

# Upravljanje potrošnjom u javnoj zgradi

---

Skelo, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*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:200:765499>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-03**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**Upravljanje potrošnjom u javnoj zgradi**

**Diplomski rad**

**Matija Skelo**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MIKROMREŽE .....	2
2.1. Organizacija mikromreže .....	3
2.2. Udruživanje mikromreže i distribuirane proizvodnje .....	4
2.3. Što se smatra mikromrežom, a što ne?.....	6
2.4. Komponente mikromreže .....	10
2.4.1. Distribuirana proizvodnja električne energije .....	10
2.4.2. Pohrana energije.....	11
2.4.3. Opterećenje .....	14
2.4.4. Prekidač u točki zajedničkog spoja (PCC) .....	14
2.4.5. Sustav upravljanja .....	15
2.5. Razlika između mikromreže i virtualne elektrane .....	15
2.6. Upravljanje i operacijske strategije mikromreže .....	17
2.6.1. Intermitentni izvori električne energije .....	18
2.6.2. Upravljivi i kogeneracijski mikroizvori .....	18
2.6.3. Jedinice za skladištenje energije .....	18
2.6.4. Strategije upravljanja mikromrežom.....	19
2.7. Problemi kod upravljanja mikromrežom .....	20
2.7.1. Funkcije upravljanja .....	20
2.7.2. Uloga informacijske i komunikacijske tehnologije .....	21
2.8. Centralizirano i decentralizirano upravljanje .....	22
3. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM.....	23
3.1. Tehnike upravljanja potrošnjom.....	23
3.1.1. Snžavanje vršne potrošnje (engl. <i>Peak clipping</i> ).....	24
3.1.2. Potrošnja u vremenu niže potrošnje (engl. <i>Valley filling</i> ).....	25

3.1.3. Pomak opterećenja (engl. <i>Load shifting</i> ).....	25
3.1.4. Strateško očuvanje (engl. <i>Strategic conservation</i> ).....	25
3.1.5. Strateški rast opterećenja (engl. <i>Strategic load growth</i> ) .....	25
3.1.6. Fleksibilni oblik opterećenja (engl. <i>Flexible load shape</i> ) .....	26
3.2. Upravljanje potrošnjom kod pametne mreže.....	26
3.2.1. Osnovne komponente pametne mreže.....	26
3.2.2. Upravljanje energijom u pametnoj mreži .....	27
3.3. Upravljanje potrošnjom mikromreže .....	28
3.3.1. Upravljanje potrošnjom u paralelnom radu .....	29
3.3.2. Upravljanje potrošnjom mikromreže u otočnom radu .....	30
4. ALGORITAM UPRAVLJANJA POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZGRADI FERIT .....	32
4.1. Opis i eksperimentalni postupci mjerenja .....	32
4.1.1. Opis područja mjerenja .....	32
4.1.2. Postupci mjerenja .....	34
4.2. Analiza izvedenih mjerenja .....	35
4.2.1. Prvi tjedan mjerenja .....	36
4.2.2. Drugi tjedan mjerenja.....	38
4.2.3. Treći tjedan mjerenja.....	40
4.2.4. Ukupni rezultati .....	42
4.3. Algoritam upravljanja potrošnjom.....	43
5. ZAKLJUČAK .....	47
LITERATURA.....	48
SAŽETAK .....	51
ŽIVOTOPIS .....	53

# 1. UVOD

Električna energija oblikovala je tehnički napredak čovječanstva tijekom prošlog stoljeća. Snaga mora biti dostupna potrošaču u bilo kojem iznosu na zahtjev. Moć je postala bitan dio našeg svakodnevnog načina života, a odgovornost za moć počiva na svakome tko troši energiju. Gospodarstvo i želja za poboljšanjem okoliša zahtijevaju da budemo mudri u donošenju odluka. Tu mudrost moraju prakticirati elektroprivredna poduzeća, kao i pojedinačni potrošači. Poduzeća moraju istražiti i iskoristiti svaku nadogradnju tehnologije u sustavu koja će povećati njihovu učinkovitost, a potrošači ne smiju biti rasipni u korištenju energije.

Tehnika upravljanja potrošnjom je metoda kojom se mijenja ili preoblikuje opterećenje električne energije kao funkciju vremena. Svrha tehnike upravljanja potrošnjom je smanjiti vršne zahtjeve kako bi se izjednačila dnevna ili godišnja potreba za električnom energijom. Upravljanje potrošnjom opisuje planiranje i provođenje aktivnosti koje su dizajnirane da utječu na kupce na takav način da se krivulja oblika opterećenja poduzeća može modificirati kako bi se proizvela snaga na optimalan način.

Pojam pametna mreža definira samooporavljivu mrežu opremljenu dinamičkim tehnikama optimizacije koje koriste mjerenja u stvarnom vremenu kako bi se smanjili mrežni gubici, održale naponske razine, povećala pouzdanost i poboljšalo upravljanje imovinom. Pametna mreža prvo ovisi o identificiranju i istraživanju ključnih mjera uspješnosti, dizajniranju i razvoju obrazovnog kurikuluma kako bi sadašnje i buduće osoblje opremili znanjem i vještinama.

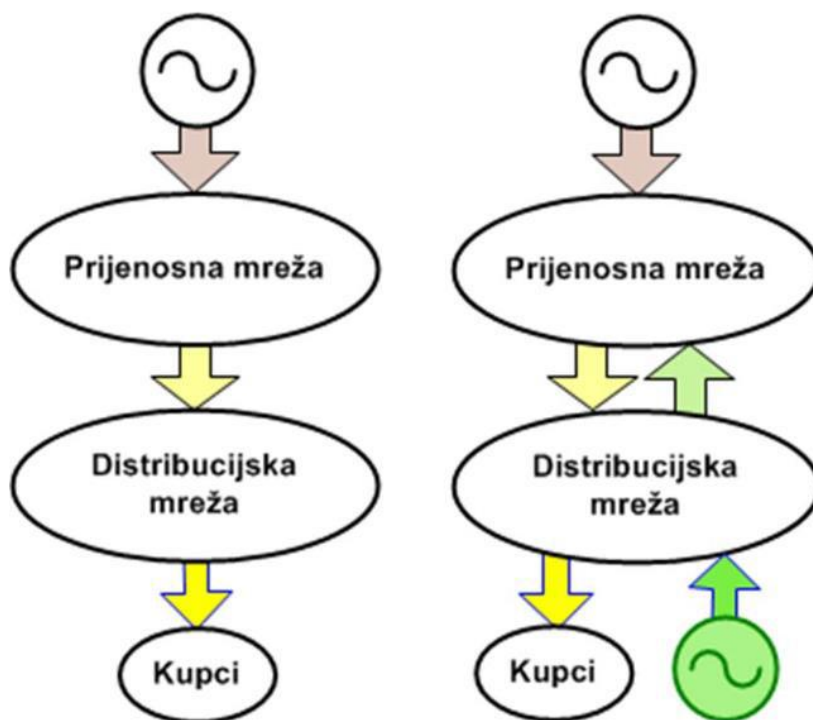
Mikromreže su mali električni distribucijski sustavi koji povezuju više kupaca s višestrukim distribuiranim izvorima. Obično se karakteriziraju višenamjenskim uslugama električne energije za zajednice koje su povezane niskonaponskim mrežama. Od velikog je interesa što ovi hibridni energetske sustavi imaju potencijal da osiguraju pouzdanu opskrbu električnom energijom udaljenim zajednicama u kojima je priključak na prijenosnu mrežu neekonomičan. Kontrola i upravljanje potrošnjom ključna je komponenta mikromreže te je bitno u svakom trenu održavati ravnotežu između proizvodnje i potrošnje.

U drugom poglavlju ovog diplomskog rada opisan će se mikromreže i na koji način funkcioniraju, kako izgleda njihova organizacija i koje su prednosti njihova korištenja. Zatim slijedi razrada teme, gdje će najprije biti riječ o upravljanju potrošnjom pametnom mrežom, a onda i o upravljanju potrošnjom mikromreže, a za kraj će biti opisan primjer mikromreže.

## 2. MIKROMREŽE

Distribucijske mreže transformiraju se iz pasivne u aktivne mreže, u smislu da se raspodjeljuju odluke i kontrole, te da je protok energije dvosmjernan. Ova vrsta mreže omogućuje lakšu integraciju distribuiranih izvora i tehnologiju pohrane energije te ujedno stvara mogućnost ugradnje novih tehnologija i pojavu novih usluga koje moraju biti u skladu s općim standardima i protokolima. Aktivne distribucijske mreže imaju glavnu funkciju da učinkovito povezuju proizvodnju električne energije s potrošnjom električne energije, omogućujući objema stranama da odaberu optimalan način rada u stvarnom vremenu. Procjena toka energije, upravljanje naponskim prilikama i zaštita zahtijevaju troškovno konkurentne sustave gdje ključnu ulogu imaju informacijske i komunikacijske tehnologije [1].

Realizacija aktivnih distribucijskih mreža zahtijeva implementaciju radikalno novog koncepta sustava. Mikromreže su nove mrežne strukture koje najviše obećavaju [2].



Slika 2.1. Blok dijagram pasivne (lijevo) i aktivne (desno) mreže [3]

Mikromreža je zapravo aktivna distribucijska mreža izgrađena kako bi mogla male kućanske zajednice, fakultete, škole, trgovačke centre itd. opskrbljivati električnom i toplinskom energijom . Ona se sastoji od distribuiranih izvora koji su obnovljivi i različitih trošila te se nalaze u distribucijskoj mreži u blizini korisnika. Za razliku od konvencionalnih elektrana, mikromreže su relativno male snage [1].

## **2.1. Organizacija mikromreže**

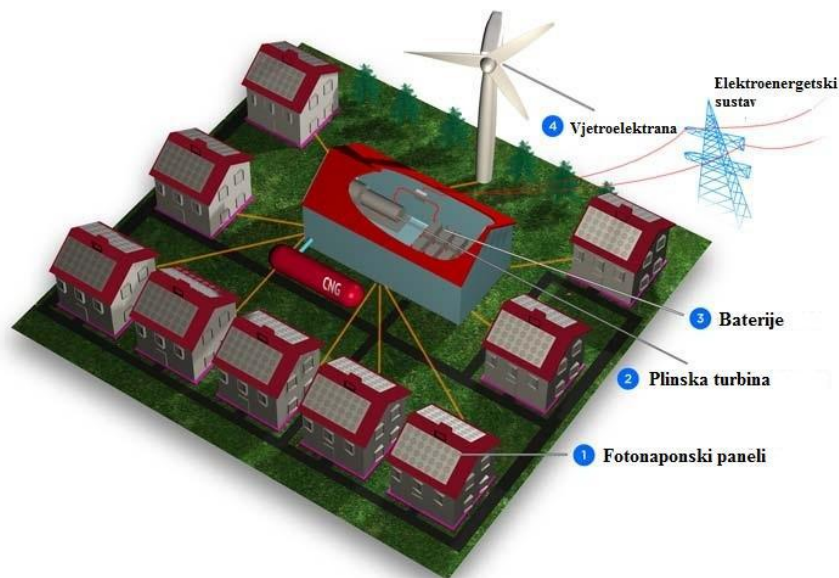
Organizacija mikromreže temelji se na upravljačkim svojstvima nad mrežom pa je tako omogućen veći prodor distribuiranih izvora kao što su mikroturbine, gorivne ćelije i fotonaponski moduli zajedno sa sustavima za pohranu energije kao što su zamašnjaci, energetski kondenzatori, baterije i upravljivi tereti kao što su električna vozila [4]. Ovakvo upravljanje omogućuje dijelovima distribucijske mreže da rade u otočnom pogonu u slučaju kvarova ili nekih drugih poremećaja koji mogu prekinuti opskrbu električnom energijom, povećavajući tako kvalitetu opskrbe potrošača. Provedba upravljanja je ključna značajka koja razlikuje mikromreže od distribucijskih mreža s distribuiranom proizvodnjom [1].

Sa stajališta potrošača, mikromreže pružaju potrebu za toplinskom i električnom energijom, a osim toga, povećavaju pouzdanost, smanjuju emisije štetnih plinova, poboljšavaju kvalitetu električne energije održavanjem napona u dozvoljenim granicama te potencijalno smanjuju troškove električne energije [1].

S gledišta mrežnog operatera, mikromreža se smatra kao upravljivo postrojenje unutar elektroenergetskog sustava koje se može upravljati kao teret ili generator s jednim agregatom, ali može poslužiti kao i potpora mreži. Temeljem sinergije lokalnih mikroizvora i lokalnih tereta, mikromreža bi mogla pružiti različite tehničke, ekološke, ekonomske i socijalne koristi dionicima [1].

Značajan je napredak u razvoju malih kombiniranih sustava koji iskorištavaju otpadnu toplinu i proizvode električnu energiju. Očekuje se da će takvi sustavi imati vrlo bitnu ulogu u mikromrežama koje su smještene u zemljama s hladnijom klimom. Također se predviđa da će fotonaponski sustavi postati sve popularniji u zemljama sa sunčanijim klimama. Primjenom ta dva sustava povećava se sveukupna učinkovitost procesa pretvorbe primarnog goriva te se smanjuju emisije ugljičnog dioksida [1].

Sa stajališta iskoristivosti, primjenom mikromreže može se smanjiti potražnja za distribucijskim i prijenosnim jedinicama. U neposrednoj blizini opterećenja, distribuirana proizvodnja može smanjiti tokove snaga u prijenosnoj i distribucijskoj mreži što dovodi do smanjenja gubitaka. U slučaju kada je veliko opterećenje mikromreža može biti i potpora mreži [1]. Na slici 2.2. vidi se primjer mikromreže.

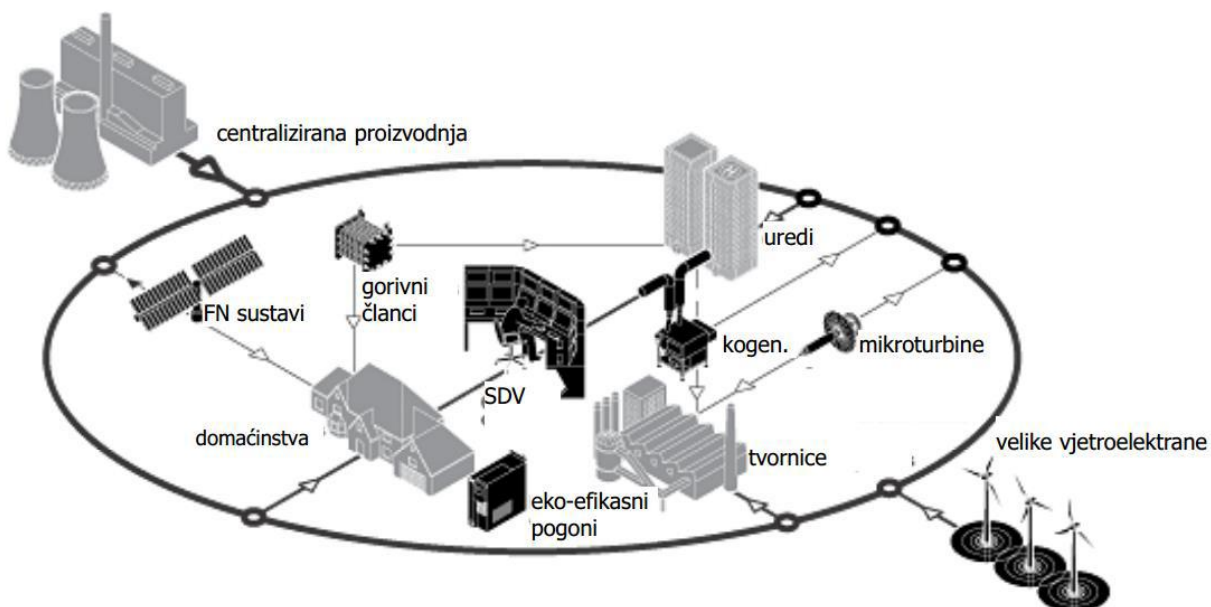


Slika 2.2. Primjer mikromreže [5]

## 2.2. Udruživanje mikromreže i distribuirane proizvodnje

Distribuirana proizvodnja je termin kojim se označava proizvodnja električne energije na lokaciji potrošača [6]. Distribuirani izvori povezani su s distribucijskom mrežom na niskom, srednjem i visokom naponu, dizajnirani su u skladu da su potrošačka opterećenja pasivna, a tokovi snaga su usmjereni samo od trafostanice pa do potrošača, a ne u suprotnom smjeru. Zbog tog razloga provedeno je mnogo studija o povezivanju distribuirane proizvodnje unutar distribucijske mreže od upravljanja i zaštite pa sve do stabilnosti i kvalitete električne energije. Različiti mikroizvori kao što su mikroturbine, fotonaponi, vjetroturbine do 100 kW i gorivne ćelije mogu se direktno spojiti na niskonaponsku mrežu. Te su se jedinice pojavile kao potencijalna opcija klijentima koji zahtijevaju pouzdanu i kvalitetnu električnu energiju. S povećanjem broja mikroizvora jasno je da se niskonaponska distributivna mreža više ne može smatrati pasivnim dodatkom prijenosne mreže [1].

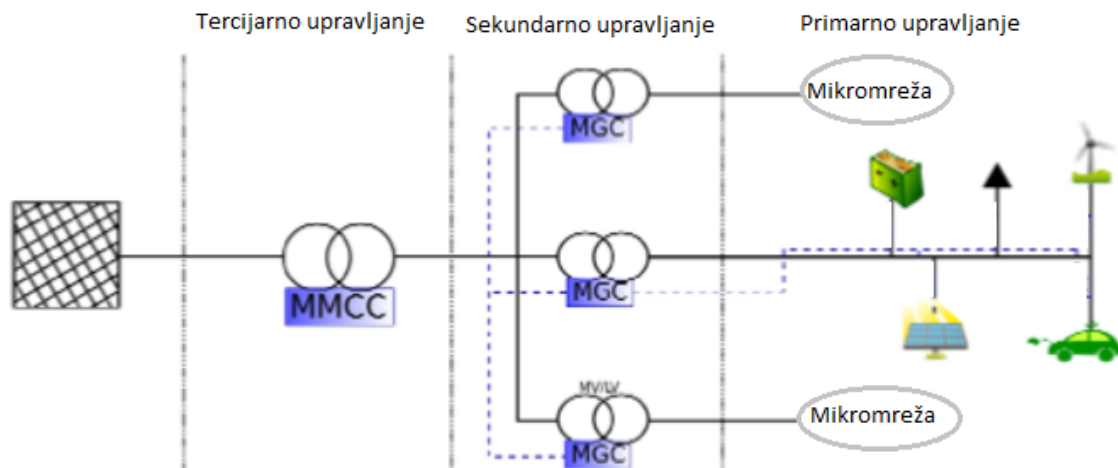




Slika 2.3. Konfiguracija elektroenergetskog sustava s distribuiranim izvorima energije [7]

Utjecaj mikroizvora na proizvodnju i potrošnju električne energije i frekvenciju mreže može se smatrati vrlo značajnom prednošću mikromreže. Kako bi se olakšala potpuna integracija mikroizvora te dinamičko upravljanje opterećenjima potrebni su nadzor i upravljanje mikromrežom. Nadzor i upravljanje mikromrežom bi moglo donijeti niz različitih potencijalnih koristi na svim naponskim razinama distribucijske mreže. Da bi se postigao taj cilj trebaju biti usvojene različite strategije hijerarhijskog upravljanja [1]. Udruživanje distribuirane proizvodnje s mikromrežom je dobra podrška sustavu u vrijeme poremećaja. Mogućnost upravljanja mikromrežom, distribuiranim izvorima energije povezanim na mrežu te upravljanje opterećenjem izvodi se konceptom mnogostrukih mikromreža [1]. Mnogostruka mikromreža je mreža hijerarhijske strukture upravljanja te se sastoji od primarne, sekundarne i tercijarne razine upravljanja. Prva razina hijerarhijske mreže je primarna razina upravljanja i njena bitna značajka je najbrži odziv. Uloga primarne razine je održavanje napona i frekvencije pod kontrolom. Primarna razina sastoji se od lokalnog upravljanja proizvodnjom električne energije, upravljanja skladištenjem električne energije i upravljanja opterećenjima. Sekundarna razina odgovorna je za kvalitetu električne energije i ublažavanje odstupanja napona i frekvencije od podešene vrijednosti. Ovisno o optimalnim tokovima energije, tercijarna razina zadužena je da postavi dugoročne početne uvjete na temelju primljenih informacija o statusu tržišnih signala, distribuiranih izvora energije i drugih zahtjeva sustava [8].

Svim lokalnim kontrolerima se može upravljati i upravljaju se kontrolerom mikromreže (engl. *Microgrid Controller - MGC*). *MGC* je odgovoran za razmjenu podataka sa središnjim mikromrežnim kontrolerom (engl. *Multi-Microgrid Central Controller - MMCC*). *MGC* nije ovisan o operatoru distribucijskog sustava, a *MMCC* koordinira radom distribucijskog sustava [9]. Slika 2.4. predstavlja hijerarhijsku strukturu upravljanja.



Slika 2.4. Hijerarhijska struktura upravljanja [8]

### 2.3. Što se smatra mikromrežom, a što ne?

Mikromreža obuhvaća niskonaponske distribucijske sustave s distribuiranim izvorima energije zajedno s uređajima za skladištenje energije i prilagođenim opterećenjem. Takvi sustavi mogu biti upravljani na neautonoman način, ako su međusobno povezani s mrežom, ili na autonoman način, ako nisu povezani s mrežom [1].

Mikromreža je skup distribuiranih izvora, skladišta energije i opterećenja unutar jasno definiranih električnih granica, koja djeluje kao jedinstveni upravljivi entitet u odnosu na mrežu. Pruža rješenja za upravljanje lokalnim izvorima i opterećenjima. Ima potencijala da poboljša ukupnu učinkovitost sustava, kvalitetu električne energije i sigurnost energije za kritična opterećenja. Mikromreža se može povezati i odspojiti od mreže kako bi joj se omogućio rad u mrežnom ili otočnom načinu rada. Najsnažnija značajka mikromreže je mogućnost da se odvoji i izolira od distribucijskog sustava tijekom događaja na mreži, tj. kvarova, naponskog kolapsa ili prekida. Također se može namjerno isključiti tijekom mrežnog održavanja, ali i kada je kvaliteta

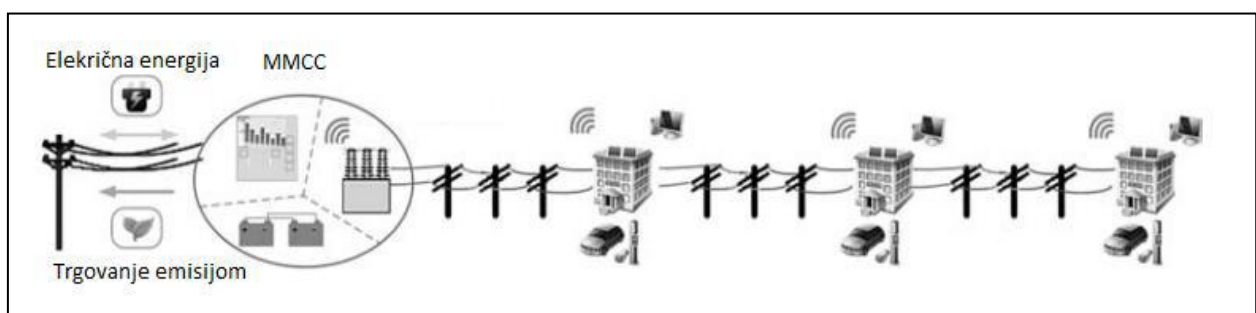
energije iz mreže pogoršana. Mikromreža mora omogućiti ponovno spajanje na mrežu bez ikakvih prekida nakon što se oporavi kvaliteta i stabilnost mreže [10].

Fokus mikromreže je na zadovoljenju obližnjih potrošača za potrebom električne energije, iz toga slijedi da modeli koji zanemaruju fizičku udaljenost izvora i potrošača nisu mikromreže. Obično je spojena na niskonaponsku mrežu, no može biti i iznimaka gdje je spojena na srednjenaponsku mrežu zbog potreba interkonekcije [1].

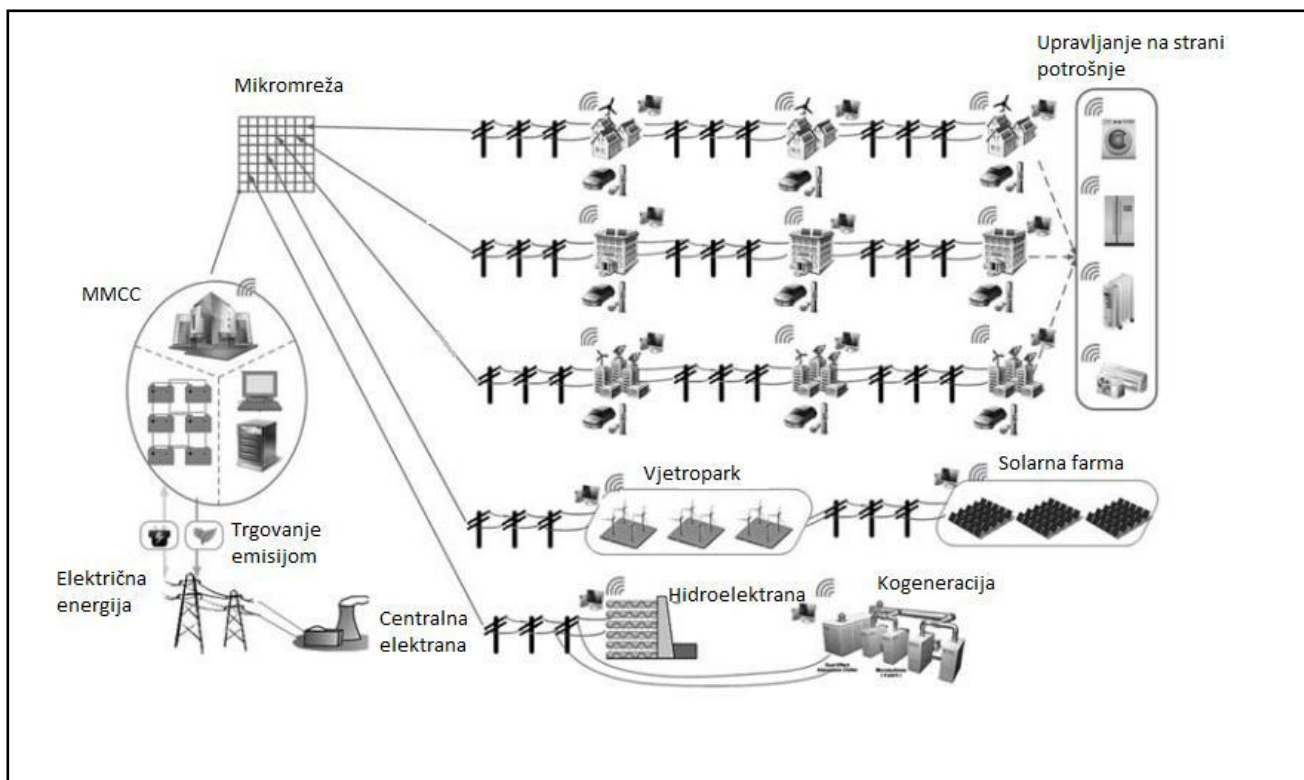
Mikromreža bi trebala imati sposobnost da radi jednako dobro u normalnom stanju i u otočnom pogonu u slučaju kvarova ili drugih poremećaja. Većina budućih mikromreža raditi će većinu vremena u sklopu konvencionalne mreže, osim onih posebno izgrađenih za način rada u otočnom pogonu. Značajnije prednosti mikromreže proizlaze iz normalnog umreženog stanja. Kako bi se postigao dugoročni otočni pogon, mikromreža mora zadovoljiti visoke zahtjeve što se tiče potrebe količine skladištenja električne energije i procjene kapaciteta mikrogeneratora za kontinuiranu opskrbu potrošača [1].

Razlika između mikromreže i pasivne mreže je u mogućnosti upravljanja i koordinaciji raspoloživih resursa. Operator mikromreže je više od davatelja mrežnih usluga, kontrolera opterećenja ili regulatora emisije. On obavlja sve te radnje uz ekonomske, tehničke i ekološke uvjete. Jedna od glavnih prednosti mikromreže je rukovanje sukobljenim interesima različitih dionika, odnosno donošenje optimalnog rješenja za sve uključene sudionike [1].

Mikromreža se može definirati na razini niskonaponske mreže, na razini niskonaponskog kućanstva i na razini niskonaponskog napojnog voda [1].



Slika 2.5. Mikromreža definirana na razini napojnog voda [1]



Slika 2.6. Mikromreža definirana na razini niskonaponske mreže [1]



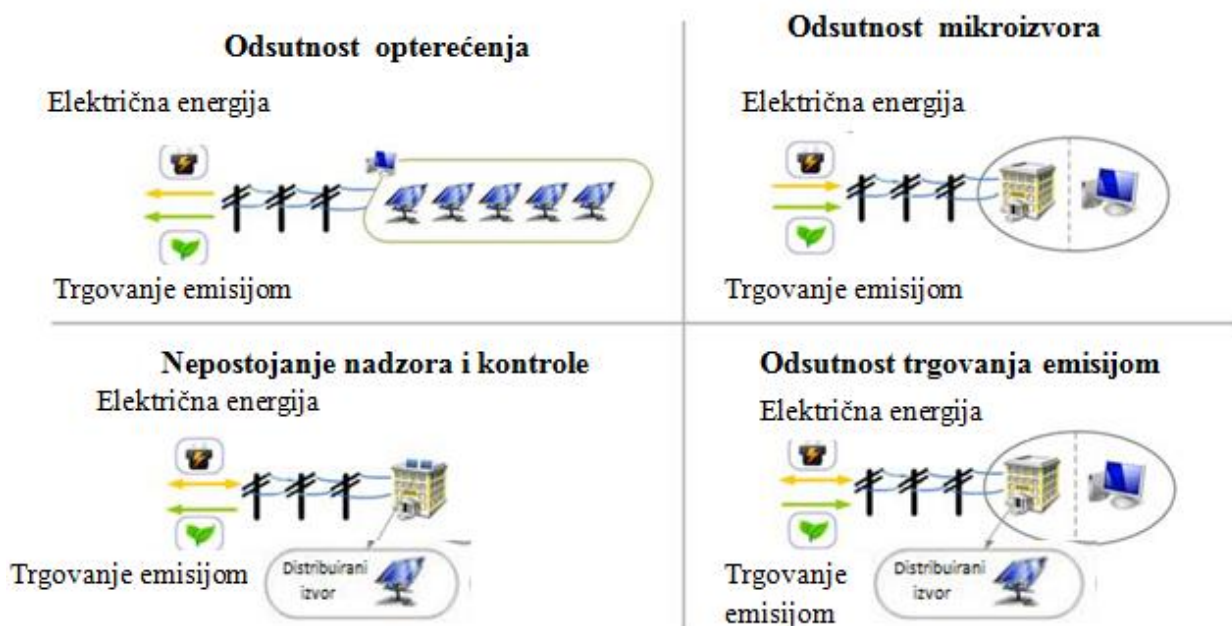
Slika 2.7. Mikromreža definirana na razini niskonaponskog kućanstva [1]

Na slici 2.8, koncept mikromreže dodatno je razjašnjen primjerima koji ističu tri bitne značajke mikromreže, a to su lokalno opterećenje, lokalni izvori i inteligentno upravljanje. Nedostatkom jedne ili više značajki ne smatra se više mikromrežom.

U nastavku biti će objašnjene neke tipične zablude u vezi mikromreža [1]:

- Mikromreže su isključivo izolirani sustavi - mikromreže imaju mogućnost prijelaza na otočni pogon u izvanrednim situacijama, čime se povećava pouzdanost cijelog sustava.
- Kupci koji posjeduju mikroizvore grade mikromrežu - Povećan broj izvora je bitno svojstvo, no mikromreža zahtjeva aktivnu kontrolu, nadzor i optimizaciju.

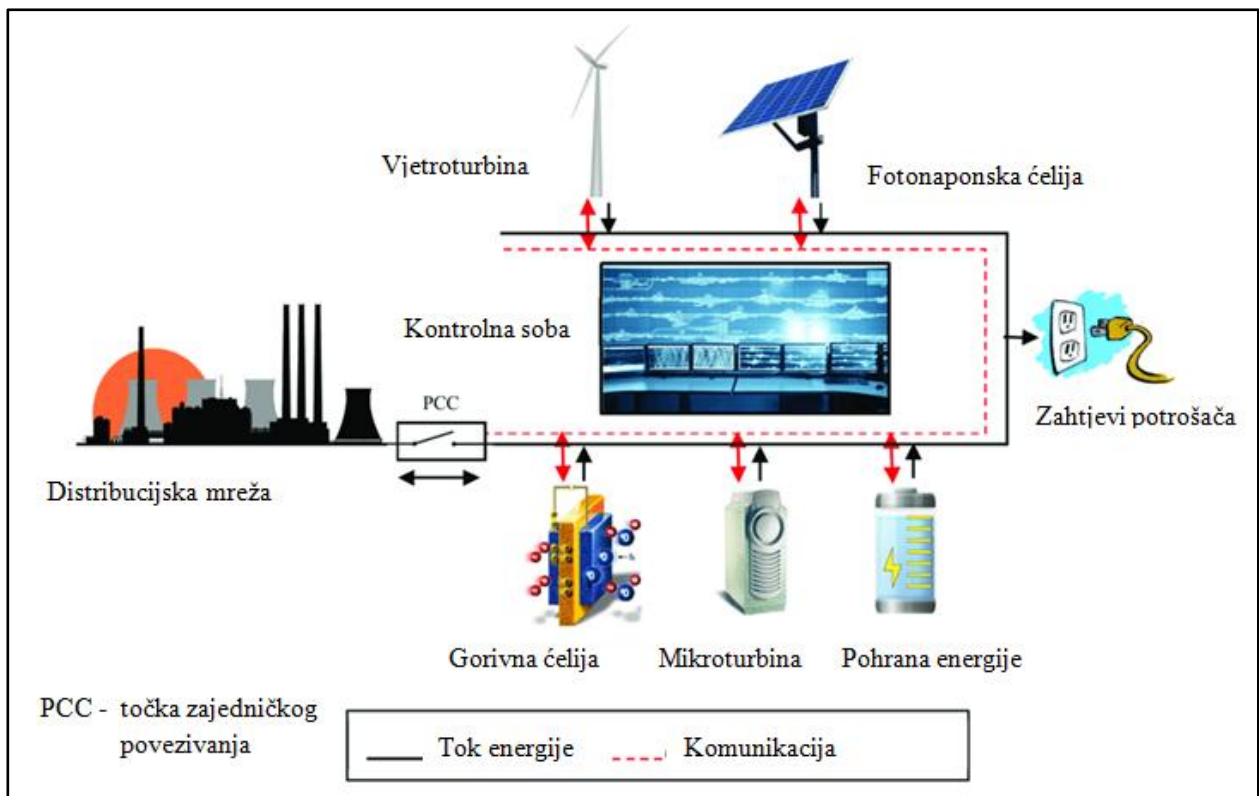
- Mikromreža se sastoji od promjenjivih obnovljivih izvora, tako da mora da je nepouzdana i lako podložna kvarovima i potpunim isključenjima - Ona može neutralizirati fluktuacije koje imaju obnovljivi izvori energije s uređajima za skladištenje energije ili vanjske proizvodne rezerve. Sama mogućnost prelaska iz mrežnog rada u otočni pogon rada povećava sigurnost opskrbe.
- Koncept mikromreže je jedan od marketinških trikova prodavača kako bi povećali svoj profit - Ako kupac ne želi ugradnju fotonaponskog sustava te ne želi imati udio vlasništva u zajedničkom uređaju za proizvodnju električne i toplinske energije, postoji veći broj opskrbljivača energijom te tko može sudjelovati u smanjenju cijena same energije zbog smanjenja emisije štetnih plinova u okolišu.
- Potrošačima spojenim na mikromrežu nikada neće doći do prekida opskrbe - Gladak prijelaz s mrežnog rada na otočni moguć je samo uz dovoljnu zalihnost spremnika energije ili generatora mikromreže. Mikromreža će najvjerojatnije morati u otočnom pogonu isključiti nekritična opterećenja ovisno o količini trenutno raspoloživih resursa.



Slika 2.8. Primjeri koji se ne smatraju mikromrežom [1]

## 2.4. Komponente mikromreže

Komponente mikromreže su izvor, pohrana energije, potrošač, prekidač međupovezivanja i sustav upravljanja [11]. Jedni od tehničkih izazova su dizajn, prihvaćanje i mogućnost jeftinijih tehnologija za ugradnju i korištenje mikromreža. U izradi je nekoliko tehnologija koje omogućuju sigurnu međupovezanost i uporabu mikromreža [12].



Slika 2.9. Komponente tipične mikromreže [13]

### 2.4.1. Distribuirana proizvodnja električne energije

Distribuirani izvori su mali izvori energije koji se nalaze na ili u blizini mjesta upotrebe. Obično uključuju fotonapone, vjetar, gorivne ćelije, mikroturbine i klipne motore s unutarnjim izgaranjem s generatorima. Ovi sustavi mogu biti napajani ili iz fosilnih ili obnovljivih goriva. Neke vrste izvora mogu osigurati kombiniranu toplinu i energiju oporavkom neke od otpadne topline mikroturbina. Ovo može značajno povećati učinkovitost. Većina izvora zahtijeva sučelje energetske elektronike kako bi se energija pretvorila u izmjeničnu struju kompatibilnu s mrežom. Sučelje sadrži potrebne sklopove za pretvaranje snage iz jednog oblika u drugi. Ovi pretvarači

možu uključivati ispravljač i pretvarač ili samo pretvarač. Pretvarač je kompatibilan u naponu i frekvenciji s elektroenergetskim sustavom na koji će biti priključen i sadrži potrebne izlazne filtre. Sučelje energetske elektronike sadržava zaštitne funkcije i za distribuirani elektroenergetski sustav koji omogućuju paralelni rad i odvajanje od elektroenergetskog sustava. Ta sučelja omogućavaju jedinstvenu sposobnost i mogu poboljšati rad mikromreže [12].



Slika 2.10. Primjeri distribuirane proizvodnje [12]

#### 2.4.2. Pohrana energije

Pohrana energije koristi se u mikromrežama gdje se opterećenje mikromreže ne može točno uskladiti. Distribuirano skladištenje pruža most pri ispunjavanju potreba mikromreže [14]. Promjene opterećenja obično su uzrokovane kratkotrajnim događajima, kao što su brzi prijelazni događaji koji nastaju pokretanjem motora, uključivanjem i isključivanjem opreme ili sporijim promjenama koje prelaze mogućnost dostupne distribucije u bilo kojem trenutku. Skladišni sustavi mogu biti dizajnirani tako da se prebacuju u rad u vremenskim okvirima. Zbog toga su oni idealni za praćenje naglih promjena opterećenja te omogućuju rezervno napajanje u slučaju da se ostane bez napajanja [15].

Skladištenje energije poboljšava ukupnu učinkovitost mikromreža na tri načina [12]:

1. stabilizira i dopušta distribuiranim izvorima da rade na stalnom i stabilnom izlazu, unatoč fluktuacijama opterećenja.

2. osigurava sposobnost odabira varijacije primarne energije kao što su sunce, vjetar i hidroenergetski izvori
3. dopušta distribuiranim izvorima da neprimjetno rade kao otpremna jedinica.

Štoviše, skladištenje energije može koristiti elektroenergetskim sustavima prigušivanjem naglih skokova u potražnji za električnom energijom, suprotstavljanjem trenutnim poremećajima u napajanju, osiguravanju prekida rada dok rezervni generatori reagiraju i rezerviranjem energije za buduće potrebe [12]. Postoji nekoliko oblika raspoloživog spremnika energije, a to su [12]:

- baterije
- zamašnjaci
- superkondenzatori

Baterije su tradicionalan način pohrane električne energije. Postoje velika iskustva u radu s baterijama. Olovne baterije, dostupne gotovo u svim veličinama, koriste se u mnogim poslovima koji zahtijevaju pomoćnu energiju. Također se koriste i baterije koje koriste druge kemikalije. Nedavna poboljšanja povećala su gustoću pohrane energije i produžila vijek trajanja baterije. Sustavi baterija skladište električnu energiju u obliku kemijske energije. Baterije su sustavi istosmjerne struje koji zahtijevaju energetska elektronika za pretvaranje energije u i iz izmjenične struje. Mnogi komunalni priključci za baterije imaju dvosmjerne pretvarače, koji omogućuju pohranjivanje i uzimanje energije iz baterija [14].



Slika 2.11. Baterija kao spremnik energije [16]



Superkondenzatori, poznatiji kao ultrakondenzatori, su uređaji za pohranjivanje električne energije koji nude veliku gustoću snage. Oni su elektrolitički uređaji vrlo visokog kapaciteta koji pohranjuju električnu energiju u obliku elektrostatičkog naboja. Sastoje se od dvije elektrode s vrlo tankim separatorom. Kapacitet spremnika energije raste s povećanjem površine elektroda [14].



Slika 2.12. Superkondenzator [17]

Sustavi zamašnjaka nedavno su ponovo razmotreni kao održivo sredstvo za održavanje kritičnog opterećenja tijekom prekida napajanja mreže zbog njihovog brzog odgovora u usporedbi s elektrokemijskim skladištenjem energije. Ovi sustavi uključuju kompozitne rotore, magnetske ležajeve i naprednu energetska elektroniku. Zamašnjaci pohranjuju energiju u rotoru ili disku koji povezuju motor ili generator. Količina energije pohranjene u zamašnjaku proporcionalna je kvadratu brzine vrtnje. Pohranjena energija može se isprazniti pri velikoj snazi na kratko vrijeme ili sporije tijekom duljeg razdoblja [14].



Slika 2.13. Zamašnjak [18]

### 2.4.3. Opterećenje

Postoji nekoliko vrsta opterećenja u sustavu mikromreža, uključujući konstantna opterećenja aktivne/reaktivne snage kao što su rashladnici i motorna opterećenja te konstantna raspodijeljena opterećenja impedancije. Opterećenja su prioritizirana u tri kategorije, a to su kritično, bitno ili osnovno i opterećenja izazvana vozilima. Primjeri kritičnog opterećenja su objekti za upravljanje i nadzor, komunikacije i sustave za hitne slučajeve. Rasvjeta i oprema za vodu mogu se smatrati bitnim opterećenjima, a sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije [19] (engl. *Heating, Ventilation and Air Conditioning - HVAC*) su važan dio stambenih objekata kao što su obiteljske kuće, stambene zgrade, hoteli i ustanove za stanovanje, srednje do velike industrije i uredske zgrade kao što su neboderi i bolnice te vozila kao što su automobili, vlakovi, zrakoplovi, brodovi i podmornice. Segmentacija opterećenja omogućuje veću pouzdanost za kritična i osnovna opterećenja u okruženju mikromreže [12].

Sofisticiranije mikromreže omogućit će sposobnost upravljanja krajnjom uporabom na način koji će omogućiti optimiranje resursa za proizvodnju i pohranu. Opterećenja koja nisu kritična kao što su rasvjeta, grijači vode i druga mogu se automatski isključiti ili odbiti kako bi se održao protok energije do kritičnih opterećenja, osobito u vrijeme kada promjenjivi obnovljivi generatori nisu dostupni. U slučaju kao i kod pohrane, upravljanje omogućuje mogućnost arbitraže na tržištima električne energije i/ili na mjestima gdje su stope na temelju vremena dostupne [11].

### 2.4.4. Prekidač u točki zajedničkog spoja (PCC)

Veže točku spoja između mikromreže i ostatka distribucijskog sustava. Nova tehnologija u ovom području objedinjuje različite funkcije napajanja i prebacivanja koje tradicionalno pružaju releji, hardver i druge komponente na sučelju uslužnog programa u jedinstven sustav s procesorom digitalnog signala (engl. *Digital Signal Processor - DSP*). Mrežni uvjeti se mjere na mrežnoj i mikromrežnoj strani prekidača kroz strujne transformatore i naponske transformatore kako bi se utvrdili radni uvjeti. Dizajnirani su da zadovolje standarde međupovezivanja mreža (IEEE 1547 i UL 1741 za Sjevernu Ameriku) kako bi se smanjili prilagođeni inženjering i procesi odobrenja specifični za određenu lokaciju te kako bi se smanjili troškovi [11].

Da bi se povećala primjenjivost i funkcionalnost, kontrole su dizajnirane da budu tehnološki neutralne tako da se mogu koristiti s prekidačem te bržim statičkim prekidačima na bazi poluvodiča kao što su to tiristori i integrirani bipolarni tranzistori [12].

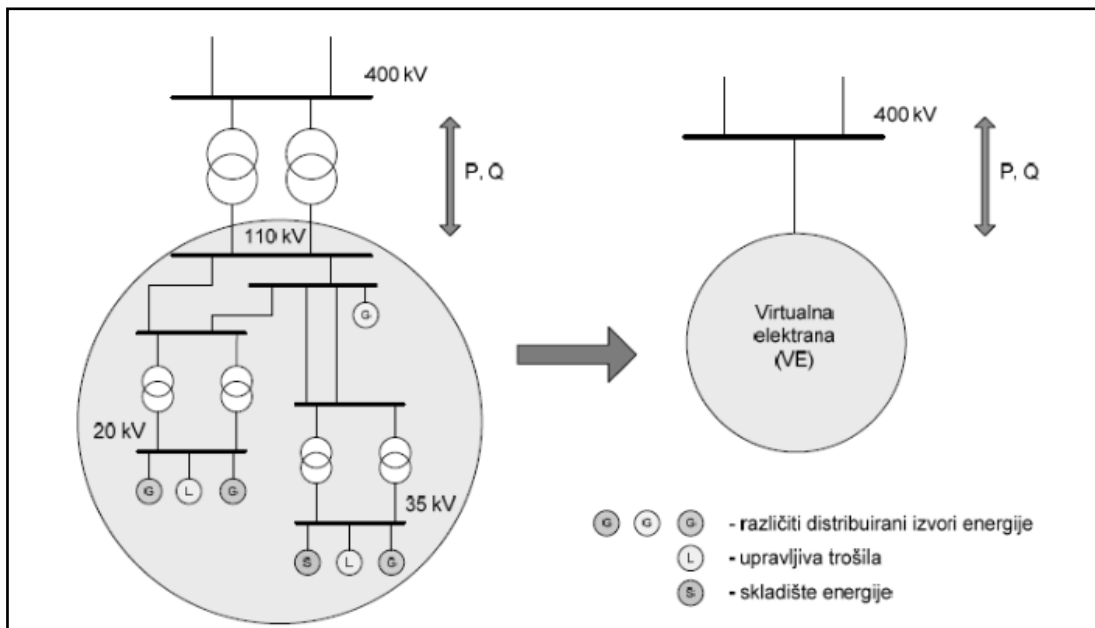
#### **2.4.5. Sustav upravljanja**

Upravljački sustav mikromreže dizajniran je za sigurno upravljanje sustavom u mrežnim i samostalnim načinima rada. Može se temeljiti na središnjem kontroleru ili ugraditi kao autonomni dijelovi distribuiranog generatora. Upravljački sustav mora kontrolirati lokalni napon i frekvenciju, osigurati trenutnu stvarnu razliku između snage i opterećenja, osigurati razliku između generirane jalove snage i stvarne jalove snage koju troši opterećenje te treba zaštititi unutarnju mikromrežu. U samostalnom načinu rada, upravljanje frekvencijom smatra se izazovnim problemom, zbog toga što se frekvencijski odziv većih sustava temelji na rotirajućim masama, a one se smatraju bitnima za stabilnost sustava. Nasuprot tome, mikromreže su same po sebi konvertirajuće mreže bez ili s vrlo malo izravno povezanih rotirajućih masa. Za lokalnu pouzdanost i stabilnost potrebna je odgovarajuća regulacija napona. Bez djelotvorne lokalne regulacije napona, sustavi s visokom penetracijom distribuiranih izvora vjerojatno će osjetiti oscilacije napona i/ili reaktivne snage. Upravljanje naponom zahtijeva da između nema velikih cirkulirajućih reaktivnih struja. Pošto je upravljanje naponom inherentno lokalni problem, regulacija napona suočava se s istim problemima u izoliranom i međusobno povezanom načinu rada [12].

#### **2.5. Razlika između mikromreže i virtualne elektrane**

Virtualna elektrana predstavlja skupinu distribuiranih izvora energije kojom zajednički upravlja središnja upravljačka jedinica. Virtualna elektrana može zamijeniti konvencionalnu elektranu te uz to osigurati veću fleksibilnosti i učinkovitost. Ona nije predviđena za otočni rad te sve njene jedinice ne trebaju biti na istom mjestu [1].

Postoje dvije vrste virtualnih elektrana, a to su komercijalne i tehničke virtualne elektrane. Komercijalne virtualne elektrane predstavljaju skup distribuiranih izvora te se pojavljuju na tržištu električne energije. Prednost komercijalnih elektrana je raznovrsnost izvora, povećani kapacitet i povećanje profita svakog distribuiranog izvora sudjelovanjem na tržištu. Tehnička virtualna elektrana odnosi se na monopolističku ulogu koju najčešće obnaša operator distribucijskog sustava. One pružaju vidljivost distribuiranih izvora prema operatoru sustava, njihov doprinos u upravljanju te njihovo optimalno korištenje [20].

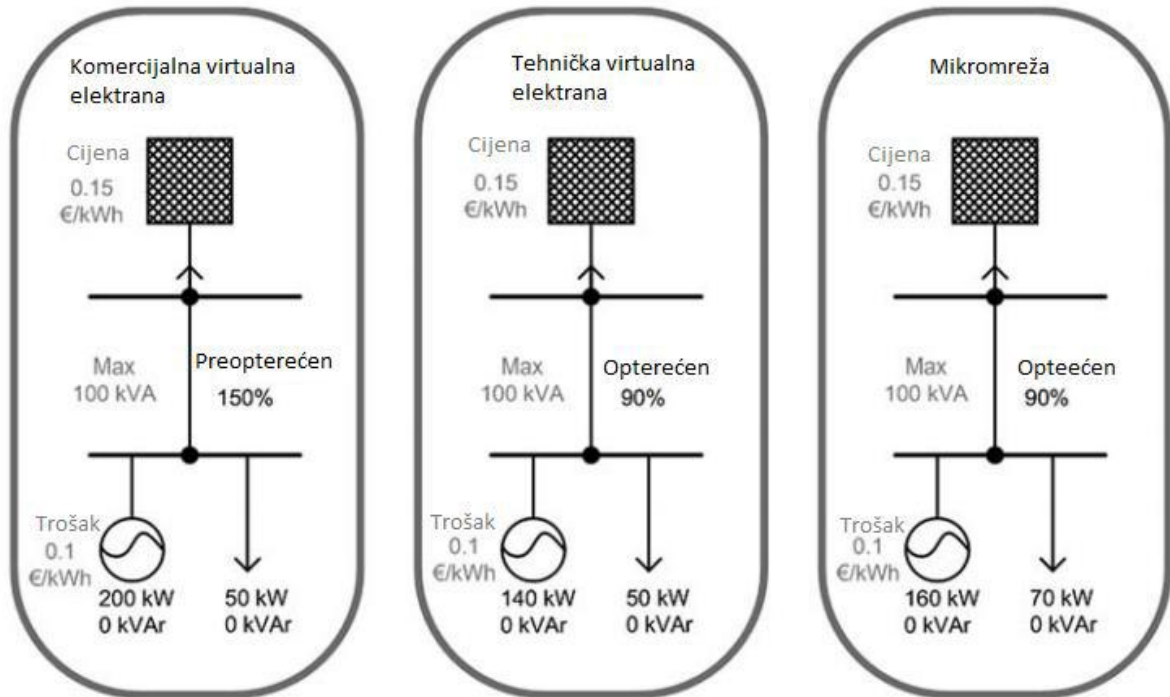


Slika 2.14. Virtualna elektrana [20]

Razlike između mikromreže i virtualne elektrane su [1]:

- lokacija - distribuirani izvori kod mikromreže nalaze se u istoj lokalnoj distribucijskoj mreži te im je cilj zadovoljiti lokalne potrošače, a kod virtualne elektrane distribuirani izvori se ne moraju nalaziti na istoj lokaciji te se upravlja na širokom zemljopisnom području.
- veličina - instalirani kapacitet mikromreže je vrlo mali, od par kW pa do nekoliko MW, dok je nazivna snaga virtualne elektrane puno veća.
- interes potrošača - fokus mikromreže je na zadovoljstvu lokalne potrošnje, dok je kod virtualne elektrane potrošnja samo fleksibilan resurs koji sudjeluje u ukupnom iznosu trgovinske moći.

Komercijalna virtualna elektrana agregira različita proizvodna, skladišna ili fleksibilna opterećenja, bez obzira na njihovo mjesto, dok tehnička virtualna elektrana uzima u obzir i ograničenja lokalne mreže. U svakom slučaju, virtualne elektrane imaju tendenciju da zanemare lokalnu potrošnju, dok mikromreže priznaju lokalnu potrošnju električne energije i krajnjim potrošačima daju mogućnost kupnje lokalne proizvodnje. Zbog toga dolazi do bolje upravljivosti mikromreže i veće profitabilnosti distribuirane proizvodnje, a to se vidi na slici 2.15. [1].



Slika 2.15. Prednost mikromreže za razliku od tehničke i komercijalne virtualne elektrane [1]

## 2.6. Upravljanje i operacijske strategije mikromreže

Mikromreža može sadržavati postrojenja za ravnotežu proizvodnje i potrošnje kao što su to upravljiva opterećenja i spremnici energije koji doprinose smanjivanju razmjene energije ili maksimiziranju profita.



Slika 2.16. Dionici mikromreže [1]

### **2.6.1. Intermitentni izvori električne energije**

Mogućnost upravljanja intermitentnih izvora električne energije ograničena je fizičkom prirodom primarnih izvora energije te ono postaje problem u slučaju da se poveća udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji. Intermitentne proizvodne jedinice nije preporučeno ograničavati, osim u slučaju ako uzrokuju preopterećenje voda ili prenapone. Povezivanjem proizvodnje, pohrane i potrošača u mikromreži, moguća je kontrola tokova energije uz poštivanje ekonomskih i tehničkih kriterija te uz korištenje vremenske prognoze. Upravljanjem mikromrežom i optimizacijom njenog dizajna doći će do znatnog povećanja udjela intermitentnih izvora energije na lokalnoj razini te na razini operatora prijenosnog sustava [1].

### **2.6.2. Upravljivi i kogeneracijski mikroizvori**

Upravljivim mikroizvorima smatraju se oni izvori koji su upravljivi po radnoj i jalovoj komponenti snage. Mikroizvori su rijetko upravljivi te kao takvi nemaju koristi dispečeru elektroenergetskog sustava u smislu vođenja i regulacije. Upravljanje kogeneracijskim postrojenjima varira prema lokalnoj potražnji za toplinom. Kogeneracijska postrojenja imaju mogućnost proizvoditi toplinu, električnu energiju ili mogu raditi kao hibrid. S obzirom da se većina mikroizvora i kogeneracijskih postrojenja temelje na rotaciji, njihova jalova izlazna snaga biti će ograničena vrijednošću aktivne i prividne snage. Radi poboljšane mogućnosti upravljanja upravljivih mikroizvora, mikromreža s više mikroizvora riješiti će tradicionalan problem obvezivanja izvora, a mikromrežni operator će se nositi s opterećenjem umanjenim povremenom proizvodnjom [1].

### **2.6.3. Jedinice za skladištenje energije**

Funkcija uređaja za skladištenje energije je održavanje ravnoteže sustava ili maksimiziranje profita od pohranjene energije. Istovremeno mogu biti rezerva energije za ravnotežu sustava od kratkotrajnih do dugoročnih primjena. Kod uređaja baziranih na tehnologiji istosmjerne struje adekvatno opremljeno elektroničko sučelje će pridonijeti ravnoteži jalove energije sustava bez značajnijih troškova [1].

## 2.6.4. Strategije upravljanja mikromrežom

Dostupne digitalne tehnologije dopuštaju različite mogućnosti proizvodnje radne i jalove energije. Konačna konfiguracija i upravljanje mikromrežom ovise o potencijalnom sukobu interesa dionika uključenih u opskrbu energijom, a to su mrežni operater, vlasnici distribuiranih izvora energije, regulatorna tijela i potrošači. Znači, optimalno operacijsko planiranje u mikromreži može imati ekonomske, tehničke i ekološke ciljeve [21].



Slika 2.17. Operacijske strategije mikromreže [21]

Postoje četiri operativne strategije, a to su [21]:

- Ekonomska strategija
- tehnička strategija
- ekološka strategija
- kombinirana strategija

U ekonomskoj strategiji, cilj je minimiziranje ukupnih troškova rada neovisno o mogućnostima mreže. Kod ove opcije glavni problem je fizičko ograničenje mreže te sama strategija ovisi o operatorima ili vlasnicima distribuiranih izvora energije [22].

Cilj tehničke strategije je umanjiti gubitke, opterećenja uređaja te naponska odstupanja bez obzira na troškove proizvodnje iz distribuiranih izvora [22].

Neovisno o količini troškova, ekološka strategija za razliku od ekonomske ima za cilj upravljanje distribuiranim izvorima u obliku maksimalnog smanjenja emisija stakleničkih plinova u atmosferu koristeći iste izvore energije [22].

Kombiniranjem opcija rješavaju se višestruki problemi koji zadovoljavaju sve ekonomske, tehničke i ekološke aspekte. Uključuje ekonomske i ekonomske ekvivalente tehničkog i ekološkog, uzimajući pri tome u obzir ograničenja od promjeni napona i opterećenja te ravnotežu energije. Ova opcija služi vlasnicima koji ne žele sudjelovati na tržištu energije nego u potencijalnim tržištima usluga mreži [22].

## **2.7. Problemi kod upravljanja mikromrežom**

Upravlјivost je najvažnije svojstvo mikromreže. Razlika mikromreže naspram distribucijskog sustava je upravo sposobnost upravljanja, pa iz tog razloga nadležna mreža smatra mikromrežu upravljivom i koordiniranom jedinicom. Prednost mikromreže nad zastarjelom mrežom je u učinkovitom gospodarenju energijom. Koordinirano upravljanje velikim brojem distribuiranih izvora može se postići s više različitih tehnika kao što su centralizirani pristup upravljanja i potpuno decentralizirani pristup. Problem upravljanja s ograničenim komunikacijskim tehnologijama i računalnim objektima je u usvajanju decentraliziranih tehnika. Taj problem se povećava s većim brojem distribuiranih izvora [8].

### **2.7.1. Funkcije upravljanja**

Funkcije upravljanja mogu se podijeliti na tri grupe, a to su mrežno sučelje, upravljanje mikromrežom i lokalno upravljanje i zaštita. Srž mrežnog sučelja je u sudjelovanju u tržištu energije, tj. pothvat mikromreže da uvozi i izvozi energiju prema odluci operatora. Upravljanje mikromrežom odnosi se na uključivanje svih funkcija unutar mikromreže koji zahtijevaju suradnju dva ili više sudionika. Neke od funkcija unutar ove razine su sljedeće [8]:

- predviđanje opterećenja i raspoloživih obnovljivih izvora energije
- upravljanje opterećenjem
- raspoloživost resursa
- sekundarna regulacija napona i frekvencije
- sekundarna regulacija djelatne i jalove snage
- sigurnosno praćenje



- crni start

Lokalno upravljanje i zaštita obuhvaćaju ove funkcije [8]:

- funkciju zaštite
- primarnu regulaciju napona i frekvencije
- primarna regulacija djelatne i jalove snage
- raspolaganje kapacitetom za pohranu energije

### **2.7.2. Uloga informacijske i komunikacijske tehnologije**

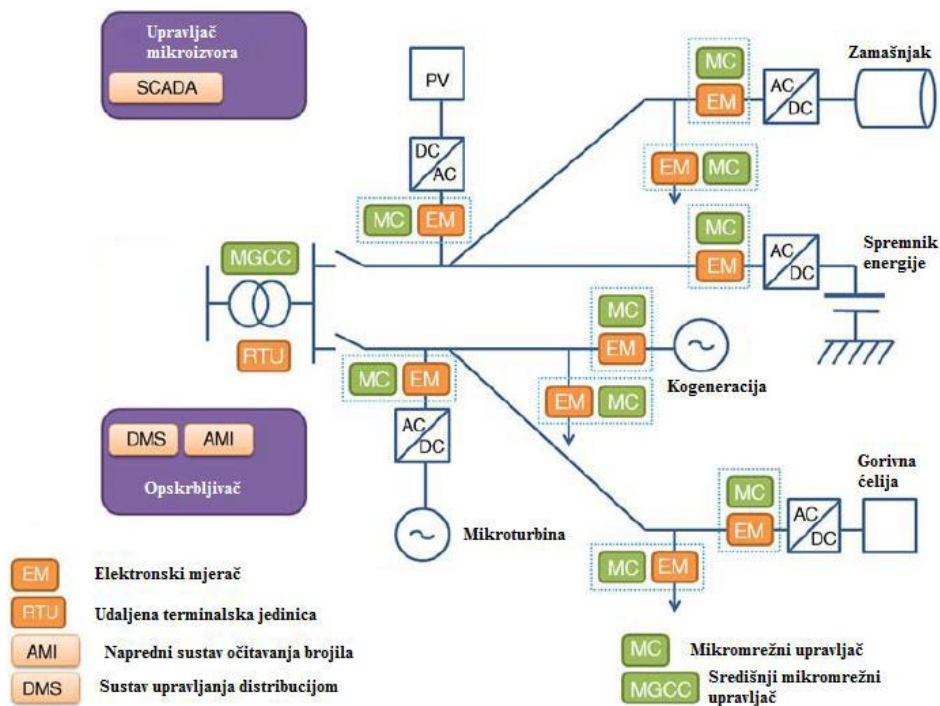
Informacijska i komunikacijska tehnologija (engl. *Information and Communication Technology - ICT*) kritična je komponenta budućih energetske mreže. Buduće energetske mreže, uključujući i mikromreže, moraju biti opremljene naprednim informacijskim i komunikacijskim tehnologijama koje omogućuju kvalitetu i pouzdan rad. Trenutno postoji nekoliko tehnologija koje su korištene te se u budućnosti očekuje da će se takva tehnologija više koristiti. Glavna područja tehnologije su [1]:

- Mikroprocesori - koriste se u velikoj mjeri u mikromrežama pružajući mogućnost razvijanja sofisticiranijih izmjenjivača i razvijanja kontrolera upravljanja opterećenjem. Karakteristika novijih verzija mikroprocesora je da pružaju adekvatnu snagu procesora i komunikacijske sposobnosti po niskoj cijeni.
- Komunikacija - Komunikacijske mreže mogu pružiti dovoljnu propusnost te više usluga korisnicima. U svrhu smanjivanja troška, aktivno upravljanje mikromrežom biti će temeljeno na postojećoj komunikacijskoj infrastrukturi.
- Softver - servisno orijentirana arhitektura orijentirana je na moderan trend u izgradnji informacijskih sustava. Jezgra pristupa leži u internetskim uslugama.
- Internet energija - je primjena tehnologije koja omogućuje izbjegavanje troškova instalacija i održavanje uređaja koji su potrebni za kontrolu opterećenja. Pretpostavlja se da će sljedeća generacija kućanskih aparata imati sučelje za bežično upravljanje putem kućne mreže.

## 2.8. Centralizirano i decentralizirano upravljanje

Na slici 2.18. prikazana je struktura mikromreže koja može biti upravljana na centraliziran ili decentraliziran način. U centraliziranom upravljanju glavnu odgovornost za maksimiziranje vrijednosti mikromreže ima *MGCC*. *MGCC* određuje količinu električne energije koju mikromreža mora uvesti iz distribucijskog sustava više naponske razine koristeći tržišne cijene troškova električne energije i plina te optimizirajući pri tome lokalnu proizvodnju i kapacitet potrošača. To se ostvaruje upravljanjem mikroizvora i upravljivim opterećenjima unutar mikromreže slanjem upravljačkih signala. Ukoliko je profitabilno mogu se isključiti nekritični potrošači, te je nužno pratiti trenutnu djelatnu i jalovu energiju.

U potpuno decentraliziranom pristupu glavnu zadaću ima *MC*. On optimira svoju proizvodnju kako bi opskrbio potražnju i ustupio maksimalnu energiju za izvoz u mrežu vodeći računa o trenutnim tržišnim cijenama. Izbor između centraliziranog i decentraliziranog načina upravljanja ovisi o raspoloživosti energenata, ljudskih resursa i uređaja [23].



Slika 2.18. Tipična struktura mikromreže [23]

### 3. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM

Upravljanje potrošnjom definira se kao skup ciljeva dizajniranih za upravljanje i modificiranje obrazaca zahtjeva različitih potrošača energije [24]. Primjenom ovog upravljanja i modifikacije, sustav opskrbe može u svakom trenu zadovoljiti potražnju na najekonomičniji način. Upravljanje potrošnjom pomiče potražnju za energijom iz razdoblja najveće potražnje na razdoblje manje potražnje. Može se primijeniti na sva opterećenja koja se pojavljuju u energetsom postrojenju uključujući industrijska opterećenja, rashladna opterećenja, grijanja i rasvjetna opterećenja. Ova opterećenja ovise o danu, mjesecu i sezoni. Iz toga slijedi da se opterećenje sustava uvijek mijenja s vremenom i nikada nije konstantno. Tako se elektroprivrede uvijek obaziru na prosječno i maksimalno opterećenje svog sustava [25].

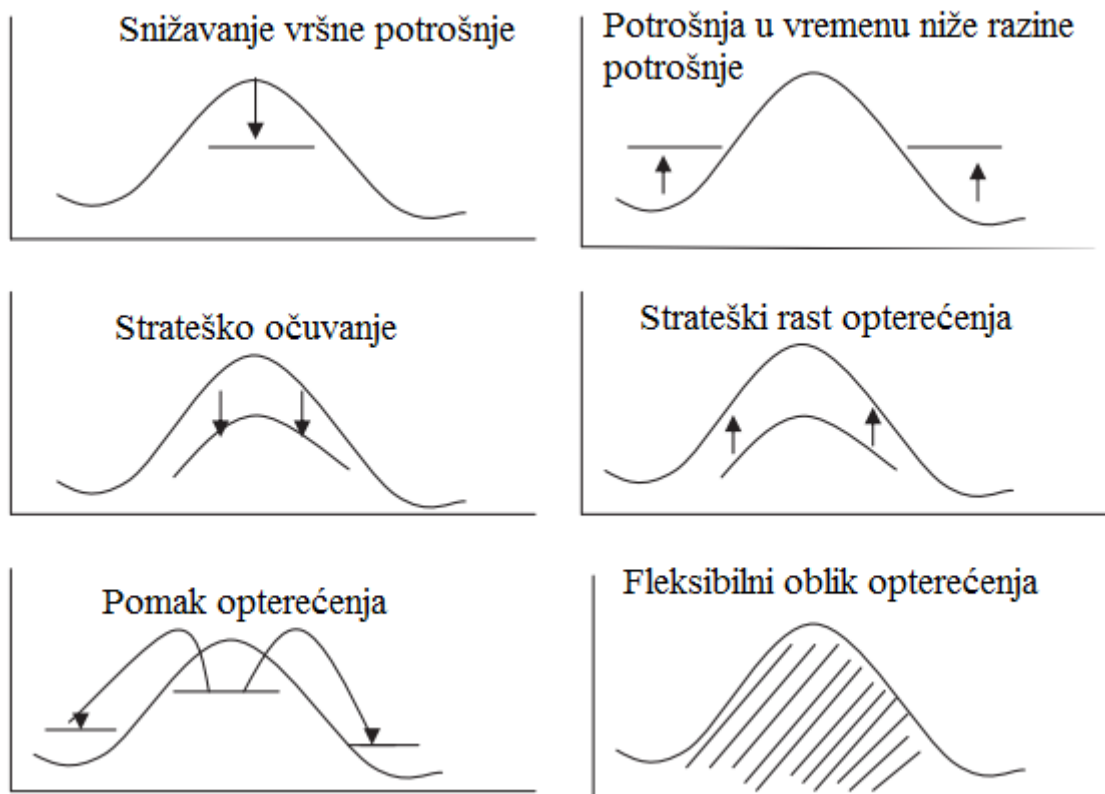
Upravljanje potrošnjom obuhvaća široki raspon mjera koje potiču potrošače da dobrovoljno modificiraju svoju potrošnju bez ugrožavanja kvalitete usluge ili zadovoljstva korisnika. Tarife mogu biti osmišljene kako bi se potaknula promjena potrošnje u razdoblju kada opterećenje sustava nije na vrhuncu [25].

Strategije upravljanja potrošnjom za električnu mrežu mogu biti teže organizirane s potrošačima zbog različitih interesa različitih potrošača i potrebe za sporazumom koji može biti u suprotnosti s interesima dobavljača i potrošača [25].

#### 3.1. Tehnike upravljanja potrošnjom

Oblici opterećenja koji ukazuju na dnevne zahtjeve za električnom energijom industrijskih, komercijalnih ili stambenih potrošača između vrhunca i vremena isključenja mogu se mijenjati pomoću šest tehnika, a to su [26]:

- snižavanje vršne potrošnje (engl. *Peak clipping*) - smanjenje vršne potražnje
- potrošnja u vremenu niže razine potrošnje (engl. *Valley filling*) - povećana potražnja u blizini vršne vrijednosti
- pomak opterećenja (engl. *Load shifting*) - zahtjev pomaka u razdoblje bez vršnog opterećenja
- strateško očuvanje (engl. *Strategic conservation*)
- strateški rast opterećenja (engl. *Strategic load growth*)
- fleksibilni oblik opterećenja (engl. *Flexible load shape*)



Slika 3.1. Tehnike upravljanja potrošnjom [27]

### 3.1.1. Snižavanje vršne potrošnje (engl. *Peak clipping*)

Snižavanje vršne potrošnje znači sniženje opterećenja u vršnim razdobljima kako bi se mogao postići željeni profil opterećenja. Ovim sniženjem opterećenja sa strane potrošača izravno upravlja poduzeće i obično se provodi u vrijeme najveće potrošnje, tj. kada je potrošnja električnih aparata maksimalna. Snižavanje vršne potrošnje se može postići pomoću otklanjanja opterećenja, a to je isključivanje određenih unaprijed dogovorenih električnih opterećenja ili uređaja ako se prilazi određenoj gornjoj granici potražnje električne energije. To se u nekim zemljama postiže ugovornim sporazumima s industrijom kako bi se snizila potrošnja kada je to potrebno tijekom vršnih sati opterećenja ili izravnim upravljanjem potražnje prekidom opskrbe pojedinih uređaja ili opreme u prostorima kupaca u to vrijeme vršnih sati. Ova vrsta upravljanja obično smanjuje potražnju privatnih korisnika. Vrijeme ili tarifa može postići vrhunski isječak u očekivanim satima vršnog opterećenja [25].

### **3.1.2. Potrošnja u vremenu niže potrošnje (engl. *Valley filling*)**

Potrošnja u vremenu niže potrošnje podrazumijeva izgradnju nevršnih opterećenja. To može biti osobito poželjno kada su dugoročni dodatni troškovi manji od prosječne cijene električne energije. To je često slučaj kada postoji nedovoljno iskorišten kapacitet koji može raditi na jeftinom gorivu. Neto učinak predstavlja povećanje ukupne potrošnje energije, ali ne i povećanje vršne potrošnje. Obično se provodi stvaranjem novih električnih opterećenja koja su ranije radila na neelektričnim gorivima, kao što je punjenje električnih automobila preko noći i skladištenje toplinske energije [28].

### **3.1.3. Pomak opterećenja (engl. *Load shifting*)**

Pomak opterećenja uključuje pomicanje opterećenja s vršnog razdoblja u razdoblje bez vršnog opterećenja. Neto učinak je sniženje vršne potrošnje, ali bez promjene ukupne potrošnje energije. To se obično provodi pomoću vremena korištenja i/ili upotrebe uređaja za pohranjivanje koji pomiču vrijeme rada električnih uređaja [28]. Prebacivanje opterećenja kombinira prednosti vršnog podrezivanja i popunjavanja potrošnje pomicanjem postojećih opterećenja sa sati na vrhuncu u vrijeme bez vršnog opterećenja. Može se postići skladištenjem energije i tarifom za vrijeme korištenja [25].

### **3.1.4. Strateško očuvanje (engl. *Strategic conservation*)**

Strateško očuvanje odnosi se na sniženje krajnje potrošnje. Postoje neto snižavanja u vršnoj potražnji i ukupnoj potražnji energije. Obično se to provodi osiguravanjem učinkovitosti krajnje uporabe [28].

### **3.1.5. Strateški rast opterećenja (engl. *Strategic load growth*)**

Strateški rast opterećenja sastoji se od povećanja ukupne prodaje. Neto učinak je povećanje i vršne potražnje i ukupne potrošnje. Obično se provodi povećanjem energetske intenzivnosti i/ili dodatkom novih kupaca [28].

### **3.1.6. Fleksibilni oblik opterećenja (engl. *Flexible load shape*)**

Odnosi se na varijacije u pouzdanosti ili kvaliteti usluge. Umjesto stalnog utjecaja na oblik opterećenja, uslužni program ima mogućnost prekinuti opterećenja kada je to potrebno. Može doći do neto smanjenja vršne potrošnje i malo, ako uopće, do promjene u ukupnoj potrošnji energije. To se obično provodi korištenjem prekidnih i ograničenih mjera [28].

## **3.2. Upravljanje potrošnjom kod pametne mreže**

Potreban je sustav za proizvodnju električne energije bez emisije ugljičnog dioksida, smanjenja tarifa i integracije obnovljivih izvora energije koji mogu komunicirati s krajnjim kupcima, uz povećanje učinkovitosti i pouzdane komunikacije za upravljanje podacima i opterećenjem. Distribucijska proizvodnja, kućni sustavi upravljanja energijom, automatsko prebacivanje i *plug-in* vozila dovode do učinkovite mreže. Glavni je cilj povećati propusnost koristeći pametne tehnike, no ne smije doći do povećanja proizvodnje. U usporedbi s tradicionalnom mrežom, pametna mreža nudi dvosmjerni protok energije, što otvara nove načine za korištenje distribuirane proizvodnje za pojedince na učinkovitiji način. Omogućuje više usluga kao što su punjenje električnih vozila, mogućnost samooporavka, smanjenja tarifa, maksimalnu potrošnju energije i minimiziranje ispuštanja stakleničkih plinova u okoliš [29].

### **3.2.1. Osnovne komponente pametne mreže**

Osnovne komponente pametne mreže su [29]:

- Praćenje i upravljanje - u tradicionalnoj mreži nemaju pouzdanost, otpornost kao ni sposobnost da reagiraju protiv kvara, s ugrađivanjem novih senzora, sposobnošću izmjene strujnog toka u stvarnom vremenu i poboljšane jedinice za mjerenje faza, ubrzava staru mrežu do nove mreže u obliku pametne mreže s integracijom obnovljivih tehnologija, poboljšanim kapacitetom mreže s većom produktivnošću i pouzdanošću.
- Prijenosna jedinica - stanice i podstanice međusobno su povezane, što je glavna komponenta elektroenergetskog sustava. Tradicionalan sustav može postati pametan ako se koriste pametni alati kao što su pametni senzori i neke komunikacijske komponente. Korištenjem tih alata povećava se pouzdanost sustava, zadovoljstvo kupaca te kvaliteta električne energije.

- Informacijska i komunikacijska tehnologija - omogućuje dvosmjernu komunikaciju između korisnika i distribucije. Pouzdanost potrošača i izravna povratna informacija dobavljaču povećavaju potražnju i ponudu u jednakom omjeru. Korištenjem komunikacijskih protokola, topologija i bežične mreže povećava pouzdanost i pristup daljinskom upravljanju.
- Pametna brojila - nude komunikaciju u oba smjera između potrošača i distribucije, kao i protok energije. U slučaju proizvodnje pojedinačne lokalne distribucije, ako se proizvede više električne energije od potrošnje, taj višak se može uvesti u nacionalnu mrežu. To je korisno i za dobavljača energije i za korisnika. Automatska naplata, zapisivanje podataka i mnoge druge poticaje može se iskoristiti.
- Pametno pohranjivanje - igra važnu ulogu za obnovljivu energiju kao što su solarni fotonaponski sustavi, a uređaji za pohranu koji se koriste su baterije, kondenzatori i zamašnjaci. Baterije se češće koriste za dugotrajno skladištenje. Veliki trošak sustava ovisi o skladištenju, jer produljenje vijeka trajanja baterija smanjuje tekuće troškove sustava. Dizajn pohrane pametnih mreža ponudit će različite tehnike za upravljanje obnovljivom energijom i distribucijskom proizvodnjom.

### 3.2.2. Upravljanje energijom u pametnoj mreži

U okruženju pametnih mreža moderni sustavi dinamičkog upravljanja energijom sastoje se od četiri glavna dijela, a to su pametni uređaji za krajnju upotrebu, pametni distribuirani energetske resursi, moderni sustavi kontrole zgrade i integracija napredne komunikacijske infrastrukture za dvosmjerni protok podataka i snaga između korisnika i distribucije [30].

U pametnoj mreži, planiranje potrošnje energije (engl. *Energy consumption scheduling - ECS*) na strani potražnje ima obećavajuće učinke na smanjenje vršnog opterećenja i smanjenja troškova. Ukupni troškovi proizvodnje energije smanjeni su zbog minimalne upotrebe vršnih postrojenja. Korisnici imaju koristi od smanjenja računa za energiju zbog raspoređivanja vršnih opterećenja na vrijeme bez vršnih opterećenja [30].

Razvijene su i napreduju različite tehnologije kako bi se postigli ciljevi pametnih mreža. Takve tehnologije obuhvaćaju različite dijelove mreže. Korištenjem pametnih mreža moguće je bolje upravljanje imovinom i distribuiranom proizvodnjom unutar granica stabilnosti i pouzdanosti [30].

Sve dok je u pitanju distribucija energije, postoje tehnologije za automatizaciju podstanica. Prvi procesi obrađuju operativne i neoperativne podatke koji se primaju i šalju drugima, dok se kasnije bavi upravljanjem naponom i jalovom snagom te poboljšava pouzdanost sustava otkrivanjem kvarova i izoliranjem neispravnih dijelova iz mreže [31]. Tehnologije pametne mreže koje se izravno odnose na krajnje korisnike uključuju pametna brojila, sustav kućnog upravljanja energijom (engl. *Home Energy Management System - HEMS*) i punjače električnih vozila [32]. Potrebna ključna oprema za upravljanje potrošnjom su pametna brojila i *HEMS*.

Tehnologije pametnih mreža povezanih s upravljanjem potrošnjom ubrzano se razvijaju naporima za modernizaciju elektroenergetskih mreža kako bi se u budućnosti moglo nositi s povećanom potražnjom energije. Visoke brzine dvosmjernih komunikacijskih mreža pružaju okvir za nadzor i kontrolu prijenosa, distribucije i sredstava krajnjeg korisnika u stvarnom vremenu za učinkovitu koordinaciju i korištenje raspoloživih energetske resursa.

Integracija kompjuterizirane automatizacije na svim razinama elektroenergetskog sustava, posebno na razini distribucije i potrošača, omogućuje da se pametna mreža brzo samooporavi, a to poboljšava kvalitetu, pouzdanost i stabilnost cjelokupnog sustava [33].

### **3.3. Upravljanje potrošnjom mikromreže**

Kako se mikromreže šire u sljedeću generaciju, udaljavajući se od manjeg, lakšeg upravljanog izgleda u istinske višekorisničke, višestruke korisničke mreže, potrebne su nove strategije upravljanja. Proširenje mikromreže kako bi se obuhvatile cijele četvrti ili čak mali gradovi, donosi brojne izazove [34]:

- Kako se opterećenje mjeri u realnom vremenu i kako se njime upravlja?
- Kako operater sustava zna i kontrolira postojeće i nove distribucijske proizvodnje unutar mikromreže?
- Kojim se opterećenjima može upravljati?
- Koja bi dodatna proizvodnja mogla biti potrebna za postizanje otočnog rada?
- Kako postupiti s viškom proizvodnje?



Opterećenje se mjeri agregirano u realnom vremenu i to uglavnom na izvorima proizvodnje. Povijesni podaci o potražnji i vremenu koriste se za predviđanje satnih i dnevnih varijacija. Podaci u realnom vremenu iz distribuirane proizvodnje i glavne mreže su agregirani kako bi se dobila jasna slika snage koja se isporučuje u mikromrežu zajednice [34].

U mreži većih razmjera, upravljanje potrošnjom je prije svega plan za hitne slučajeve u posljednjem slučaju. Za mikromrežu u zajednici, upravljanje potrošnjom postaje mnogo važnija funkcija jer postoji mnogo manji skup resursa za proizvodnju koji podržavaju otočni rad [34].

Upravljanja opterećenja unutar mikromreže mogu varirati od pojedinačnih kupaca ili grupa kupaca do specifičnih uređaja ili sustava unutar prostorije kupaca. Budući da je cjelokupna namjera mikromreže da osigura bolju pouzdanost električnih usluga za kupca, a da istovremeno poboljša učinkovitost, odabir pojedinačnih upravljanih opterećenja mora se obaviti pažljivo kako bi se osigurala potrebna fleksibilnost sustava uz minimalne neugodnosti za kupca [34].

Upravljanja opterećenja mogu se grupirati kao [34]:

- obavezni - to su opterećenja koja se iz bilo kojeg razloga ne odbacuju, najkritičnija opterećenja unutar mikromreže kao što su ustanove za njegu, bolnice i policijski dispečerski centri
- diskrecijska opterećenja - opterećenja koja se mogu nakratko odbaciti kako bi se smanjila vršna opterećenja ili ih vremenski pomaknuti. Primjeri su *HVAC* oprema, grijanje toplom vodom, filtri za bazene, perilice i sušilice rublja.
- hitno spremište tereta - opterećenja koja se šalju samo u nuždi. Ova opterećenja će se odbaciti samo u hitnim slučajevima kako bi se zaštitila stabilnost mikromreže i spriječilo zamračenje. Primjeri su privatni korisnici i komercijalni objekti s povratnom proizvodnjom.

### **3.3.1. Upravljanje potrošnjom u paralelnom radu**

Kada je mikromreža u radu paralelno s mrežom, distribuirana proizvodnja na mreži često je manja od ukupnog opterećenja mikromreže. To je posljedica ekonomičnosti proizvodnje energije ili održavanja jednog ili više generatora. Sustav upravljanja potrošnjom mora kontinuirano utvrđivati kakva je ravnoteža opterećenja/proizvodnje, a što je važnije, koja se opterećenja mogu kratkoročno odbaciti kako bi se održala stabilnost dok se dodatna proizvodnja ne poveže *online* u otočnom radu. Da bi se to postiglo, sustav za upravljanje potrošnjom mora

stalno analizirati ukupni kapacitet trenutačno aktivne proizvodnje i opterećenje mikromreže te imati unaprijed određeno rješenje za smanjenje opterećenja spremno za implementaciju ako se izgubi mrežni priključak. Ovo rješenje smanjenja opterećenja neprestano će se mijenjati ovisno o količini opterećenja koje treba provesti te o opterećenju koja su trenutno aktivna. Da bi sustav upravljanja potrošnjom mogao učinkovito kontrolirati opterećenje, potrebno je provjeriti prisutnost ili odsutnost tog opterećenja i količine opterećenja [34].

Kod velikih promjenjivih opterećenja, kao što je veliki centralni rashladni uređaj za klimatizaciju, može se mjeriti stvarno opterećenje, a podaci se prenose u realnom vremenu na sustav upravljanja potrošnjom. Međutim u mikromreži u zajednici postoje manja opterećenja koja se pojedinačno ili u agregatu mogu odvojiti kako bi se održala stabilnost sustava [34].

Kontrolni sustav za upravljanje potrošnjom održavat će kontinuirani zbroj svih diskrecijskih opterećenja i kontinuirano će ažurirati popis dostupnih opterećenja za rasipanje, ako je potrebno te će održavati popis opterećenja koja bi se mogla odbaciti zbog nepredviđenih gubitaka. Popis će se ažurirati kako se sustav uključuje i isključuje te će prikazati stvarno opterećenje u realnom vremenu [34].

### **3.3.2. Upravljanje potrošnjom mikromreže u otočnom radu**

Kada god mikromreža radi u otočnom načinu rada, sustav upravljanja potrošnjom kontinuirano će ažurirati odabir aktivnih diskrecijskih opterećenja koja će se odbaciti u slučaju da je potrebno, kako bi se održala ravnoteža opterećenja/proizvodnje. Predodabrani popis nepredviđenih okolnosti održavat će se i stalno ažurirati za jednu ili više nepredviđenih okolnosti, ovisno o broju resursa distribucijske proizvodnje, te njihov kapacitet u tom trenutku. Izračunat će se i omogućiti dostatan kapacitet za smanjenje opterećenja koji će se trenutačno osloboditi za održavanje ravnoteže opterećenja/proizvodnje u slučaju neplaniranog gubitka jednog ili više generatora [34].

U slučaju produženog nedostatka proizvodnih kapaciteta, sustav upravljanja potrošnjom će ciklusirati opterećenja ograničavanjem dodatnih diskrecijskih opterećenja i obnavljanjem prethodno odbačenih opterećenja. Takvo što će se nastaviti na stalnoj osnovi kako bi se osiguralo da sva opterećenja imaju snagu, čak i ako mora postojati ograničenje ukupnog kapaciteta sustava. Ovo je po konceptu slično zamračivanju. Omogućiti će da se bitne funkcije kao što su grijanje vode i prostora odvija u ograničenoj osnovi čak i tijekom rasterećenja opterećenja, čime se maksimizira ukupna pouzdanost mikromreže pod optimalnim uvjetima [34].

Upravljanje potrošnjom, a posebno rasterećenje se mora provesti u vrlo kratkom vremenskom razdoblju. Kada je potrebno da se smanji opterećenje zbog neplaniranog poremećaja u sustavu, djelovanje se mora odvijati u 3 ciklusa. Ako se balans opterećenja/proizvodnje ne obnovi unutar tog vremena, frekvencija i napon sustava će se smanjiti i na kraju će rezultirati potpunim gubitkom snage u mikromreži [34].

Komunikacijska mreža koja se koristi za mjerenje opterećenja i upravljanje potrošnjom mora biti pažljivo analizirana kako bi se osiguralo da vrijeme prijenosa podataka u obilasku nije pod utjecajem drugog mrežnog prometa [34].

Sustav za upravljanje potrošnjom mora biti smješten na namjenskom računalu kako bi se povećala brzina rada, a pomoćna računala bi trebala biti konfigurirana za pouzdanost. Da bi se osiguralo praćenje funkcionalnosti računala treba se koristiti čuvar vremena (engl. *Watchdog timer*) [34].

Povezivanje svih tih podataka i tehnologije kontrole zahtijevat će fleksibilan, no vrlo pouzdan i siguran komunikacijski sustav. Sustav mora biti dovoljno fleksibilan da bi se omogućilo lako povezivanje s masovno proizvedenim potrošačkim aparatima i opremom, ali i da se spriječe *cyber*-napadi koji bi mogli onemogućiti mikromreže u zajednici [34].

## **4. ALGORITAM UPRAVLJANJA POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZGRADI FERIT**

U posljednjim desetljećima značajno je naglašena energetska učinkovitost i proizvodnja energije iz obnovljivih izvora kako bi došlo do smanjenja ugljičnog otiska [35]. Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora karakterizirana je razvojem velikih vjetroturbina i fotonaponskih parkova te širok raspon distribuiranih izvora fotonapona na krovovima i mikro kogeneracijama na domaćoj razini [36].

Distribuirana proizvodnja koja se nalazi na mjestu potrošnje ima mnogo prednosti za mrežu, a to su zanemarivi gubici distribucije, povećana pouzdanost proizvodnje te manja potreba za kapacitetom prijenosne i distribucijske mreže. Budući da potražnja raste brže od novih proizvodnih i prijenosnih kapaciteta, potrebne su alternative. Neke se elektrane koriste samo u kratkim razdobljima vršne snage za proizvodnju relativno skupe energije. Kako bi se izbjegli takvi scenariji i izbjegla velika ulaganja u nove kapacitete, razmatra se sniženje potražnje za vršnom energijom kroz različite aspekte pametne mreže [37]. Iako postoje mnoga objašnjenja o tome što su zapravo pametne mreže, većina se slaže da je riječ o moderniziranoj električnoj mreži koja primjenjuje informacijsku i podatkovnu tehnologiju za praćenje i kontrolu proizvodnje, distribucije, pohranu i potrošnju energije kako bi se osigurala poboljšana učinkovitost, ekonomija, sigurnost i pouzdanost [38].

Budući da je potrošnja energije u zgradama oko 40% u svijetu, postoji ogroman potencijal u primjeni upravljanja potražnjom u ovom sektoru. Klimatizacija uvelike pridonosi potrošnji, osobito ljeti, a budući da je to upravljivo opterećenje, vrlo je pogodno za različite pristupe u upravljanju opterećenjem [39].

### **4.1. Opis i eksperimentalni postupci mjerenja**

#### **4.1.1. Opis područja mjerenja**

U cilju istraživanja mogućnosti balansiranja potrošnje u realnom vremenu FERIT-a, provedena su mjerenja proizvodnje fotonaponske elektrane od 10 kW, mjerenja potrošnje klimatizacijskog sustava te mjerenja ukupne potrošnje električne energije [40].

Fotonaponska elektrana instalirana je 2014. godine kao 10 kW sustav smješten na krovu FERIT-a. Sustav se sastoji od 40 fotonaponskih modula snage 250 W spojenih na dva niza.

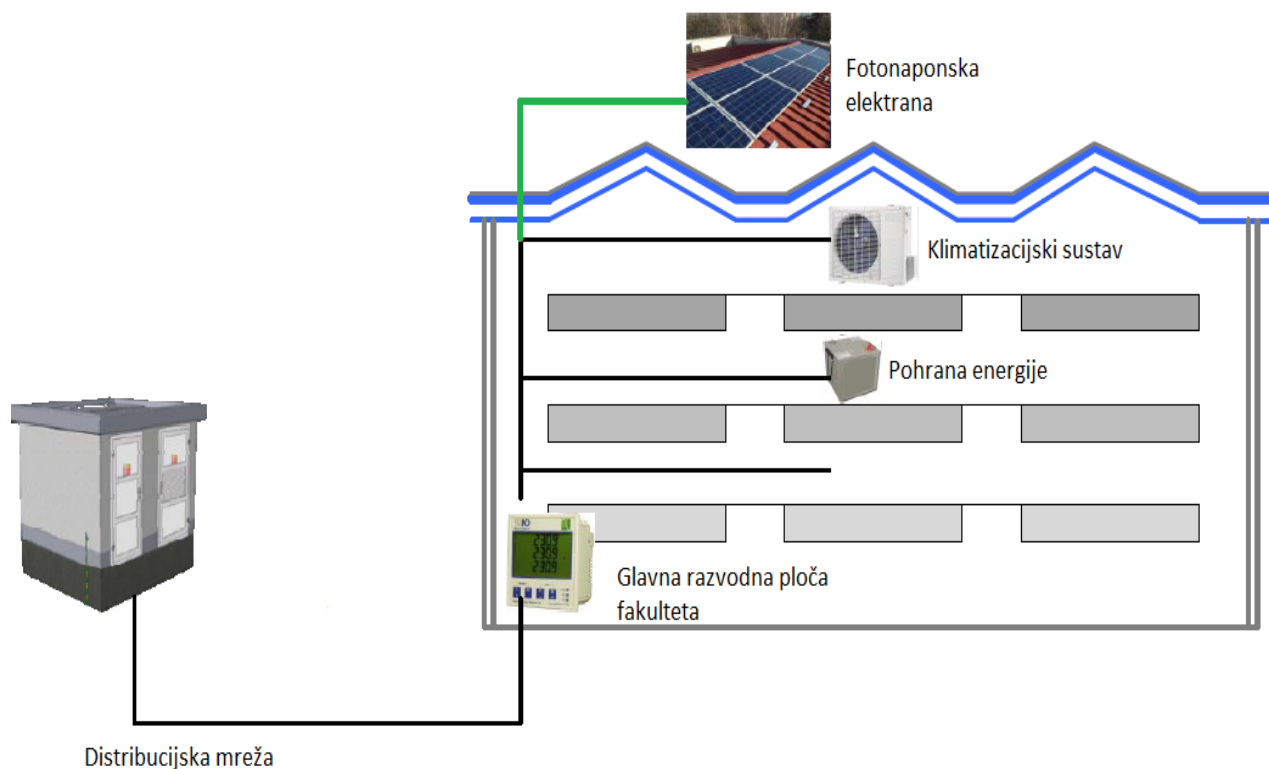
Nizovi su spojeni na pretvarač, a pretvarač je zatim spojen na električnu instalaciju fakulteta [40].



Slika 4.1. Fotonaponski moduli na krovu FERIT-a

Ukupna potrošnja električne energije FERIT-a ima uobičajen ritam. Tijekom vikenda, potrošnja je niža te je opterećenje uglavnom ispod 20 kW, a tijekom radnih dana vršna snaga može prelaziti čak 80 kW. Jedan od ciljeva balansiranja ponude i potražnje je postizanje nižih vršnih vrijednosti, jer prema tarifnom modelu električne energije, osim potrošne energije, fakultet plaća i dodatnu naknadu po kW vršne snage [40].

Dio ukupne potrošnje električne energije, koji će se koristiti za upravljanje potrošnjom, sastoji se od 5 klima uređaja Toshiba RAV-SM1401AT-E, svaki s nazivnom snagom od 4,87 kW. Klima uređaji su spojeni na središnju upravljačku jedinicu, a klimatizacijski sustav je ugrađen u glavnu predavaonicu pošto je najveća i najkorištenija [40].

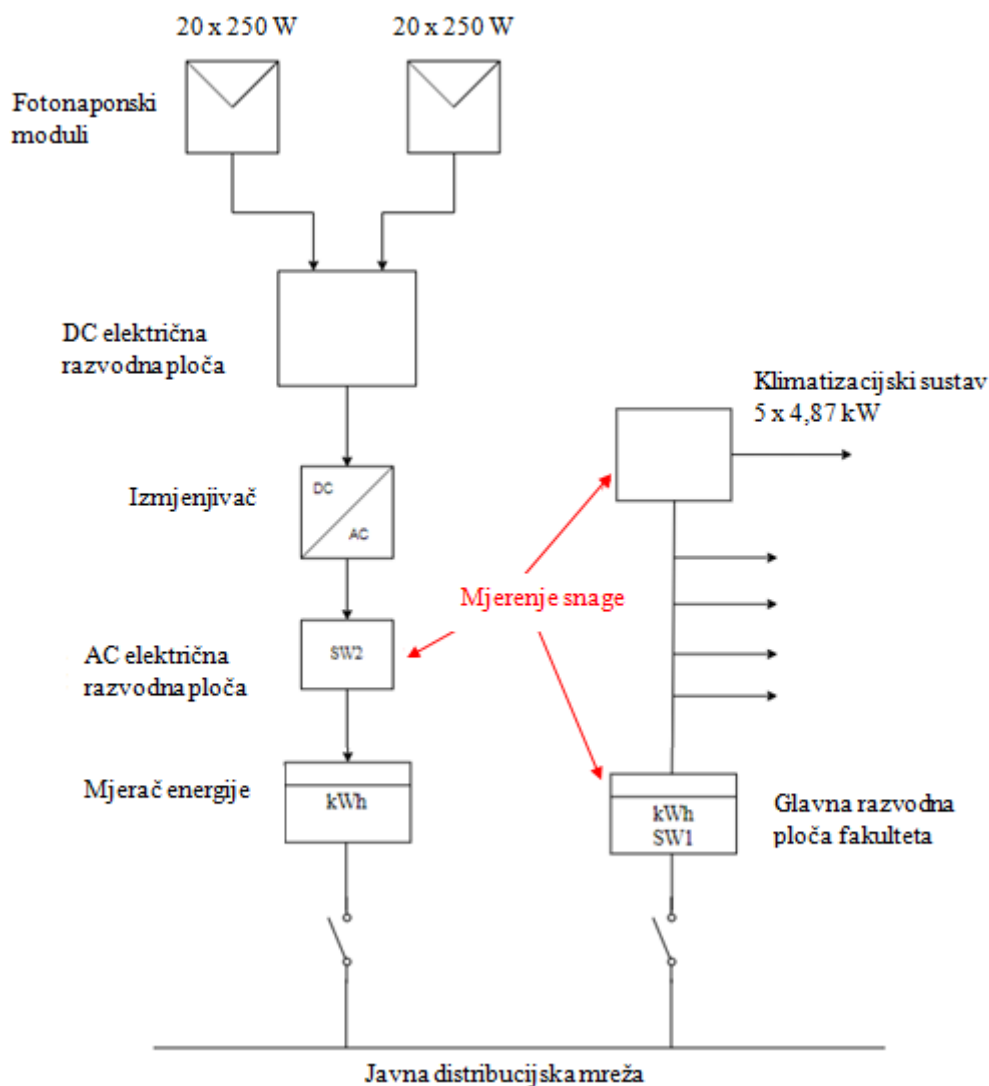


Slika 4.2. Zgrada FERIT-a

#### 4.1.2. Postupci mjerenja

Mjerenja su provedena na tri lokacije FERIT-a. Potrošnja električne energije fakulteta izmjerena je na glavnoj razvodnoj ploči fakulteta SW1, proizvodnja električne energije fotonaponskim modulima izmjerena je na električnoj razvodnoj ploči SW2, a potrošnja električne energije klimatizacijskog sustava mjerena je u instalacijskom ormaru [40].

Mjerenja su trajala tri tjedna. Za mjerenja su korišteni mrežni analizatori klase točnosti A (IEC 61000-4-30) s pripadajućom programskom podrškom. Kao rezultat, analizatori su osigurali usrednjenu efektivnu vrijednost u vremenu od 10 minuta. Na slici 4.3. vide se lokacije na kojima su izvedena mjerenja.



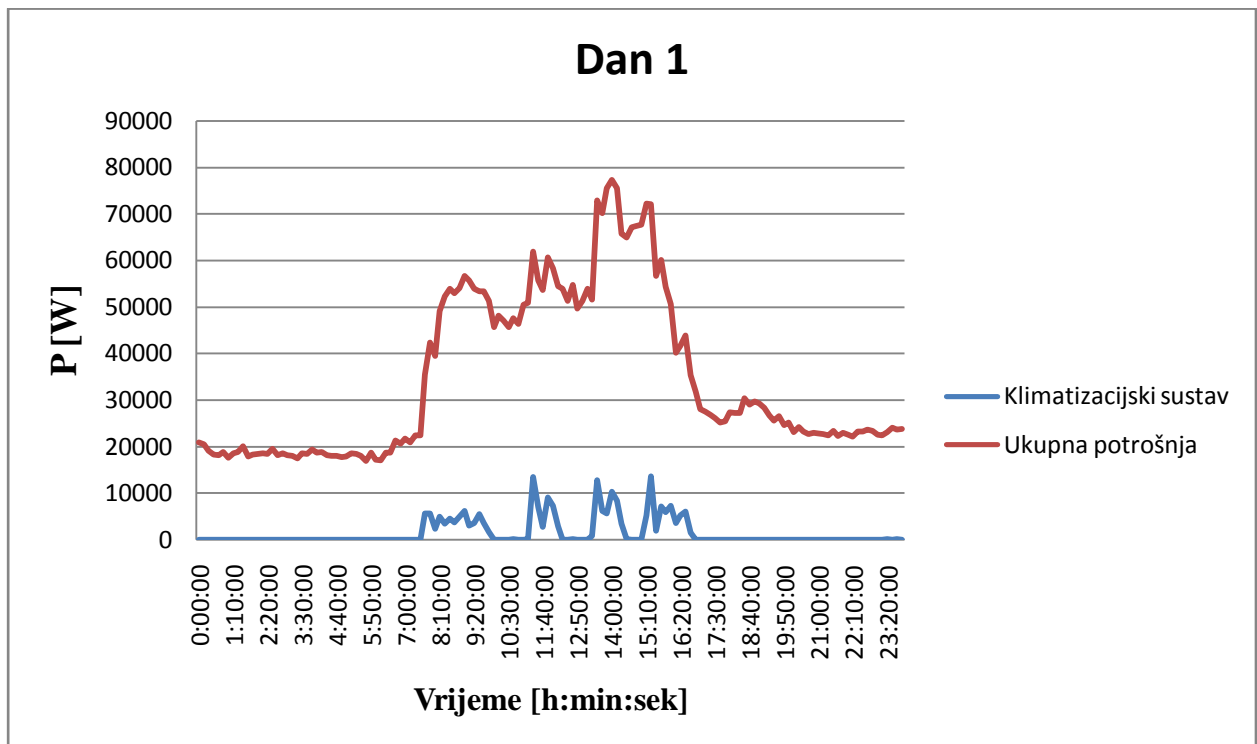
Slika 4.3. Lokacije provedenih mjerenja na FERIT-u [40]

## 4.2. Analiza izvedenih mjerenja

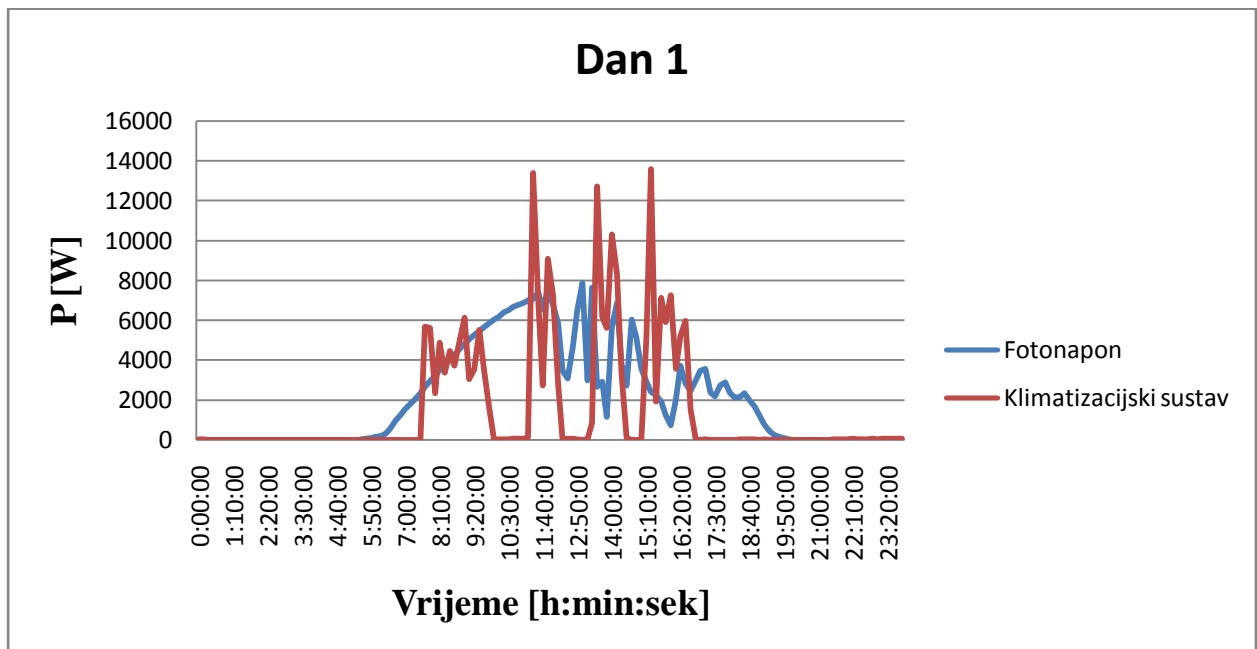
Krajem svibnja i početkom lipnja, u vremenu od tri tjedna, koliko je trajalo mjerenje, uzete su deset minutne vrijednosti ukupne potrošnje zgrade FERIT-a i potrošnje klimatizacijskog sustava za šest dana. Prvi i drugi dan su radni dani odabrani iz prvog tjedna, treći i četvrti dan su radni dani iz drugog tjedna, a peti i šesti dan su radni dani iz zadnjeg, tj. trećeg tjedna mjerenja. Tijekom mjerenja također su uzete i deset minutne vrijednosti potrošnje električne energije klimatizacijskog sustava i proizvodnja električne energije fotonaponske elektrane za iste karakteristične dane.

Prvi dan je bio oblačan i to pogotovo nakon podneva. Drugi i treći dan su bili sunčani, četvrti je dan uglavnom bio sunčan s kratkim naoblakama, a peti i šesti dan su bili sunčani tijekom cijelog dana.

#### 4.2.1. Prvi tjedan mjerenja

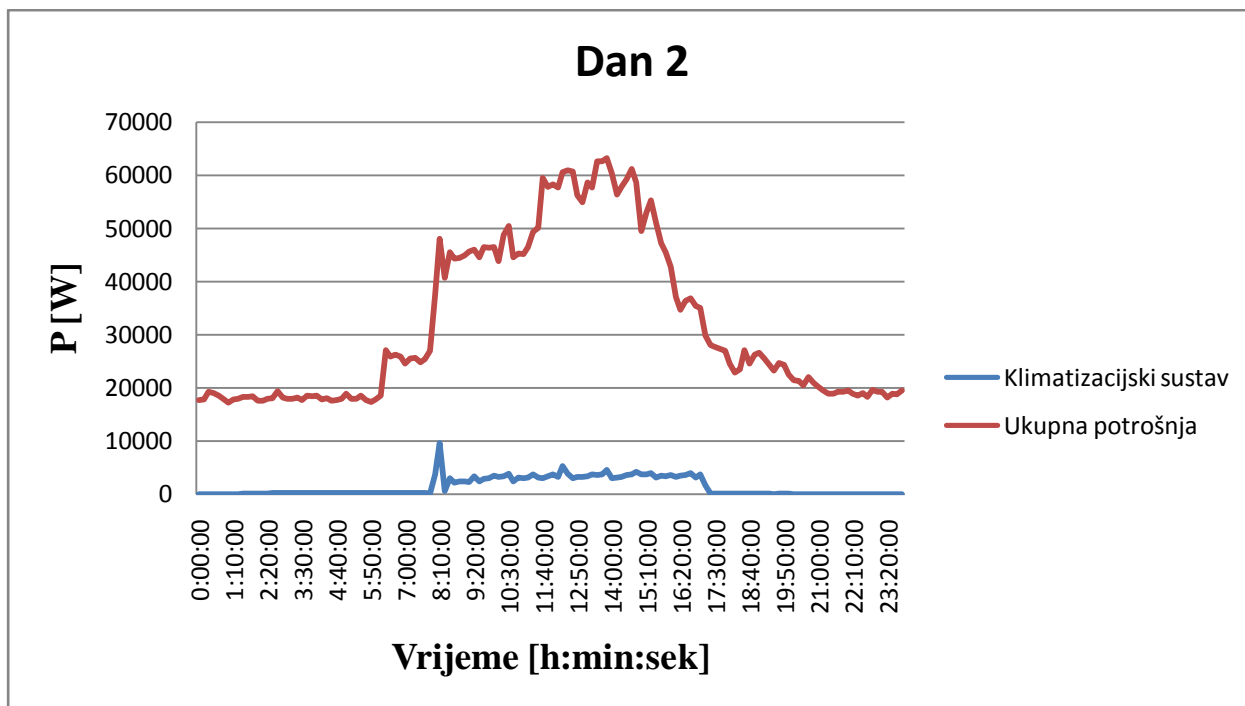


Slika 4.4. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava prvog dana

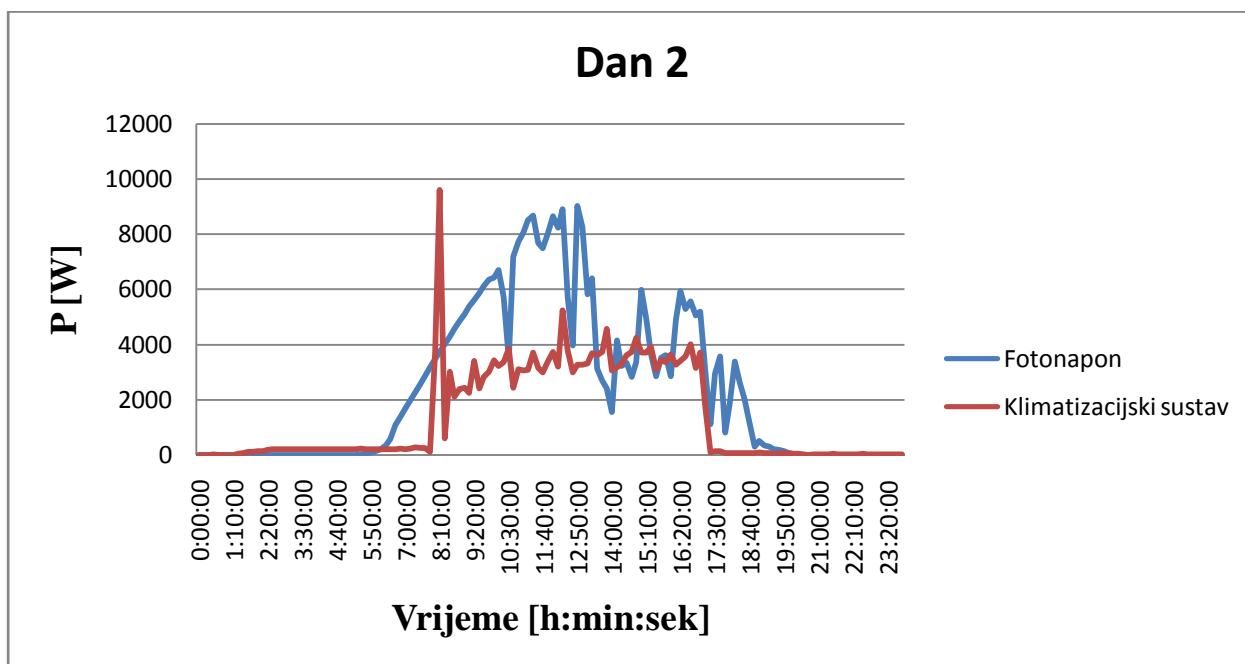


Slika 4.5. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane prvog dana



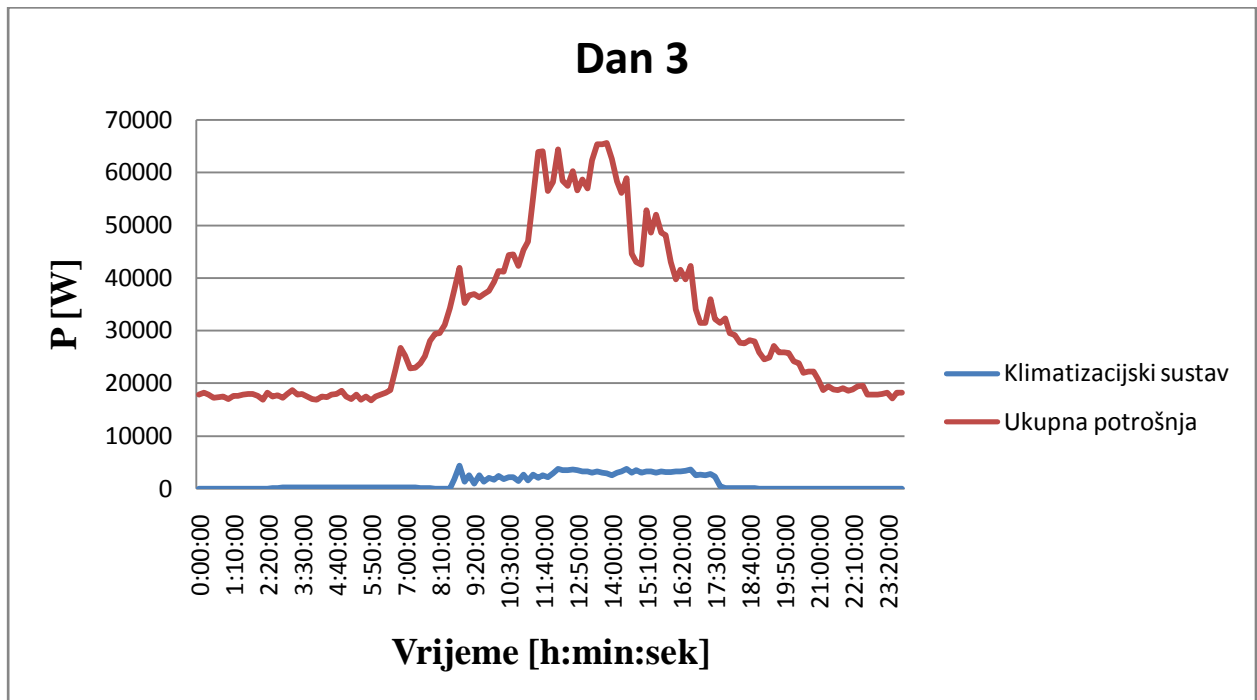


Slika 4.6. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava drugog dana

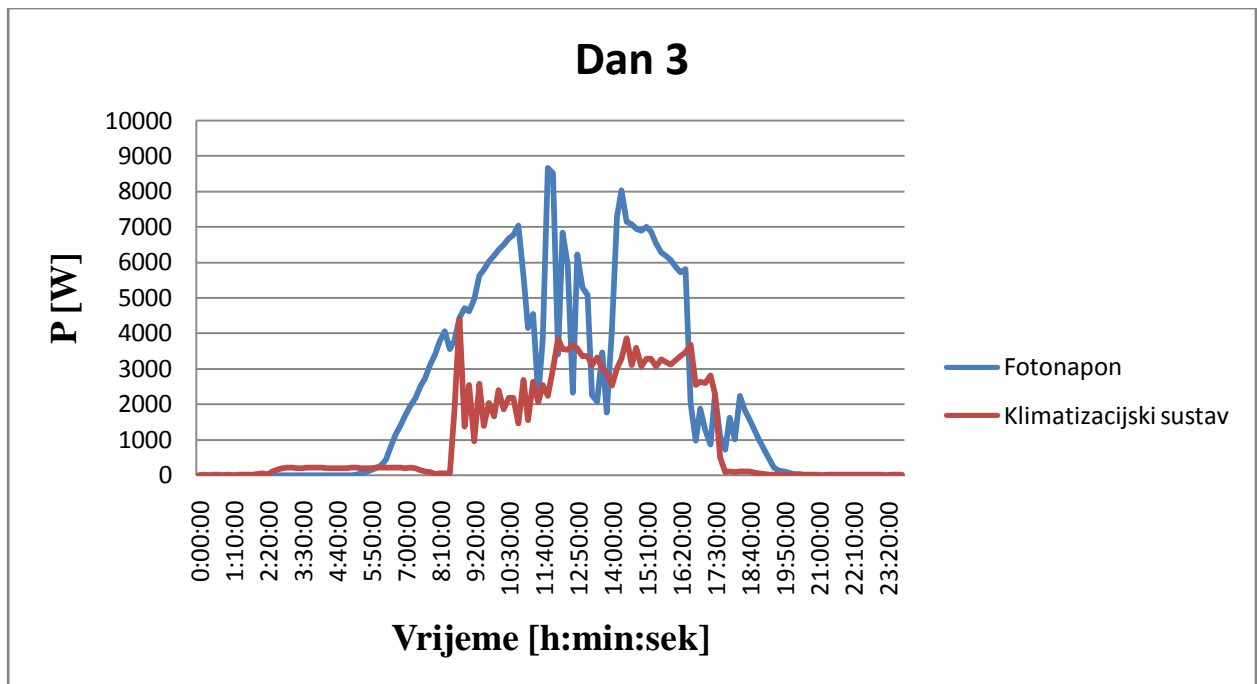


Slika 4.7. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane drugog dana

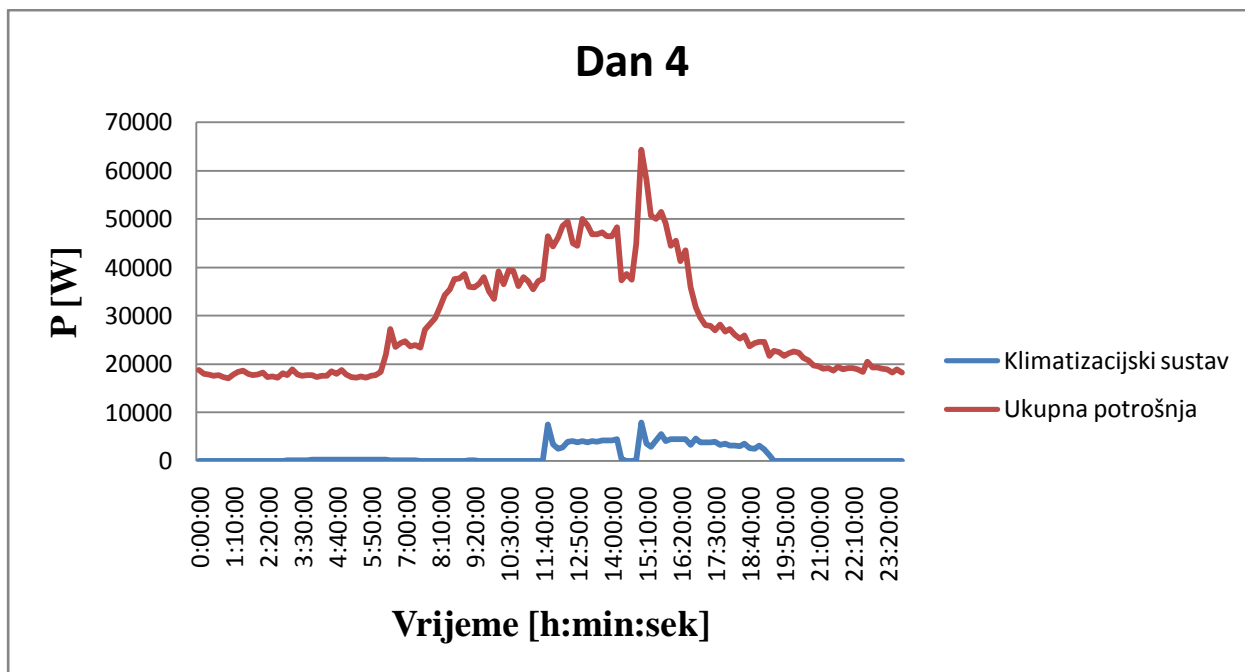
#### 4.2.2. Drugi tjedan mjerenja



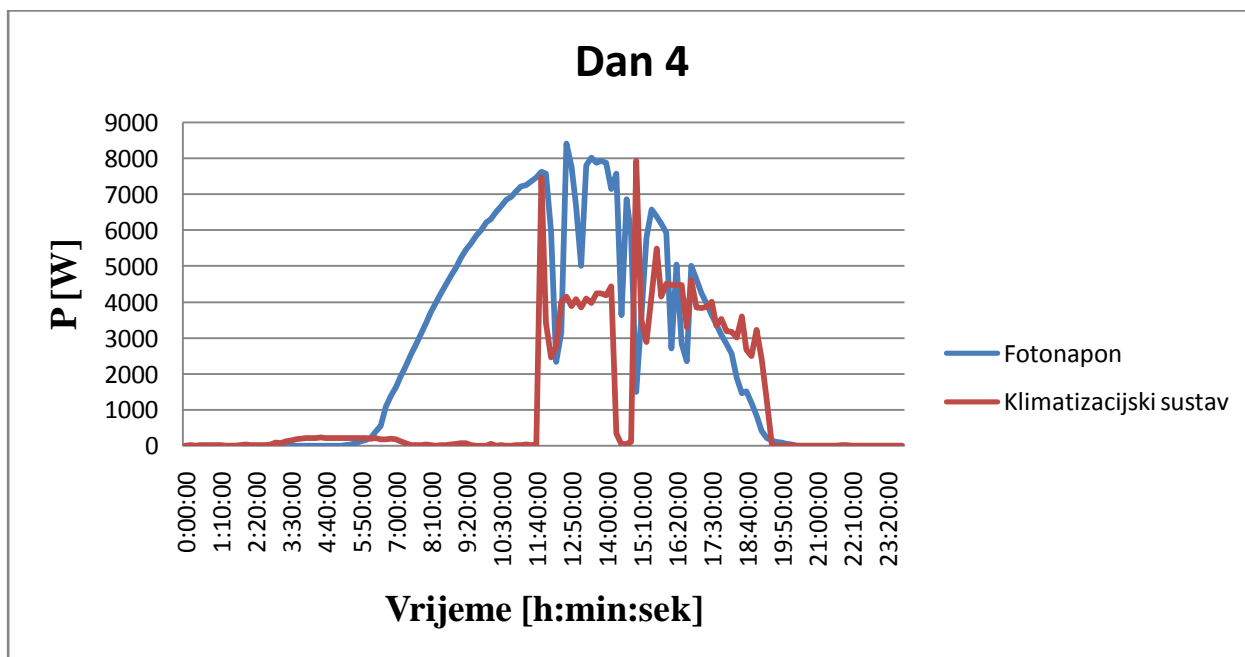
Slika 4.8. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava trećeg dana



Slika 4.9. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane trećeg dana

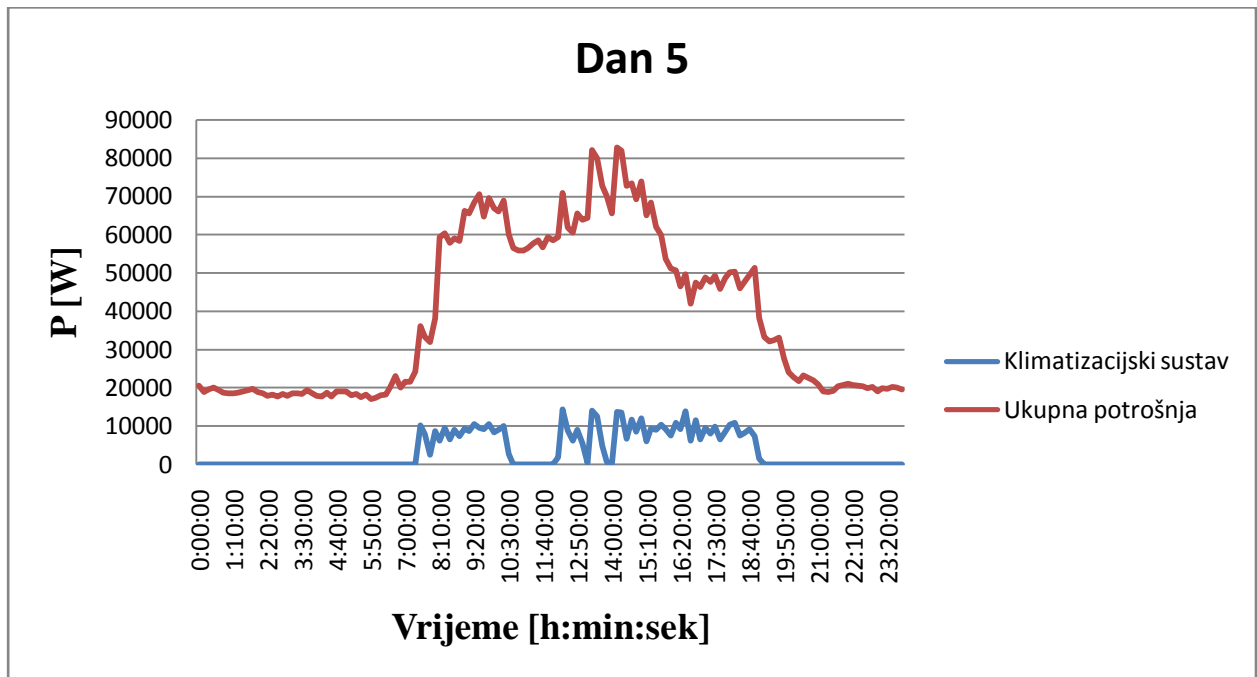


Slika 4.10. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava četvrtog dana

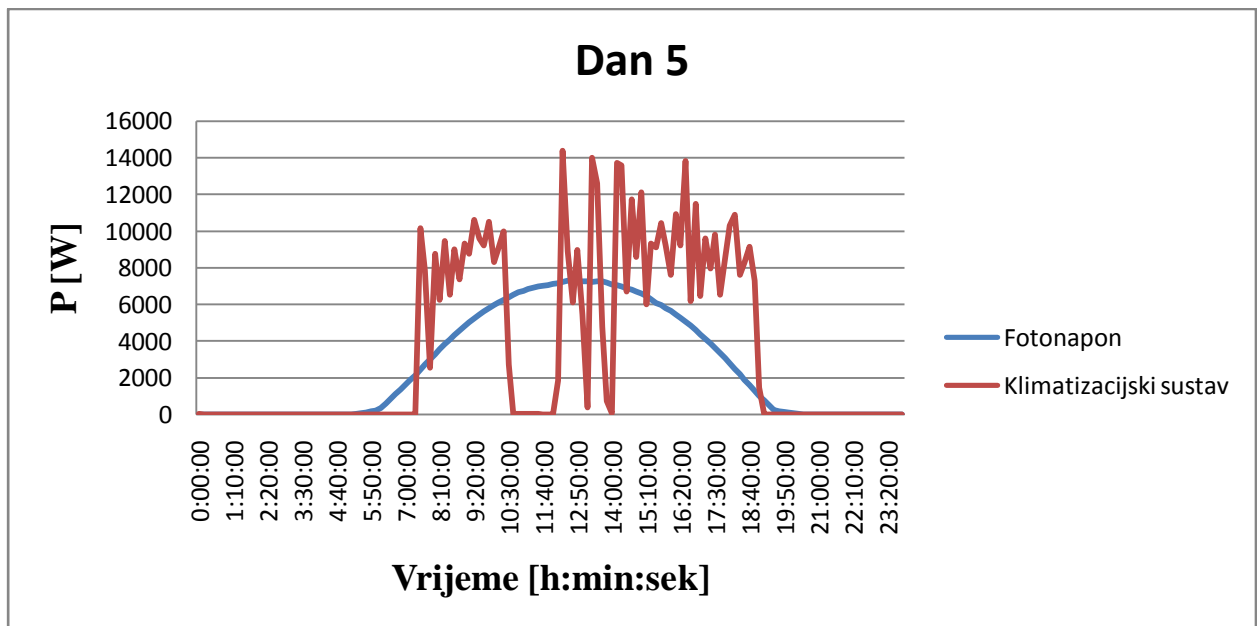


Slika 4.11. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane četvrtog dana

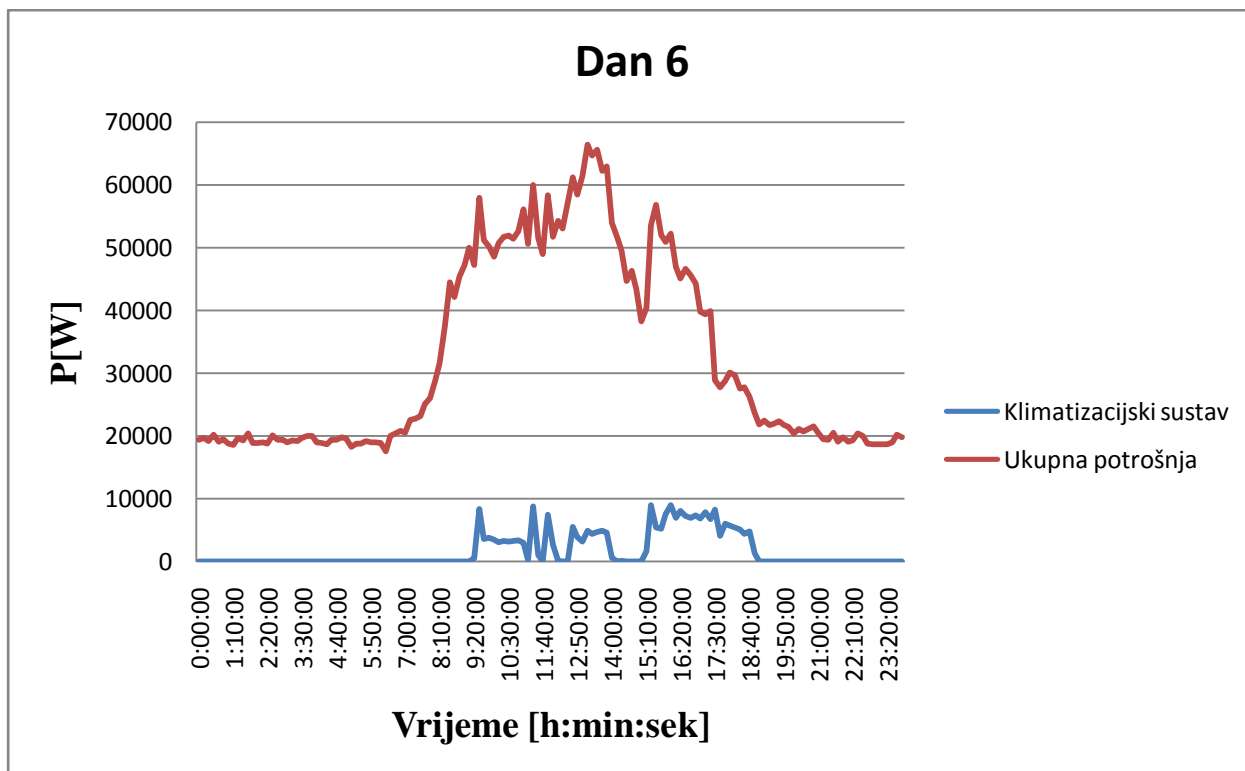
### 4.2.3. Treći tjedan mjerenja



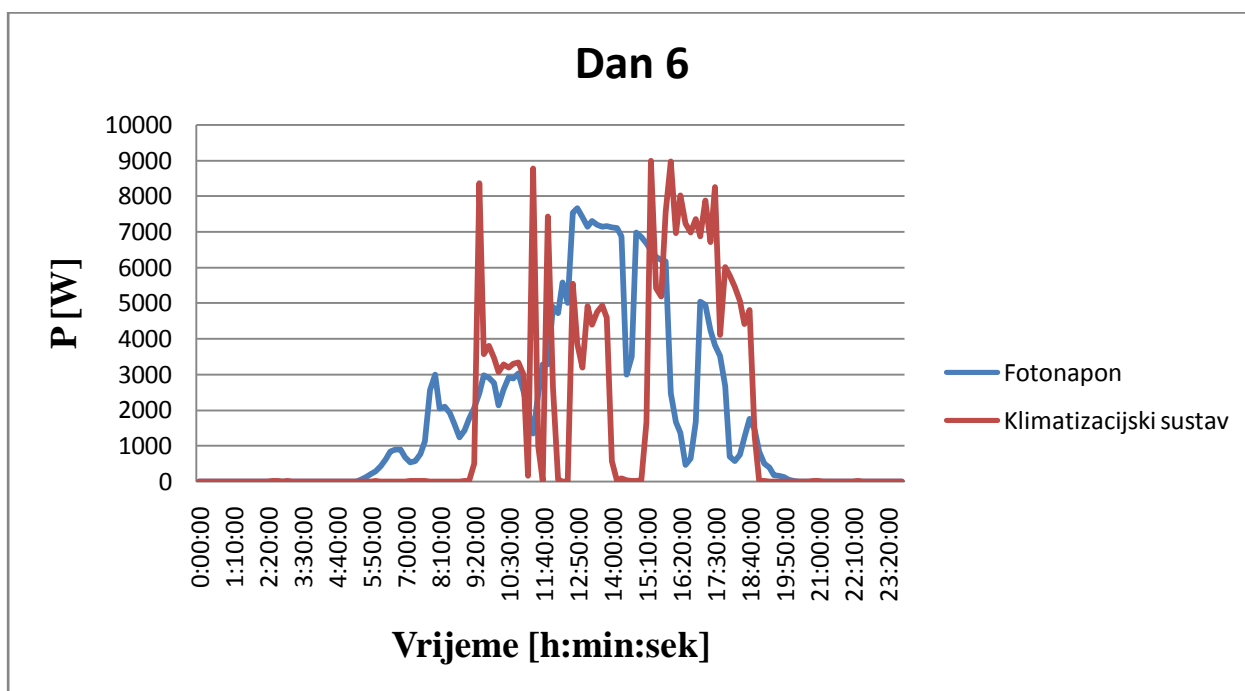
Slika 4.12. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava petog dana



Slika 4.13. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane petog dana



Slika 4.14. Ukupna potrošnja električne energije zgrade i klimatizacijskog sustava šestog dana



Slika 4.15. Potrošnja klimatizacijskog sustava i proizvodnja fotonaponske elektrane šestog dana

#### 4.2.4. Ukupni rezultati

Dan 1:

- Temeljno opterećenje: 20 kW
- Maksimalno opterećenje: 77 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 13,58 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 7,78 kW

Dan 2:

- Temeljno opterećenje: 17,74 kW
- Maksimalno opterećenje: 62,53 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 9,6 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 9 kW

Dan 3:

- Temeljno opterećenje: 17,8 kW
- Maksimalno opterećenje: 65,45 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 4,4 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 8,67 kW

Dan 4:

- Temeljno opterećenje: 18,8 kW
- Maksimalno opterećenje: 64,22 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 7,92 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 8,4 kW

Dan 5:

- Temeljno opterećenje: 18,5 kW
- Maksimalno opterećenje: 82,73 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 14,39 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 7,28 kW

Dan 6:

- Temeljno opterećenje: 19 kW
- Maksimalno opterećenje: 66,44 kW
- Maksimalna snaga klime uređaja: 8,99 kW
- Maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane: 7,67 kW

Kao što se može vidjeti iz dobivenih rezultata i grafova, osnovno opterećenje iznosi oko 18 kW i to tijekom noći, dok maksimalno opterećenje zgrade iznosi oko 85 kW. Maksimalna potrošnja električne energije klime uređaja za odabrane dane je 14,39 kW i to se vidi sa slike 4.13., dok se na slici 4.7. može vidjeti maksimalna izlazna snaga fotonaponske elektrane u iznosu od 9 kW za Dan 2. Iz dobivenog se vidi da maksimalno opterećenje zgrade najviše ovisi o klimatizacijskom sustavu, a potrošnja električne energije klima uređaja ovisi o dnevnim aktivnostima glavne predavaonice te i o temperaturi okolnog zraka.

Korelacija između izlazne snage fotonaponske elektrane i sunčevog zračenja je vrlo jaka. Dobivenim mjerenjima vidi se da čak i kratka pojava prolaznih oblaka može uzrokovati nagle propade izlazne snage fotonaponske elektrane.

Tablica 1. Prosječna snaga i ukupna energija fotonaponske elektrane i klimatizacijskog sustava za određene dane u intervalu od 5:30h do 21h.

Dan	Proizvodnja fotonaponske elektrane		Potrošnja klimatizacijskog sustava	
	$P_{AV} (kW)$	$W_{TOT} (kWh)$	$P_{AV} (kW)$	$W_{TOT} (kWh)$
Dan 1	3,35	50,22	2,29	34,4
Dan 2	3,77	56,49	2,16	32,44
Dan 3	3,55	53,77	1,71	25,93
Dan 4	4,03	61,12	1,83	27,68
Dan 5	4,18	64,78	5,46	84,74
Dan 6	2,9	43,5	2,63	39,5

### 4.3. Algoritam upravljanja potrošnjom

Osnovna ideja upravljanja opterećenjem u zgradi FERIT-a je smanjenje potrošnje energije, tj. balans opskrbe energijom u realnom vremenu koristeći upravljanje opterećenjem u

kombinaciji s obnovljivim izvorima energije kako bi se smanjili mjesečni troškovi za maksimalnu angažiranu snagu. U ljetnom razdoblju, značajan dio vršne potražnje FERIT-a uzrokovan je klimatizacijskim sustavom, te postoji i dobro podudaranje razdoblja maksimalne proizvodnje fotonaponske elektrane i razdoblja maksimalne potrošnje električne energije iz klimatizacijskog sustava. Glavni problem fotonaponske elektrane je njena promjenjivost u proizvodnji električne energije s iznenadnim i nepredvidivim porastima i padovima [40].

Algoritam upravljanja potrošnjom pretpostavlja koordinirano upravljanje klimatizacijskim sustavom u ovisnosti o proizvodnji električne energije fotonaponske elektrane te sniženje vršne potražnje FERIT-a [40].

Prema tablici 1. da se zaključiti da u određenim danima proizvodnja električne energije fotonaponskom elektranom premašuje potrošnju klimatizacijskog sustava, dok je kod nekih dana proizvodnja električne energije fotonaponskom elektranom manja od potrošnje energije klimatizacijskog sustava.

Ako su instalirani dodatni fotonaponski moduli kako bi se nadoknadio spomenuti manjak energije, problem varijacije proizvodnje električne energije iz fotonaponske elektrane ostaje neriješen, te se u tome slučaju predlaže instalacija uređaja za skladištenje energije koji će pružiti dodatnu fleksibilnost kod upravljanja opterećenjem FERIT-a [40].

Kao što je već prije spomenuto, fotonaponska elektrana spojena je izravno na električnu instalaciju zgrade FERIT-a, kako bi se djelomično pokrila potrošnja električne energije klimatizacijskog sustava. Zatim slijedi ugradnja pametnog brojila za klimatizacijski sustav, upravljačka jedinica klimatizacijskog sustava, središnju upravljačku jedinicu te uređaj za pohranu energije. Nakon ugradnje slijedi uspostavljanje komunikacije između fotonaponske elektrane, klimatizacijskog sustava, uređaja za pohranu energije i središnje upravljačke jedinice [40].

Na slici 4.16. vidi se algoritam za upravljanje potrošnjom zgrade FERIT. Korišteni simboli su:

$P_{PV}$  - izlazna snaga fotonaponske elektrane

$P_{AS}$  - potrošena snaga klimatizacijskog sustava

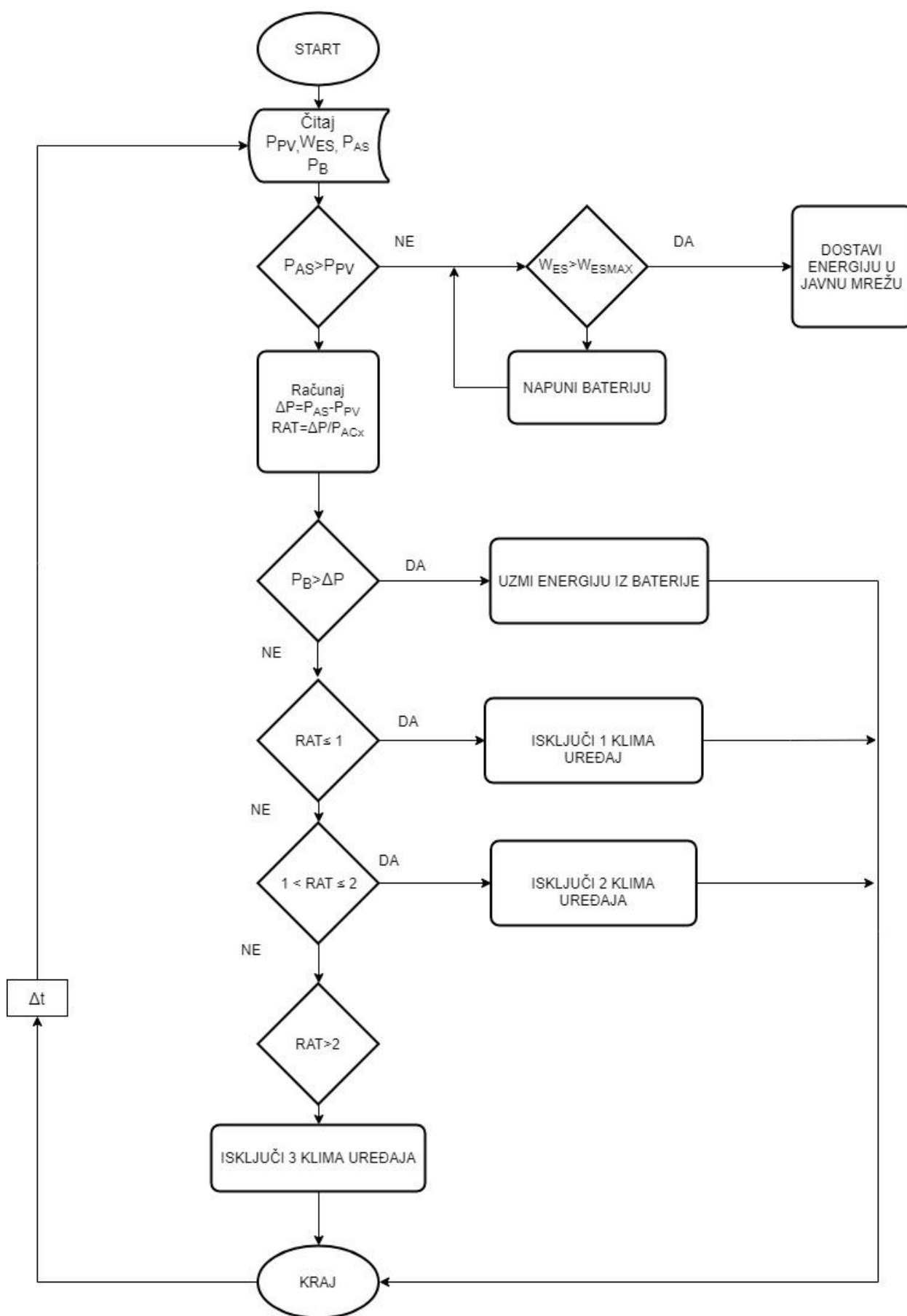
$W_{ES}$  - količina energije pohranjene u bateriji

$W_{ESMAX}$  - maksimalan kapacitet baterije

$P_{ACx}$  - nazivna snaga jednog klima uređaja (naš slučaj 4.87 kW)

$P_B$  - snaga baterije (10 kW)





Slika 4.16. Blok dijagram algoritma za pametno upravljanje potrošnjom

Za početak potrebno je inicijalizirati ulazne podatke ( $P_{PV}, P_{AS}, W_{ES}, P_B$ ) iz pametnih brojala. Zatim se provjerava stanje  $P_{AS} > P_{PV}$ . U slučaju da je izlazna snaga iz fotonaponske elektrane veća od potrošene snage klimatizacijskog sustava ( $P_{PV} > P_{AS}$ ), tada se puni uređaj za pohranu energije. Ako je uređaj za pohranu energije već pun, višak energije se dovodi u javnu mrežu, a ako je  $P_{AS} > P_{PV}$ , tada se računa razlika ( $\Delta P$ ) između  $P_{AS}$  i  $P_{PV}$  te omjer  $RAT$ . Taj omjer  $RAT$  predstavlja broj klima uređaja koji se moraju isključiti, a on se računa kao [40]:

$$RAT = \Delta P / P_{ACx} \quad (1)$$

Moguća su tri ishoda što se tiče omjera  $RAT$ -a, a to su [40]:

- ako je  $RAT \leq 1$ , isključi 1 klima uređaj;
- ako  $1 < RAT \leq 2$ , isključi 2 klima uređaja;
- ako je  $RAT > 2$ , isključi 3 klima uređaja.

Kako bi se znalo da li je uopće potrebno isključivati uređaje provjerava se uvjet  $P_B > \Delta P$ , ako je uvjet ispunjen uređaji se ne isključuju, tj. koristi se energija iz baterije, a u slučaju da nije ispunjen gleda se  $RAT$  kako bi se znalo koliko je potrebno klima uređaja isključiti. Opisani postupak ponavlja se nakon vremenskog intervala  $\Delta t$  te je potrebno dodatno istražiti duljinu vremenskog koraka. Kao spremnik energije koristi se baterija DALI PW01-10. To je  $LiFePO_4$  tip baterije. Kapacitet skladištenja energije je 200 Ah, snaga baterije iznosi 10 kW, a napon baterije je 51,2 V.

$LiFePO_4$  je vrsta litij-ionske baterije koja se može puniti i prazniti velikim brzinama u usporedbi s drugim tipovima baterija. To je punjiva baterija koja se sastoji od  $LiFePO_4$  kao njen katodni materijal, pa otuda dolazi i naziv. Ove baterije imaju nekoliko značajnih karakteristika, a to uključuje [41]:

- bolju gustoću snage
- nisku brzinu pražnjenja
- ravnu krivulju pražnjenja
- manje zagrijavanja
- veći broj ciklusa punjenja
- povećanu sigurnost

## 5. ZAKLJUČAK

Kada se pogleda tehnologija uključena u implementaciju upravljanja potražnjom, vidi se da se neće baš svaki sustav pokazati korisnim za svaki dom. Elektroprivreda mora smisliti neke načine kako bi motivirali potrošače da implementiraju željeni sustav, tj upravljanje na strani potražnje proces je davanja i uzimanja. Iz toga razloga će se elektroprivreda žrtvovati smanjenjem cijena ili beskamatnim financiranjem specifičnih tehnologija dok će potrošači istraživati dostupne mogućnosti te promijeniti način svojih života kako bi se smanjila potrošnja energije. Za analiziranje svojih potreba pojedinci moraju znati odabrati ispravnu tehnologiju ili sustav koji će im najbolje pomoći u postizanju željenih ciljeva, a elektroprivrede koriste tehnike opskrbe kao bi postigle svoje ciljeve opterećenja. Električna energija pomaže pri hrani, zagrijavanju, hlađenju, prenošenju, zabavljanju pa čak i liječenju. Ušteda jednog kilovat-sata znači više od jednog zarađenog kilovat-sata. Pametna mreža je inovacija tradicionalne električne mreže koja želi riješiti njene glavne nedostatke. Na njeno pojavljivanje utječu različiti čimbenici. Jedna od glavnih primjena pametne mreže je odgovor na potražnju, tj. shema koja se koristi za efikasno upravljanje potrošnjom energije u mreži radi postizanja različitih ciljeva. Međutim kako bi sve to učinkovito djelovalo i kako bi se donijele dobre odluke, pametna mreža mora imati informacije. Mali i pametni energetske sustavi u stalnom su razvoju kako bi se integrirali obnovljivi izvori, mikrogeneratori i mali sustavi za skladištenje energije. Takvi se energetske sustavi nazivaju hibridnim energetske sustavima ili mikromrežama. Mikromreža je proširenje glavne mreže koja omogućuje proizvodnju na licu mjesta sposobna da zadovolji svoje potrebe za lokalnim opterećenjem. Glavnoj mreži potrebno je dodati arhitekturu mikromreže kako bi se povećala pouzdanost, poboljšala kvaliteta električne energije, smanjila emisija stakleničkih plinova itd. U ovom radu predložen je algoritam za ravnotežu potražnje i stvarne potrošnje električne energije klimatizacijskog sustava korištenjem proizvodnje fotonaponske elektrane. Klimatizacijski sustav i fotonaponska elektrana nalaze se u zgradi FERIT-a, a algoritam se temelji na stvarnim rezultatima mjerenja. Glavni cilj predloženog upravljanja opterećenjem je u fotonaponskoj elektrani. Fotonaponska elektrana pokriva vršno opterećenje koje proizlazi iz klimatizacijskog sustava uz uvjet da se zadrži minimalna razina udobnosti korisnika klimatizacijskog sustava.

## LITERATURA

- [1] N., Hatziargyriou: *Microgrid : Architectures and control*, John Wiley and Sons Ltd, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2014.
- [2] N., Hatziargyriou, H., Asano, R., Iravani, C., Marnay: *Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Development and Demonstration Projects. IEEE Power and Energy, Vol. 5, Nr. 4*, 2007.
- [3] HEP: Operator distribucijskog sustava d.o.o  
[https://www.ieee.hr/\\_download/repository/Cavlovic\\_Izazovi\\_optimiranja\\_utjecaja\\_obnovljivih\\_i\\_zvora\\_na\\_distribucijsku\\_mrezu.pdf](https://www.ieee.hr/_download/repository/Cavlovic_Izazovi_optimiranja_utjecaja_obnovljivih_i_zvora_na_distribucijsku_mrezu.pdf) (Pristupio lipanj, 2019.)
- [4] E.L. Karfopoulos, : *Introducing electric vehicles in the microgrids concept. 16th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems, Hersonissos, Heraklion, Greece*, 2011.
- [5] American Clean Skies Foundation1, 2010.-2015., dostupno na:  
<http://www.cleanskies.org/infographics/microgrid/> ( lipanj, 2019.)
- [6] mr. sc. M., Živić Đurović, prof.dr.sc. D., Škrlec, B., Kezele,: *Primjenjivost mikromreža u distribucijskoj mreži HEP ODS-a, Cired*, 2010.
- [7] H., Pandžić: *Distribuirana proizvodnja*, dostupno na:  
[https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/07\\_Distribuirana\\_proizvodnja\\_2018.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/07_Distribuirana_proizvodnja_2018.pdf)  
(Pristupio lipanj, 2019.)
- [8] A., Mehrizi-Sani: *Control strategies for the next generation of microgrids*, 2011.
- [9] *Voltage Control of Distribution Grids with Multi-Microgrids Using Reactive Power Management*, [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76399/36-acee\\_2015\\_1\\_12.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76399/36-acee_2015_1_12.pdf)  
(lipanj, 2019.)
- [10] Q., Fu, A., Nasiri, A., Solanki, A., Bani-Ahmed, L., Weber, V., Bhavaraju: *Microgrids: Architectures, Controls, Protection, and Demonstration*, Taylor & Francis, 2015.
- [11] HD Baker & Company : <https://www.hdbaker.com/article/what-are-the-components-of-a-microgrid-> (Pristupio lipanj, 2019.)
- [12] B., Kroposki, R., Lasseter, T., Ise, S., Morozumi, S., Papathanassiou, N., Hatziargyriou: *Making microgrids work*, IEEE, 2008.
- [13] K., Sabah Nimma, M., D. A. Al-Falahi., H., Duc Nguyen, S. D. G. Jayasinghe, T. S., Mahmoud, M., Negnevitsky: *Grey Wolf Optimization-Based Optimum Energy-Management and Battery-Sizing Method for Grid-Connected Microgrids*, 2018.

- [14] X., Liu, B., Su: Microgrids - An Integration of Renewable Energy Technologies, IEEE, 2008.
- [15] J., Zhao, C., Wang, B., Zhao, F., Lin, Zhou, Q., Wang, Y., "A review of active management for distribution networks: Current status and future development trends," Electr. Power Compon., 2014.
- [16] Wind power engineering, dostupno na: <https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/how-three-battery-types-work-in-grid-scale-energy-storage-systems/> (Pristupio lipanj, 2019.)
- [17] German Alibaba, dostupno na: <https://german.alibaba.com/product-detail/maxwell-3000f-2-7v-super-capacitor-battery-with-screw-terminal-super-capacitor-power-bank-60453110185.html> (Pristupio lipanj, 2019.)
- [18] ELP, dostupno na: <https://www.elp.com/articles/2016/11/flywheel-energy-storage-device-to-be-installed-near-paris.html> (Pristupio lipanj, 2019.)
- [19] Swenson, S. Don, Swenson,: HVAC: heating, ventilating, and air conditioning. Homewood, Illinois: American Technical Publishers, 1995.
- [20] J., Tošić: KDI, dostupno na: [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/KDI-JosipTosic.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI-JosipTosic.pdf) (Pristupio lipanj, 2019.)
- [21] Ngoc An Luu: Control and management strategies for a microgrid, 2014.
- [22] N., Hatziargyriou: More microgrids: "Advanced Architectures and Control Concepts for More microgrids", ICCS, 2009.
- [23] H., Bevrani , B., Francois, T., Ise: Microgrid Dynamics and Control, John Wiley & Sons, Inc, 2017.
- [24] Z. J., Paracha, P., Doulai: Load Management Techniques and Methods in Electric Power System, Energy Management and Power Delivery, 1998.
- [25] Basel Moustafa Qasem Abdul-Haq: Energy Conversation and Load management Analysis in Nabulas Electrical Network, 2010.
- [26] E., Hamid, P., Nallagownden, N., B Mohd Nor, M., A L Muthuvalu: Intelligent Demand Side Management Technique for Industrial Consumer, IEEE, 2014.
- [27] M.N.Q., Macedo, J.J.M.GaloL, .A.L., de Almeida, A.C., de C. Lima: Demand side management using artificial neural networks in a smart grid environment, 2014.
- [28] Power systems loss: Load profile shapes ,dostupno na: <https://powersystemsloss.blogspot.com/2012/02/load-profile-shape-objectives-for.html> (Pristupio lipanj, 2019.)
- [29] S., Rauf, S., Rasool, M., Rizwan, M., Yousaf, N., Khan : Domestic electrical load management using smart grid, 2016.

- [30] C. W., Gellings: The smart grid: enabling energy efficiency and demand response, The Famintos Press Inc., 2009
- [31] R., Brown, "Impact of Smart Grid on distribution system design," in Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE , pp.1-4, 20-24 July , 2008.
- [32] C., Hochgraf, R., Tripathi and S., Herzberg: "Smart Grid Charger for Electric Vehicles Using Existing Cellular Networks and SMS Text Messages," in First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm) , 2010.
- [33] Y. Xiang, Q. Zhenxing, Z. Yang, W. You and Y. Mingming.: "Discussion on the development trend of smart grid and its key technology," in Electricity Distribution (CICED), 2012 China International Conference on , pp.1,8, 10-14 Sept. , 2012.
- [34] B., Moran : Microgrid Load Management and Control Strategies, IEEE, 2016.
- [35] T. J., Lui, W., Stirling, H. O., Marcy: Get Smart, IEEE Power & Energy Magazine 8(3), 66-78, 2010.
- [36] A., Moldernik, V., Bakker, M. G. C., Bosman, J. L., Hunrik, G. J. M., Smit: Domestic Energy Management Methodology for Optimizing Efficiency in Smart Grids." In Proceedings of 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference, 1-7., 2009.
- [37] M. C., Vlot, J. D., Knigge, J. G. HaSlootweg: "Economical Regulation Power through Load Shifting with Smart Energy Appliances." IEEE Transactions on Smart Grid (4) 3: 1705-12., 2013.
- [38] A., Carvallo, J., Cooper: The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability. Norwood: Artech House., 2011.
- [39] World Business Council for Sustainable Development: Transforming the Market Energy Efficiency in the Buildings. Technical report., 2009.
- [40] Z., Klaić, D., Šljivac, K., Fekete, Z., Kraus: Load management scheme using air conditioning electric power consumption and photovoltaic power system generation, Power system Department, Osijek, Hrvatska, 2014.
- [41] Techopedia: Lithium iron phosphate battery, dostupno na:  
<https://www.techopedia.com/definition/30835/lithium-iron-phosphate-battery-lfp-battery>  
(Pristupio: rujan, 2019.)

## SAŽETAK

Svrha i glavni cilj ovog diplomskog rada najprije objasniti pojmove upravljanja potrošnjom, pametne mreže i mikromreže, zatim navesti gdje se koriste, zašto se koriste te navesti njihove prednosti i nedostatke. Nakon općenitog dijela o upravljanju potrošnjom, pametnim mrežama i mikromrežama slijedi glavna razrada rada. Najprije je rečeno što su to mikromreže, koje se njene komponente te razliku između mikromreže i virtualne elektrane. Nakon saznanja pojma mikromreže i njenih komponenti slijedi upravljanje mikromrežom te njene operacijske strategije. Tu će biti rečeno o zadacima komponenti te o problemima kod upravljanja mikromrežom. Nakon toga dolazi upravljanje potrošnjom, gdje se najprije definira pojam, a zatim se navode tehnike upravljanja potrošnjom te njihovo značenje. Nakon pojma i tehnika dolazi se do upravljanja mikromrežom u paralelnom i otočnom radu. U posljednjem poglavlju govori se o proračunu potrošnje klime uređaja i fotonaponske elektrane u sklopu FERIT-a. Tu će biti izvršena mjerenja, rezultati mjerenja biti će popraćeni dijagramima i tablicama, te će se spomenuti i korišteni algoritam.

### KLJUČNE RIJEČI:

Upravljanje potrošnjom, pametna mreža, mikromreža, paralelni rad mikromreže, otočni rad mikromreže, algoritam upravljanja potrošnjom

## **ABSTRACT**

The purpose and main objective of this work is first to explain the concepts of load management, smart grids and microgrids, then state where are used, why are they used and list their advantages and disadvantages. The general section on load management, smart grids and microgrids is followed by a major elaboration of the work. First it is said what are microgrids, what are its components and the difference between the microgrids and the virtual power plant. After learning about the concepts of a microgrid and its components, then follows the microgrids management and its operating strategies. Here will be discussed about the task of the components and the problems with microgrid management. After that comes load management, where the term is first defined and then the meaning of the management techniques are outlined. Following the term and techniques, it is possible to manage the microgrid in parallel and island way of work. Last chapter discusses the calculation of the load management of air conditioners and photovoltaic power plants within FERIT building. Measurements will be made, measurements results will be accompanied by diagrams and tables, and the used algorithm will be mentioned.

## **KEYWORDS:**

Load management, smart grid, microgrid, parallel work of microgrid, island work of microgrid, load management algorithm



## **ŽIVOTOPIS**

Matija Skelo rođen je 19. rujna 1995. godine u Zagrebu. Završio je osnovnu školu Zvonimira Franka u Kutini, nakon čega je upisao Tehničku školu Kutina. Maturirao je 2014. godine i upisao preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu Osijek, koji danas nosi naziv Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Nakon završetka preddiplomskog studija, 2017. godine upisuje diplomski studij DEA.