

PRIMJENA BATERIJSKIH SPREMNIKA ENERGIJE U OLAKŠAVANJU INTEGRACIJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Pogorelić, Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:700397>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**PRIMJENA BATERIJSKIH SPREMNIKA ENERGIJE U
OLAKŠAVANJU INTEGRACIJE OBNOVLJIVIH IZVORA
ENERGIJE**

Rijeka, rujan 2024.

Bruno Pogorelić

0069084023

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**PRIMJENA BATERIJSKIH SPREMNIKA ENERGIJE U
OLAKŠAVANJU INTEGRACIJE OBNOVLJIVIH IZVORA
ENERGIJE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vedran Kirinčić

Rijeka, rujan 2024.

Bruno Pogorelić

0069084023

Rijeka, 14. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Osnove elektrotehnike II**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Bruno Pogorelić (0069084023)**
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike**

Zadatak: **Primjena baterijskih spremnika energije u olakšavanju integracije obnovljivih izvora energije / Application of battery energy storage systems in facilitating the integration of renewable energy sources**

Opis zadatka:

Cilj ovog rada je procjena održivosti i učinkovitosti baterijskih spremnika energije (eng. Battery Energy Storage Systems, BESS) u olakšavanju integracije obnovljivih izvora energije kako bi se informiralo donošenje odluka i identifikirale prilike i izazovi za njihovu primjenu. Potrebno je prikazati tehničke karakteristike i parametre izvedbe različitih tipova BESS-a i kako oni utječu na njihovu prikladnost za različite mrežne primjene i obnovljive izvore energije. Obraditi primjer ugradnje kod velikog potrošača električne energije.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Vedran Kirinčić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Prof. dr. sc. Dubravko Franković

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

IZJAVA

U skladu s člankom 10. Pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na preddiplomskim sveučilišnim studijima Tehničkog fakulteta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku br. 26 za rujan 2024. godine.

Rijeka, rujan 2024.

Bruno Pogorelić

0069084023

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OSNOVE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA	2
3. OSNOVNI SUSTAVI POHRANE ENERGIJE	3
3.1. BATERIJSKI SUSTAVI	3
3.1.1. OLOVNO-KISELINSKA BATERIJA	4
3.1.2. LITIJ-IONSKA BATERIJA	5
3.1.3. NATRIJ-IONSKA BATERIJA	6
4. OSNOVE FOTONAPONSKOG SUSTAVA	7
4.1. DIZAJNIRANJE SUSTAVA	7
4.2. DIJELOVI SUSTAVA	9
4.2.1. Fotonaponski paneli	9
4.2.2. Bidirekcijski pretvarač	10
4.2.3. Baterijski sustavi	11
5.1. BATERIJSKI SPREMNIK	14
5.2. SPAJANJE FOTONAPONSKOG I BATERIJSKOG SUSTAVA	17
5.3. KONTROLNI SUSTAV	18
5.4. BIDIREKCIJSKI PRETVARAČ	19
5.5. MREŽNI IZMJENJIVAČ	19
5.6. AC RAZDJELNIK	20
5.7. CIJENA INVESTICIJE	21
5.8. POVRAT INVESTICIJE	22
6. BESS SUSTAVI	23
7. EUROPSKA UNIJA, HRVATSKA I POTICAJI	25
8. ZAKLJUČAK	26
9. LITERATURA	27
SAŽETAK	30

1. UVOD

Elektroenergetski sustav je sustav koji u svakom trenutku mora biti u ravnoteži proizvodnjom dovoljno energije da bi zadovoljio potrebe potrošača i gubitke koje su inherentne svakom realnom sustavu. Čine ga proizvodnja, prijenos, distribucija i potrošnja električne energije.

Integriranje baterijskih spremnika u korištenju obnovljivih izvora energije jedna je od ključnih stavka prema zelenoj tranziciji i dekarbonizaciji energetske mreže. Kao takva veoma je važna što veća zastupljenost zelene energije u elektroenergetskom sustavu, ali to predstavlja problem u stabilnosti iste zbog neujednačene proizvodnje tijekom dana uslijed vremenskih prilika i osunčanosti fotonaponskih panela i vjetroelektrana. Zbog navedenog razloga baterijski spremnici se savršeno uklapaju u shemu proizvodnje jer omogućuju da se u vremenu kada nema proizvodnje iskoristava višak energije ranije proizveden. Korištenjem baterija štedimo na potrošnji energije iz mreže i koristimo obnovljive izvore energije u punim mogućnostima, te pri tome rasterećujemo elektroenergetski sustav. U slučaju kad proizvodimo višak energije, a baterija je puna, moguće je ostvariti dodatne prihode od prodaje električne energije distributeru po ugovorenim cijenama. Budući da je distributer u obvezi opskrbljivati mrežu dovoljnom količinom energije prilikom manjka el. energije isplativije je prodati višak energije.

U sljedećim poglavljima navesti ćemo tehnologije skladištenja električne energije, s posebnim naglaskom na baterijsko skladištenje. Pogledat ćemo najrašireniji način generiranja obnovljive energije, iz Sunca, i pogledati što nam treba za njegovu realizaciju.

U radu će biti dani proračuni proizvodnje i povrata investicije za fotonaponski sustav sa baterijskim sustavom bez prodaje električne energije distribuciji.

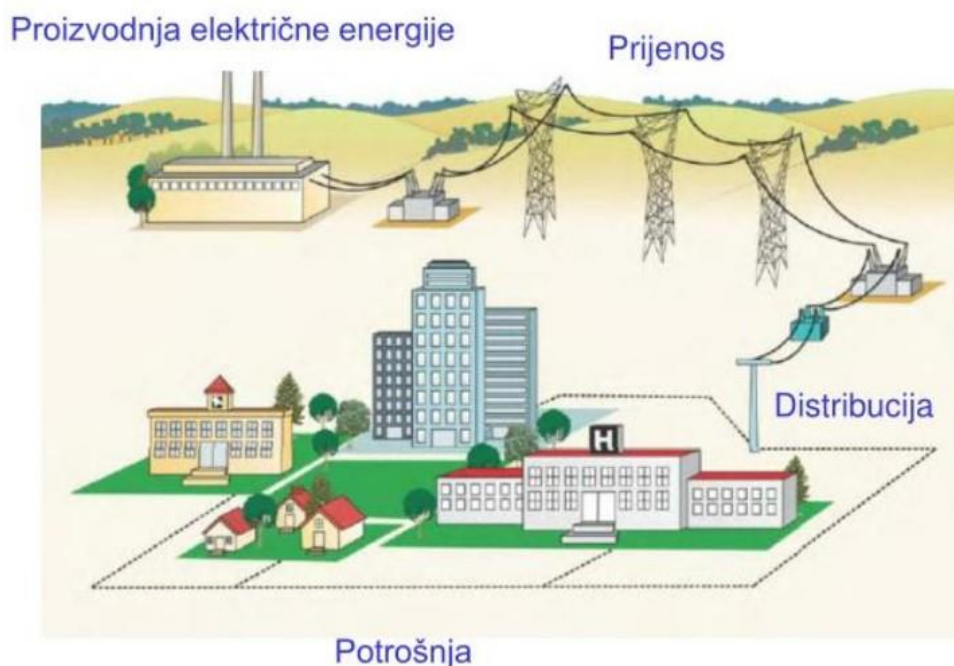
Navesti ćemo što se na hrvatskoj i europskoj razini potiče u proizvodnji obnovljive energije i ambicije Europe prema boljoj budućnosti.

2. OSNOVE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Proizvođači električne energije su elektrane koje druge oblike energije: mehaničku, toplinsku, svjetlosnu i ostale pretvaraju u električnu energiju, uz određene gubitke pretvaranja. Pretvaranje se radi uz pomoć turbina (parne, hidro, vjetro, ...), fotonaponskih panela i ostalih načina pretvorbe najčešće spojenih na generatore električne energije ukoliko nemaju direktnu pretvorbu.

Distribucija i prijenos su dvije odvojene stavke. Distribucija se odnosi na distribuciju električne energije potrošačima i uobičajeno se radi sa naponima do 35 kV, tj. to je ulaz na transformatore za gradske mreže koja se transformira na 400 V trofazno na izlazu prema potrošačima. U Republici Hrvatskoj jedini distributer je HEP-Operator distribucijskog sustava koji je vlasnik mreže. Prijenos se smatra od 110 kV na više i to je prijenos električne energije od velikih proizvođača do gradskih sredina. To se odnosi na dalekovode za prijenos velikih snaga i međunarodnu mrežu elektroenergetskog sustava kao što je europska. U Republici Hrvatskoj operator prijenosa je HOPS (Hrvatski operator prijenosnog sustava) koji je dio HEP grupacije.

Potrošači troše električnu energiju iz mreže i pretvaraju je u druge oblike energije kao što su mehanička, svjetlosna, toplinska i ostale. Potrošači mogu biti veliki (tvornice) i mali (kućanstva), te u obziru na to se stvaraju ugovori o kupnji električne energije sa opskrbljivačem koji kupuje energiju od proizvođača i prodaje potrošačima za fiksnu cijenu po kWh.



2.1. Pojednostavljeni prikaz elektroenergetskog sustava [9]

3. OSNOVNI SUSTAVI POHRANE ENERGIJE

Sustavi pohrane energije dijele se na mehaničke, toplinske, kemijske, električne i elektrokemijske. Svaki od njih se može podijeliti prema tome je li u obliku potencijalne, kinetičke ili kombinacije njih dvije.

Za mehaničke sustave primjer su zamašnjaci, hidroelektrane (normalne gravitacijske i reverzibilne), i pohrana komprimiranog zraka ili plina u podzemnim prostorijama ili rudnicima (najčešće).

Kod toplinskih je primjer reverzibilna toplinska pumpa.

Kemijski sustavi se smatraju vodik i razni sintetički plinovi.

Električni sustavi za pohranu električne energije su superkondenzatori i supravodljivi magnetski svitak.

Elektrokemijski sustavi za pohranu električne energije smatramo baterije, bile primarne (nepunjive, jednokratne), sekundarne (litij-ionske, natrijeve, olovne,...) i protočne (redox, hibrid i organske).

3.1. BATERIJSKI SUSTAVI

Baterije su elektrokemijski sustavi za pohranu električne energije. U današnje vrijeme primjenjivi su u gradnji i integraciji sa obnovljivim izvorima energije, prvenstveno fotonaponskim sustavima koji su najrašireniji i najlakši za izgradnju.

Građene od četiri dijela: anode, katode, elektrolita i membrane ili separatora. Anoda je negativna elektroda koja daje elektrone vanjskom krugu i oksidira (gubi elektrone) prilikom reakcije sa elektrolitom. Katoda je pozitivna elektroda koja prima elektrone iz vanjskog kruga i reducira se prilikom reakcije. Elektrolit je otopina soli, alkala ili kiselina koja služi za reakcije oksidacije i redukcije, tj. za izmjenu iona kod elektroda. Membrana je izolator uronjen između elektroda koji služi sprječavanju kratkog spoja, ali je propusna za elektrolit kako bi se vršila izmjena iona na elektrodama. [18]

Tri najčešće vrste sekundarnih baterija su: olovno-kiselinske, litij-ionske i natrij-ionske baterije.

3.1.1. OLOVNO-KISELINSKA BATERIJA

Najstarija olovno-kiselinska baterija, izrađena je 1859.g. od strane francuskog fizičara Gastona Plantea. Imaju malu energetska gustoću 35-40 Wh/kg. Napon jednog članka je 2.1 V. Mogu dati veliku struju u svakom momentu što ih je učinilo pogodnima za pokretanje automobila. Vijek trajanja je otprilike 5 godina ili 250-1000 krugova pražnjenja, ali to ovisi o dubini pražnjenja. Pogodne su za recikliranje budući su elektrode izrađene od olova i olovnog oksida, elektrolit je razrijeđena sumporna kiselina, a kućište je izrađeno od plastike. Uz to su izuzetno jeftine što ih čini veoma pristupačnim za rezervnu pohranu energije za repetitore, bolnice i kao UPS-ove. Koriste se na razini elektroenergetske mreže kao rezerva za ublažavanje vršne potrošnje. [1, 2, 3]



Slika 3.1. Olovno-kiselinska baterija [12]

3.1.2. LITIJ-IONSKA BATERIJA

Litij-ionske baterije su danas najčešće korištene baterije zbog svoje velike energetske gustoće (100-250 Wh/kg), male težine i dugog trajanja (na polici i u radu) i velikog broja ciklusa pražnjenja (3500 i više). Imaju puno mogućnosti kombinacije materijala iako najčešća je grafit kao katoda i metalni oksid ili fosfat litija kao anoda. Litijeve soli služe kao elektrolit. Napon je od 2.3 do 3.9 V. Potencijalni problem kod korištenja je mogućnost zapaljenja i njihovo teško gašenje što možemo vidjeti u nesrećama električnih automobila. Jedna od najupečatljivijih je bio požar nakon nesreće Richarda Hammonda u Rimčevom Concept One za seriju The Grand Tour gdje on gorio nekoliko dana dok su se ćelije jedna po jedna zapaljivale. Jedini način gašenja je snižavanje temperature vodom, i to velikim količinama jer nije moguće maknuti izvor kisika pošto one unutar sebe imaju okside koje služe kao izvor stoga pijesak i zakapanje ne pomaže. Razmatrala se mogućnost da ih ubaci u bazen s vodom kako bi se brže ohladili, ali je to bilo opasno pa je sigurnije bilo pustiti da izgore do kraja. [1, 4, 13]

Smatra se jednim od najvećih dostignuća u ljudskoj povijesti pomažući svim prijenosnim tehnologijama da se razvijaju. To je ovjekovječeno Nobelovom nagradom za kemiju 2019.g. skoro 30 nakon što je Sony počeo proizvoditi prve komercijalne baterije za punjenje koristeći litij-ionsku tehnologiju. [4]



Slika 3.2. Litij-ionska baterija [13]

3.1.3. NATRIJ-IONSKA BATERIJA

Slično kao i prethodne litijeve baterije, natrijeve baterije imaju više mogućnosti materijala što omogućuje raznovrsne uporabe. Kao elektrolit se koriste natrijeve soli. Proizvodnja ovih baterija je jednostavnija nego litijeve zbog veće dostupnosti materijala (natrij je sastavni dio morske soli) te su puno manji utjecaj na okoliš. Kvalitetom nisu još na razini sa litijem, ali daljnjim istraživanjima to se mijenja. Sigurnije su od litijevih jer imaju manju šansu pregrijavanja i zapaljenja. Nažalost neki nedostaci su manji napon (2.5-3.1V naprema 3.2V), sporije se pune i prazne pa nisu pogodne za pogone koje traže puno snage u malom vremenskom razmaku (kao električni automobil). Manji broj ciklusa punjenja od litijevih, ali stalno raste pa je procjena da neke imaju oko 4.500 ciklusa. Trenutačne izvedbe su od 75 do 200 Wh/kg (eksperimentalne), što ih ne čini pogodnim za korištenje u prijenosnim uređajima, ali na razini mreže su idealne. U Kini je napravljena eksperimentalna baterija za automobil Sehol E10X snage 25 kWh i energetske gustoće 120 Wh/kg što je dalo domet od 250km. [5, 11]



Slika 3.3. Sehol E10X (lijevo) i natrij-ionska baterijska ćelija [20]

4. OSNOVE FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Fotonaponske sustave dijelimo u dvije skupine: sustave spojene na mrežu koje moraju zadovoljiti propise i zakone da bi bili spojeni na javnu mrežu, te otočne sustave koji nemaju vezu sa javnom mrežom i time mogu se graditi prema vlastitim potrebama i mogućnostima što omogućuje zaobilazanje nepotrebnih propisa i papirologije potrebnih za spajanje na mrežu.

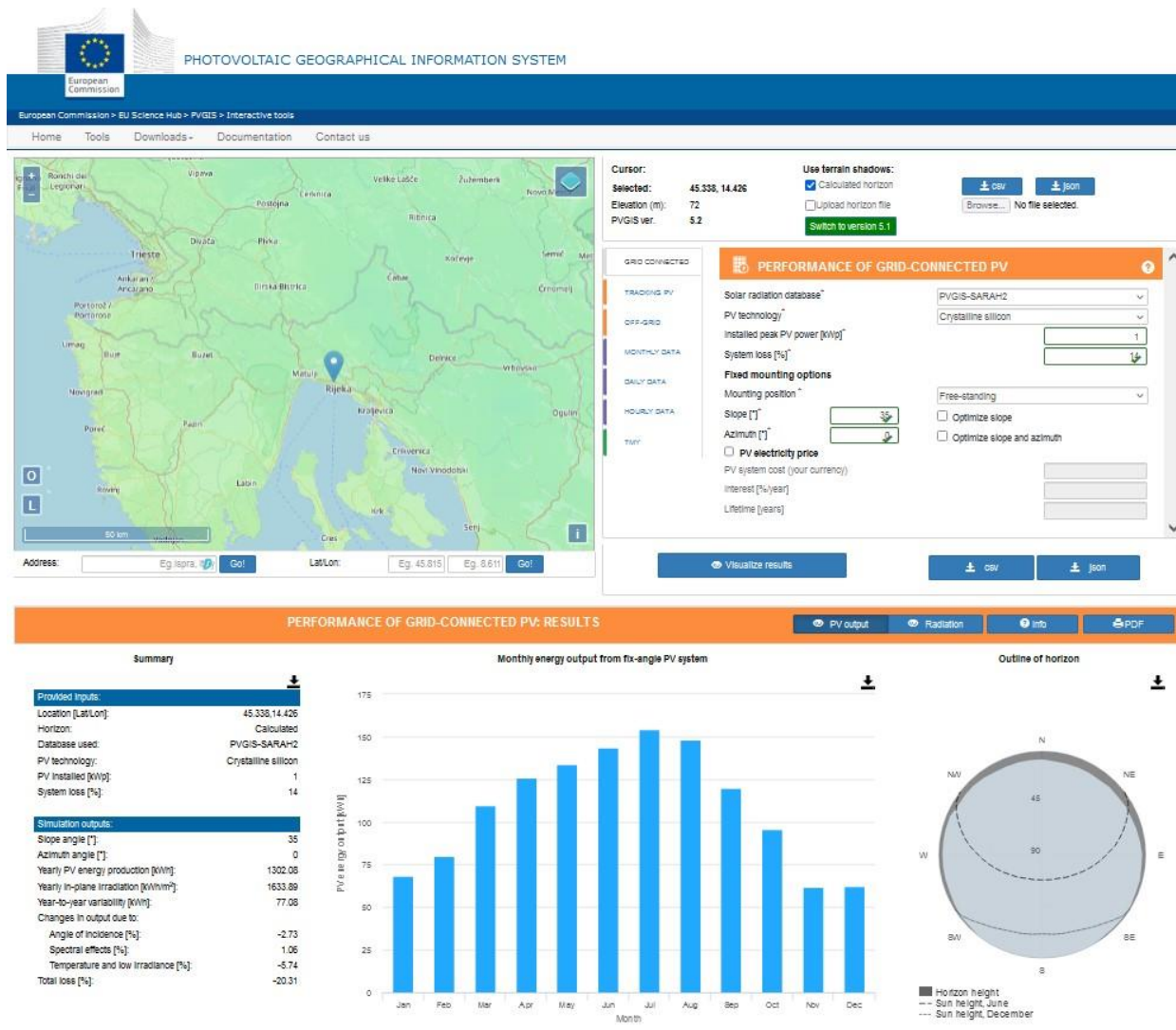
Otočni sustavi se dijele na one bez pohrane električne energije (troše što generiraju), s pohranom (obični/jednostavni uređaji, male primjene, samostalni AC sustavi i samostalni DC sustavi) i hibridni sustavi koji imaju dodatno generiranje energije pomoću vjetroagregata, dizelskih generatora i vodikovih gorivih ćelija. Zadnja dva najčešće samo kad se isprazne baterije i onda služe kao napajanje u slučaju nužde.

Sustavi priključeni na javnu mrežu se dijele na one direktno priključene na nju (fotoelektrane) i priključene na nju preko kućne instalacije (kućni fotonaponski sustavi). U oba slučaja postoje strogi zahtjevi i propisi i obveza ugovora sa distributerom. Dok će fotoelektrana će zarađivati generiranjem i prodajom energije direktno mreži, kućna će smanjiti račune samo dok ima Sunca jer nema baterijske pohrane i mora uzimati energiju iz mreže kad nema Sunca što vrti brojilo i diže račune (ako nema baterijskog spremnika što je najčešće).

4.1. DIZAJNIRANJE SUSTAVA

Proces dizajniranja sustava započinje analizom zahtjeva i financijskih mogućnosti investitora. Analizira se postojeće stanje sustava i dostupni izvori energije. U većini slučajeva investitor želi smanjiti ovisnost o sustavu javne mreže korištenjem dostupnih izvora energije, dok u manjem broju slučajeva, najčešće zbog nedostatka priključka na sustav javne mreže investitor nastoji izgraditi vlastiti sustav.

Prvo, analizom potrošnje električne energije određujemo optimalnu veličinu fotonaponske elektrane, vodeći računa o geografskim parametrima. Osunčanost prostora može se vidjeti na javnom servisu Europske komisije: Photovoltaic Geographical Information Service, PVGIS. Taj servis je vrlo važan jer može dati procjene proizvodnje energije kao i optimizirati kutove nagiba da bi se dobio maksimum iz sustava. [18, 19, 21]



Slika 4.1. PVGIS sustav Europske unije [21]

Drugo gledamo ako je javna mreža pouzdana i želimo li i dalje biti ovisni o njoj ili želimo biti neovisni. To nam daje opciju baterijskog paketa i/ili generatora za napajanje kada nema Sunca. U tome biramo i baterijski paket koji zadovoljava naše potrebe. Traži se stabilnost i dugovječnost, ali je isto tako važna i cijena jer ona diktira naše mogućnosti.

Zatim se dizajniraju FN polja i izabire se regulator punjenja. FN polja su serijsko-paralelni spoj određenog broja FN panela. Serijskim spajanjem se povećava napon, a paralelnim struja.

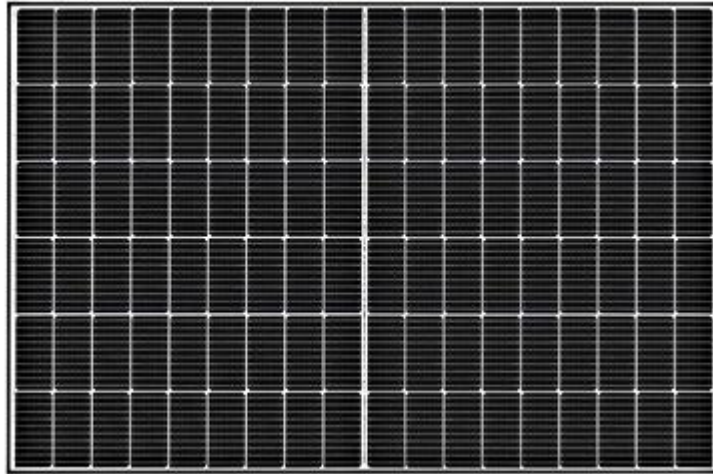
4.2. DIJELOVI SUSTAVA

Osnovni dijelovi bilo kojeg fotonaponskog sustava su fotonaponski paneli, punjači baterija i baterija (ako se ugrađuju), izmjenjivač, pomoćni izvor energije (generator, javna mreža) i AC izlaz na koju se priključuje trošilo. [18]

4.2.1. Fotonaponski paneli

Fotonaponski paneli (FN paneli) su serijsko-paralelni spojevi tankih silicijevih pločica koji generiraju električnu energiju kad ih obasjava Sunce. Fotoni izbijaju elektrone iz zadnje ljske silicija pri čemu oni dobivaju dovoljno energije da se mogu slobodno kretati jer su površine dopirane borom i fosforom koji stvaraju pozitivan i negativan sloj. Na dva kraja se spoje pozitivan i negativan pol koji privuku nosioce naboja na sebe. Kretanje milijuna elektrona u bakrenoj žici stvara električnu struju i ovo se zove fotoelektrični efekt.

Najvažniji parametar je stupanj korisnosti koji varira od tehnologije izrade no to nije ni presudna stavka pošto one stalno rastu zbog razvoja novih i boljih tehnologija (viši od 22%). Nije više toliko važno imati najvišu korisnost nakon što je stvoren regulator punjenja MPPT (Maximum Power Point Tracker) koji uvijek radi u točki maksimalne snage, tj. održava najbolji učinak FN panela tako da mijenja napon, struju i frekvenciju da je korisnost na najvišoj razini što može dati do 30% više energije. Važna je izdržljivost, dugotrajnost, garancija i tehnička podrška koja se dobiva na panele kako ne bi bilo nekih problema u budućnosti. Dobro je gledati i vrste solarnih panela prema vremenskim uvjetima koji vladaju na mjestu postavljanja kao što bi nekim područjima bilo poželjno da se gledaju FN paneli koji su izdržljivi na snijeg u gorju (mogu imati grijače) ili na sol u priobalju i jednostavnost njihovog čišćenja koje će se kad tad morati obaviti. [18]



Slika 4.2. Fotonaponski panel Tongwei 430W [14]

4.2.2. Bidirekcijski pretvarač

Bidirekcijski pretvarač će se promatrati umjesto izmjenjivača, punjača baterije i sklopke pošto je on danas najčešći i lakši je za ugradnju i kontrolu jer radimo sa jednim uređajem umjesto tri. Sastoji se 4 dijela: istosmjernog pretvarača, izmjenjivača, filtra i upravljačke elektronike. Formiraju izmjeničnu mrežu prema potrebama mreže i trošila. Kontroliraju punjenje i pražnjenje baterija, uključivanje i isključivanje dodatnih napajanja (AC i DC) i upravljanje trošilima. Za razliku od izmjenjivača mogu davati energiju iz baterije u mrežu i obrnuto, te istodobno. Uređaj ima dva AC izlaza od kojih je jedan stalno spojen, a drugi je samo u slučaju da ima dodatni izmjenični izvor napajanja (npr. dizelski generator). Dobar primjer je bidirekcijski pretvarač *MultiPlus* od Victron Energy-a koje na tržište stavlja Schrack Technik. [14, 15]



Slika 4.3. Bidirekcijski izmjenjivač MultiPlus II od Victron Energy-a [14]

4.2.3. Baterijski sustavi

U radu će biti fokus na sekundarnim baterijama. One su najjednostavnija i najjeftinija varijanta pohrane električne energije gledajući niske cijene olovno-kiselinskih i njegove raširenosti kao akumulatore u raznim uređajima (automobili, UPS) i litij-ionske koje koriste većina današnje elektronike za pohranu energije zbog svoje energetske gustoće naprema težini i cijeni i njegove kvalitete prema drugim tehnologijama baterija zbog čega se u njihovo istraživanje ulažu golemi naponi da se smanji njihov negativni utjecaj na okoliš rudarenjem litija i korištenjem rijetkih zemnih metala koje se predmet geopolitičkih previranja gledajući da Kina proizvodi skoro 90% svjetske potražnje. Alternativa je natrijeve baterije, ali to nije trenutno rašireno i dovoljno pouzdano za razliku od litijskih.

Dva najčešća i najjednostavnija baterijska sustava su litijske i olovne baterije. Svaki ima svoje prednosti i mane.

Litijske baterije dulje traju, mogu se dublje prazniti (80-100% naprema 50-70% olovne) i lakše su za istu snagu od olovnih do 4 puta. [18]

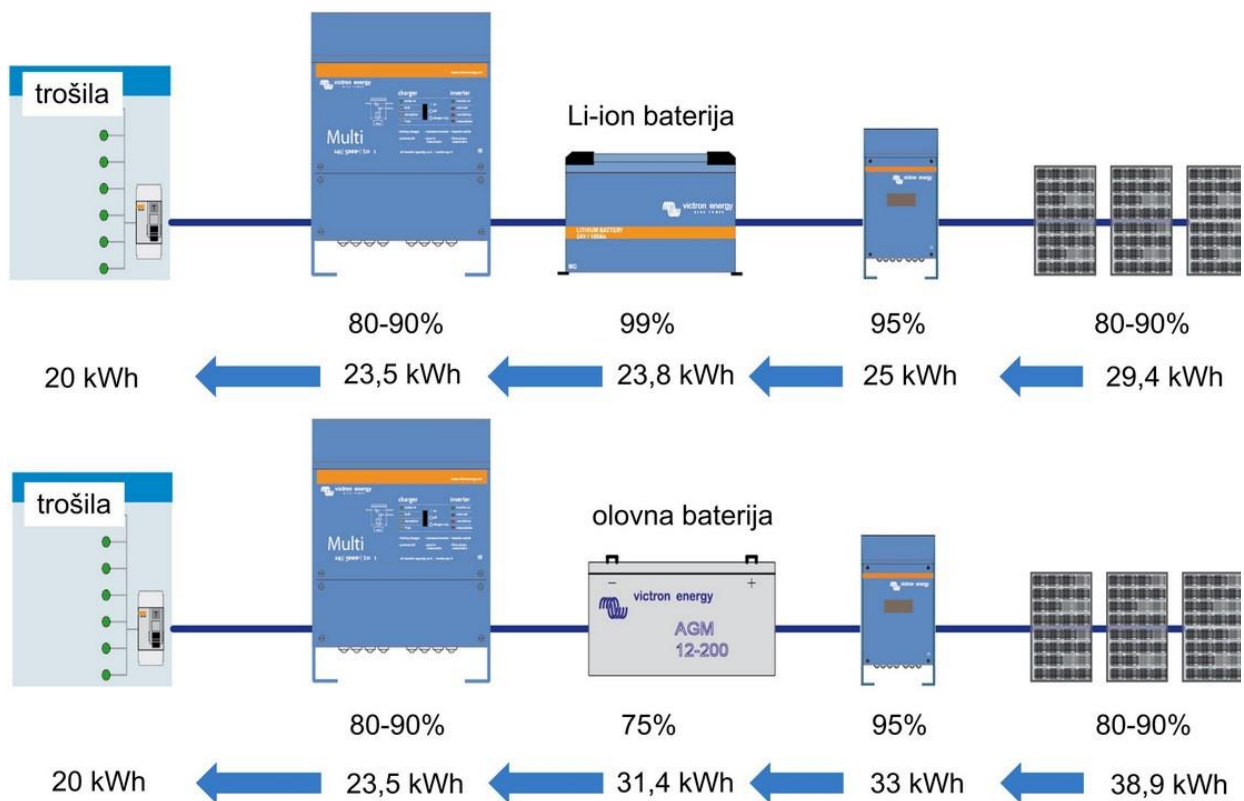
Npr. baterija mora davati energiju trošilu od 2 kW 10 sati što je 20 kWh. Za litijsku je dovoljna baterija od 48 V 400 Ah što daje 20 kWh jer je napon baterije uvijek malo viši od onog napisanog i iznosi 50 V, te možemo je cijelu isprazniti. [18]

$$50 \text{ V} \times 400 \text{ Ah} = 20\,000 \text{ Wh} = 20 \text{ kWh}$$

Olovna baterija bi trebala biti dvostruko veća jer se može isprazniti samo 50% bez da negativno utječemo na kapacitet. To znači da nam treba baterija od 48 V 800 Ah za istu predanu energiju kao i litijska baterija. Težina bi bila 1300 kg za olovne i 350 kg za litijske.

Nažalost litijske mogu eksplodirati usred pogreške u elektronici koja kontrolira dotok energije u nju i to je najveći strah kod njih. Drugi su financije jer su skuplje u početku.

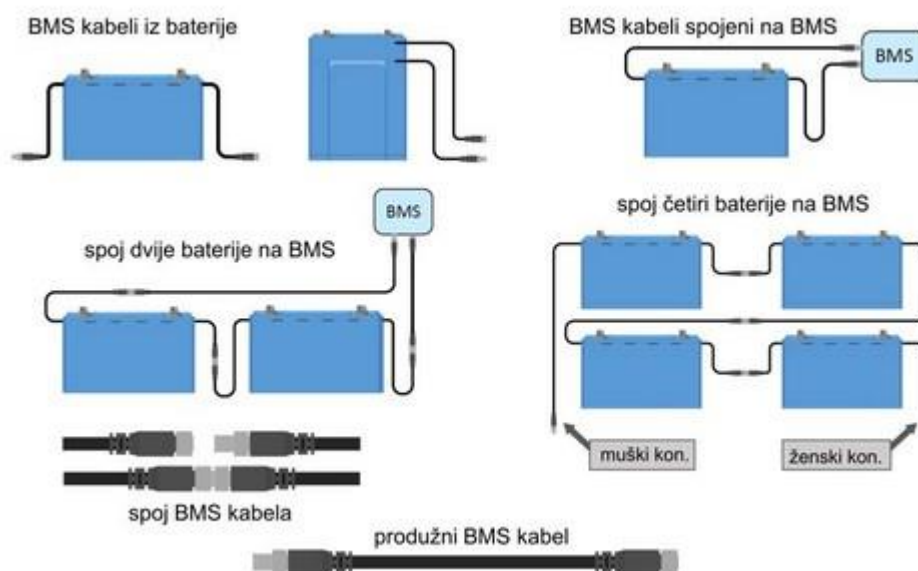
Ako gledamo s financijske strane, jedna litijeva košta skoro 5 puta više od ekvivalenta u olovnim baterijama, ali to se nadomješta većim brojem ciklusa, manjim brojem baterija (1 litijeva je 2 olovne za istu predaju snage) i dugotrajno jeftinijim baterijskim sustavima. Ako gledamo na 2000 ciklusa punjenja i pražnjenja, olovne ćemo zamijeniti 4 puta, da ne kažemo da efikasnost punjenja olovnih je 75% dok litijevih je 99%. To znači da 25% energije je bačeno u vjetar samo na punjenju. [18]



Slika 4.4. Odnos efikasnosti LFP i olovnih baterija [15]

Najčešće litijeve baterije koje se koriste su LFP ili litij-željezo-fosfat (LiFePO_4). Nominalni napon im je 3.2 V i spajanjem 4 u seriju dobivamo bateriju od 12.8 V, a spajanjem 8 dobivamo 25.6 V. Životni vijek im je oko 10.000-15.000 ciklusa. Prednost im je njihov sustav nadzora i kontrole rada (BTV) koji pazi na ujednačavanje napona na ćelijama kako bi razlike u naponu bile manje od 10 mV. To se radi da pri kraju punjenja ćelije čiji je napon viši dopunjavaju ćelije koje nisu napunjene do kraja. Zbog toga LFP baterije imaju informacijske priključke koji se spajaju na vanjski uređaj za nadzor baterija (BMS, eng. Battery management system). Usto pazi na temperature pa ako je previsoka, isključuje trošilo sa baterije kako bi se očuvala baterija. Vrlo je važno prilikom prvog spajanja da su sve baterija napunjene do kraja jer inače može doći do pogreške pošto one tvornički dolaze napunjene s otprilike 50% kapaciteta i nejednako napunjenim ćelijama. BMS kabeli se spajaju serijski bez obzira jesu li baterije spojene u seriju ili paralelu i spajaju se na BMS. On će u slučaju problema djelovati alarmom ili prekidom strujnog kruga. [15, 18]

To im omogućava laganu skalabilnost sustava pri gradnji i budućim nadogradnjama.



Slika 4.5. Spajanje BMS kablova [15]

5. FOTONAPONSKA ELEKTRANA SA BATERIJSKIM SPREMNIKOM SPOJENA NA JAVNU MREŽU

U ovom poglavlju ćemo pokazati realizaciju BEES (Battery Energy Storage System) sustava fotoelektrane priključene na javnu mrežu koja optimizira potrošnju energije iz mreže na minimum. Nećemo dati odgovor zašto bi investitor to napravio kad ima pouzdanu javnu mrežu jer svatko radi prema svojim željama i financijskim mogućnostima. Baterijski sustavi uvijek mogu ostati kao plan za budućnost tako da on se nadogradi na fotonaponsku elektranu.

5.1. BATERIJSKI SPREMNIK

Olovne GEL baterije 12 V 26 Ah slažu baterijske banke (spoj više baterija). Četiri baterije povezujemo u seriju sa vodičima istog otpora. To znači da moraju imati istu duljinu i presjek da bi otpor bio isti. Ako je moguće preferira se plosnati bakar. Spajamo 4 baterije u seriju kako bismo dobili 48 V i 6 serijskih grana spajamo u paralelu kako bismo dobili baterijski paket od 156 Ah na 48 V u baterijski slog. U svake tri grane stavljamo uređaje koji ujednačavaju punjenje baterija, tzv. battery balancere. Zadatak je pratiti punjenje baterija i kočiti punjenje onih koje se brže pune od drugih. [18]

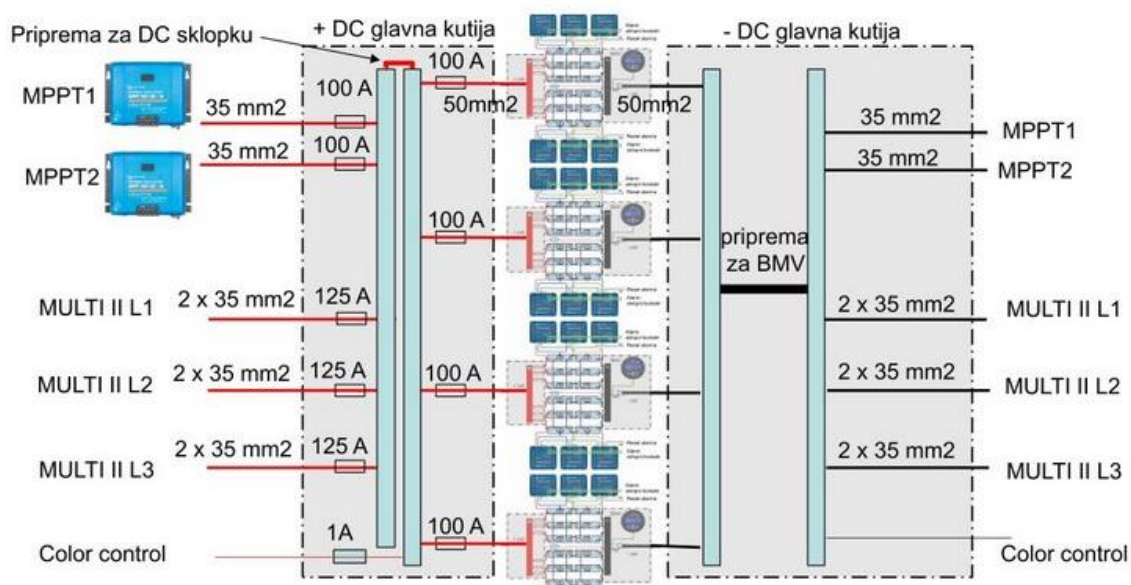
Baterijske grane idu na sabirnice u sabirničkim kutijama. Duljina kablova mora biti ista od kraja grane baterije do pola sabirnice. U sabirničkoj kutiji, prije samog spajanja na sabirnicu se spajamo na topivi osigurač. Vrijedi pravilo da svaki mm^2 kabela može izdržati 2 A istosmjernje struje. Ako stavimo osigurač od 35 A onda stavljamo minimalno 16 mm^2 koji spajaju baterijske grane i osigurač, a poslije njega i sabirnicu. Pošto imamo 6 baterijskih grana sa 35 A struje koja može doći do kutije dobivamo 210 A. Neće nam trebati tako jaka struja stoga se ide sa debljinom od 50 mm^2 što nam daje 100 A pri punjenju i pražnjenju baterijskih slogova. Imamo 4 baterijska sloga koja spajamo u paralelu na glavnu sabirnicu i dobivamo baterijski spremnik od 624 Ah na 48 V što daje skoro 30 kWh energije. On se smješta u dobro provjetrenu prostoriju i stavljaju se ventilatori za lakši rad. Današnji ventilatori malo troše pa je njihov utjecaj zanemariv. [15, 18]

Stvarno stanje prati se preko nadzornika baterije. On se smješta između sabirnica negativnog pola, tj. pošto su dvije sabirnice spojene jedna na drugu premosnicom, premosnicu uklanjamo i spajamo nadzornik između njih. Spajamo jedan vod do pozitivnog pola preko osigurača od 1 A koji služi za napajanje. To se sve spaja na baterijskom spremniku. [18]

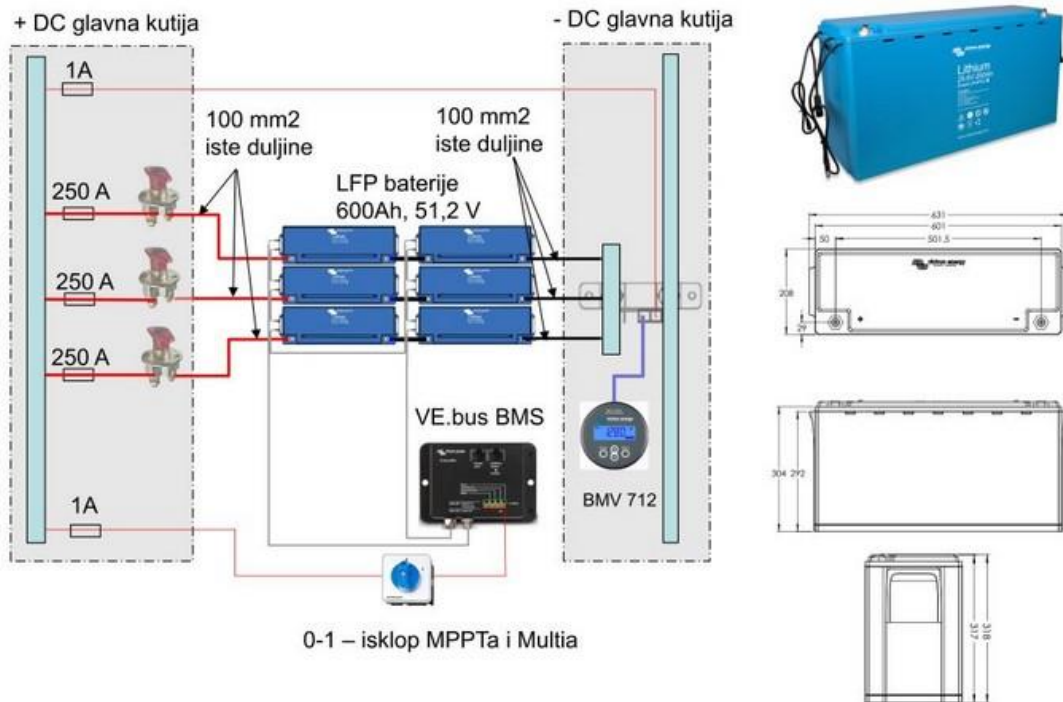
Na krajeve sabirnica su spojeni MPPT uređaju preko osigurača od 100 A kao i 3 bidirekcijska pretvarača spojena preko 3 osigurača od 125 A. [18]

Ako bismo umjesto njih stavili LFP baterije postigli bismo dugotrajniji rad baterija pošto one imaju minimalni radni vijek od 2000 ciklusa naprema olovnim od 500, samo što su u početku puno skuplje. Samo spajanje je isto za obje vrste, sa istim sustavima. Ista elektronika ide za obje vrste baterija. Ono što mijenjamo su osigurači na pozitivnim polovima pošto je cilj ići sa većim kapacitetom baterija. Ako je prijašnji spoj imao 4 baterijska sloga spojena u paralelu onda bi onaj sa litijским mogao imati samo 6 LFP baterija spojena u 3 paralelna spoja sa 2 baterije u seriji od 200 Ah pri 25,6 V što čini baterijski spremnik od 600 Ah, 51,2 V. Na njih idu osigurači od 250 A i sigurnosna sklopka kao i prije. Osigurači su od 250 A jer baterije mogu podnijeti 200 A kontinuirane struje i 400 A maksimalne struje tako da je 250 A zlatna sredina. I kao što je rečeno prije, litijske baterije se mogu prazniti do kraja dok olovne baterije samo do polovice kapaciteta kako ne bi došlo do nepovratnog uništenja. Tako da prijašnjih 30 kWh je zapravo 15 kWh kod olovnih dok kod litijevih je on zapravo 30 kWh. [18]

Baterijski slog: 4 grupe baterija x 156 Ah = 624 Ah



Izvedba s LFP baterijama



5.1. Baterijski spremnici sa olovnim (gore) i LFP (dolje) baterijama [18]

Druga stvar je prostor i težina. Prijašnje olovne su težile 8 kg po komadu. Bilo ih je 96 što dava ukupnu težinu od 768 kg. Potreban je čvrsti ormar ili polica na koje se može slagati. Informatički ormar koji to može podnijeti košta oko 700 eura bez težine kablova koji dodaju još 10-20 kg. Litijeve su pak 39 kg po komadu što za 6 njih dava ukupnu težinu 234 kg. Ne zaboravimo da kad bi željeli 30 kWh od olovnih trebali bi dvostruko više baterija što teži preko 1,5 tone baterija. Litijeve su 6 puta lakše za isti iskoristivi kapacitet kao i olovne. [15, 18]

$$\text{Olovne: } 8 \text{ kg} \cdot 96 \text{ komada} = 768 \text{ kg}$$

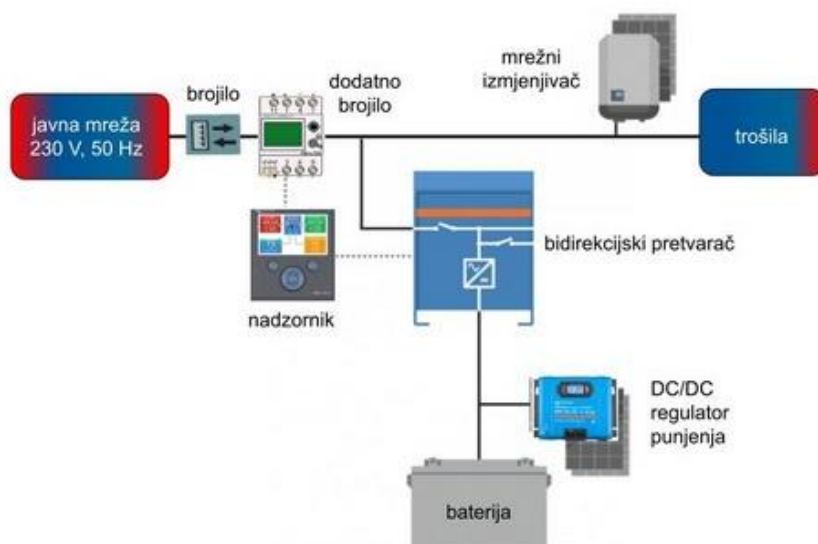
$$\text{Olovne (zapravo): } 8 \text{ kg} \cdot 192 \text{ komada} = 1536 \text{ kg}$$

$$\text{LFP baterija: } 39 \text{ kg} \cdot 6 \text{ komada} = 234 \text{ kg}$$

Treća stavka je temperatura rada. Olovne baterije se mogu puniti od 0°C do 40°C, prazniti od 15° do 50°C i skladištiti od 15°C do 40°C. LFP baterije mogu se puniti od 5°C do 50°C, prazniti od -20° do 50°C i skladištiti od -45°C do 70°C. [12, 13, 14]

5.2. SPAJANJE FOTONAPONSKOG I BATERIJSKOG SUSTAVA

Spajanje fotonaponskog sustava i baterijskog sustava može se napraviti na dva načina. Sustav može biti spojen izravno na mrežni izmjenjivač koji je priključen izravno u kućnoj instalaciji poslije brojila. Efikasan model predaje energije kućnoj mreži i onaj koji se najčešće koristi kada nema baterijskog sustava. To ne znači da ne može puniti bateriju preko bidirekcijskog pretvarača ako ima više energije nego što se troši, samo pada efikasnost zbog prolaska kroz AC/DC ispravljač. Druga metoda je spajanje FN sustava preko MPPT regulatora koji spaja se na baterijski sustav i njih direktno puni, te zatim ide na trošila. To je manje efikasno jer prvo se s razine FN sustava napon smanjuje na napon baterije, a onda s razine baterije se preko bidirekcijskog pretvarača pretvara u izmjeničnu struju za trošila na njegov napon. Ova dva sustava mogu se i kombinirati tako da veći dio polja stavimo na mrežni izmjenjivač koji će kućnoj instalaciji davati energiju umjesto javne mreže, a manji dio će puniti baterijski sustav za to vrijeme ili obrnuto. Ako je manja potrošnja od proizvodnje za sustav spojen na mrežni izmjenjivač, energija se koristi za punjenje baterija. Ukoliko su baterije pune i sustav proizvodi više od potrebnog, može se višak predati mreži ili smanjiti proizvodnja sustava i ne predavati ništa mreži. Sve to obavlja kontrolni sustav kojeg ćemo opisati dalje u nastavku. Ovdje je sustav podijeljen u otprilike 5 kW krug sa mrežnim izmjenjivačem na kućnoj instalaciji i 2 FN polja od 3.5 kW koja se spajaju na baterijski spremnik. [18]

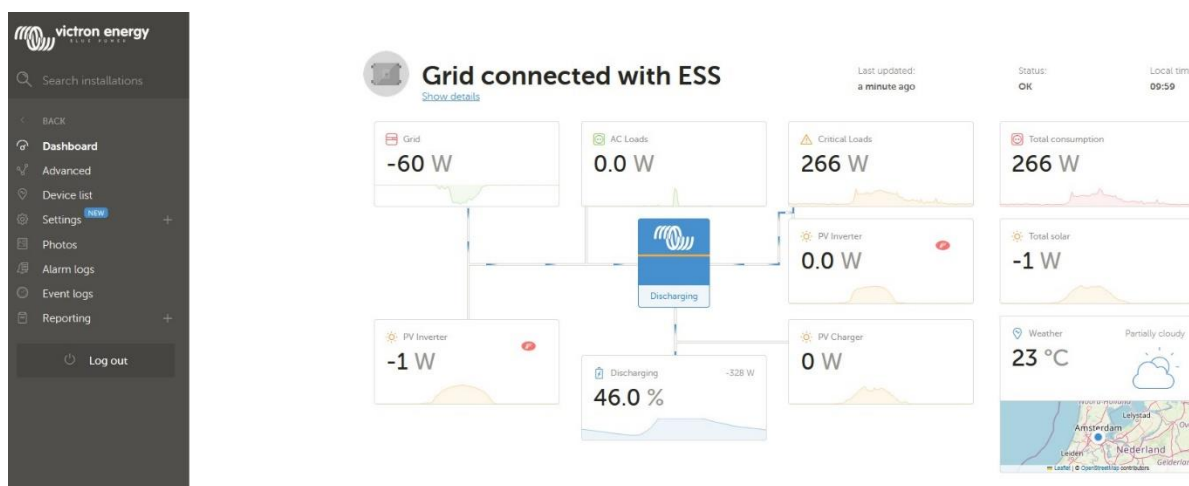


5.2. Pojednostavljeni prikaz fotonaponske elektrane sa direktnim punjenjem baterija iz solarnih panela i direktnim priključkom na kućnu mrežu [19]

5.3. KONTROLNI SUSTAV

Kontrolni sustav je u današnje vrijeme veoma važna stavka svake gradnje FN sustava. U prošlosti se radilo sa PLC-ovima koji su puno koštali, a ni danas nisu jeftini sa glavnom jedinicom (CPU) koja dođe oko 750 eura no za njih se dobije izrazito pouzdana oprema.

Danas se najviše koristi elektronika sa što jednostavnijim sučeljem kako bi olakšao rad sa sustavom. Uz to danas postoje sustavi koji se povezuju na internetsku mrežu i imaju mobilne aplikacije kojima možemo kontrolirati mrežu. Za složenije postavke rada tu uvijek možemo podešavati kako mi želimo kad uđemo u sustav umjesto da on automatski radi prema nekom od načina radova koje su tvornički instalirane u njemu kao što je prioritetno punjenje mreže, zabrana predaje energije mreži, itd.. Victron Energy ima liniju proizvoda GX koja sadrži sve potrebno za spajanje sustava zajedno. Najpoznatiji među njima je *Color control* koji se spaja na internet preko žice ili Wifi-a. S njima se isporučuje i aplikacija *VRM Portal* kojom se može udaljeno pristupiti preko interneta. Growatt ima svoju vrstu kontrolnog sustava *Growatt Monitoring Platform*. [22, 23]



5.3. VRM Portal od Victron Energy-a [23]

5.4. BIDIREKCIJSKI PRETVARAČ

Spajaju se u zvijezdu. Pretvarači su spojeni međusobno i preko glavnog kontrolnog sučelja gdje se vremenski sinkroniziraju i dijele podatke. Jedan bidirekcijski pretvarač stavljamo u ulogu *Master* (vođa), a druga dva u ulogu *Slave* (sljedbenici). Master uređaj osigurava ispravni vremenski pomak za preostale 2 faze koje moraju biti pomaknute 120° i 240° respektivno. Ako jedan uređaj je u problemu, ima neku smetnju ili je preopterećen onda cijeli sustav ispada da se zaštiti i javlja grešku. [16, 22]



5.4. Bidirekcijski pretvarač Growatt SPF5000 5kVA-48V [22]

5.5. MREŽNI IZMJENJIVAČ

Mrežni izmjenjivač služi za izravnu predaju električne energije iz fotonaponskih panela kućnoj mreži. Spaja se poslije brojila. Fotonaponski paneli su organizirani u seriju kao niz i njihovi kablovi se spajaju na prenaponsku zaštitu. Prenaponska zaštita trebala bi se staviti što bliže panelima, a kablove treba povući tako da što manje idu po mjestima gdje je zapaljiv materijal (drvo, plastika). Sklopku za DC strujni krug preporučljivo je staviti na lako dohvatljivo mjesto kod panela i/ili na fasadi kao protupožarna mjera. Kad se spaja niz potrebno je povratni vod provesti istim putem kao i vod kojim smo spajali panele u niz kako se ne bi stvarale petlje koje mogu stvoriti prenapone. Navedeno se radi ukoliko dio sustava direktno spajamo na kućnu mrežu umjesto preko MPPT regulatora koji smanjuju na napon baterije i onda bidirekcijski pretvarač pretvara u AC struju odgovarajućeg napona i frekvencije. [15, 19]



5.5. Mrežni izmjenjivač SAJ kW, 3-f [24]

5.6. AC RAZDJELNIK

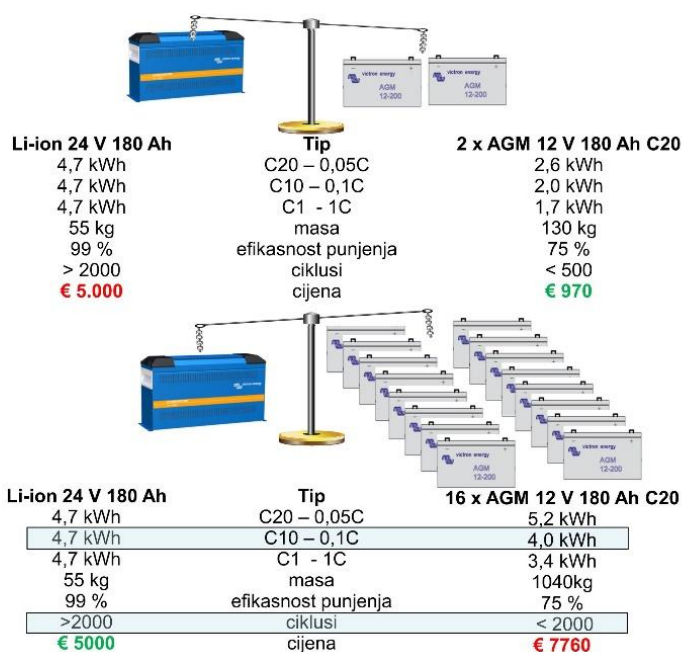
AC razdjelnik objedinjuje priključke mrežnog izmjenjivača i bidirekcijskih pretvarača u jednoj razvodnoj kutiji. Svi uređaji imaju svoju zaštitnu sklopku i zajednički RCD (diferencijalni strujni prekidač) sklop. Tu je i daljinski sklopnik kojim možemo na daljinu isključiti izmjenične priključke na mrežu. Na izlazu prema mreži su postavljeni rastalni osigurači za vidljivo razdvajanje i osiguranje rastalnih predosigurača prenaponske zaštite. [15]

5.7. CIJENA INVESTICIJE

Ovdje ćemo dati procjenu troškova bez rada tehničara i bez PDV-a.[12, 14, 15, 17]

Stavka	Količina	Jedinična cijena/€	Ukupna cijena/€
Baterije (Olovne) (30 kWh)	96	70	6720
Baterije (LFP) (30 kWh)*	6	2200	13200*
MPPT	2	500	1000
Bid. pretvarač	3	1000	3000
Kontrolni sustav	1	500	500
Mrežni izmjenjivač	1	2300	2300
Fotonaponski paneli	40	250	10000
Nosači i ostali materijal	1	3000	3000
Cijena (olovne)			26520
Cijena (LFP)*			33000*

Za olovne baterije, iako im piše da je 30 kWh, zbog sprječavanja degradiranja koristi se samo 50% kapaciteta. Kad bi htjeli da je iskoristivi kapacitet 30 kWh, to znači da nam trebaju dvije umjesto jedne baterije kao što je opisano prije. Računanjem cijene dolazimo do zaključka da ćemo isto toliko platiti LFP baterije koje će trajati minimalno 4 puta duže. [15]



5.6. Odnosi cijena u početku i nakon 2000 ciklusa [15]

5.8. POVRAT INVESTICIJE

Sustav predviđa da od travnja do rujna generira sigurnih 50 kWh električne energije dnevno dok za ostale mjesece predviđa se od 15 do 25 kWh električne energije što je upola manje od ljetnog dijela godine.

Pogledajmo što to znači za potrošnju iz mreže.

Ljetni mjeseci (travanj-rujan)	$50 \text{ kWh} \cdot 30 \text{ dana} \cdot 6 \text{ mj.} = 9000 \text{ kWh}$
Zimski mjeseci (listopad-ožujak)	$15 \text{ kWh} \cdot 30 \text{ dana} \cdot 6 \text{ mj.} = 2700 \text{ kWh}$
Ukupno	11700 kWh

Temeljem izračuna uz navedene parametre uštedjeti ćemo minimalno 11700 kWh godišnje što po trenutnim cijenama je 0.143772 eura/kWh sa opskrbom, distribucijom, solidarnom naknadom i naknadom za obnovljive izvore energije na višoj tarifi. Niža tarifa je otprilike upola manja, ali nju puno manje koristimo zbog vremena kada je ona aktivna (22h-8h ljetna, 21h-7h zimska).

$$11700 \text{ kWh} \cdot 0.143772 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1682.13 \text{ €}$$

Sigurna opskrba podrazumijeva 4 najosunčanija sata na dan. Naravno da elektrana proizvodi i ostale sate čime bi mogli i odvostručiti uštedu. Time bi povrat investicije bio predviđen u roku od 10 godina, prilikom korištenja LFP baterijskog sustava koji bi višak energije pospremio u baterije i koristio kad je manja proizvodnja čime smanjujemo korištenje mreže na minimum. Kažemo LFP baterije zbog duljeg vijeka trajanja i većeg kapaciteta.

Prilikom planiranja sustava pratimo jednostavno pravilo: kolika je snaga panela u sustavu, tolika smije biti najveća snaga trošila u sustavu, a onda i izmjenjivača za trajno pražnjenje (bez pregrijavanja) sustava unutar 2,5 sata. Baterija mora imati energiju koja se dobije umnoškom snage fotonaponskih panela i pet sati, ali to je minimalno preporučljivo i može se ugraditi veća. [18]

6. BESS SUSTAVI

BESS sustavi (eng. Battery Energy Storage System) su integrirani baterijski spremnici koji sadržavaju baterije, izmjenični pretvarač (eng. inverter), kontrolni i senzorski sustav.

Tehnologije za pohranu energije su litijske, olovne, natrijeve i protočne baterije.

LFP baterija je tu primarno korištena zbog svoje dugovječnosti koja iznosi 10,000-15,000 ciklusa. Zastupljenost je 88 % na tržištu što je čini najraširenijom tehnologijom baterijske pohrane energije.

Olovne baterije se malo koriste zbog kratkog vijeka trajanja koji iznosi maksimalno 2,500 ciklusa.

Natrijeve baterije smatrale su se dobrom alternativom litijevim baterijama zbog visokih cijena litija na tržištu, ali stabiliziranjem tržišta one su polako pale u zaborav. Prognozira se da će se situacija popraviti novim generacijama natrijevih baterija. [26]

Protočne baterije se malo koriste zbog svojih problema (veličina, kompleksnost) iako su se jedno vrijeme smatrale mogućom zamjenom litijskim baterijama.

Mogu se nabaviti u različitim veličinama, od kućne verzije sa nekoliko kWh do onih sagrađenih u brodskim kontejnerima sa 5 i više MWh energije. Kontejnerske verzije su izuzetno zanimljive sa svojom tehnologijom i gradnjom jer moraju sve sadržati u jednom kontejneru i njegovom uskom prostoru kad se on napuni sa baterijama. Zanimljivi su sustavi zaštite od požara jer koriste plinove Novec, FM200 i slično kako bi očuvali opremu od vode iako je i ona opcija koja se nudi ako je dostupna. [25, 26, 27, 28, 29]

Hlade se zbog invertera i drugih električnih komponenti. BESS sustavi manje snage mogu se pasivno hladiti ili pomoću ventilatora, dok veći BESS sustavi koriste tekuće hlađenje pomoću smjese vode i antifrizu.

Kućne verzije koriste se za dopunu rada fotonaponskih elektrana kao primarna svrha dok se kontejnerske verzije koriste u velikim postrojenjima za hitne slučajeve i kao rezerve energije tijekom razdoblja visokih cijena energije na promjenjivim tržištima. Koriste se u prijenosnoj mreži za kratkotrajne smetnje u frekvenciji koje one izgladuju davanjem ili uzimanjem energije. [25, 26, 27, 28, 29]

Postoje mnoge tvrtke koje nude gotove sustave, a među poznatijima su Huawei i Siemens.[26,27]

Noviji trend je iskorištavanje starih baterija od električnih automobila kako bi one nastavile svoj život i bile bolje iskorištene prije reciklaže. Takve baterije uobičajeno imaju 80% kapaciteta nakon 5-7 godina rada i mogu nastaviti raditi u sklopu BESS sustava još deset godina ako sve prođe

dobro. Takvi sustavi su jeftiniji nego oni sa novim baterijama, ali imaju skraćen životni vijek i to se mora uzeti u obzir prilikom nabave kao i možebitni problemi koji nisu detektirani prilikom preslagivanja, a nastali su uslijed degradiranja materijala. [28]

7. EUROPSKA UNIJA, HRVATSKA I POTICAJI

Europska unija promovira fleksibilni decentralizirani elektroenergetski sustav kako bi se lakše iskoristila energija obnovljivih izvora. Smatra se da će budući elektroenergetski sustav biti puno drugačiji od današnjeg centraliziranog EES gdje većina energije dolazi iz velikih elektrana i da će težiti puno manjih lokalnih elektrana u vlasništvu pojedinih građana na njihovim kućama ili lokalnih zajednica. [6]

Poticaji se daju za ugradnje toplinskih pumpi koje imaju bolji omjer uložene i dobivene energije do čak 5 puta. Tu su poticaji za elektrifikaciju prijevoza (električni automobili), ugradnja novih bojlera, postavljanje solarne elektrane i još puno toga. [6, 8]

Trenutačno su u procesu projekti optimizacije i nadogradnje europske elektroenergetske mreže kako bi oni mogli udovoljiti zahtjevima novih tehnologija i prebacivanja proizvodnje sa velikih elektrane na mnoštvo malih i raštrkanih elektrana na obnovljivim izvorima energije. [8]

Europska unija vodi države članice prema cilju da do 2050.g, budemo prvi ugljično neutralni kontinent. Tako da sve male stvari koje radimo i vidimo pridonosi tom cilju. [8]

Dopustili su velikim sustavima spremnika energije da se uključe na europsko tržište energije kako bi lakše kupovali i prodavali energiju unutar sustava. [8]

Hrvatska je napravila puno tako da je stavila PDV od 0% na isporuku i ugradnju solarnih elektrana i kolektora za kućanstva i javne mreže što je bio dio paketa mjera zbog povećanja cijena energenata uslijed rata u Ukrajini. [6]

Druga stvar koja je dobra za sve one koji žele napraviti solarnu elektranu (sa ili bez baterije) su nepovratna sredstva iz europskih i hrvatskih fondova kojima se može pokriti do 50% troškova kupnje i izgradnje (do 6.000 eura). [6, 10]

8. ZAKLJUČAK

Zaključujemo da korištenje obnovljivih izvora energije predstavlja neizbježan trend u svijetu kojeg treba što bolje iskoristiti da bi se kvaliteta života spasila od globalnog zatopljenja. Prema podacima Europske komisije, 75% emisije stakleničkih plinova u Europskoj uniji je emitirano proizvodnjom i uporabom energije. Smanjenje emisije stakleničkih plinova koje nastaje proizvodnjom i uporabom energije moguće je ostvariti edukacijom stanovništva. Uz edukaciju stanovništva, pozitivne rezultate moguće je postići i davanjem novčanih poticaja i pokazivanja štednje energenata prelaskom na obnovljive izvore energije. Navedeno je bila i jedna od tema razgovora na građanskim panelima o energetskej učinkovitosti u kojem sam sudjelovao. Bez pokazivanja ljudima koliko će uštedjeti novca i što mogu dobiti od toga u udobnosti nema smisla ljude prisiljavati jer će ih to samo natjerati na suprotnu stranu onoga što smo htjeli postići. Trebati će još puno raditi na olakšavanju birokratskih postupaka za ikakvo dobivanje subvencija i gradnju elektrana sa obnovljivim izvorima energije, da ne kažemo digitalizaciju cijelog procesa i olakšavanje da prosječan građanin, bez ikakvog tehničkog znanja, može dati zahtjev za gradnju fotonaponske elektrane. Hrvatska je napravila dobru mjeru oslobađanjem plaćanja PDV sa materijala i ugradnje solarne opreme, približavajući tako mogućnost većem broju građana. Međutim, ta mjera je bila usred skoka cijena energenata zbog rata u Ukrajini pa je pitanje hoće li ona biti trajno na snazi ili samo do okončavanja rata.

Postojeći način prodaje energije HEP-u građane destimulira budući da za više predane energije nego preuzete dobivamo progresivno manju cijenu po kWh. To je jedna od stavki koje se trebaju ukloniti jer će uzimati 10% kao profit, a neće morati kupovati skupu struju na međunarodnom tržištu čime oni dobro prolaze i građani dobro prolaze. Od tog viška, građani će moći izgraditi još postrojenja čime će dati još više energije u mrežu. Jer ne zaboravimo da potražnja za energijom je danas veća nego ikada i Hrvatska još uvijek uvozi 40% električne energije. Sunčevo zračenje u priobalnim dijelovima Republike Hrvatske je oko 1300 kWh/m² godišnje. To je ogromna energija koja se gotovo pa i ne iskorištava za razliku od Njemačke koja ima obilje fotonaponskih elektrana i to se promiče svim sredstvima, ali ima samo 400 do 700 kWh/m². To ukazuje na neosviještenost građana i države o prednostima fotonaponskih elektrana u Hrvatskoj naprema Njemačkoj kojoj je upola manja energija po m² i dalje prihvatljivije nego nama. Zaključno, dobra stvar za Hrvatsku, ali i Europsku uniju bila bi uvođenje digitalnog sustava kojeg Finska ima pošto većina problema sa obnovljivim izvorima energije je riješena i njihov sustav praćenja potrošnje i proizvodnje električne energije je izuzetno razvijen na razini država u svijetu i kao takav je spreman za upotrebu. [18]

9. LITERATURA

- [1] Christopher McFadden, „The ultimate guide to battery technology“, Interesting Engineering (07. 2024.) <https://interestingengineering.com/innovation/the-ultimate-guide-to-battery>
- [2] M.Y.Suberu, N. Bashir, „Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency“, Renewable and Sustainable Energy Reviews (07. 2024.) <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/lead-acid-battery>
- [3] N.N. , „Lead-acid battery“, Wikipedia (07. 2024.) https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery
- [4] N.N., „Lithium-ion battery“, Wikipedia (07. 2024.) https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- [5] Sydney Butler, „What Are Sodium-Ion Batteries, and Could They Replace Lithium?“, How-To Geek (07. 2024.) <https://www.howtogeek.com/857572/what-are-sodium-ion-batteries-and-could-they-replace-lithium/#what-is-a-sodium-ion-battery>
- [6] Europska komisija, „The European Green Deal“, Europska Komisija (07. 2024.) https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [7] Porezna uprava Republike Hrvatske, „Stopa PDV-a od 0% na isporuku i ugradnju solarnih ploča“, Porezna uprava Republike Hrvatske (07. 2024.) <https://www.porezna-uprava.hr/Stranice/Vijest.aspx?NewsID=3413&List=Vijesti>
- [8] Europska komisija, „Preporuka Komisije od 14. ožujka 2023. o skladištenju energije – temelj dekarboniziranog i zaštićenog energetskeg sustava EU-a 2023/C 103/01“ (07.2024.) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.C_.2023.103.01.0001.01.HRV&toc=OJ%3AC%3A2023%3A103%3ATOC

- [9] Sidone, „Proizvodnja i potrošnja električne energije“, SlideServe (07.2024.)
<https://www.slideserve.com/sidone/proizvodnja-i-potro-nja-elektri-ne-energije>
- [10] [Klimatizacija.hr](https://www.klimatizacija.hr), „Instalacija fotonaponskih panela - Pitanja i odgovori“, [Klimatizacija.hr](https://www.klimatizacija.hr) (07.2024.) <https://klimatizacija.hr/blog/novosti/instalacija-fotonaponskih-panela-pitanja-i-odgovori-86/>
- [11] Pedro Santamaria, „Prve natrijeve baterije postaju stvarnost“, ElOutput (07.2024.)
<https://eloutput.com/hr/proizvesti/naprava/%C5%A1to-su-natrijeve-baterije/>
- [12] ELK PRODUCTS, „Sealed Lead Acid Battery, 12 V 26Ah“, ELK PRODUCTS (08.2024.) <https://www.elkproducts.com/product/sealed-lead-acid-battery-12260/>
- [13] ALL IN ONE, „ALL IN ONE 18650 3S5P 12Volt Lithium Battery 11Ah Rechargeable Lithium Battery Pack“, ALL IN ONE (08.2024.) <https://www.ainbattery.com/one18650-3s5p-12volt-lithium-battery-11ah-rechargeable-lithium-battery-pack.html>
- [14] Schrack Technik, (07.2024.) <https://www.schrack.hr/>
- [15] Schrack Technik Training Center, „Komponente fotonaponskih mrežnih i otočnih sustava“, Schrack Technik (07.2024.) <https://schracktrainingcenter.com/kbtopic/fotonapon-i-pohrana-energije/>
- [16] ENTSO-E, (08.2024.) <https://www.entsoe.eu/>
- [17] SolarShop, (08.2024.) <https://solarshop.hr/>
- [18] Schrack Technik, FOTONAPONSKI OTOČNI SUSTAVI praktični priručnik, knjiga, Peto prošireno izdanje, 2023. godine
- [19] Elektrotehnički projekt sunčane elektrane u sklopu stambene građevine- 8,36 kWp
- [20] N.N., „Sodium-ion battery“, Wikipedia (07.2024)
https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-ion_battery#

- [21] Europska komisija, PVGIS, (07.2024.) https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [22] Tvrtka Growatt, (07.2024.) <https://growattinverter.hr/proizvodi>
- [23] Victron energy, (07.2024.) <https://www.victronenergy.com/>
- [24] Proizvođač SAJ, (07.2024.) <https://www.saj-electric.com/>
- [25] TLS Containers, (08.2024.) <https://www.tls-containers.com/tls-blog/designing-a-bess-container-a-comprehensive-guide-to-battery-energy-storage-systems>
- [26] HUAWEI Solar, (08.2024) <https://solar.huawei.com/en>
- [27] SIEMENS Energy, (08.2024.) <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/battery-energy-storage.html>
- [28] LUX Automation, (08.2024.) <https://lux-automation.com/en/our-industries/e-storage/>
- [29] CPS America, (08.2024.) <https://www.chintpowersystems.com/5-mwh-battery-energy-storage-system/>

SAŽETAK

U ovom završnom radu se daje pregled fotonaponskih sustava sa i bez baterijskog spremnika, njihova razlika u cijeni kao i kratki opis elektrotehničkog projekta koje je potreban prije svake gradnje jer je potrebno da ga distributer pregleda i odobri. Primijetiti ćemo da je cijena izgradnje običnog fotonaponskog sustava 1000 €/kW, sa baterijom 2000 €/kW, upola manje ako dobijemo poticaje, ali to se dobiva retroaktivno, znači za prošlu godinu. Isplata u tom slučaju je minimalno predviđena u roku od 5 godine za FN sustave bez baterija i 10 godina za FN sustave sa baterijama što je izuzetno isplativo jer dobivamo minimalno 15-20 godina dodatnog rada fotonaponskog panela.

Vidimo da Europska unija i Hrvatska rade na olakšavanju integracije fotoelektrana u elektroenergetski sustav, ali da još puno ima za raditi na tome.

Ključne riječi: Fotonaponski paneli, Fotonaponski sustav, Fotonaponski sustav s baterijama, Bidirekcijski izmjenjivač, Baterijski spremnici, Povrat investicije, Poticaji za FN elektrane

ABSTRACT

This undergraduate dissertation provides an overview of photovoltaic systems with and without a battery tank, their price difference, as well as a brief description of the electrical project that is required before any construction because it needs to be reviewed and approved by the distributor. We will notice that the price of building an ordinary photovoltaic system is 1000 €/kW, with a battery 2000 €/kW, half as much if we get incentives, but this is obtained retroactively, meaning for the last year. In this case, the minimum payment is expected within 5 years for FN systems without batteries and 10 years for FN systems with batteries, which is extremely profitable because we get a minimum of 15-20 years of additional photovoltaic panel operation.

We can see that the European Union and Croatia are working to facilitate the integration of photovoltaics into the power system, but that there is still a lot to be done.

Keywords: Photovoltaic panels, Photovoltaic system, Photovoltaic system with batteries, Bidirectional converter, Battery tanks, Return on investment, Incentives for FN power plants