

# Strategije upravljanja kod kupca s vlastitom proizvodnjom

---

Župan, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:613265>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**STRATEGIJE UPRAVLJANJA KOD KUPCA S  
VLASTITOM PROIZVODNOM**

**Diplomski rad**

**Lucija Župan**

**Osijek, 2021.**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. FOTONAPONSKI SUSTAVI .....	2
2.1. Vrste FN sustava .....	2
2.1.1. Mrežni fotonaponski sustav .....	3
2.1.2. Samostalni ili otočni fotonaponski sustav .....	5
2.1.3. Hibridni fotonaponski sustav .....	6
2.2. Opće karakteristike i komponente FN sustava .....	7
2.2.1. Fotonaponske ćelije i moduli .....	9
2.2.2. Fotonaponski pretvarači .....	12
3. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM .....	14
3.1. Koncept upravljanja potrošnjom .....	14
3.2. Tehnike upravljanja potrošnjom.....	15
4. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE .....	19
4.1. Općenito o baterijskim spremnicima.....	20
4.2. Baterijski sustav za pohranu energije.....	28
4.3. Cijene baterijskih spremnika .....	29
5. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNJOM.....	30
5.1. Upravljanje potrošnjom.....	32
5.1.1. Sunčani dan .....	37
5.1.2. Oblačan dan.....	41
6. ZAKLJUČAK .....	46
LITERATURA.....	47
SAŽETAK.....	50
ABSTRACT .....	50
ŽIVOTOPIS .....	51

# 1. UVOD

Prodor obnovljivih izvora energije posljednjih je godina sve veći. Ti su izvori nestalne prirode i njihov obrazac generiranja energije ne odgovara obrascu opterećenja stoga se stvara potreba za sustavom za pohranu energije. U diplomskom radu cilj je u objektu kupca s instaliranim fotonaponskom elektranom dodavanjem spremnika energije, u ovom slučaju baterije, pohraniti višak proizvedene električne energije i tako ostvariti uštedu. Nužno je opisati osnove fotonaponskih i baterijskih sustava, različite vrste fotonaponskih ćelija i baterija. Pojasniti pojam kupca s vlastitom proizvodnjom i upravljanja potrošnjom.

Kroz rad je unutar šest poglavlja pobliže prikazana zadana tema. Drugo poglavlje opisuje fotonaponske sustave, njihov način rada, vrste te njihove osnovne komponente. Treće poglavlje definira upravljanje potrošnjom te se fokusira na različite tehnike upravljanja. U četvrtom poglavlju se upoznaje s radom baterija, njihovim tehnologijama i prednostima i nedostacima. Također, dan je prikaz baterijskog sustava za pohranu energije i fluktuacija cijena baterijskih spremnika energije. Peto, i najbitnije poglavlje, opisuje pohranu viška proizvedene energije iz fotonaponskih modula za dva krajnja slučaja, sunčani i oblačni dan. Prikazana je metoda punjenja baterije i dobivene uštede prije i poslije skladištenja energije, kao i postotak iskorištene proizvedene energije iz fotonaponskih modula.

## 2. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Rastuća zabrinutost zbog iscrpljivanja prirodnih resursa i buduće opskrbe energijom povećala je razvoj i usvajanje solarne energije. Najvažniji napredak u razvoju solarne tehnologije bili su fotonaponski sustavi koji koriste poluvodiče za izravno pretvaranje Sunčevog zračenja u električnu energiju. Od tada se tehnologija znatno razvila, a fotonaponski moduli su postali učinkovitiji i isplativiji. Zbog kontinuiranog ulaganja u tehnologije fotonaponskih modula njihova se učinkovitost povećala na između 15-20 % - ostatak se gubi kao toplina. To je također rezultiralo i značajnim padom cijena. Samo u posljednjem desetljeću cijene su se smanjile za preko 80 %, [1].

Jedino potrebno „gorivo“ za funkcioniranje fotonaponskih sustava je Sunčeva energija koja je besplatna i gotovo pa neiscrpna. Tipično, fotonaponska ćelija je učinkovitosti oko 16%, to bi značilo da se oko 1/6 energije Sunca može pretvoriti u električnu energiju. Prednosti fotonaponskih sustava su te što nisu proizvođači buke, ne posjeduju pokretne dijelove te ne onečišćavaju okoliš. Gledajući energiju utrošenu na proizvodnju fotonaponskih ćelija, fotonaponski sustavi i dalje proizvode značajno manje CO<sub>2</sub> od tehnologija fosilnih goriva, [2].

### 2.1. Vrste FN sustava

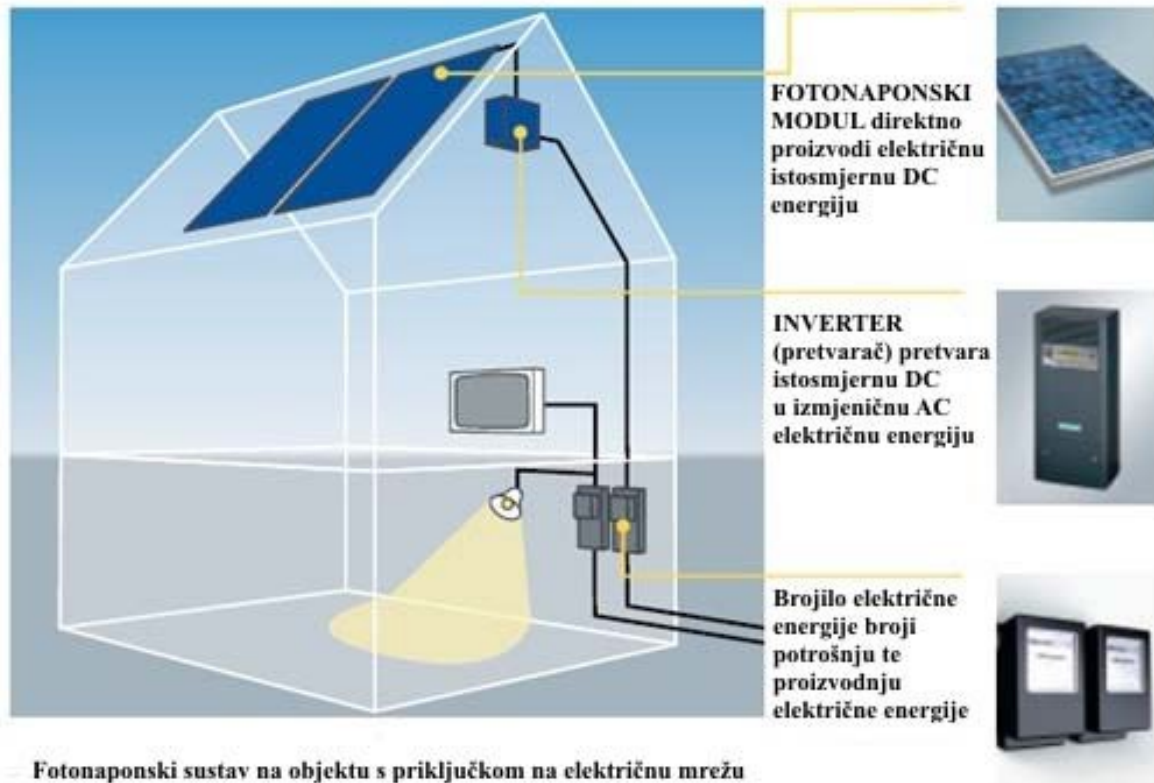
Fotonaponski sustavi se općenito mogu klasificirati na temelju krajnje primjene tehnologije u dvije temeljne kategorije:

- Fotonaponski sustavi koji nisu povezani s mrežom, samostalni sustavi (eng. *off-grid*)
- Fotonaponski sustavi povezani s javnom elektroenergetskom mrežom (eng. *on-grid*), [3].

Postoji još mnogo različitih podtipova fotonaponskih sustava prema vrsti i metodi povezivanja na mrežu ili načina pohrane energije u samostalnim sustavima. Osnovni principi i elementi fotonaponskih sustava ostaju isti. Sustavi su prilagođeni ispunjavanju određenih zahtjeva promjenom vrste i količine osnovnih elemenata.

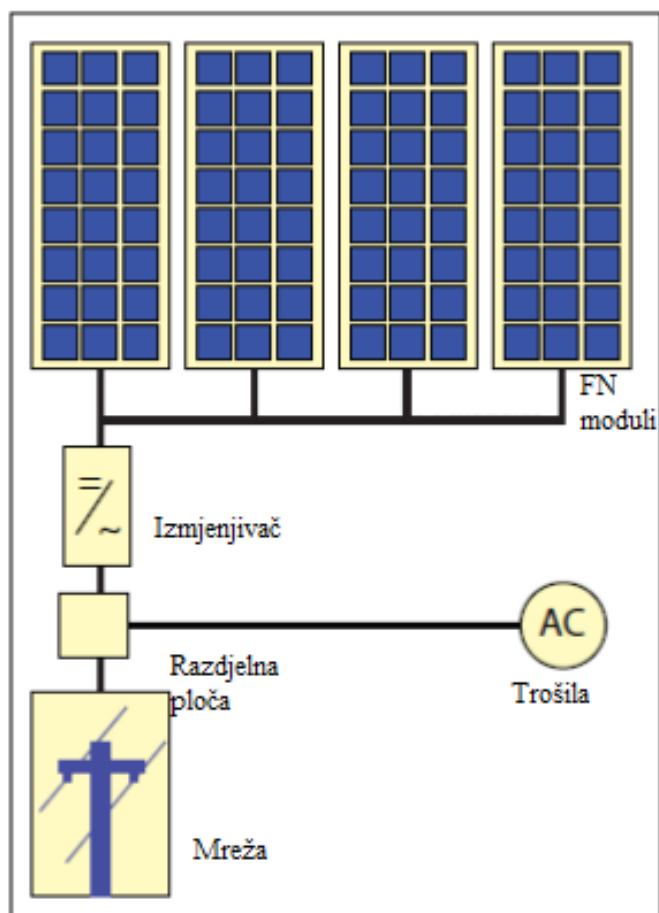
### 2.1.1. Mrežni fotonaponski sustav

Glavne komponente fotonaponskog sustava su fotonaponski moduli, pretvarači/izmjenjivači, montažni okvir i mjerni ormarić sa zaštitnom opremom i ugradnjom. Fotonaponski moduli Sunčevu energiju pretvaraju u istosmjernu struju, dok pretvarači tu istosmjernu, proizvedenu energiju prilagođavaju obliku za predaju javnoj mreži.



**Slika 2.1.** Prikaz fotonaponskog sustava s priključkom na električnu mrežu, [2].

Fotonaponski sustavi povezani s mrežom postaju sve popularniji. Kao što je vidljivo iz slike 2.2., FN sustav je na mrežu povezan putem izmjenjivača. Ovi sustavi ne zahtijevaju spremnike energije jer su povezani s mrežom koja djeluje kao osiguranje u razdobljima nedovoljne ili prekomjerne proizvodnje energije iz FN sustava, [4].



**Slika 2.2.** Shematski prikaz mrežnog FN sustava, [4].

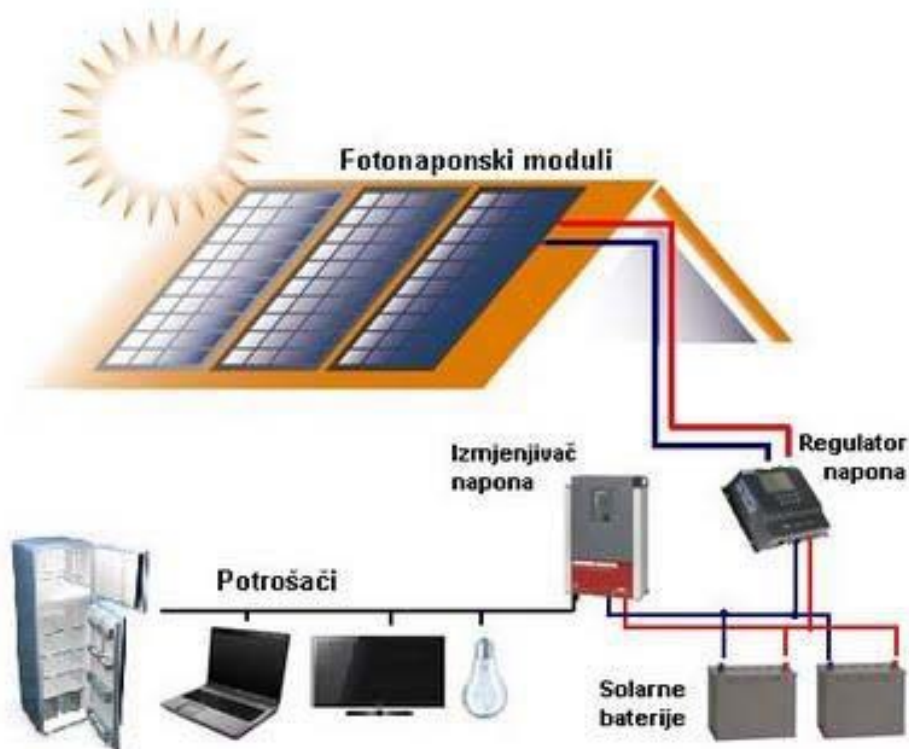
Električni priključak obično se nalazi u glavnom razvodnom ormariću (GRO). Brojilo se instalira na mjestu priključenja, a često se preporučuje da se osigurač smjesti s obje strane brojila, ispred i iza, čime se brojilo može zamijeniti u beznaponskom stanju, [2].

Uvjeti u kojima se fotonaponski sustav priključuje na mrežu moraju biti u skladu s HEP-ODS. Normirani nazivni napon iznosi 230 V. Nazivna mrežna frekvencije je 50 Hz. Napon se od nazivnog smije razlikovati za manje od  $\pm 10\%$ , [2].

Kako su izloženi udarima munje, odvodnicima prenapona se štite fotonaponski moduli, uz spajanje na gromobransku instalaciju. Odvodnici se instaliraju neposredno nakon modula kako prenapon ne bi utjecao na instalaciju zgrade, [2].

### 2.1.2. Samostalni ili otočni fotonaponski sustav

Ovi se sustavi koriste u ruralnim područjima bez električne mreže i pripadajuće joj infrastrukture. Sustavi su povezani sa spremnikom energije (baterija, akumulator) preko kontrole punjenja i pražnjenja. Izmjenjivač se koristi za pretvorbu istosmjerne struje u izmjeničnu struju za korištenje standardnih električnih aparata i uređaja. Samostalne fotonaponske instalacije tipično se koriste za osiguravanje dostupnosti električne energije u udaljenijim područjima, [2].

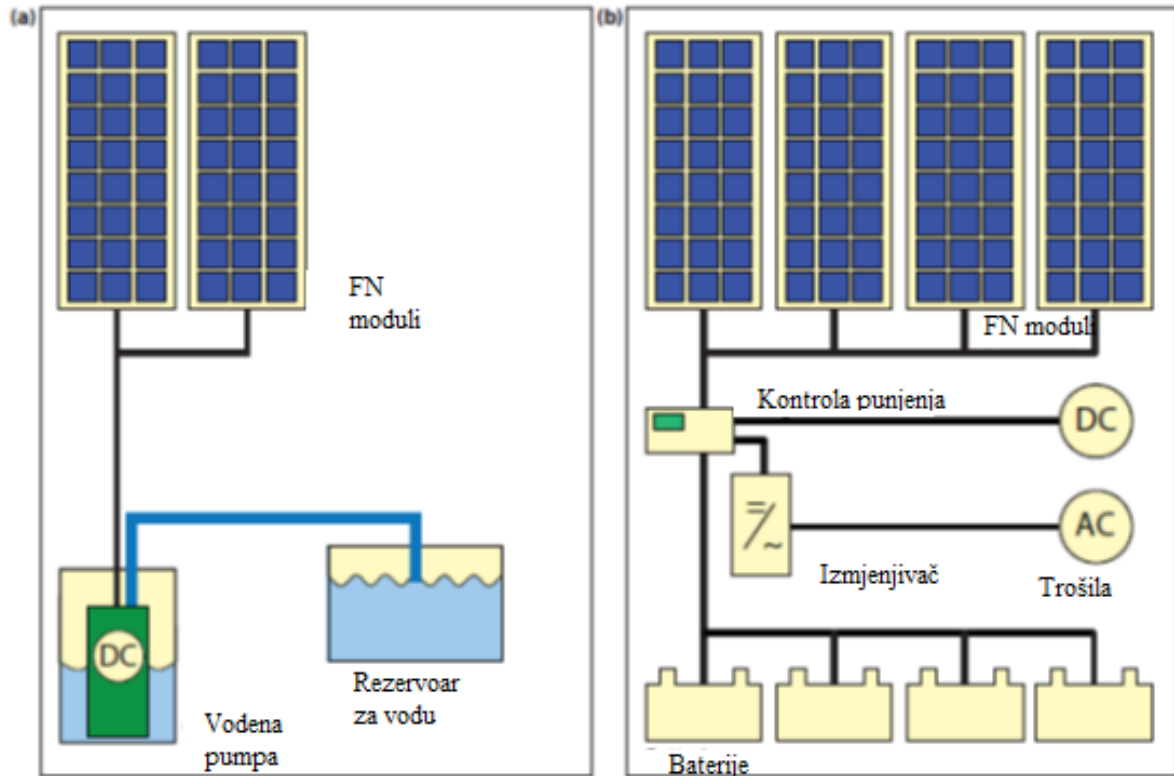


Slika 2.3. Samostalni fotonaponski sustav, [2].

Samostalni sustavi oslanjaju se isključivo na Sunčevu energiju. Ti se sustavi mogu sastojati od FN modula i opterećenja ili mogu sadržavati i baterije za pohranu energije. Kada se koriste baterije, uključeni su regulatori punjenja koji isključuju FN module kada su baterije potpuno napunjene i mogu isključiti opterećenje kako bi spriječili pražnjenje baterija ispod određene granice. Baterije moraju imati dovoljan kapacitet za pohranjivanje energije proizvedene tijekom dana kako bi se koristile noću i u razdobljima lošijeg vremena.



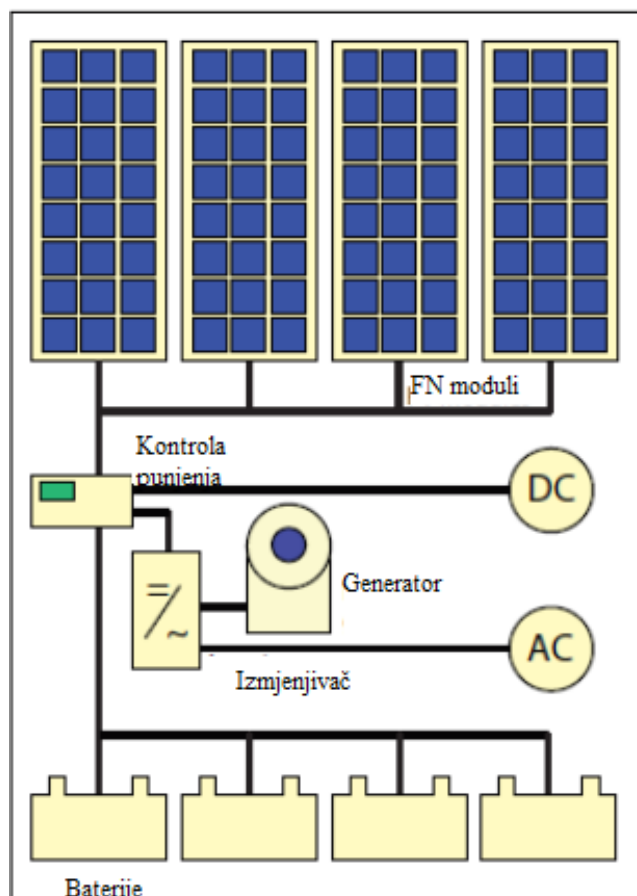
Na slici 2.4. shematski su prikazani primjeri samostalnih sustava: (a) jednostavan istosmjerni FN sustav bez baterije i (b) složeni FN sustav s istosmjernim i izmjeničnim opterećenjem, [4].



**Slika 2.4.** Shematski prikaz (a) jednostavnog FN sustava za napajanje vodene pumpe bez spremanja energije i (b) složenog FN sustava koji uključuje baterije, uređaje za napajanje, istosmjerna i izmjenična opterećenja, [4].

### 2.1.3. Hibridni fotonaponski sustav

Hibridni sustavi sastoje se od kombinacije fotonaponskih modula i komplementarne metode proizvodnje električne energije kao što su dizel, plin ili vjetar. Shema hibridnog sustava prikazana na slici 2.5. Kako bi se optimizirale različite metode proizvodnje električne energije, hibridni sustavi obično zahtijevaju sofisticiranije upravljanje od samostalnih ili mrežnih fotonaponskih sustava. Na primjer, u slučaju FN/dizelskog sustava, dizelski motor se mora pokrenuti kad baterija dosegne određenu razinu pražnjenja te se rad baterije ponovno zaustavlja kad dosegne odgovarajuće stanje napunjenosti. Rezervni generator može se koristiti za punjenje baterija ili za napajanje tereta, [4].



**Slika 2.5.** Shematski prikaz hibridnog fotonaponskog sustava koji ima dizel generator kao alternativni izvor električne energije, [4].

Glavni razlog uporabe hibridnog sustava je to što obnovljivi izvori energije, uključujući fotonaponske sustave, nisu konstantni u proizvodnji energije. To znači da kada nema Sunca, nema proizvodnje energije koja je stalno potrebna. Tada energiju treba podmiriti iz drugih izvora. Hibridni sustav je moguće povezati s mrežom, može biti samostalan ili kao mreža za podršku (eng. *support network*).

## 2.2. Opće karakteristike i komponente FN sustava

Fotonaponska ćelija energiju sadržanu u Sunčevom zračenju može pretvoriti u električnu. Da bi se solarna električna energija koristila za praktične uređaje, kojima je za rad potreban određeni napon i/ili struja, određeni broj fotonaponskih ćelija mora biti povezan kako bi se oblikovao fotonaponski modul (FN modul). Za generiranje velike količine solarne električne energije FN moduli su povezani zajedno u FN niz.

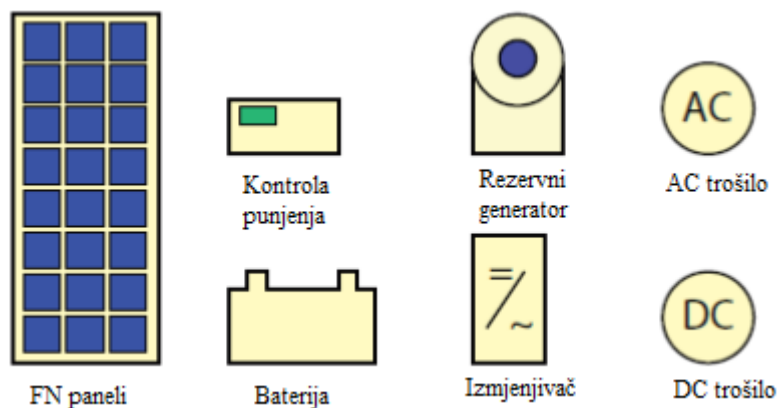
Iako su FN moduli „srce“ fotonaponskog sustava, za rad sustava potrebne su i mnoge druge komponente. Koje komponente se nalaze u sustavu ovisi o tome je li sustav povezan s elektroenergetskom mrežom ili je dizajniran kao samostalni sustav, [4].

Najvažnije komponente su:

- *Montažna konstrukcija* koja se koristi za pričvršćivanje modula i usmjeravanje modula prema Suncu
- *Pohrana energije* je vitalni dio samostalnog sustava jer osigurava da sustav može isporučiti električnu energiju tijekom noći i u razdobljima loših vremenskih prilika. Obično se koriste baterije kao jedinice za pohranu energije.
- *DC-DC pretvarači* se koriste za pretvaranje izlaznog napona modula, koji je promjenjivi ovisno o dobu dana i vremenskim uvjetima, u izlazni fiksni napon koji se primjerice može koristiti za punjenje baterije.
- *Izmjenjivači* ili *DC-AC pretvarači* se koriste u mrežnim sustavima za pretvaranje istosmjerne struje FN modula u izmjeničnu struju koja može ići u mrežu.
- *Kabeli* koji se koriste za međusobno povezivanje različitih komponenata FN sustava i sustava s potrošačem. Važno je odabrati kabel prikladnog presjeka kako bi se smanjili gubici.

Iako nije dio samog FN sustava, *električno opterećenje* tj. svi električni uređaji povezani sa sustavom, moraju se uzeti u obzir tijekom faze planiranja. Nadalje, mora se uzeti u obzir jesu li opterećenja izmjenična ili istosmjerna, [4].

Različite komponente FN sustava shematski su prikazane na slici 2.6. U nastavku su detaljnije opisane FN ćelije i pretvarači dok je cijelo poglavlje 4. posvećeno baterijskim spremnicima.



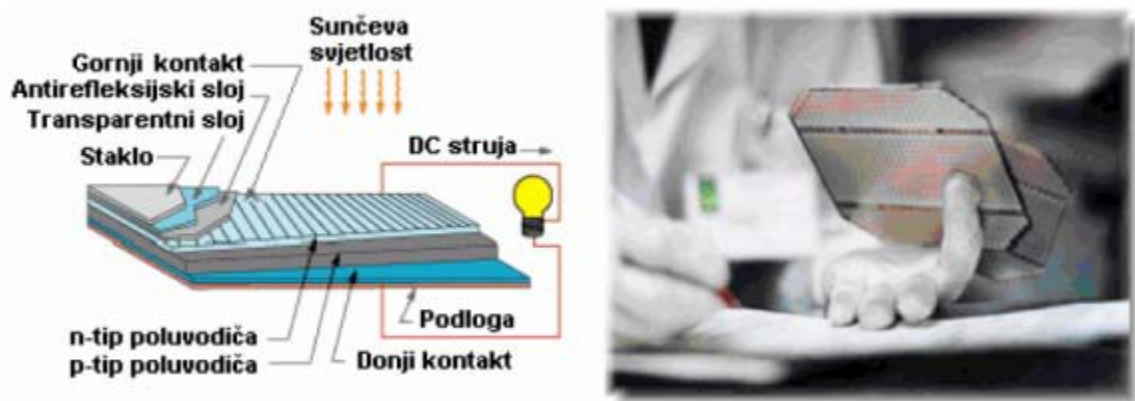
**Slika 2.6.** Shematski prikaz različitih komponenti FN sustava, [4].

### 2.2.1. Fotonaponske ćelije i moduli

Pojedinačne FN ćelije međusobno su povezane kako bi stvorile FN modul. FN ćelije su izrađene od poluvodičkih materijala osjetljivih na svjetlost. Postoje dvije osnovne kategorije tehnologija koje se koriste za FN ćelije, naime, kristalni silicij čini većinu proizvedenih solarnih ćelija i tanki film koji je novija i sve popularnija tehnologija, [3].

Postoje različite vrste fotonaponskih ćelija, neke davno razvijene, a druge relativno nove. U nastavku se nalazi kratki pregled nekoliko dobro razvijenih fotonaponskih materijala, [5]:

- *Monokristalne silicij (Si) ćelije* su vjerojatno najstarija vrsta fotonaponskih ćelija. Izrađene su od čistog kristala silicija. Svojstva omogućuju visoku učinkovitost pretvorbe svjetlosti, tipično oko 15%: „površina ćelije 1 m<sup>2</sup> može pretvoriti sunčevo zračenje od 1000 W/m<sup>2</sup> u 140 W električne energije“, [2]. Proizvodnja kristala silicija prilično je složena. Monokristalne Si ćelije imaju tipično crnu ili plavkastu boju (slika 2.7.). Vjeruje se da su monokristalne Si ćelije vrlo izdržljive i da traju više od 25 godina. Međutim, njihova će se učinkovitost postupno smanjivati (oko 0,5% godišnje), pa bi i prije mogla biti potrebna zamjena operativnih modula. Glavni nedostaci monokristalnih Si ćelija su visoki početni troškovi i lomljivost.



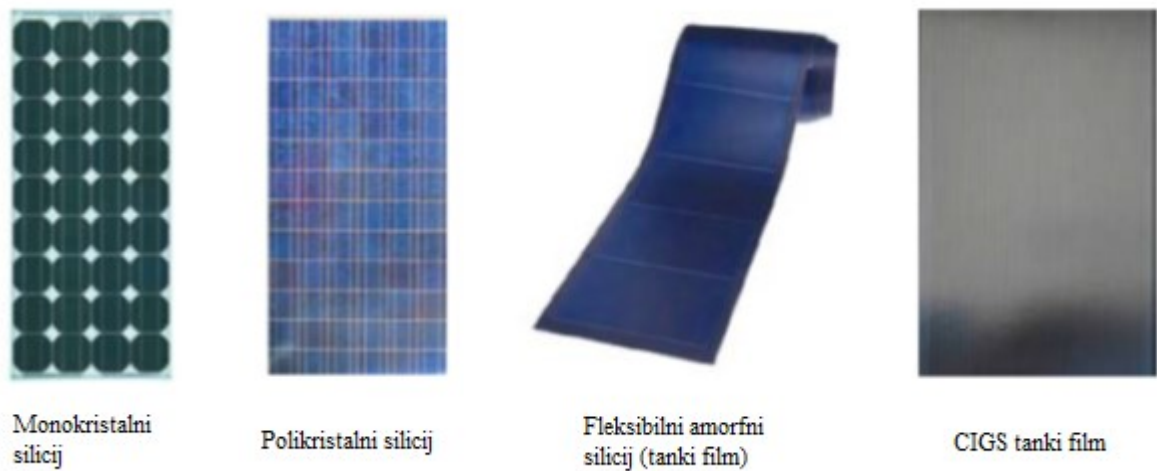
Slika 2.7. Monokristalne ćelije, [2].

- *Polikristalni silicij*. Proizvodni troškovi ove vrste FN ćelija su manji od troškova monokristalnih Si ćelija. Učinkovitost polikristalnih ćelija je nešto manja, oko 12%. Te se ćelije mogu prepoznati po dizajnu sličnom mozaiku. Polikristalne ćelije su također vrlo izdržljive i mogu imati vijek trajanja dulji od 25 godina. Nedostatak ove vrste ćelija je

mehanička krhkost i ne baš velika učinkovitost pretvorbe: „ova vrsta ćelija s površinom 1 m<sup>2</sup> može pretvoriti sunčevo zračenje od 1000 W/m<sup>2</sup> u 130 W električne energije“, [2].

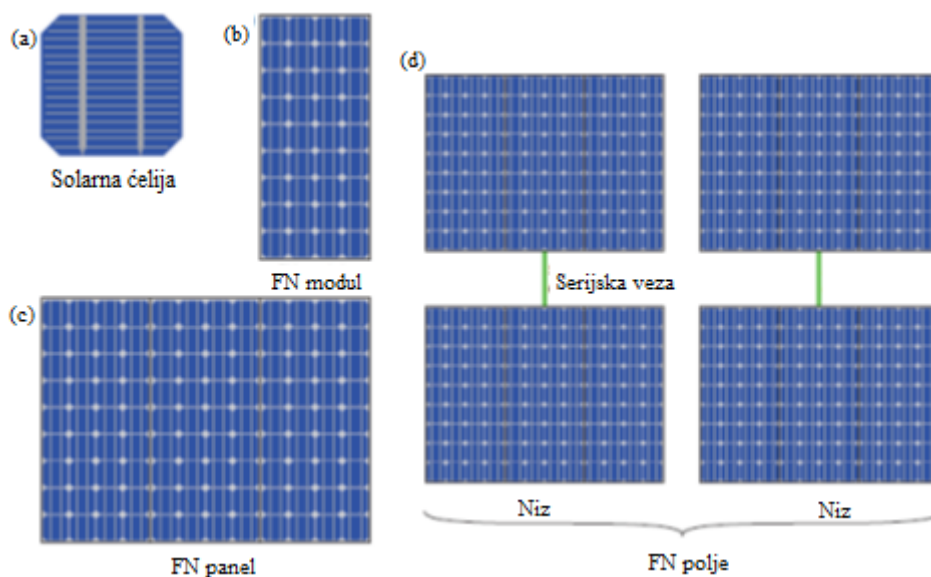
- *Amorfni silicij (Tanki film)*. Tankoslojne fotonaponske ćelije proizvode se polaganjem silicijskog filma na staklenu podlogu. U ovom se procesu koristi manje silicija u usporedbi s mono ili polikristalnim ćelijama, ali na štetu učinkovitosti pretvorbe. Tankoslojne FN ćelije imaju učinkovitost oko 6%. „Ova vrsta ćelija površine od 1 m<sup>2</sup> može pretvoriti 1000 W/m<sup>2</sup> sunčevog zračenja u oko 50 W električne energije“, [2]. Glavna prednost ove tehnologije je u tome što se amorfni silicij može polagati na različite podloge. Amorfni silicij je također skloniji pregrijavanju, što obično smanjuje performanse fotonaponskih ćelija. Amorfni silicij je najrazvijeniji među tankoslojnim tehnologijama
- *Kadmij telurid CdTe (Tanki film)*. Ova tehnologija tankog filma postala je prilično popularna zbog niže cijene po kWh. Najbolja učinkovitost postignuta s CdTe ćelijama je oko 16%: „površina od 1 m<sup>2</sup> može pretvoriti sunčevo zračenje od 1000 W/m<sup>2</sup> u do 160 W električne energije u laboratorijskim uvjetima“, [2]. Jedna od prednosti ovih ćelija je ta što upijaju svjetlost kraće valne duljine nego što to mogu silicijske ćelije. Postoje neke zabrinutosti za okoliš povezane s ograničenom opskrbom teluridom i potencijalnim toksičnim utjecajem kadmija u fazi odlaganja CdT modula.
- *Bakar indij galij selenid (CIGS)*. Novi materijali koji su postali popularni jer ne sadrže otrovni kadmij i imaju veću učinkovitost (nešto manje od 20%). „Ova vrsta ćelija površine od 1 m<sup>2</sup> može pretvoriti sunčevo zračenje od 1000 W/m<sup>2</sup> do 160 W električne energije u laboratorijskim uvjetima“, [2]. U ovom trenutku, CIGS je najučinkovitija među tankoslojnim FN tehnologijama. Iako su laboratorijski rezultati potvrdili veliki potencijal ove vrste fotonaponskih ćelija, masovna proizvodnja se pokazala problematičnom. Ćelije CIGS-a proizvode se polaganjem tankog filma na podlogu koja također može biti fleksibilna. Slično ćelijama CdTe, ćelije CIGS pokazuju dobru otpornost na zagrijavanje.
- *Polimerne i organske ćelije*. Organski materijali prilično su atraktivni jer se mogu uključiti u proizvodnju s visokim učinkom, a također i zato što se mogu izrađivati u različitim debljinama i oblicima. Te su vrste ćelija relativno lagane (u usporedbi sa silicijskim ćelijama). Također nude fleksibilnost i relativno niske troškove izrade. Međutim, ove ćelije su mnogo manje učinkovite (oko 1/3 tipične učinkovitosti silicijskih ćelija) i ponekad imaju kraći životni vijek.

Neke od najpoznatijih vrsta fotonaponskih tehnologija prikazane su na slici 2.8., ali postoji još mnogo inovacija koje su u fazi istraživanja i razvoja.



**Slika 2.8.** Različite tehnologije FN ćelija, [3].

Fotonaponske module čine fotonaponske ćelije kao što je prikazano na slici 2.9. (b). Nazivi FN modul i solarni modul često se koriste kao istoznačni. Solarni panel, kao što je vidljivo na slici 2.9. (c) se sastoji od nekoliko FN modula koji su električno povezani i postavljeni na montažnu konstrukciju. Napokon, FN niz se sastoji od nekoliko solarnih panela. Primjer takvog niza prikazan je na slici 2.9. (d) gdje se niz sastoji od dva solarna panela pri čemu niz znači da su paneli povezani u seriju, [4].

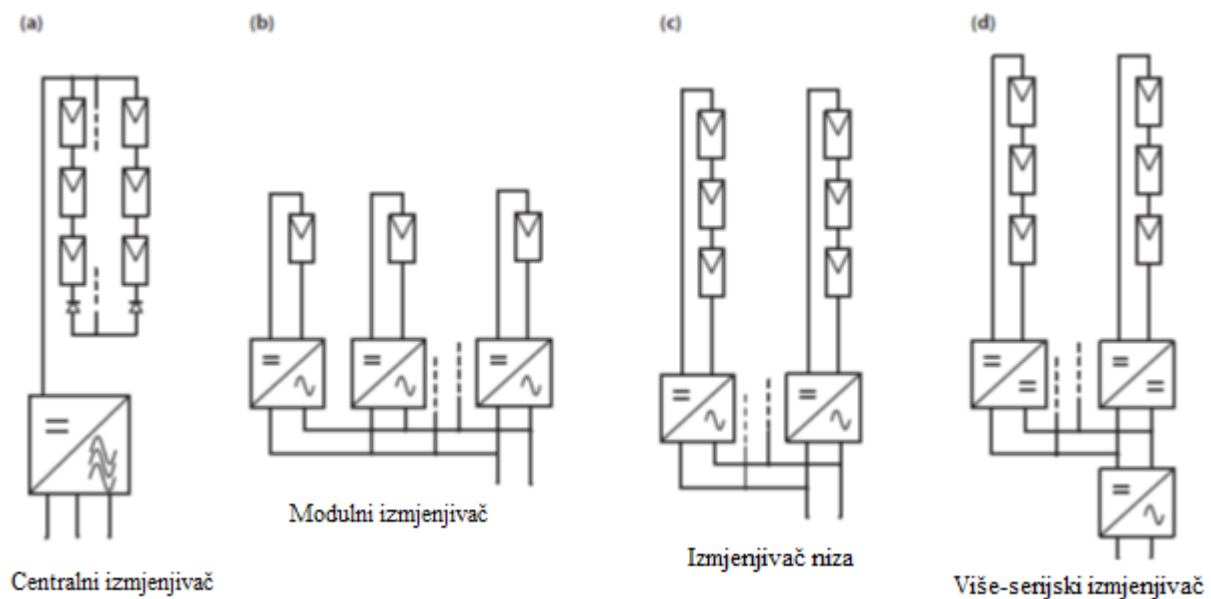


**Slika 2.9.** Ilustracijski prikaz (a) solarne ćelije, (b) FN modula, (c) FN panela i (d) FN polja

### 2.2.2. Fotonaponski pretvarači

Osnovna tehnologija povezivanja FN sustava je pretvarač. Idealan FN pretvarač trebao bi izvući maksimalnu snagu iz FN modula i isporučiti je na stranu potrošača. U slučaju mrežnih sustava to treba učiniti s minimalnim udjelom strujnih harmonika i pri faktoru snage blizu 1. Za samostalne sustave izlazni napon također treba regulirati na željenu vrijednost.

Arhitektura sustava određuje kako su FN moduli međusobno povezani i kako se uspostavlja sučelje s mrežom. Koja od ovih arhitektura će se koristiti u određenom fotonaponskom pogonu ovisi o mnogim čimbenicima kao što su okoliš (nalazi li se postrojenje u urbanom okruženju ili na otvorenom), troškovi, itd. Slika 2.10. daje pregled različitih arhitektura sustava. Općenito FN pretvarači trebali bi imati sljedeće karakteristike: visoka učinkovitost, posebni zahtjevi u pogledu elektromagnetske interferencije (EMI), posebni zahtjevi u pogledu sigurnosti, niske granice za harmonike linijskih struja, specifikacije u pogledu uvjeta (temperatura i vlaga), dizajn za visoke temperature, dizajniran za 20 godina rada pod teškim uvjetima, tihi rad, [4].



**Slika 2.10.** Različite arhitekture korištene u FN sustavima

DC-DC pretvarač ispunjava više funkcija. U pretvaraču se istosmjerna snaga pretvara u izmjeničnu. Istosmjerni ulazni napon pretvarača je često konstantan, dok izlazni napon modula na MPP tragač (eng. *Maximum power point*) nije. Stoga se DC-DC pretvarač koristi za transformiranje promjenjivog napona s modula u stabilni napon koji koristi DC-AC pretvarač. MPP tragač kontrolira radnu točku modula, ali je ne može postaviti. To čini DC-DC pretvarač. U

samostalnom sustavu MPP napon modula može se razlikovati od onog koji zahtijevaju baterije i opterećenje. Tada je također koristan DC-DC pretvarač. Kako je danas većina uređaja dizajnirana za standardne izmjenične mreže, za većinu FN sustava potreban je DC-AC pretvarač, [4].



### **3. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM**

Električnu energiju karakterizira činjenica da se njezina proizvodnja i potrošnja odvija gotovo istovremeno. Zatim, električna energija se ne može pohranjivati u velikim količinama. To znači da proizvodnja električne energija mora odgovarati promjeni potražnje, dok na potražnju utječu klima, gospodarski rast i obrasci potrošnje kupaca. Ovi čimbenici čine osciliranje potražnje u različitim vremenima.

Upravljanje potrošnjom učinkovito je, djelotvorno i ekonomično korištenje energije. Odnosi se na sve oblike energije, električnu energiju, plin, Sunce, dizel, benzin, itd. Upravljanje potrošnjom metoda je zadržavanja i smanjenja ukupnih troškova energije. U neprofitnim organizacijama kao što su državne službe, bolnice, sveučilišta, upravljanje potrošnjom može biti način da se poveća ograničeni proračun.

#### **3.1. Koncept upravljanja potrošnjom**

Upravljanje potrošnjom je novi koncept distribucije električne energije s ciljem učinkovitijeg mrežnog sustava. Takav sustav upravljanja trebao bi zadovoljiti potrebe potrošača pri najmanjem mogućem vršnom opterećenju. Postoji tendencija rasta u korištenju upravljanja potrošnjom u cijelom svijetu. Sustavi izravnog upravljanja potrošnjom prošli su kroz eksperimentalnu fazu i sada su uvedeni u svakodnevnu praksu velikog broja sustava opskrbnih mreža. Ekonomske osnove za uvođenje ovih sustava opravdane su u cijelom svijetu. Iako je upravljanje potrošnjom namijenjeno kontroli potrošnje tijekom određenog vremenskog razdoblja, upravljanje potrošnjom je proces koji ide uz očuvanje električne energije koje smanjuje ukupnu potrošnju električne energije.

Upravljanje potrošnjom može se definirati kao skup ciljeva osmišljenih za upravljanje i modifikaciju obrazaca zahtjeva različitih potrošača elektroenergetskog sustava. Ovo upravljanje i modifikacija omogućuju sustavu opskrbe da su svakom trenutku na što ekonomičniji način zadovolji potražnji, [6].

Upravljanje potrošnjom nema za cilj smanjenje ukupne potrošnje električne energije, već se približava (ili odgovara) obrascu potrošnje. Može se primijeniti i na strani potražnje za energijom i na strani isporuke energije:

- Upravljanje na strani isporuke: Ovo upravljanje definira se kao mjera koja se poduzima na strani ponude kako bi se zadovoljila potražnja. Koncept je bio vrlo popularan sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća.
- Upravljanje na strani potražnje: Ovo upravljanje opisuje planiranje i provedbu aktivnosti osmišljenih da utječu na kupce tako da se oblik krivulje opterećenja može izmijeniti tako da se proizvede energija na optimalan način. Za postizanje toga koriste se tehnike vršnih razdoblja. Upravljanje na strani potražnje uključuje ne samo tehničke ili ekonomske, već i socijalne mjere jer je izravno povezano s ponašanjem potrošača, [6].

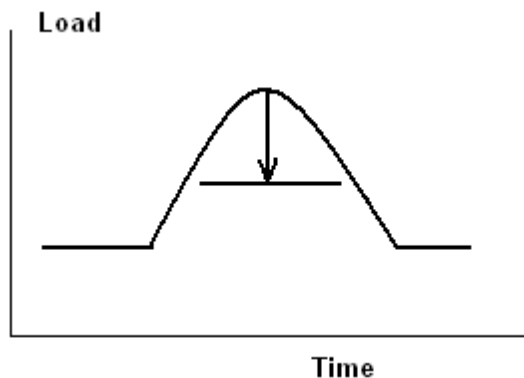
### 3.2. Tehnike upravljanja potrošnjom

Programi za upravljanje na strani potražnje uključuju sve radnje poduzete na strani potražnje kao odgovor na promjene u dostupnosti energije. Općenito, ideja upravljanja na strani potražnje je utjecati na potražnju različitim tarifama za opskrbu električnom energijom tijekom vremena. To bi moglo motivirati krajnje korisnike da prilagode svoju potrošnju promijeni cijene.

Razlikujemo šest osnovnih tehnika promjene oblika opterećenja:

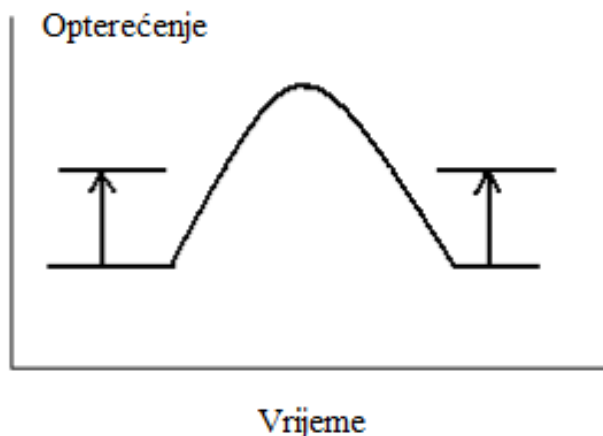
- „Rezanje vrha (eng. *Peak clipping*)“
- „Ispunjenje udolina (eng. *Valley filling*)“
- „Premještanje tereta (eng. *Load shifting*)“
- „Strateško očuvanje energije (eng. *Strategic energy conservation*)“
- „Strateška izgradnja opterećenja (eng. *Strategic load growth*)“
- „Fleksibilni oblik opterećenja (eng. *Flexible load shape*)“, [7]

*Rezanje vrha* znači smanjenje opterećenja tijekom vršnog razdoblja kako bi se dobio izgled krivulje po želji. Provodi se u vršnom razdoblju kada je potrošnja električnih uređaja maksimalna. Ovaj oblik upravljanja ima malo učinka na ukupnu potražnju, ali se usredotočuje na smanjenje vršne potrošnje i od velike je važnosti ako instalirani kapacitet nije dovoljan da pokrije potražnju. Oblik krivulje opterećenja kroz tehniku rezanja vrha prikazana je na slici 3.1., [6].



**Slika 3.1.** *Rezanje vrha*

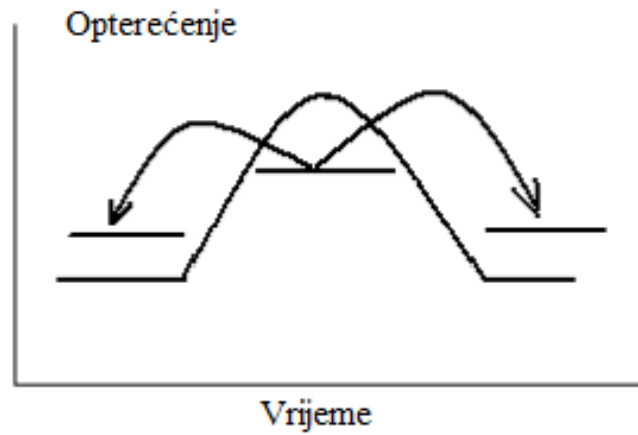
*Ispunjenje udolina* drugi je klasični oblik tehnike promjene krivulje opterećenja. Gradi opterećenje tijekom razdoblja izvan vršnog opterećenja. Oblik krivulje tehnikom dizanja udolina prikazan je na slici 3.2., [6]. Veća potražnja u razdobljima izvan vršnog opterećenja postiže se poticanjem krajnjeg kupca da troši energiju plaćajući niže tarife ili mijenjanjem raspodjele potražnje tijekom dana. To je moguće ako neki uređaji koji se mogu kontrolirati rade u drugim vremenskim intervalima tijekom dana, a odabrani vremenski interval nije bitan za kupca, [8].



**Slika 3.2.** *Dizanje udolina*

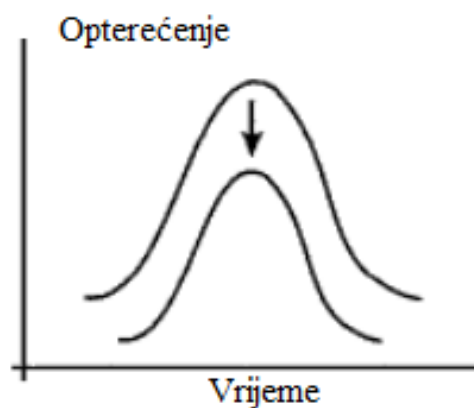
Treća tehnika promjene, *premještanje tereta*, oblika krivulje opterećenja izvodi se tako da se pomiču vršna opterećenja u vremenska razdoblja bez vršnih opterećenja sve to bez nužne promjene ukupne potrošnje. Kupce na to potiče jeftinija tarifa u razdobljima van vršnog opterećenja.

Prebacivanje tereta kombinira prednosti rezanja vrha i dizanja udolina premještanjem postojećih opterećenja s vršnih sati kao na slici 3.3. Prebacivanje potrošnje se razlikuje od rezanja time što je opterećenje prisutno u ukupnoj potražnji, dok se kod rezanja uklanja, [6].



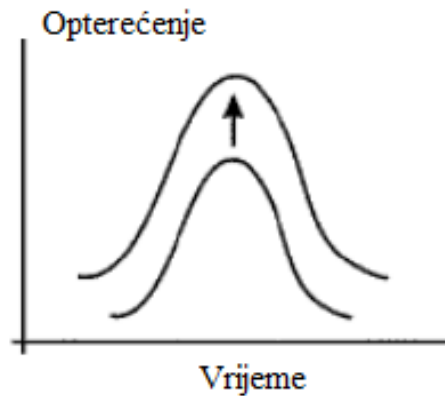
**Slika 3.3.** Premještanje tereta

*Strateško očuvanje energije*, ušteda energije (slika 3.4.), također je vrlo važno u elektroenergetskim sustavima. Ako je potrebno smanjiti ukupnu potrošnju energije to se može postići korištenjem učinkovitijih uređaja, što je vrlo važno i na globalnoj razini. Tradicionalno se ovu strategiju ne smatra opcijom upravljanja potrošnjom jer uključuje smanjenje prodaje, ne nužno popraćeno vršnim smanjenjem, [8].



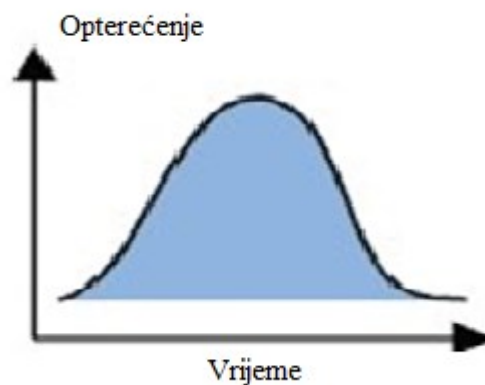
**Slika 3.4.** Strateško očuvanje energije

*Strateški rast*, povećanje ukupne potrošnje energije, je promjena oblika opterećenja koja se odnosi na općenito povećanje prodaje električne energije (slika 3.5.). Korisno je ako neki operater ima višak kapaciteta ili raspoložive energije za prodaju s nižim troškovima po kWh. Strateški rast uključuje pojam elektrifikacije. Elektrifikacija je termin koji opisuje nove električne tehnologije, zamjenu primarnih goriva, grijanje i automatizaciju komercijalnih i industrijskih procesa, [8].



**Slika 3.5.** Izgradnja opterećenja

*Fleksibilni oblik opterećenja* uključuje omogućavanje kupcima kupovinu određene snage manje pouzdanosti nego što je uobičajeno. Oblik krivulje opterećenja će biti fleksibilan (slika 3.6.), ovisno o uvjetima pouzdanosti u stvarnom vremenu, [8].



**Slika 3.6.** *Fleksibilni oblik opterećenja*

## 4. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

Potreba za pohranom energije iz obnovljivih izvora važna je zbog stalnih klimatskih promjena i nestalne prirode vremenskih prilika o kojima ovise obnovljivi izvori energije. Iako se obnovljivi izvori energije kreću od fotonaponske energije do energije vjetra, hidro energije, biomase i biogoriva, fotonaponski sustavi su u posljednje vrijeme jedni od najčešće korištenih za proizvodnju električne energije.

Kako je došlo do snažnog povećanja globalne potrošnje električne energije, što je potaknuto tehnološkim napretkom i stabilnim globalnim gospodarskim rastom, prema procjeni Međunarodne energetske agencije IAE (eng. *International energy agency*) o globalnoj potražnji za energijom, globalna potražnja se povećala za 4% ili 900 TWh te dosegla više od 26,700 TWh u 2018. godini, [9]. Kako je prosjek zime i ljeta premašio prethodne rekorde, potražnja za grijanjem i hlađenjem znatno se povećala, što na kraju čini petinu povećanja globalne potražnje za energijom. Otprilike 64% godišnje globalne potrošnje energije u 2018. godini podmirivala su fosilna goriva čime su emisije CO<sub>2</sub> eskalirale. Iako fosilna goriva i dalje čine većinu ove potražnje za energijom, svijet se postupno okreće prema čistoj energiji za poboljšanje okoliša. Kako bi se postigli ciljevi Pariškog sporazuma – postizanje ugljične neutralnosti u energetske sektoru do 2060. i ograničavanje globalnog porasta temperature do 2100. godine – uporaba obnovljivih izvora energije poput Sunca, vjetra i hidroenergije za proizvodnju električne energije dobiva pozornost .

Integracija obnovljivih izvora energije nije samo korisna za okoliš već ima i brojne ekonomske prednosti. Ipak, ti obnovljivi izvori energije su povremene prirode i uzrokuju kolebanja snage što ozbiljno utječe na pouzdanost i stabilnost energije. Provedena su mnoga istraživanja kako bi se pronašla potencijalna rješenja kao što su prebacivanje opterećenja upravljanjem potrošnjom, međusobno povezivanje vanjskih mreža i pohrana električne energije. Od svih spomenutih integriranje pohrane električne energije smatra se najperspektivnijim pristupom.

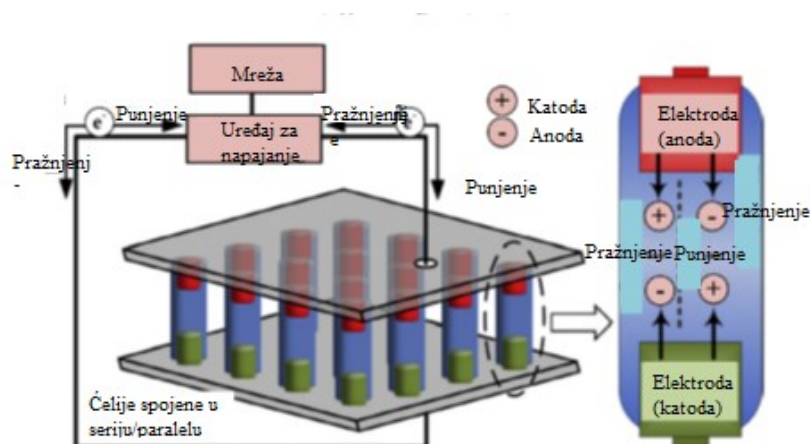
Pohrana električne energije je postupak pretvaranja električne energije u drugi oblik koji se može pohraniti, a zatim se opet pretvoriti u električnu energiju za vrijeme potrebe. Sustavi za pohranu energije mogu učinkovito ublažiti povremene promjene koje uvode obnovljivi izvori energije, poboljšavajući tako kvalitetu i pouzdanost električne energije. U novije vrijeme električna vozila postaju vrlo perspektivan način prijevoza, čiji je glavni izvor energije baterija.

Štoviše, sustavi za pohranu energije imaju mnogo primjena kao kod rezanja vrha krivulje potrošnje, izravnavanje opterećenja, pružanja pomoćne energije, neprekidnog napajanja (UPS), itd., [10].

Uređaji za pohranu energije se mogu kategorizirati kao mehanički, elektrokemijski, kemijski, električni ili toplinski, ovisno o korištenoj tehnologiji. Mehanička tehnologija najstarija je tehnologija. Učinak uređaja za pohranu energije može se definirati njihovim izlaznom energijom i gustoćom energije. Njihova upotreba može se razlikovati prema mjestu i trajanju. Tehnologije baterija mogu se razlikovati na temelju učinkovitosti, gustoće energije, punjenja i pražnjenja, vijeka trajanja i ekološke prihvatljivosti uređaja, [11].

#### 4.1. Općenito o baterijskim spremnicima

Elektrokemijski sustav za pohranu energije sastoji se od akumulatorskih baterija i protočnih baterija koje skladište energiju u obliku kemijske energije. To je jedna od najstarijih i najzrelijih dostupnih tehnologija. Kemijska energija koja je pohranjena u aktivnim materijalima se pretvara u električnu energiju putem elektrokemijske reakcije. Kako elektrokemijski sustavi za pohranu energije imaju gustoću energije od 10 Wh/kg pa do 13 Wh/kg, to ih čini najvećim dostupnim sustavom za pohranu električne energije. Nadalje, imaju veliku učinkovitost od 70-80% i zanemarivu količinu emisije štetnih tvari. Uz to oni zahtijevaju malo održavanja što ih čini glavnim konkurentom među sustavima za pohranu energije, [10]. Shematski prikaz rada baterije je na slici 4.1.

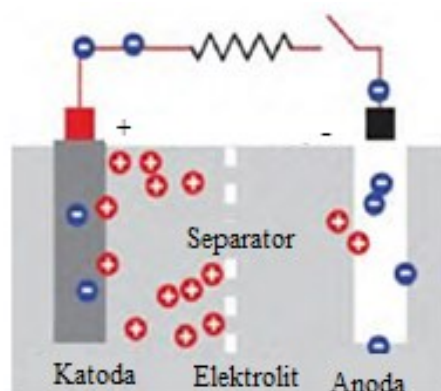


Slika 4.1. Shematski prikaz rada baterijskog spremnika energije, [10].

Baterijska ćelija se sastoji od dvije suprotno nabijene elektrode – anode i katode. Te su elektrode uronjene u elektrolit koji može biti tekućina, krutina ili viskozni materijal. Tijekom faze pražnjenja događa se elektrokemijska reakcija i metal u anodi se razlaže na elektrolite kao anione, ostavljajući tako elektrone u anodi. Ti elektroni putuju od anode do katode kroz vanjski krug gdje se stvara struja zbog protoka elektrona. Tijekom faze punjenja elektroni putuju u suprotnom smjeru, tj. od katode do anode. Napon koji proizvodi jedna ćelija baterije nije dovoljan da zadovolji zahtjevima. Stoga je više baterijskih ćelija spojeno u seriju kako bi se dobio željeni izlazni napon, [10].

Četiri glavne kategorije punjivih baterija koje se danas koriste su olovno kiselinske, alkalne (nikal) baterija, srebrne baterije i litijske baterije. Druge uključuju protočne baterija gdje spadaju redoks, vanadij-redoks, cink-bromid i polisulfid-bromidne baterije.

**Olovno-kiselinske baterije.** Proizvedena 1859. godine, olovna baterija bila je prva baterija koja se mogla puniti propuštanjem reverzne struje kroz nju. Koristi se više od 150 godina tako da su olovne baterija vrlo pouzdana, sazrela i globalno prihvaćena tehnologija. Njihova stopa samopražnjenja vrlo je niska. S druge strane, mogu isporučiti obilnu količinu energije zbog njezine velike brzine pražnjenja. Nadalje, zahtijeva zanemarivo održavanje i nema memorijski efekt, stoga ponovno punjenje djelomično napunjenih olovnih baterija ne utječe na maksimalni kapacitet. Široko ih se koristi u različitim industrijama, poput telekomunikacijske, elektroenergetskim sustavima, radio i televizijskim sustavima, solarnim sustavima, UPS, električnim vozilima, automobilima, itd., [10].



**Slika 4.3** Shematski prikaz olovo-kiselinske baterije, [11].

Olovno-kiselinske baterije sastoje se od dvije elektrode – pozitivno nabijene katode i negativno nabijene anode. Katoda se sastoji od spužvastog olova, dok se anoda sastoji od olovnog dioksida. Obje elektrode su uronjene u elektrolit od 37,7% sumporne kiseline. Uz aktivne tvari poput anode,



katode i elektrolita, olovna baterija sadrži i druge materijale kao što su drvo, karton, kabeli i spojnice, papir, čelik i polietilen.

Prednosti olovno-kiselinskih baterija uključuju niske troškove, visoki napon po ćeliji, dobar životni vijek i dobre performanse na sobnoj temperaturi. Međutim, relativno su glomazne, sa slabim niskotemperaturnim karakteristikama i ne mogu se ostaviti u ispražnjenom stanju predugo bez oštećenja, [12]. Tablica 4.1. prikazuje prednosti i nedostatke olovno-kiselinske baterije, [11].

**Tablica 4.1.** Prednosti i nedostaci olovno-kiselinskih baterija.

Prednosti	Nedostaci
Jednostavna i jeftina izrada	Niska specifična energija, loš omjer težine i energije
Niska cijena po Wh	Sporo punjenje: potpuno punjenje traje 14-16 sati
Visoka specifična snaga, sposobna za velike struje pražnjenja	Potreba za skladištenjem u napunjenom stanju radi sprječavanja sulfacije
Dobre performanse na niskim i visokim temperaturama	Ograničeni vijek ciklusa
Nije potreban sustav za upravljanje baterijom (BMS)	Štetan utjecaj na okoliš

**Alkalne sekundarne baterije.** Ove baterije, poznate kao i nikal baterije, su skupina punjivih baterija koje ovise o vodenoj otopini alkalnih elektrolita, kao što su kalijev hidroksid (KOH) ili natrijev hidroksid (NaOH). Štoviše, aktivni element za prijenos naboja unutar ovih baterija tijekom njihovih elektrokemijskih procesa su kisik ili hidroksilni ioni. Zahvaljujući tome, održava se koncentracija elektrolita tijekom punjenja i pražnjenja, čime se produžava životni vijek. Iako su znatno visoke cijene, imaju karakteristike kao što su visoki kontinuirani kapacitet napajanja, brzo punjenje i dugi vijek trajanja. Uobičajene tehnologije alkalnih baterija uključuju: nikad-kadmij (Ni-Cd), nikad-metal hidrid (NiMH), nikal-željezo (NiFe) i nikal-cink (NiZn). Druge uključuju mangan-cink (jedina alkalna baterija koja ne koristi niklovu elektrodu), natrij-nikal klorid, nikad-vodik (NiH) i srebro-vodik baterije [12]. Detaljnije su opisane Ni-Cd i Ni-MH baterije kao najčešći predstavnici alkalnih baterija.

*Nikal-kadmij baterija* (Ni-Cd) je punjiva baterija koja se koristi za prijenosna računala, bušilice, videokamere i druge male uređaje na baterije koji zahtijevaju ravnomjerno pražnjenje energije. Prednosti i nedostaci Ni-Cd baterija prikazane su u tablici 4.2., [11].

**Tablica 4.2.** *Prednosti i nedostaci Ni-Cd baterija.*

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Robusnost, veliki broj ciklusa uz pravilno održavanje	Relativno niska specifična energija u usporedbi s novijim sustavima
Brzo punjenje	Memorijski efekt
Dobra izvedba opterećenja	Kadmij je otrovni metal; ne može se zbrinuti u deponije
Dugi vijek trajanja; može se čuvati u ispražnjenom stanju	Visoko samopražnjenje; treba ponovno punjenje nakon skladištenja
Jednostavno skladištenje i transport; ne podliježe regulatornoj kontroli	Niski napon ćelije od 1,2 V zahtijeva puno ćelija za postizanje visokog napona
Dobre performanse na niskim temperaturama	
Ekonomične cijene: Ni-Cd ima najnižu cijenu po ciklusu	
Dostupnost u širokom rasponu veličina i performansi	

*Nikad-metal hidrid*, Ni-MH baterija kombinira dokazanu kemiju elektrode Ni-Cd baterije s značajkama pohrane energije metalnih legura razvijenih za napredno skladištenje vodika. Ni-MH baterije nadmašuju ostale punjive baterije i imaju veći kapacitet. Trenutno pronalaze široku primjenu u vrhunskih prijenosnim elektroničkim proizvodima gdje su parametri performansi baterije i vrijeme rada glavni pri razmatranju prilikom kupovine. Tablica 4.3. prikazuje sažetak prednosti i nedostataka Ni-MH baterija, [11].

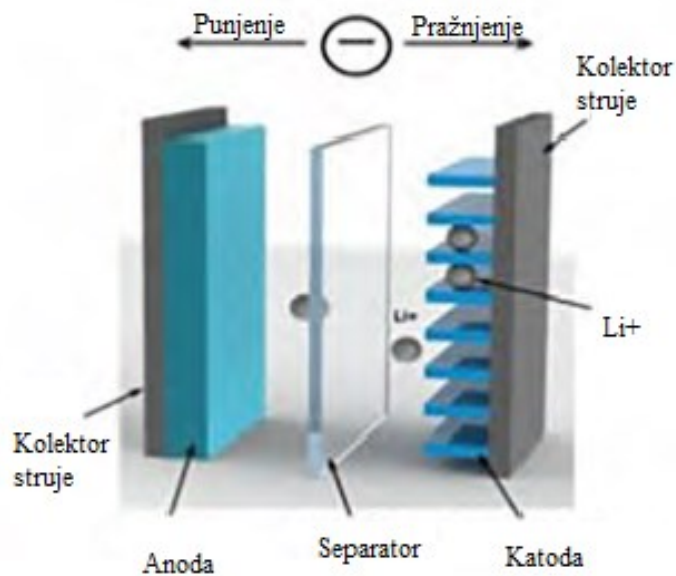
**Tablica 4.3.** Prednosti i nedostaci Ni-MH baterija.

Prednosti	Nedostaci
Gustoća energije koja se može prevesti ili u dugo vrijeme rada ili u smanjenje prostora potrebnog za bateriju	Ograničeni vijek trajanja; ako se duboka pražnjenja ponavljaju izvedba se počinje pogoršavati nakon 200-300 ciklusa.
Uklanjanje ograničenja nametnutih pri proizvodnji, uporabi i odlaganju zbog zabrinutosti radi toksičnosti kadmija	Ograničena struja pražnjenja: iako je Ni-MH baterija sposobna isporučiti velike struje pražnjenja, ponovljena pražnjenja s jakim strujama opterećenja smanjuju životni vijek.
Pojednostavljeno uključivanje u proizvode koji trenutno koriste nikad-kadmijeve baterije zbog sličnosti u dizajnu	Potreba za složenijim algoritmom punjenja: Ni-MH stvara više topline tijekom punjenja i zahtijeva duže vrijeme punjenja od Ni-Cd
Veća prednost u odnosu na ostale primarne baterije pri iznimno niskim temperaturama (-20°C)	Veliko samopražnjenje: oko 50% više u usporedbi s Ni-Cd.

**Litijske baterije.** Tijekom posljednjih nekoliko godina postalo je jasno da sustav više gustoće energije iz hermetički zatvorenih ćelija pri razumnoj cijeni ne može biti opskrbljen živom, srebrom ili alkanim mangan-dioksidom, stoga je došla potreba za uvođenjem litijeve baterije. Litij baterije sadrže organski elektrolit litij i mogu ponuditi gustoću energije do 330 Wh/kg, gotovo tri puta više od živinih ili srebrnih baterija i četiri puta više od alkalnih baterija. Najčešća vrsta litijevih baterija su litij-ionske (Li-ion) baterije, dok napredniji tipovi uključuju litij-polimer (Li-Po), litij-molidben-disulfid i litij (aluminijске), željezne monosulfidne baterije, [12].

U današnje vrijeme Li-ion baterije stekle su veliku popularnost zahvaljujući svom dugom životnom ciklusu, visokom radnom naponu i nižoj brzini samopražnjenja. Komercijalne Li-ion baterije prvi su put predstavljene 1990. godine. Ova baterija posjeduje veću gustoću napunjenosti od drugih punjivih baterija, a što se tiče kapaciteta baterije, ima i manju težinu. Stoga, Li-ion baterija ima veći kapacitet snage, a da nije previše glomazna. Nadalje, ova baterija ima malo samopražnjenje, što je oko 1,5% mjesečno. Uz to, opetovano punjenje Li-ion baterija nakon što su djelomično ispražnjene nema negativan utjecaj na maksimalni kapacitet baterije, stoga spomenuta baterija ima zanemariv memorijski učinak. Kemijski sastav Li-ion baterije je takav da rezultira većim naponom otvorenog kruga od ostalih baterija poput olovno-kiselinske, nikal-metal-hidridne

i nikad-kadmij. Li-ionska baterija gubi 30% svog kapaciteta nakon 1000 ciklusa, a naprednije iste vrste i dalje imaju dobar kapacitet i nakon 5000 ciklusa, [10].



**Slika 4.4.** Litij-ionska baterija, [11].

Litij-ionske baterije imaju najveću gustoću energije i smatraju se sigurnima. Koriste se u elektroničkim uređajima poput fotoaparata, kalkulatora, prijenosnih računala i mobilnih telefona. U tablici 4.4. sažeti su njene prednosti i nedostaci, [11].

**Tablica 4.4.** Prednosti i nedostaci litij-ionskih baterija.

Prednosti	Nedostaci
Visoka specifična energija	Potreba za zaštitnim strujnim krugom kako bi se spriječilo gubljenje topline
Dugi ciklus i produženi vijek trajanja	Razgradnja na visokoj temperaturi i visokom naponu
Veliki kapacitet, mali unutarnji otpor, dobra učinkovitost	Nemogućnost brzog punjenja pri temperaturama smrzavanja ( $<0^{\circ}\text{C}$ )
Jednostavan algoritam punjenja i kratko vrijeme punjenja	Potreba za regulacijom prijevoza pri slanju veće količine

**Natrij-sumporne baterije.** NaS baterije jedne su od najnovijih tehnologija s obećavajućim opcijama za skladištenje velike snage. Anoda je izrađena od metala natrija, a katoda od sumpora dok keramika djeluje i kao elektrolit, i kao separator istovremeno, [12].

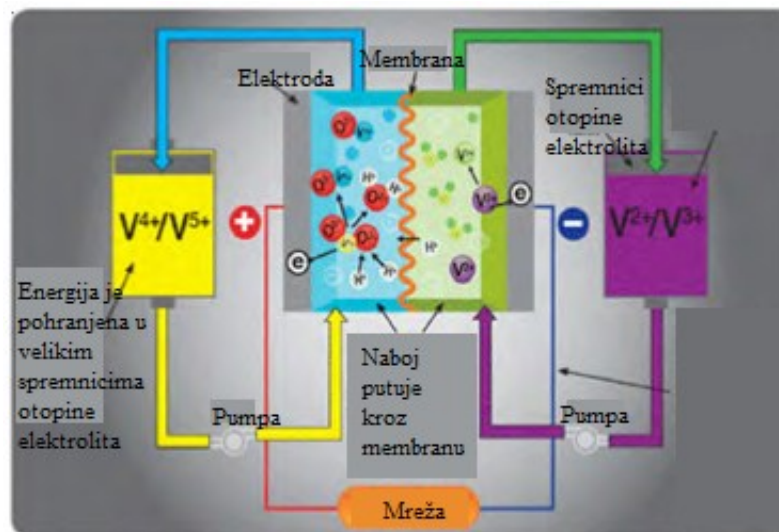
NaS baterija ili baterija pokazuje visoku energetska gustoću, visoku učinkovitost punjenja i pražnjenja (89-92%) i dugog vijeka, a izrađena je od jeftinih materijala. Međutim, zbog visokih radnih temperatura od 300-350°C i vrlo korozivne prirode natrijevih sulfida, takve ćelije se prvenstveno koriste za velike nepokretne primjene poput skladištenja energije u električnoj mreži, [11].

**Tablica 4.5.** Prednosti i nedostaci NaS baterija.

Prednosti	Nedostaci
Potencijal niske cijene: jeftine sirovine i zatvorena konfiguracija bez održavanja	Rad na temperaturi iznad 300°C
Dugi životni vijek ; tekuće elektrode	Visoko reaktivna priroda metalnog natrija koji je zapaljiv kada je izložen vodi
Dobra gustoća energije i snage: niska gustoća aktivnih materijala, visoki napon ćelije	Strogi zahtjevi za rad i održavanje
Fleksibilan rad: ćelije su funkcionalne u širokom rasponu uvjeta (brzina, dubina pražnjenja, temperatura)	Dodatni troškovi za zatvorenu konfiguraciju
Visoka energetska učinkovitost	
Neosjetljivost na okolne uvijete: zapečaćeno, visoka temperatura sustava	
Identifikacija stanja napunjenosti (eng. <i>State of charge-SoC</i> )	

**Protočne baterije.** Za razliku od uobičajenih baterija, protočna baterija pohranjuje energiju dvije različite vodene otopine elektrolita sadržane u odvojenim spremnicima. Način rada protočne baterije temelji se na redukcijским i oksidacijskim (redoks) reakcijama koje se događaju u odvojenim otopinama elektrolita, stoga se ovaj tip baterije naziva i redoks protočnom baterijom. Tijekom punjenja baterije elektrolit u jednom spremniku se na anodi oksidira, dok drugi elektrolit

u drugom spremniku se reducira na katodi. Ovaj proces je obrnut tijekom faze pražnjenja. Tri odnedavno komercijalno dostupne protočne baterije su: vanadij-redoks baterija (VRB), cink bromidna baterija (ZBB) i polisulfid bromid baterija (PSB), [12].



Slika 4.5. Shematski prikaz protočne baterije, [11].

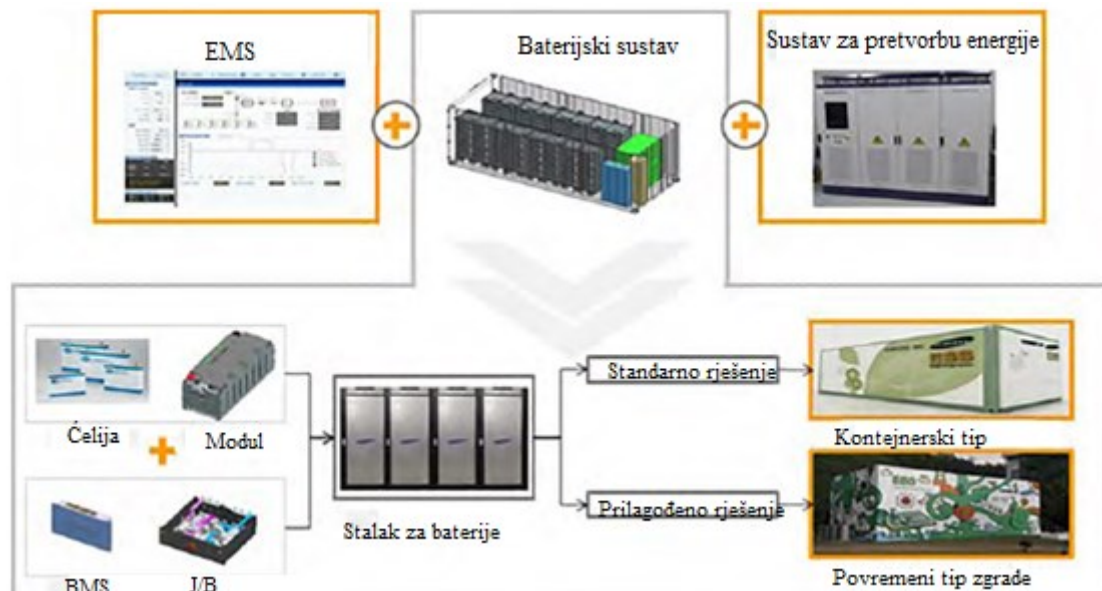
Imaju izvrsne karakteristike: dug vijek trajanja, gotovo bez razgradnje elektroda i elektrolita, velika sigurnost zbog nepostojanja gorivih materijala i mogućnost rada pri normalnim temperaturama (tablica 4.6.), [11].

Tablica 4.6. Prednosti i nedostaci protočnih baterija.

Prednosti	Nedostaci
Dug vijek trajanja: imaju razdoblje izdržljivosti od 20 godina s neograničenim brojem dostupnih ciklusa punjenja i pražnjenja bez degradacije	Složenost: zahtijevaju pumpe, senzore, upravljanje protokom i snagom
Svestranost: fleksibilnost dizajna	Niska gustoća energije u usporedbi s onom drugih vrsta baterija
Velika sigurnost: mogu raditi pri normalnim temperaturama i sastoje se od nezapaljivih materijala; mogućnost požara je izuzetno niska	

## 4.2. Baterijski sustav za pohranu energije

Na slici 4.6. prikazani su različiti dijelovi sustava za pohranu energije iz baterija.



Slika 4.6. Shematski prikaz baterijskog sustava za pohranu energije, [11].

Komponente sustava za pohranu energije grupirane su prema funkciji u dijelove baterije, komponente potrebne za pouzdan rad sustava i komponente mrežne veze. Sustav baterija sastoji se od grupe baterija koja povezuje više ćelija na odgovarajući napon i kapacitet; sustav upravljanja baterijama (eng. *Battery management system-BMS*) i sustav toplinskog upravljanja baterije (eng. *Battery thermal management system-BTMS*). BMS štiti stanice od štetnog rada u smislu napona, temperature i struje kako bi se postigao pouzdan i siguran rad te uravnotežuje različita stanja napunjenosti ćelija (SoC) unutar serijske veze. BTMS kontrolira temperaturu baterijske ćelije prema njezinim specifikacijama u smislu apsolutnih vrijednosti i temperaturnih gradijenata unutar baterija, [11].

Komponente potrebne za pouzdan rad cjelokupnog sustava su upravljanje i nadzor, sustav upravljanja energijom (eng. *Energy management system-EMS*) i sustav toplinskog upravljanja. Kontrola i nadzor sustava općenito su praćeni informacijskom tehnologijom koja je dijelom kombinirana u sustavu za cjelokupni nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (SCADA), ali može uključivati i jedinice za zaštitu od požara ili alarma. EMS je odgovoran za kontrolu, upravljanje protokom snage sustava i distribuciju. Sustav upravljanja toplinom kontrolira sve funkcije povezane s grijanjem, ventilacijom i klimatizacijom sustava održavanja, [11].

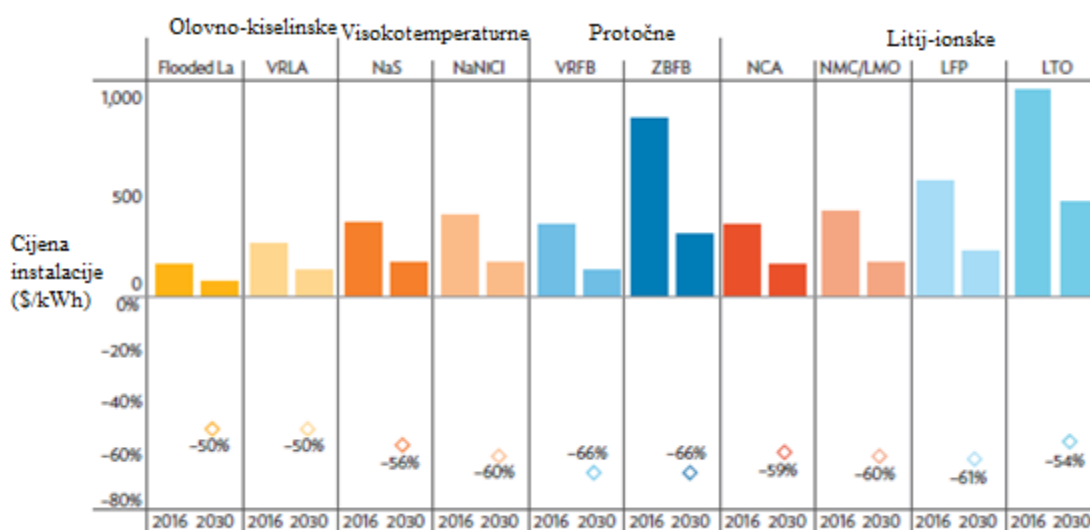
Energetska elektronika može se grupirati u jedinicu za pretvorbu energije, koja pretvara energiju između mreže i baterije.

### 4.3. Cijene baterijskih spremnika

Iako mnogi čimbenici utječu na rast tržišta energetskih spremnika energije, očekuje se da će cijene baterija imati značajan utjecaj na održivost baterijskih sustava pohranjivanja energije. Posljednjih godina cijena baterija korištenih u sustavima za pohranjivanje energije rapidno je opadala. Cijena litijevih baterija pala je s 1000 USD/kWh u 2010. godini na 227 USD/kWh u 2016. godini. Očekuje se da će cijene ostalih baterija pasti za dodatnih 50-60% do 2030. godine (slika 4.7.), [11].

Prema raspodjeli troškova instalacija razvoja sustava za pohranu energije, baterijske ćelije čine 35% troškova, oprema za napajanje i sustav za pretvorbu energije 35%, troškovi izgradnje distribucijskih i komunikacijskih objekata 30%. Kako cijena baterije čini veći dio troškova, trenutni pad cijena pruža priliku za široko prihvaćanje i korištenje, [11].

Očekuje se da će cijene baterija u budućnosti još više pasti te se može ostvariti ekonomija razmjera neovisnom tehnologijom, ulaganjem u istraživanje i razvojem, širenjem proizvodnog kapaciteta.



Slika 4.7. Usporedba cijene baterijskih spremnika 2016. i očekivane cijene 2030. godine



## 5. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNjom

Zahvaljujući tehnološkom razvoju i inovacijama tijekom posljednjih nekoliko godina vidljivo je ostvarenje učinkovitih tehnologija obnovljivih izvora energije, kako manjih, tako i velikih snaga, uz znatno smanjenje troškova. Kao rezultat toga, poduzeća i kućanstva mogu proizvoditi sve više električne energije, koju mogu djelomično ili u cijelosti trošiti na mjestu proizvodnje.. Tako pasivni potrošači postaju aktivni potrošači. Modelom vlastite proizvodnje otvaraju se nove mogućnosti ograničavanja troškova za potrošače električne energije, posebno za mala i srednja poduzeća koja su suočena s visokim cijenama električne energije, [13].

Člankom 1. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, NN 111/18, kupac s vlastitom proizvodnjom je: „krajnji kupac električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u prijenosnu ili distribucijsku mrežu“, [14].

Odredbama Članka 44. istog Zakona: „višak proizvedene električne energije su dužni preuzeti opskrbljivači električne energije, kao što je HEP-ODS, pri tome kupac mora zadovoljavati sljedeće uvjete:

- 1) ima status povlaštenog proizvođača energije
- 2) ostvareno pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu, za proizvodna postrojenja koja se smatraju jednostavnim građevinama
- 3) ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW
- 4) priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu u smjeru isporuke električne energije u mrežu ne prelazi priključnu snagu krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže
- 5) krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg kupuje električnu energiju od opskrbljivača
- 6) krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom vodi podatke o proizvedenoj električnoj energiji i isporučenoj električnoj energiji“, [14].

Prema Članak 44. Zakona: „za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije utvrđuje se vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  $C_i$  u obračunskom razdoblju  $i$  na sljedeći način:“

$$C_i = 0.9 * PKCi \quad (5-1)$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} \geq E_{ii}$

$i$

$$C_i = 0.9 * PKCi * E_{pi}/E_{ii} \quad (5-2)$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$

gdje je:

- $E_{pi}$  = ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh
- $E_{ii}$  = ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh
- $PKCi$  = prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kn/kWh“, [14].

Vlastita proizvodnja kod krajnjih kupaca može osigurati financijske, okolišne i sigurnosne koristi za kućanstva, poduzeća, mrežne operatore – Operatore distribucijskog sustava (ODS) i operatore prijenosnih sustava (OPS) – i društvo u cjelini, [15]. Kako je u proteklom desetljeću zabilježeno drastično smanjenje troškova tehnologija OIE, u EU dolazi do ekspanzija broja građana koji proizvode vlastitu energiju. To je posebno slučaj s fotonaponskim sustavima koju su trenutno najjeftinija nova tehnologija za proizvodnju energije. Prema istraživanjima Zajedničkog istraživačkog centra (eng. *Joint Research Centre - JRC*) Europske komisije cijene stambenih FN sustava pale su za više od 70% od 2008. do 2014. godine. Cilj od 84,4 GW instaliranih FN sustava koje su države članice EU postavile za 2020. godinu, postignut je i čak premašen do 2014. godine, [16].

## 5.1. Upravljanje potrošnjom

Daljnji proračun je rađen prema rezultatima diplomskog rada M. Matasović naziva: „Upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom“. U radu je opisano upravljanje potrošnjom tehnikom premještanja opterećenja za jedan sunčani i jedan oblačni dan u objektu s fotonaponskim sustavom nazivne snage 5 kW. Na temelju snimljene krivulje opterećenja u obiteljskoj kući te snimljene proizvodnje FN elektrane, izvedeno je premještanje određenih trošila u kućanstvu s namjerom snižavanja troškova za električnu energiju. Nakon premještanja opterećenja i dalje postoje razdoblja u danu kada je proizvodnja veća od potrošnje. U ovom radu ta energija će se pohranjivati u bateriju ili se vraćati u elektroenergetsku mrežu tj. HEP Elektra je kupuje po cijeni koja se računa prema gore navedenoj formuli (5-1):

$$C_i = 0.9 * 0,49 = 0.441 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za višu dnevnu tarifnu stavku} \quad (5-3)$$

odnosno,

$$C_i = 0.9 * 0.24 = 0.216 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za nižu dnevnu tarifnu stavku} \quad (5-4)$$

Kako su podaci mjerenja za promatrani sustav izvršeni u razdoblju od 17. ožujka 2019. do 23. ožujka 2019. radi se o zimskom računanju vremena za koje vrijedi:

- VT od 07-21 sati
- NT od 21-07 sati

Prema [17], ukupna električna energija preuzeta iz mreže unutra obračunskog razdoblja od mjesec dana za vrijeme više tarife iznosi  $E_{pi} = 286,87 \text{ kWh}$  dok izračunata cijena koju kupac plaća iznosi:

$$286,87 [\text{kWh}] * 1,06 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 304,08 [\text{kn}] \quad (5-5)$$

Zatim, preuzeta električna energije iz mreže unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana za vrijeme niže tarife iznosi  $E_{pi} = 146,59 \text{ kWh}$ , a cijena koju kupac plaća:

$$146,59 [\text{kWh}] * 0,58 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 85,02 [\text{kn}] \quad (5-6)$$

Proizvedena električna energija koja nije iskorištena  $E_{ii}$ , računa se oduzimanjem proizvodnje od potrošnje u razdobljima kada je proizvodnja veća od potrošnje. Prema [17], u obračunskom razdoblju ta energija iznosi  $E_{ii} = 325,5$  kWh te se ona isporučuje u mrežu po cijeni:

$$325,5 [kWh] * 0,44 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 143,22 [kn] \quad (5-7)$$

Izračun je rađen za cijenu od 0,44 kn/kWh jer je sav višak proizveden u vršnom razdoblju. Na sustav iz [17] dodaje se baterijski spremnik energije. U mrežnim fotonaponskim sustavima s baterijskim spremnicima energije vrijedi :

1) Raspodjela energije opterećenja:

$$Energija\ opterećenja(t) = E_{preuzeta}(t) + E_{pražnjenja}(t) + E_{fn}(t) \quad (5-8)$$

Ukupna energija opterećenja se za svaki trenutak mora zadovoljiti preuzimanjem električne energije iz mreže, pražnjenjem baterije ili potrošnjom energije proizvedene iz vlastitog FN-a

2) Raspodjela proizvedene energije:

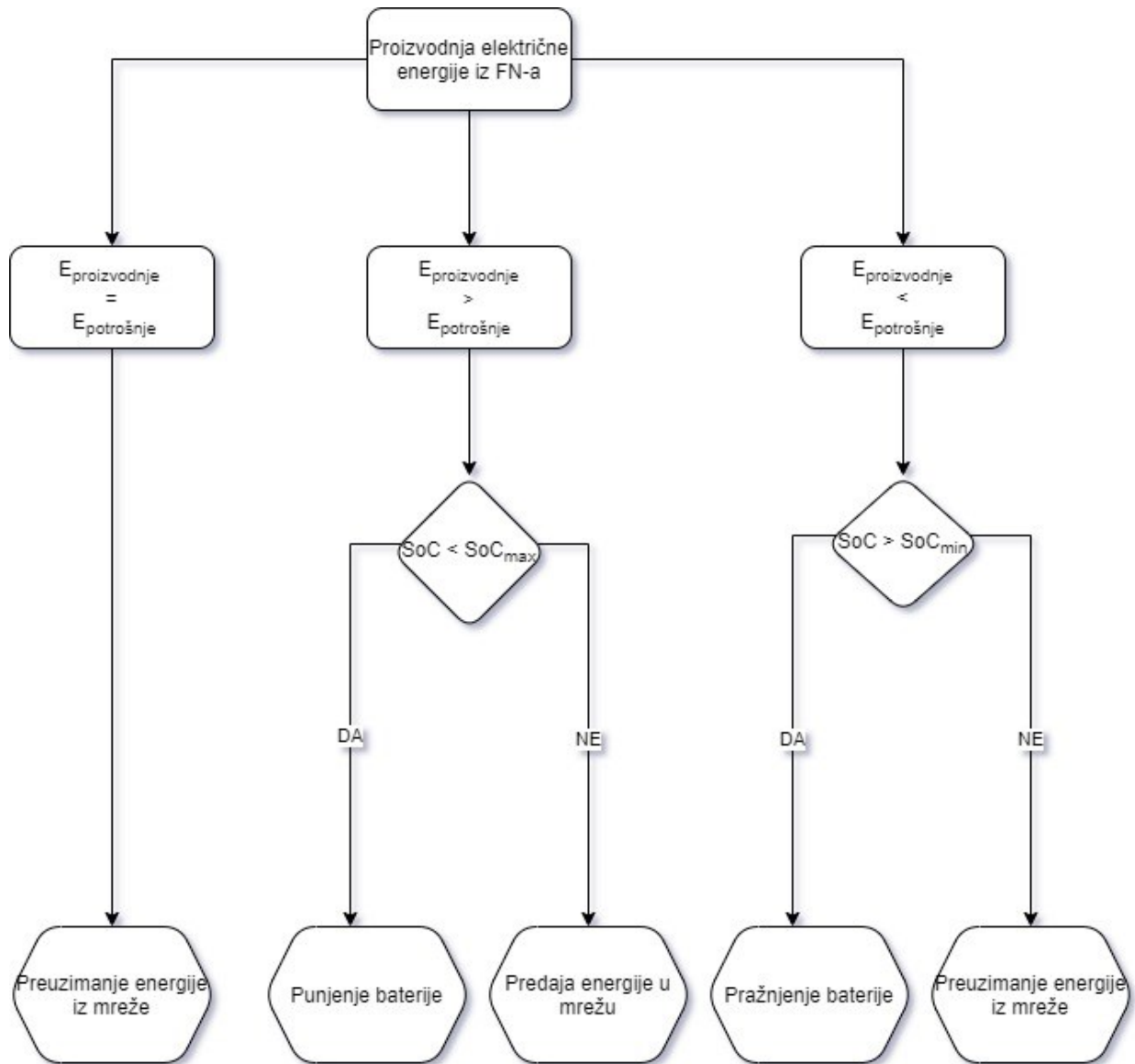
$$E_{fn}(t) = E_{punjenja}(t) + E_{predana}(t) + E_{potrošnja}(t) \quad (5-9)$$

Energija proizvedena iz FN-a se može iskoristiti za punjenje baterije, davanje u mrežu i za energetske potrebe kućanstva.

Algoritam prema kojem će raditi cijeli fotonaponski sustav s baterijskim spremnikom energije prikazan je na slici 5.1. Radi njegovog boljeg razumijevanja definiira se pojam stanja napunjenosti baterije SoC (eng. *State of charge*) koji označava kapacitet koji je trenutno dostupan u odnosu na nazivni kapacitet, [18]. Za bateriju postoji restrikcija:

$$SoC_{min} \leq SoC_t \leq SoC_{max} \quad (5-10)$$

Trenutni SoC ne smije biti veći od maksimalnog ili manji od minimalnog stanja napunjenosti. Također, potpuno punjenje i potpuno pražnjenje nije preporučljivo jer ono brzo troši bateriju i smanjuje njen životni vijek. Treba napomenuti kako se punjenje i pražnjenje ne mogu odvijati u isto vrijeme!



**Slika 5.1.** Algoritam upravljanja mrežnim fotonaponskim sustavom s baterijskim spremnikom energije

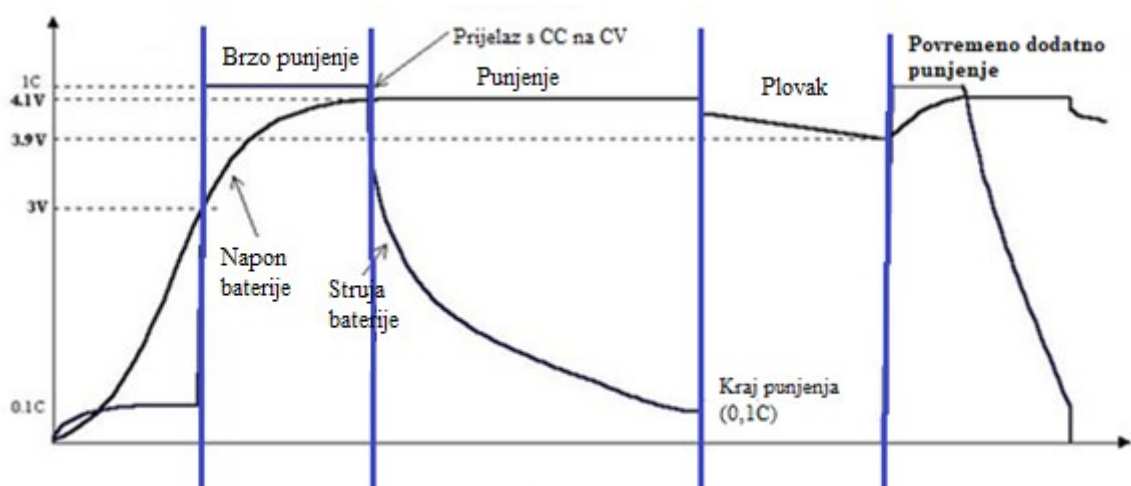
Za slučaj kada je proizvodnja FN-a veća od potrošnje prvo se provjerava SoC baterije. Ako je SoC manji od maksimalnog baterija se počne puniti, a ako je SoC veći li jednak maksimalnom, baterija je napunjena, višak proizvedene električne energije se predaje u elektroenergetsku mrežu.

Kada je proizvodnja FN-a manja od potrošnje, ako je SoC baterije veći od minimalnog, baterija se prazni. Za slučaj kada je SoC manji od minimalnog baterija se neće prazniti već će se električna energija preuzeti iz mreže.

Baterija izabrana za rad je Discover VRE-3000TF-M8:

- Nominalni napon: 12V
- Kapacitet: 2640 Wh

Baterija se puni metodom konstantnog napona i konstantne struje, takozvana CCCV (eng. *Constant Current, Constant Voltage*) metoda, prikazana na slici 5.2.



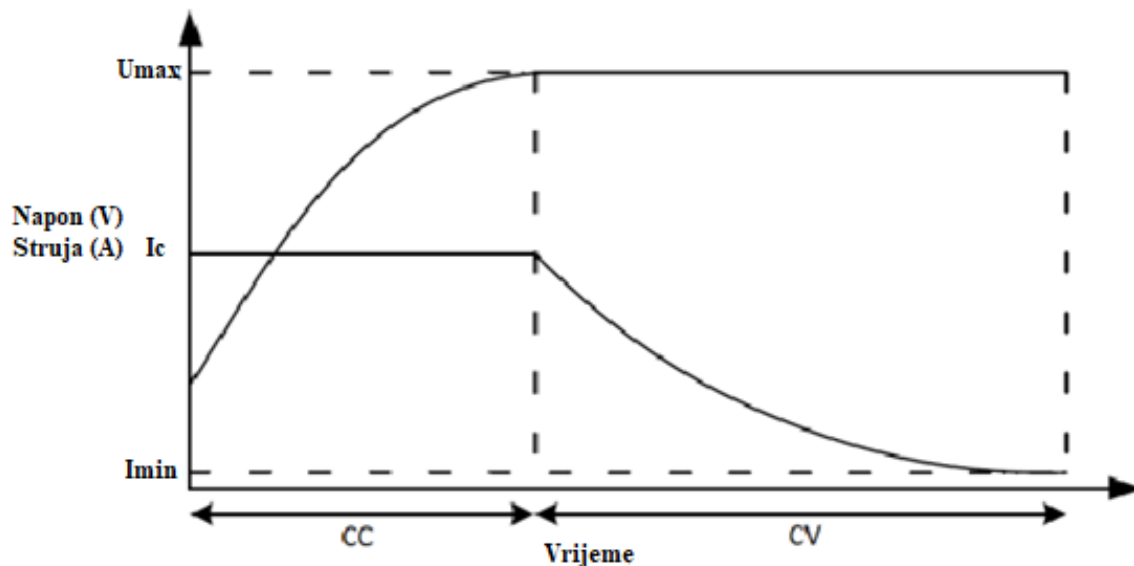
**Slika 5.2.** Graf struje i napona tijekom vremena punjenja baterije, [19].

Na slici slovo C označava C-rate koji se definira kao stopa, mjera brzine punjenja/pražnjenja baterije u odnosu na njezin maksimalni kapacitet. Brzina od 1C znači da će struja pražnjenja isprazniti cijelu bateriju za 1 sat. Za bateriju kapaciteta 100 Ah to odgovara struji pražnjenja od 100 A, [20].

Punjenje CCCV metodom se sastoji od 4 faze:

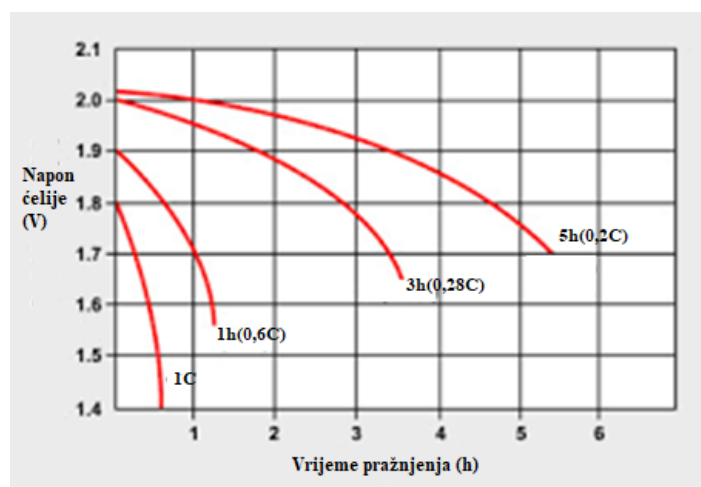
1. FAZA – napon baterije je ispod kritične vrijednosti (dana u specifikacijama), struja je mala, najčešće  $C/100$
2. FAZA – Brzo punjenje (eng. *Bulk charging*) – konstantna struja, napon raste do maksimalnog napona, definiran naponom otvorenog strujnog kruga
  - na kraju ove faze SoC iznosi 80-90%
3. FAZA – Punjenje (eng. *Absorption charging*) – konstantan napon, struja pada do najčešće  $0,1C$ 
  - 10-20 % → za održavanje zdravlja baterije
4. FAZA – Plovak (eng. *Float charging*) - održavanje baterije u napunjenom stanju kontinuiranim, dugotrajnim punjenjem na dovoljnoj razini za uravnoteženje samopražnjenja

Kako se ovdje ne radi o točnoj simulaciji već procjeni, za proračun se koriste 2. i 3. faza punjenja (slika 5.3).



Slika 5.3. U-I graf punjenja za drugu i treću fazu punjenja, [21].

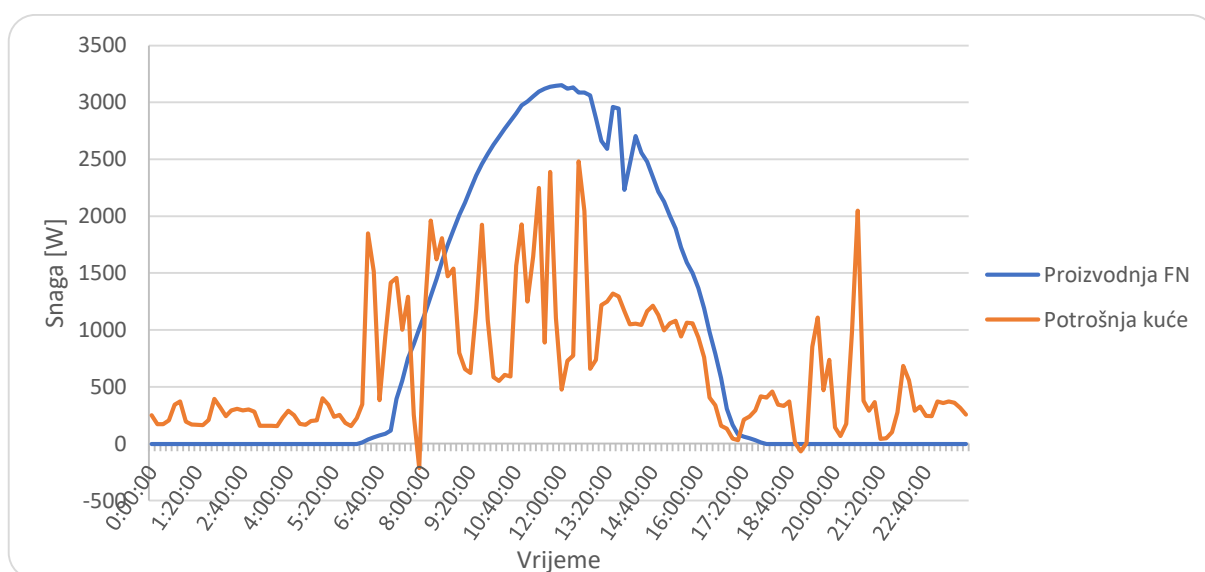
Pražnjenje baterije je nešto jednostavnije, ovisno o C-rate-u. Želi li se baterija brže isprazniti treba koristiti veću struju pražnjenja i obrnuto (slika 5.4.).



Slika 5.4. Karakteristike pražnjenja za različiti C-rate, [21].

### 5.1.1. Sunčani dan

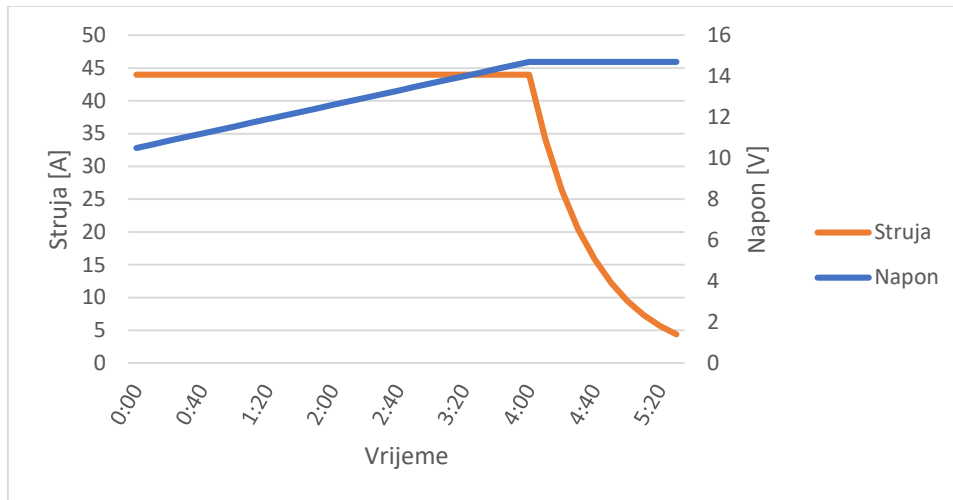
Za primjer sunčanog dana izabran je 17. ožujak 2019. godine kada je ukupna proizvodnja električne energija iznosila 21,35 kWh. Ukupna potrošena energija taj dan je iznosila 15,91 kWh. Kao što je vidljivo na slici 5.5., postoje dva razdoblja u kojima je proizvodnja FN-a veća od potrošnje, to je razdoblje od 7:40 – 8:00 h i 8:40 – 17:20 h.



Slika 5.5. Karakteristike proizvodnje i potrošnje za sunčani dan (17.3.2019.)

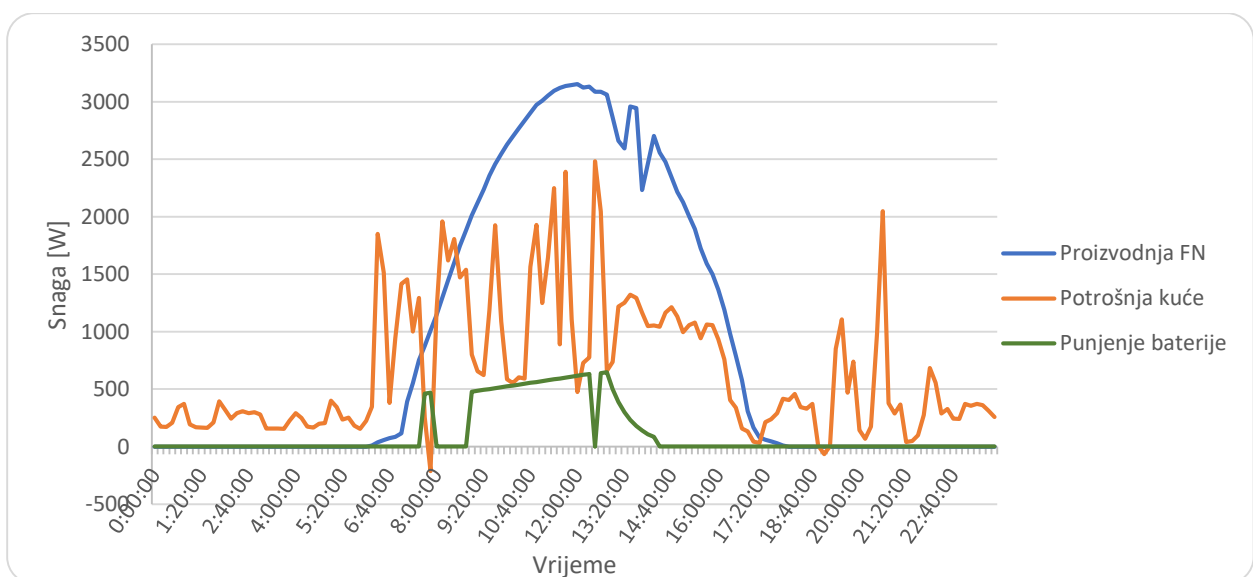


U vremenu od 7:40 – 8:00 h proizvodnja je veća od potrošnje, u bateriju se pohrani 0,155 kWh električne energije. Slika 5.6. prikazuje punjenje Discover baterije u dvije faze, konstantna struja, konstantni napon. Nakon toga je u vremenu od 8:40 – 9:00 h potrošnja veća od proizvodnje. Kako je SoC baterije prenizak da bi se baterija praznila, u ovom razdoblju nema pražnjenja baterije.



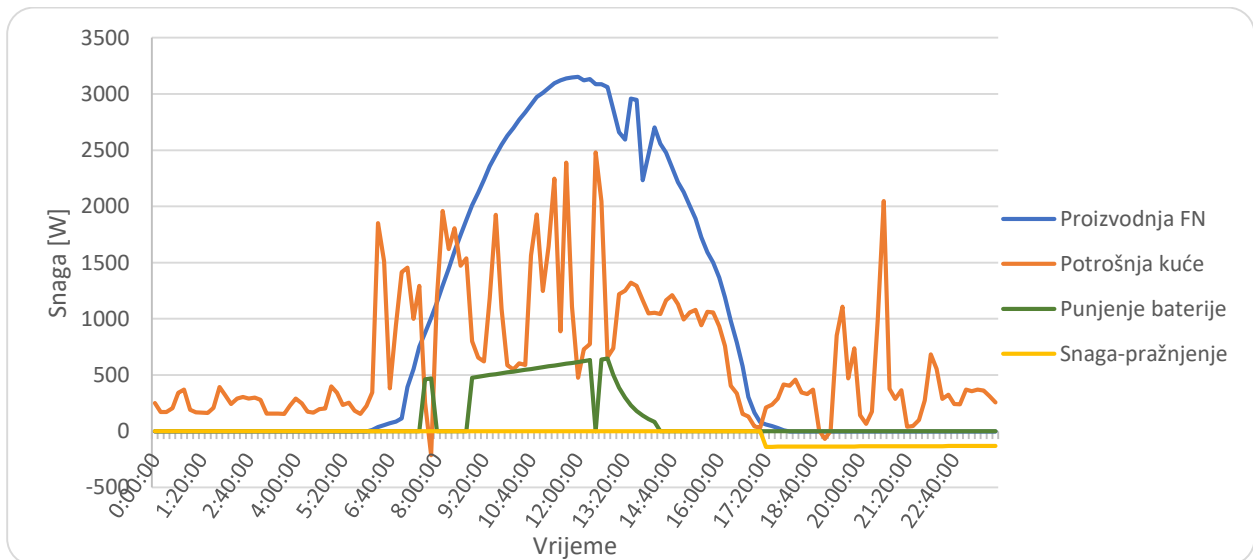
**Slika 5.6.** Graf punjenja baterije

Od 9:00 – 14:20 h u bateriju je pohranjeno dodatnih 2,28 kWh pa je na kraju tog razdoblja u bateriju ukupno pohranjeno 2,632 kWh električne energije. Slika 5.7. prikazuje snagu punjenja baterije za dan 17. ožujka 2019. godine.



**Slika 5.7.** Graf proizvodnje, potrošnje kuće i punjenja baterije

Od 17:20 h proizvodnja FN sustava je manja od potrošnje, a kako je SoC na zadovoljavajućoj razini, baterija se prazni brzinom C20. Pražnjenje traje dulje, ali se tako dugoročno održava kapacitet baterije i produljuje njen životni vijek. Od 17:20 – 0:00 h baterija kućanstvu preda 0,89 kWh električne energije. Baterija ne može zadovoljiti ukupne potrebe kućanstva, zbog toga se za vrijeme više tarife iz mreže preuzme 1,16 kWh i za vrijeme niže tarife 0,53 kWh električne energije.



**Slika 5.8.** Graf dnevne proizvodnje i potrošnje uz pražnjenje baterije

Ušteda se promatra kao cijena za energiju preuzetu iz mreže koja je u ovom slučaju nadomještena pohranjenom električnom energijom iz baterije. Ušteda u vremenu od 17:20 – 0:00 h iznosi:

$$0,49 [kWh] * 1,06 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] + 0,39 [kWh] * 0,58 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 0,75 [kn] \quad (5-11)$$

Pretpostavkom da se ovakav trend nastavlja kroz cijeli mjesec mjesečna ušteda bi tada iznosila:

$$0,75 [kn] * 30 [dana] = 22,5 [kn] \quad (5-12)$$

Energija koja bi taj dan bila predana u mrežu iz kućanstva bez sustava za pohranu energije iznosi  $E_{ii} = 11,03$  kWh. HEP Elektra za tu energiju plaća kupcu cijenu od:

$$11,03 \text{ [kWh]} * 0,44 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 4,86 \text{ [kn]} \quad (5-13)$$

Korištenjem baterije se smanjila količina predane energije u mrežu dana 17. ožujka 2019. godine. Ona sada iznosi  $E_{ii} = 8,03$  kWh. Iznos koji HEP plaća korisniku:

$$8,03 \text{ [kWh]} * 0,44 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 3,5 \text{ [kn]} \quad (5-14)$$

Slijedeći pretpostavku da se trend nastavlja cijeli mjesec, iznos koji HEP Elektra isplaćuje korisniku bi tada iznosio 105 kn, odnosno:

$$3,5 \text{ [kn]} * 30 \text{ [dana]} = 105 \text{ [kn]} \quad (5-15)$$

Ukupna električna energija preuzeta iz mreže za dan 17. ožujka 2019. za vrijeme više tarife iznosi  $E_{pi} = 4,16$  kWh dok izračunata cijena koju kupac plaća iznosi:

$$4,19 \text{ [kWh]} * 1,06 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 4,4 \text{ [kn]} \quad (5-16)$$

Preuzeta električna energije iz mreže za isti dan za vrijeme niže tarife iznosi  $E_{pi} = 0,53$  kWh, a cijena koju kupac plaća:

$$0,53 \text{ [kWh]} * 0,58 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{kWh}} \right] = 0,3 \text{ [kn]} \quad (5-17)$$

Za cijeli mjesec to bi iznosilo:

$$4,7 \text{ [kn]} * 30 \text{ [dana]} = 141 \text{ [kn]} \quad (5-18)$$

Postotak proizvedene električne energije FN-a koji se taj dan iskoristio u kućanstvu se računa kako slijedi:

$$(1 - \text{Predana energija/Proizvedena energija}) * 100\% \quad (5-19)$$

Prema rezultatima [17], nakon pomicanja opterećenja, ali u sustavu bez pohrane električne energije, taj postotak iznosi oko 48 %:

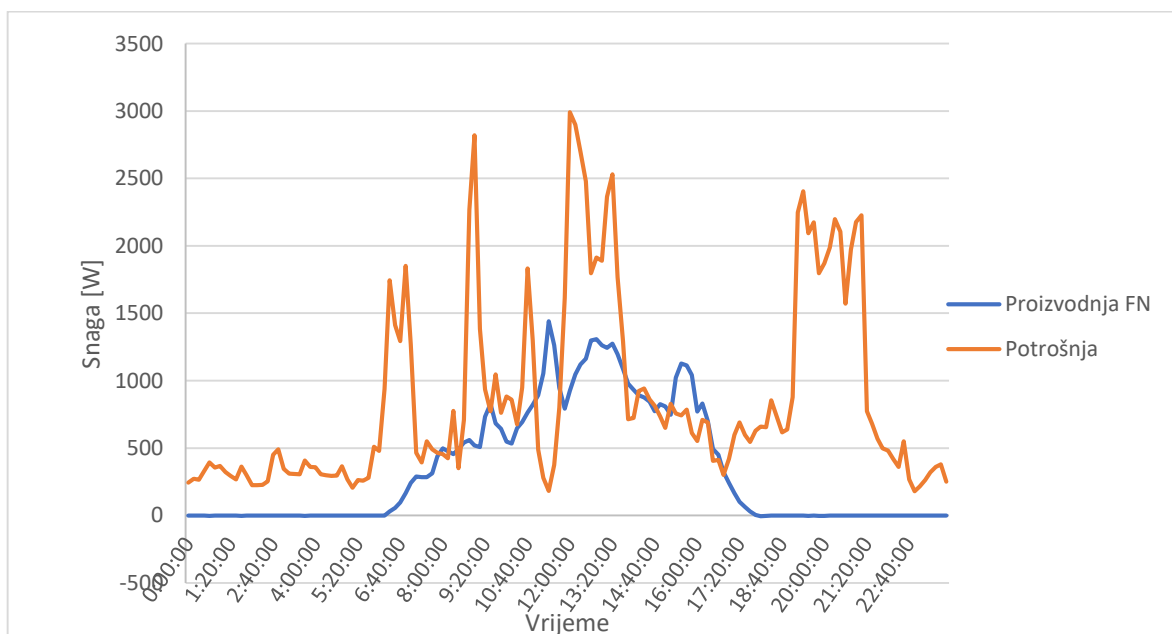
$$(1 - 11,03/21,35) * 100\% = 48,3\% \quad (5-20)$$

Uvođenjem baterijskih spremnika energije povećava se iznos iskorištene proizvedene energije FN sustava. Dodavanjem baterije postotak raste na 62.4 %:

$$(1 - 8,03/21,35) * 100\% = 62,4\% \quad (5-21)$$

### 5.1.2. Oblačan dan

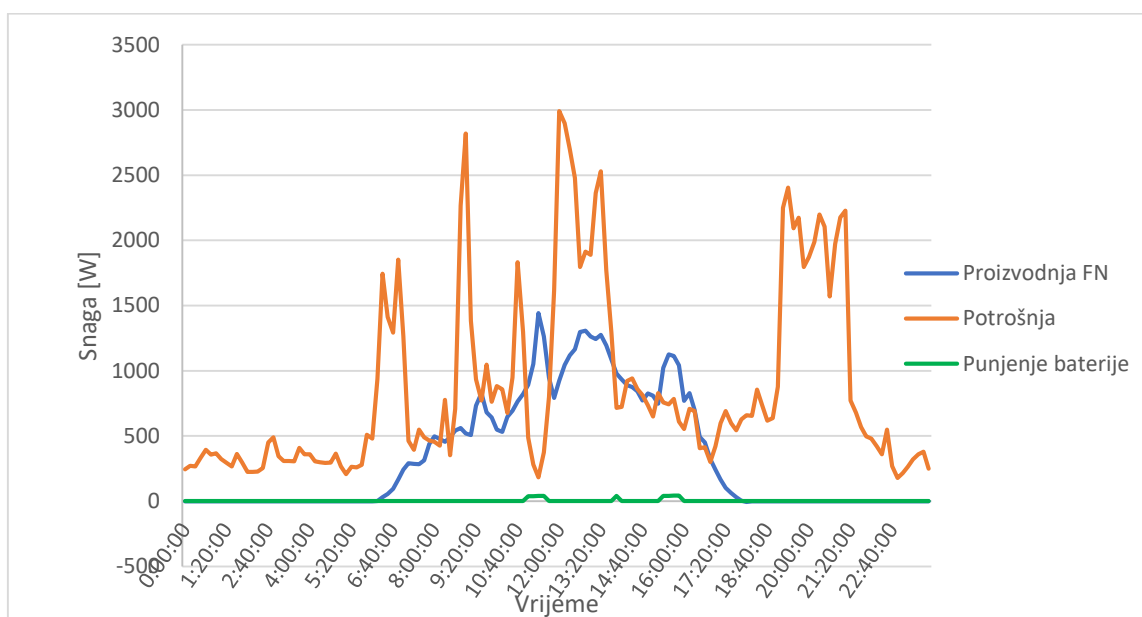
Za oblačan dan izabran je 20. ožujak 2019. godine kada je ukupna proizvodnja jednaka 8,07 kWh, a ukupna potrošena energija 20,9 kWh. Kao što je vidljivo na slici 5.9., iako je dan oblačan, postoji sedam razdoblja kada je proizvodnja iz solarnih modula veća od potrošnje od kojih su najznačajnija od 11:00 – 11:50 h i 15:20 – 17:00 h.



Slika 5.9. Karakteristike proizvodnje i potrošnje za oblačan dan (20.3.2019.)

U vremenu od 11:00 – 11:40 h kada je proizvodnja veća od potrošnje u bateriju se pohrani 0,16 kWh električne energije. Nakon toga nastupa razdoblje od sat vremena kada je proizvodnja manja od potrošnje, ali SoC je prenizak da bi se baterija praznila.

Od 13:50 – 14:10 h u bateriju je pohranjeno dodatnih 0,04 kWh. I dalje je SoC prenizak da bi se baterija praznila. U vremenu od 15:20 – 16:00 h pohrani se 0,17 kWh električne energije. Ukupna pohranjena električna energija u bateriju za cijeli dan iznosi 0,37 kWh. Na slici 5.10. prikazano je punjenje baterije za 21. ožujak 2019. godine.



**Slika 5.10.** Graf proizvodnje FN-a, potrošnje kuće i punjenja baterije

Od 17:00 h proizvodnja FN-a je manja od potrošnje, SoC je na zadovoljavajućoj razini i baterija se prazni. Gledajući da minimalni SoC bude oko 10%, iz baterije se isprazni 0,11 kWh električne energije. Također, za vrijeme pražnjenja iz mreže se preuzme 0,26 kWh energije.

Ušteda u vremenu od 17:00 – 17:50 h iznosi:

$$0,11 [kWh] * 1,06 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 0,12 [kn] \quad (5-22)$$

Pretpostavi li se nastavak trenda kroz cijeli mjesec, mjesečna ušteda bi iznosila:

$$0,12 [kn] * 30 [dana] = 3,6 [kn] \quad (5-23)$$

Ukupna isporučena energija u mrežu, bez sustava za pohranu energije, u tom danu iznosila je  $E_{ii} = 1,06$  kWh. Sva energija predana u mrežu se nalazi u razdoblju više tarife tako da je cijena koju HEP Elektra plaća korisniku jednaka:

$$1,06 [kWh] * 0,44 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 0,47 [kn] \quad (5-24)$$

Slijedeći pretpostavku da se takav trend nastavlja, iznos za cijeli mjesec iznosi:

$$0,47 [kn] * 30 [dana] = 14,1 [kn] \quad (5-25)$$

Korištenjem baterije se smanjila količina energije koja je dana 21. ožujka 2019. isporučena u mrežu. Ona sada iznosi  $E_{ii} = 0,72$  kWh. Iznos koji HEP plaća korisniku:

$$0,72 [kWh] * 0,44 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 0,32 [kn] \quad (5-26)$$

Pretpostavi li se nastavak takvog trenda cijeli mjesec, HEP Elektra korisniku isplaćuje iznos od 9,6 kn, odnosno:

$$0,32 [kn] * 30 [dana] = 9,6 [kn] \quad (5-27)$$

Ukupna električna energija preuzeta iz mreže za taj dan za vrijeme više tarife iznosi  $E_{pi} = 11,83$  kWh, a za vrijeme niže  $E_{pi} = 1,83$  kWh. Iznos koji korisnik plaća HEP-u iznosi:

$$11,83 [kWh] * 1,06 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] + 1,83 [kWh] * 0,58 \left[ \frac{kn}{kWh} \right] = 13,6 [kn] \quad (5-28)$$

Za cijeli mjesec to bi iznosilo:

$$13,6 [kn] * 30 [dana] = 408 [kn] \quad (5-29)$$

Prema rezultatima [17], nakon pomicanja opterećenja, ali u sustavu bez pohrane električne energije, postotak proizvedene električne energije koji se iskoristi u kućanstvu iznosi:

$$(1 - 1,06/8,07) * 100\% = 86,8\% \quad (5-30)$$

Uvođenjem baterije taj postotak raste na:

$$(1 - 0,72/8,07) * 100\% = 91,1\% \quad (5-31)$$

U tablici 5.1. prikazana je usporedba cijena na kraju mjeseca pretpostavi li se da mjesec sadrži 30 sunčanih, odnosno oblačnih dana.

**Tablica 5.1.** *Usporedba sunčanog i oblačnog mjeseca.*

	Sunčani mjesec	Oblačan mjesec
<b>Cijena preuzete energije</b>	141 kn	408 kn
<b>Cijena predane energije</b>	105 kn	9,6 kn
<b>Ušteda dodavanjem baterije</b>	22,5 kn	3,6 kn
<b>% iskorištene proizvedene energije</b>	62,4%	91,1 %

Veća proizvodnja energije za sunčani dan ujedno omogućuje pohranu veće količine energije u bateriju što vodi do manje preuzete energije iz mreže i u konačnici manjeg računa za električnu energiju. Također, veći je višak energije koji je proizveden, a nije iskorišten ni u kućanstvu, ni za

punjenje baterije, povećavajući tako cijenu koju HEP Elektra plaća korisniku za predanu energiju u mrežu. Vidljivo je kako je za oblačan dan postotak proizvedene energije koja se koristila u kućanstvu ili za punjenje baterije visok u usporedbi sa sunčanim danom. To je zbog cjelokupne manje proizvodnje električne energije tijekom oblačnog dana. Korištenjem baterije za oblačan dan pohranjuje se mala količina energije što daje i malu uštedu u pogledu preuzete energije iz mreže. Povrh toga, manje se energije predaje u mrežu te je tako cijena koju HEP Elektra plaća korisniku značajno manja od one za sunčan dan.



## 6. ZAKLJUČAK

Rad predstavlja upravljanje potrošnjom korištenjem baterijskog spremnika energije u objektu s mrežnim fotonaponskim sustavom. Sustav u cjelini radi prema algoritmu upravljanja gdje se također vodi računa o stanju napunjenosti baterije i njenoj mogućnosti uporabe. Korištenjem takvog sustava prvenstveno se stvara ušteda na računu za električnu energiju. Dobivene su karakteristike proizvodnje i potrošnje te punjenja i pražnjenja baterije. Rezultati proračuna za jedan sunčani i jedan oblačni dan upućuju na to da se korištenjem baterije u danima manje proizvodnje električne energije, tj. tijekom oblačnih dana, ne ostvaruje velika financijska ušteda kao za sunčane dane. Sunčani dani pružajući veću proizvodnju energije osiguravaju veću količinu i pohranjene energije u bateriju i predane energije u mrežu što dovodi do značajnijeg smanjenja računa, ali i cijene koju HEP-Elektra isplaćuje korisniku. Budući da u radu nije uzeta u obzir cijena baterijskog sustava koja bi u stvarnosti značajno utjecala na isplativost fotonaponskog sustava s baterijskim spremnikom u cjelini, svaka financijska ušteda na ovoj razini razmatranja je poželjna.

## LITERATURA

- [1] “Introduction to Photovoltaic (PV) Systems - Solar Gain.” <https://solargaininc.com/introduction-to-photovoltaic-systems/> (pristupljeno 28.5.2021.)
- [2] A. F. Čotar, “Photovoltaic Systems,” *Darko Jardas, dipl. ing. REA Kvarner Ltd*, p. 1, 2012.
- [3] A. K. Seng, D. Tan, “Handbook for Solar Photovoltaic Systems,” *Energy Mark. Authority, Singapore Publ.*, pp. 4–9, 2011.
- [4] G. Oliveti, L. Marletta, N. Arcuri, M. De Simone, R. Bruno, G. Evola, “Solar energy,” *Green Energy Technol.*, vol. 0, no. 9783319030739, pp. 159–214, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-03074-6\_4.
- [5] “4.5. Types of PV technology and recent innovations | EME 812: Utility Solar Power and Concentration.” <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/608> (pristupljeno 1.6.2021.)
- [6] M. A. Kassem, A. A. Elahwil, “POWER LOAD MANAGEMENT Techniques and Methods in Electric Power System,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 9, pp. 1–8, 2015.
- [7] A. Mahmood, N. Javaid, M. A. Khan, S. Razzaq, “An overview of load management techniques in smart grid,” *Int. J. Energy Res.*, vol. 39, no. 11, pp. 1437–1450, 2015, doi: 10.1002/er.3350.
- [8] D. Javor, A. Janjic, “Application of Demand Side Management Techniques in Successive Optimization Procedures,” *Commun. Dependability Qual. Manag. an Int. J.*, vol. 19, no. January 2016, pp. 40–51, 2017.
- [9] “Electricity - Fuels & Technologies - IEA.” <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity> (pristupljeno 14.7.2021.)
- [10] E. Hossain, H. M. R. Faruque, M. S. H. Sunny, N. Mohammad, N. Nawar, “A

- comprehensive review on energy storage systems: Types, comparison, current scenario, applications, barriers, and potential solutions, policies, and future prospects,” *Energies*, vol. 13, no. 14, pp. 1–127, 2020, doi: 10.3390/en13143651.
- [11] Asian Development Bank, *Handbook on Battery Energy Storage System*, no. December. 2018.
- [12] E. O. Ogunniyi, H. C. V. Z. Pienaar, “Overview of battery energy storage system advancement for renewable (photovoltaic) energy applications,” *Proc. 25th Conf. Domest. Use Energy, DUE 2017*, no. October, pp. 233–239, 2017, doi: 10.23919/DUE.2017.7931849.
- [13] European Commission, “Best practices on Renewable Energy Self-consumption,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2015.
- [14] “Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji - Zakon.hr.” <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokoučinkovitoj-kogeneraciji> (pristupljeno 14.7.2021.)
- [15] P. Brief, P. L. Platform, “Renewable energy self- consumption,” no. September, 2020.
- [16] N. Šajn, “Electricity ‘Prosumers,’” *Eur. Parlam. Res. Serv.*, no. November, pp. 1–10, 2016.
- [17] M. Matasović, “UPRAVLJANJE POTROŠNOM U OBJEKTU KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNOM,” 2020.
- [18] H. Abdi, B. Mohammadi-ivatloo, S. Javadi, A. R. Khodaei, E. Dehnavi, “Energy Storage Systems,” *Distrib. Gener. Syst. Des. Oper. Grid Integr.*, pp. 333–368, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-804208-3.00007-8.
- [19] “A Designer’s Guide to Lithium Ion (Li-ion) Battery Charging | DigiKey.” <https://www.digikey.com/en/articles/a-designer-guide-fast-lithium-ion-battery-charging>

(pristupljeno 30.8.2021.)

- [20] MIT Electric Vehicle Team, "A Guide to Understanding Battery Specifications," 2008.
- [21] A. Amin, K. Ismail, A. Hapid, "Implementation of a LiFePO<sub>4</sub> battery charger for cell balancing application," *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 9, no. 2, p. 81, 2018, doi: 10.14203/j.mev.2018.v9.81-88.

## **SAŽETAK**

Upravljanje potrošnjom kupcu daje razne mogućnosti za smanjenje cijene električne energije. U radu je prikazan mrežni fotonaponski sustav s baterijskim spremnikom radi omogućavanja boljeg upravljanja, optimizacije proizvedene električne energije. Višak proizvedene električne energije se pohranjuje u bateriju koja se kasnije tijekom dana koristi u vremenima kada je proizvodnja iz fotonaponskih modula manja od potražnje. Čitav sustav rada prema napravljenom algoritmu upravljanja. Dani su primjeri za jedan sunčani i jedan oblačni dan, njihove karakteristike potrošnje, proizvodnje i punjenja i pražnjenja baterije te krajnji rezultati u pogledu financijske uštede.

Ključne riječi: baterija, fotonaponski sustav, upravljanje potrošnjom

## **ABSTRACT**

Load consumption management provides various opportunities to reduce electricity price. The paper presents a grid-connected photovoltaic system with battery storage that enables better management, optimization of produced electricity. Excess produced electricity is stored in a battery that is used later in the day at times when production from photovoltaic panels is less than demanded. The system as whole works according to the created management algorithm. Examples are given for one sunny and one cloudy day, their consumption, production and battery charging and discharging characteristics, and the final results in terms of financial savings.

Keywords: battery, photovoltaic system, load management

## **ŽIVOTOPIS**

Lucija Župan rođena je 17.8.1997. godine u Osijeku. Završila je Osnovnu školu „August Harambašić“ u Donjem Miholjcu nakon čega upisuje opću gimnaziju u Srednjoj školi Donji Miholjac koju završava s odličnim uspjehom. Godine 2016. upisuje preddiplomski sveučilišni studij, smjer elektrotehnika, na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini preddiplomskog studija opredjeljuje se za smjer elektroenergetike. Godine 2019. stječe akademski naziv prvostupnice elektrotehnike te iste godine upisuje diplomski sveučilišni studij smjer elektroenergetika i odabire izborni blok Održiva elektroenergetika (DEB).



