i Obnovljivih Izvora Energije*, Požarevac, Srbija, (str. 11-26), Oktobar 2016.
- [11] Despotović, Ž., Jovanović, M., Rodić, A., Stevanović, I. *Praktične realizacije sistema za dvo-osno praćenje sunčeve putanje*, in Proc. VII Sajam Energetske Efikasnosti i Obnovljivih Izvora energije, Požarevac, Srbija, (str. 11-26), Oktobar 2019. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33690.18880>
- [12] Rodić, A., Despotović, Ž.V., Jovanović, M.D., Popić, S., Stevanović, I. *Mobile robotic solar generator MobiSunProEnergy™-application in new energy technologies*, in Proc. VIII International Forum for Clean Energy Technologie, N.Sad, Serbia, 2014. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4459.5208>
- [13] Subić, J., Jovanović, M., Despotović, Ž., Jeločnik, M. Possibilities of applying robotic systems and smart sensor networks in integral agricultural apple production, in: Rodić A., Borangiu T. (Eds.), *Advances in Robot Design and Intelligent Control, Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD16)*, Vol. 540, Ch.30, pp.269-285, Springer 2016.
- [14] 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. https://www.pupin.rs/RnDProfile/pdf/despotovic-publ_37.pdf
- [15] Despotović, Ž., Tajdić, M., Kon, J. Hibridno napajanje telekomunikacione opreme daljinskih mernih stanica u sistemima zaštite od poplava, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 350-359, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.102D>
- [16] Despotović, Ž.V., Stevanović, I.R. Hibridni besprekidni sistem napajanja za navodnjavanje povrtarskih kultura na parceli Grabovac-Obrenovac, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23., No. 2, pp. 17-25, 2021. <http://dx.doi.org/10.46793/EEE21-2.17D>
- [17] Ristić, V., Rajaković, N. *Primena Lagranžove optimizacije na problematiku proizvodnje energije iz obnovljivih izvora*, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 22, No 1-2 , pp. 145-152, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.145R>
- [18] *Submersible pumps 4SR-4“*, Pedrollo SPA, https://www.pedrollo.com/public/allegati/4SR_AR_50Hz.pdf
- [19] *Emerson unidrive , User Guide Unidrive M200/201, Model size 1 to 6*, Part Number: 0478-0042-04, Issue: 4, CONTROL TECHNIQUES, 2019. <https://www.manualslib.com/manual/1248967/Emerson-Unidrive-M200.html>
- [20] *Electrically Operated Advanced Computerized Irrigation Controller*, Instalation manual CMC-08-24, CEPEX, 2018. <https://www.cepexirrigation.com/wp-content/uploads/2016/04/Manual-CEPEX-CMC.pdf>
- [21] Despotović, Ž.V., Jovanović, M.D., Stevanović, I., Majstorović, M. *Sprezanje i sinhronizacija grupe invertora u OFF-grid mobilnom solarnom sistemu* , *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 18, No. 3-4, pp. 252-260, Mart 2016.
- [22] Majstorović, M., Despotović, Ž.V., Mršević, D., Đurić, B., Milešević, M., Stević, Z. *Implementation of MPPT methods with SEPIC converter*, i Proc. 19th International IEEE Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH) 2020, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9066296>
- [23] Shen C.L., Ko,Y.H. 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, August 2014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.072>
- [24] Djordjevic, B., Despotovic, Z.V. Digital Implementation of MPPT Algorithm in Cuk DC/DC Power Converter Based on PIC18F4520 Microcontroller, in Proc. 21th IEEE International Symposium INFOTEH 2022-JAHORINA, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 16-18 March 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9751278>
- [25] Dahono, P.A., Tarayana, E. A New Voltage Control Method for Single-Phase PWM Inverters, *ITB J.Eng. Sci.*, Vol. 43, No. 2, pp. 139-152, 2011. <http://dx.doi.org/10.5614/itbj.eng.sci.2011.43.2.5>
- [26] Monfared, M. A simplified control strategy for single phase UPS inverters, *BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES, TECHNICAL SCIENCES*, Vol. 62, No.2, 2014, <http://dx.doi.org/10.2478/bpasts-2014-0037>
- [27] Lazzarin, T.B., Bauer, G.A.T., Barbi, I. A Control Strategy for Parallel Operation of Single-Phase Voltage Source Inverters: Analysis, Design and Experimental Results, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 60, No. 6, June 2013. <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2009.5414804>

AUTORI/AUTHORS

dr Željko V. Despotović, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)

dr Aleksandar Rodić, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, aleksandar.rodic@pupin.rs, ORCID [0000-0002-5595-9724](https://orcid.org/0000-0002-5595-9724)
msr Ilija R. Stevanović, master inž. mašinstva, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, ilija.stevanovic@pupin.rs