

Mikromreža na lokaciji poslovne zgrade JP Elektroprivrede HZ HB u Tomislavgradu

Marin Bakula, Mile Medžgorac, Nikolina Čorluka

Organizacijska jedinica Razvoj

JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar
Mostar, BiH

marin.bakula@ephzhb.ba, mile.medugorac@ephzhb.ba, nikolina.corluka@ephzhb.ba

Sažetak - U radu će biti predstavljen koncept mikromreže koja je implementirana na lokaciji poslovne zgrade JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne, OJ Proizvodnja, u Tomislavgradu. Mikromreža se sastoji od fotonaponske elektrane, baterijskog sustava s autonomnim pretvaračem i potrošača (zgrada). Kroz navedeni pilot projekt utvrditi će se potencijal korištenja mikromreže sa spremnicima energije i obnovljivim izvorima, u kombinaciji s naprednim upravljanjem potrošnjom energije u objektu i koordinaciji s pametnim mrežama.

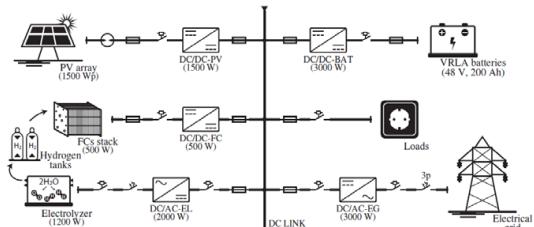
Ključne riječi - mikromreža; pametna zgrada; pametna mreža;
(key words)

I. UVOD

Posljednjih godina elektroenergetske mreže, kao i cijeli elektroenergetski sustav, doživljavaju korjenite promjene. Implementacijom i razvojem suvremenih tehnologija, elektroenergetske mreže, u prvom redu mreže srednjeg i niskog napona, postaju napredne mreže (engl. *smart grids*). Razvoj mernih i komunikacijskih tehnologija omogućuje široku primjenu naprednih brojila (engl. *smart meter*) koja su temelj koncepta naprednih mreža. Implementacijom distribuiranih izvora, razvojem tržišta električne energije, primjenom baterijskih sustava za pohranu i injekciju električne energije te električnih vozila, distribucijske mreže postaju tehnički sve složeniji sustavi. Istovremeno se želi postići energetski učinkovitiji sustav s boljom koordinacijom i upravljanjem potrošnjom uz zadržavanje visokog stupnja pouzdanosti distribucijskog sustava.

Implementacijom distribuiranih izvora i spremnika električne energije u distribucijskim mrežama stvaraju se novi koncepti koji se nazivaju mikromreže. Mikromreža se može definirati kao skup trošila, distribuirane proizvodnje i spremnika energije upravljanih na koordiniran način s ciljem pouzdane razmjene energije sa ostatom sustava preko jednog priključnog mjesta (engl. *Point of Common Coupling (PCC)*) [1]. Mikromreže mogu raditi paralelno s distribucijskom mrežom ili u otočnom režimu rada.

Na slici 1. prikazan je primjer mikromreže.



Slika 1. Primjer mikromreže [2]

Za proizvodnju energije u mikromrežama koriste se različiti dostupni distribuirani izvori kao [2]:

- kogeneracija i mikrokogeneracija,
- gorivni članci,
- mikroturbine (Brayton-ov i organski Rankine-ov ciklus),
- fotonaponski sustavi,
- klipni motori,
- mali vjetroagregati,
- Stirling-ovi motori i
- trigeneracija.

Primjenom spremnika energije u mikromrežama se omogućuje pohrana viškova energije ili spremanje energije u vremenski pogodnim trenucima (niža cijena energije) te korištenje ili razmjena energije u periodu kada je to optimalno. Najčešće korištena tehnologija za pohranu električne energije su baterijski sustavi. Primjere komercijalnih i laboratorijskih mikromreža mogu se naći u literaturi [3], [4] i [5].

Budući da mikromreže obuhvačaju potrošnju, proizvodnju i skladištenje energije one imaju značajan potencijal u povećanju stupnja energetske efikasnosti krajnjih korisnika, a poslijedično i u smanjenju gubitaka u distribucijskim mrežama. Razvojem tržišta električne energije, agregiranjem više manjih mikromreža, stvara se potencijal aktivnog sudjelovanja mikromreža na tržištu električne energije kroz pružanje pomoćnih usluga operatorima distribucijskih sustava (ODS).

U radu je opisan pilot projekt u kojemu sudjeluje JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar kroz koji je implementirana mikromreža s fotonaponskim sustavom i sustavom baterijske pohrane na poslovnoj zgradi u vlasništvu tvrtke.

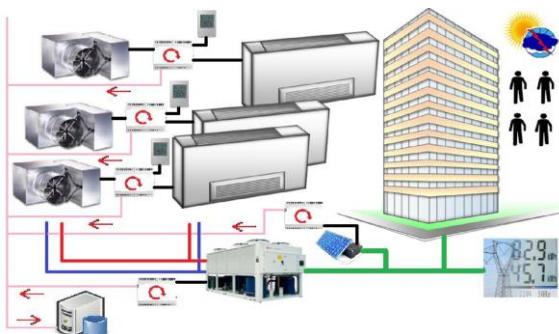
II. PROJEKT 3SMART

Integracija distribuiranih izvora, sustava za pohranu energije, napredno upravljanje i korištenje energije te koordinacija s distribucijskom mrežom, trenutno su ključni fokusi raznih znanstveno-istraživačkih institucija iz oblasti elektroenergetike. Projekt 3Smart je usko vezan za navedeno područje interesa.

3Smart (akronim od engl. „*Smart Building - Smart Grid - Smart City*“) je razvojno-istraživački projekt sufinanciran iz fondova Europske unije (ERDF, IPA) iz međunarodnog dunavskog programa Interreg (engl. *Interreg Danube Transnational Programme*) u omjeru 85% (Interreg DTP) - 15% (vlastita sredstva). U projektu sudjeluje 13 partnera i 5 pridruženih partnera iz 6 zemalja Dunavske regije, a ukupna vrijednost 3Smart projekta je 3.791.343,41 eura. Vrijeme trajanja projekta je 1.1.2017 - 30.6.2019.¹

Pokretač i vodeći partner projekta 3Smart je Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER), Zagreb. Glavni cilj projekta je pružiti tehnološku i legislativnu podršku za implementaciju sustava za upravljanje energijom (engl. *Energy Management System* - EMS) na razini zgrada, elektroenergetskih mreža i gradskih infrastruktura gradova u Dunavskoj regiji. To uključuje razvoj modularne EMS programske platforme koja će omogućiti optimalno upravljanje energijom na razini zgrada i distribucijskih mreža uz jednostavnu nadogradnju na postojeće sustave za upravljanjem.

Osnovna ideja je napredno i koordinirano upravljanje energijom komercijalnih zgrada, s posebnim ciljem smanjivanja potrošnje energije koja se koristi za grijanje i hlađenje zgrada. Zbog nemogućnosti koordinacije između pojedinih podsustava i nemogućnosti koordinacije sa distribucijskom mrežom, potrošnja energije unutar takvih objekata je često manje efikasna. (Slika 2)



Slika 2. Primjer nekoordiniranih podsustava u suvremenim zgradama

Primjenom platforme 3Smart želi se omogućiti koordinirano i pametno upravljanje energijom zgrade (*smart building*), komunikacija i povezivanje sa elektroenergetskom mrežom (*smart grid*) što u konačnici omogućuje stvaranje pametnih

gradova (*smart city*) sa ciljem povećanja stupnja energetske učinkovitosti.

3Smart EMS platforma obuhvaća dvije skupine programa (modula) za upravljanje:

- *building-side modules* - moduli sa stajališta zgrade,
- *grid-side modules* - moduli sa stajališta mreže.

III. 3SMART EMS BUILDING-SIDE MODULI

3Smart *building-side* sustav upravljanja energijom sastoji se od tri razine koje slijede vertikalnu dekompoziciju energetskog sustava zgrade u njegovim glavnim dijelovima:

- (1) razina prostorija (zona),
- (2) razina središnjeg HVAC sustava (sustava za grijanje/hlađenje) i
- (3) razine mikromreže.

Moduli i podmoduli odlučivanja u EMS-u u tim razinama oslanjaju se na predviđanja i matematičke optimizacije troškova komfora korisnika i energije [6].

3Smart EMS sustav je također rješenje za upravljanje potrošnjom električne energije, jer nadzire potrošnju električne energije i automatski reducira opterećenja kako bi smanjilo njihovo korištenje tijekom vršnog opterećenja (eng. *Critical Peak Pricing*). Zgrada opremljena 3Smart EMS-om moći će sudjelovati u agregaciji opterećenja što je jedan od najučinkovitijih načina maksimiziranja štednje i ublažavanja rizika na današnjim tržištima električne energije u nastajanju.

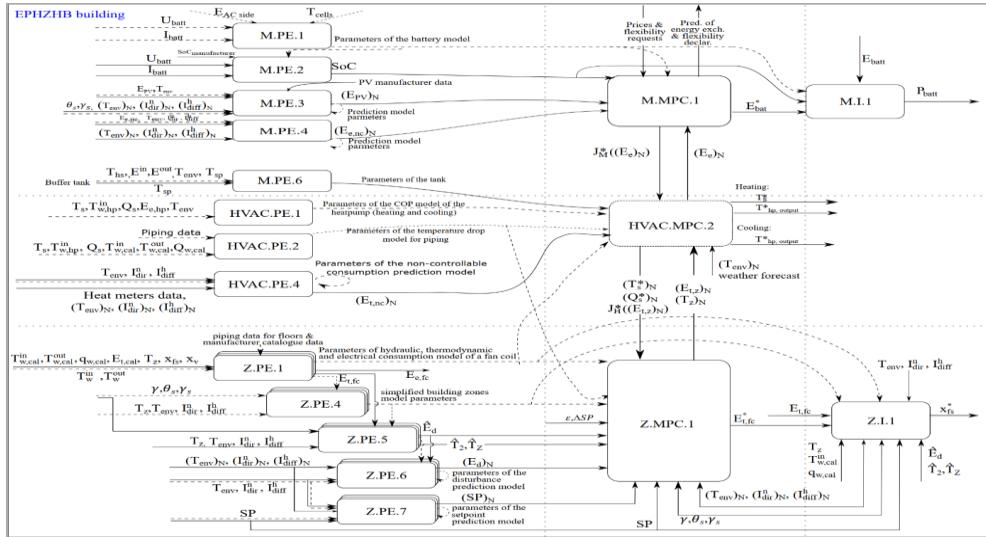
Ključna metodologija 3Smart EMS oslanja se na MPC dinamičkih sustava i temeljne matematičke metode programiranja.

3Smart EMS building – side moduli po funkcionalnosti se dijele na sljedeće kategorije:

1. *Predictive and estimation (PE)* – predviđanje i estimacija,
2. *Model Predictive Control (MPC)* – model prediktivnog upravljanja,
3. *Interface (I)* – sučelje.

Slika 4 prikazuje organizacijsku shemu modula i podmodula koji će biti realizirani unutar programske platforme na 3Smart server računalu na pilot lokaciji u Tomislavgradu.

¹ U međuvremenu je odobreno produženje projekta do 31.12.2019.godine kako bi se dobila kvalitetnija analiza troškova i koristi pojedinog pilot projekta.



Slika 3. Organizacijska shema 3Smart EMS modula za pilot lokaciju u Tomislavgradu

Moduli koji će biti implementirani na zgadi u Tomislavgradu, po razinama i funkcijama, su sljedeći [6], [7]:

1. Razina zona (zone level):

- Z.PE.1 – Podmodul za identifikaciju Fan-coil uređaja,
- Z.PE.4 – Podmodul za identifikaciju pojednostavljenog termodinamičkog modela zgrade,
- Z.PE.5 – Podmodul za procjenu stanja pojednostavljenog termodinamičkog modela zgrade sa uključenom procjenom toplinskih smetnji po zonama,
- Z.PE.6 – Podmodul za predviđanje razvoja toplinskih poremećaja po zonama,
- Z.PE.7 – Podmodul za predviđanje set-point-a udobnosti po zonama,
- Z.MPC.1 – Modul modela prediktivnog upravljanja za upravljanje udobnosti po zonama,
- Z.I.1 – Modul sučelja na razini zona – Podmodul energijskih ulaznih vrijednosti za fan-coil uređaje.

2. Razina središnjeg HVAC sustava:

- HVAC.PE.1 – Podmodul identifikacije mape efikasnosti dizalice topline,
- HVAC.PE.2 – Podmodul procjene parametara termičkih gubitaka u cijevima,
- HVAC.PE.4 – Podmodul predviđanja ukupne nekontrolirane potrošnje energije središnje HVAC jedinice,
- HVAC.MPC.2 – Podmodul modela prediktivnog upravljanja dizalicom topline,
- HVAC.I.2 – Modul sučelja za dizalicu topline.

3. Razina mikromreže:

- M.PE.1 – Podmodul identifikacije baterijskih parametara,
- M.PE.2 – Podmodul za procjenu stanja napunjenoosti baterija,
- M.PE.3 – Podmodul za predviđanje ukupne nekontrolirane potrošnje energije na razini mikromreže,
- M.PE.4 – Podmodul predviđanja najveće moguće proizvodnje fotonaponskih polja,
- M.PE.6 – Podmodul identifikacije parametara kontroliranih potrošača – električni grijač,
- M.MPC.1 – Modul modela prediktivnog upravljanja za upravljanje tokovima energije mikromreže,
- M.I.1 – Podmodul za traženje naredbi prema pretvaraču skladišta energije zasnovan na naređenim signalima razmjene energije.

Temelj rada svih modula i podmodula je pravilno strukturirana 3Smart EMS dvosmjerna baza podataka. Svi podaci, mjerena, upravljačke naredbe, komunikacija modula s podsustavima za koje su zaduženi kao i njihova međusobna komunikacija, odvija se preko dvosmjerne baze. Svaki modul i podmodul koristi set ulaznih podataka definiranih ulaznom tablicom (engl. *Input table*) te kao rezultat daje set izlaznih podataka (engl. *Output table*).

IV. 3SMART EMS GRID-SIDE MODULI

3Smart EMS *grid-side* moduli se dijele na *short-term* (hrv. kratkoročne) i *long-term* (hrv. dugoročne). *Short-term* moduli se dalje dijele na *day-ahead* (hrv. dan unaprijed) i *intra-day* (hrv. unutardnevne) module. *Long-term* moduli se dalje dijele na *annual* (hrv. godišnje) i *multi-annual* (hrv. višegodišnje) module. Preduvjet izvršavanja bilo kojeg od navedenih modula je izrađeni model distribucijske mreže koji obuhvaća lokaciju pilot zgrade. Model distribucijske mreže koji obuhvaća lokaciju pilot zgrade u Tomislavgradu izrađen je u programskom alatu DIgSILENT Power Factory 2017.

V. MIKROMREŽA POSLOVNE ZGRADE EPHZHB U TOMISLAVGRADU

Modularni 3Smart EMS sustav nužno je implementirati i testirati na različitim pilot lokacijama - 5 pilot lokacija u 5 različitih zemalja Dunavske regije (Hrvatska, BiH, Slovenija, Austrija i Mađarska). Kroz 3Smart projekt su predviđena sredstva za nabavu opreme jer je na svakoj od pilot lokacija bilo nužno nadograditi postojeće podsustave objekta (npr. HVAC, mjerni senzori, kalorimetri, novi SCADA BMS sustav) i dodati novu opremu (npr. FNE, baterijski sustav, mjerna oprema).

Na poslovnoj zgradi EPHZHB u Tomislavgradu također je realizirana investicija nabave i ugradnje opreme. Izvršena je nadogradnja i automatizacija HVAC sustava zgrade (sustava za grijanje/hlađenje) te su dodatno implementirani fotonaponska elektrana i autonomni baterijski sustav za skladištenje električne energije, odnosno stvorena je mikromreža na 0,4 kV naponskoj razini. Fotonaponska elektrana i baterijski sustav energetski su priključeni u priklučno-mjerni ormar iza obračunskog brojila, odnosno mikromreža radi u pogonu paralelnom sa distribucijskom mrežom te nije dozvoljen otočni rad.

U tablici 1 prikazani su tehnički podaci predmetne mikromreže.

Tablica 1: Tehnički podaci predmetne mikromreže

Fotonaponska elektrana		
FN paneli	Eurener MEPV Turbo Superior 300 Wp	166 kom, instalirana snaga 49,8 kWp
DC/AC pretvarači	2 x Fronius Symo 20.0.3-M i 1x Fronius Symo 10.0.3-M,	Instalirana snaga 50 kW
Baterijski sustav		
Baterije	LiFePO4, tipa CALB CA100FI, kapaciteta 0,32 kWh i napona 3,2 V	100 kom, ukupan kapacitet 32 kWh
AC/DC pretvarač snage	Cognitio S Open4Lab	Snaga 10 kW
Zgrada (potrošač)		
Vršna snaga objekta: 130 kW		

Fotonaponski sustav je dimenzioniran prema dostupnim površinama za postavljanje FN panela i vršnoj snazi objekta dok je dimenzioniranje baterijskog sustava uvjetovano tehnologijom (Li-ion), odnosno ukupnom cijenom cijelog sustava.

Fotonaponski paneli su smješteni na dvije parkirne nadstrešnice i na krovu pomoćnog objekta pored poslovne zgrade, slika 4.



Slika 4. FN paneli na lokaciji

U pomoćnom objektu u neposrednoj blizini poslovne zgrade se nalazi sustav baterijske pohrane električne energije ukupnog kapaciteta 32 kWh sa autonomnim DC/AC pretvaračem snage 10 kW.

3Smart EMS moduli će izravno upravljati radom baterijskog sustava dok se radom fotonaponskog sustava neće upravljati.

U svrhu predviđanja proizvodnje FNE, nadležni EMS moduli će koristiti mjerena globalne komponente sunčevog zračenja s dva ugrađena piranometra i kasnije izračunavanje direktne i difuzne komponente te vremensku prognozu varijabli.

Potrebno je napomenuti da je baterijski sustav neovisan o fotonaponskoj elektrani, odnosno može uzimati/davati energiju iz mikromreže neovisno o proizvodnji iz FNE. Primjenom ove mikromreže omogućuje se širi raspon i fleksibilnije korištenje dostupnih izvora/spremnika električne energije i distribucijske mreže, što će rezultirati smanjenjem vršnog opterećenja i smanjenjem potrošnje električne energije iz distribucijske mreže

VI. OPIS MODULA ZA UPRAVLJANJE MIKROMREŽOM

Moduli za nadzor i upravljanje mikromrežom zaduženi su za optimalno upravljanje tokovima električne energije i razmjenom informacija u zadanoj mikromreži.

Podmodul M.PE.1 [8] koristi se za procjenu modela baterijskog sustava koji se odnosi na energiju punjenja i pražnjenja sustava i na stanje napunjenošt baterije. Ulagani podaci, uz rezoluciju od 1 minute, prikazani su u tablici 2.

Tablica 2: Ulagani podaci za M.PE.1

Oznaka varijable	Opis varijable
I _{batt} (A)	Povjesni profil izmjerenih struja baterije
U _{batt} (V)	Povjesni profil izmjerenih napona baterije i baterijskih celija
T _{batt} (°C)	Povjesni profil izmjerenih temperatura baterijskih celija
E _{convAC} (kWh)	Povjesni profil izmjerene energije na AC strani pretvarača, prije izolacijskog transformatora

Podmodul kao rezultat (*output*) daje podatke prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Izlazni podaci modula M.PE.1

Oznaka varijable	Opis varijable
1. Parametri baterijskog modela, θ_{batt}	
$E_{stored, \text{max}} (\text{kWh})$	Maksimalni dopušteni kapacitet baterijskog sustava
$E_{stored, \text{min}} (\text{kWh})$	Minimalni dopušteni kapacitet baterijskog sustava, općenito nula
$P_{out, \text{max}} (\text{kW})$	Maksimalna dopuštena izlazna radna snaga baterijskog sustava (konstanta)
$P_{in, \text{max}} (\text{kW})$	Maksimalna dopuštena ulazna radna snaga baterijskog sustava, konstanta, kontinuirana funkcija E_{SOC} ,
η_{BatSys}	Energetska efikasnost baterijskog sustava (baterije i pretvarač zajedno), konstanta (bez dimenzije)
2. Model baterijskog sustava	
	$E_{stored,min} \leq SOC_E \leq E_{stored,max}$
Granični uvjeti:	$P_{in,min} \cdot t_{sampling} \leq E_{bat} \leq P_{in,max} \cdot t_{sampling}$
Učinkovitost razmjene energije između AC mreže i baterija:	$E_{bat}^{AC} = \frac{E_{bat}}{\eta_{\text{BatSys}}}$
Promjena stanja baterije:	$SOC_E(k+1) = SOC_E(k) + E_{bat}(k)$

Podmodul M.PE.2 [8] koristi se za procjenu stanja napunjenoosti baterije. Ulagani (input) i izlazni podaci (output) prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Ulagani i izlazni podaci za M.PE.2

Oznaka varijable	Opis varijable
Ulagani podaci (input) za podmodul M.PE.1	
$I_{\text{bus}} (\text{A})$	Povijesni profil izmjerjenih struja baterije
$U_{batt} (\text{V})$	Povijesni profil izmjerjenih napona baterije i baterijskih celija
$SoC (\%)$	Povijesni profil napunjenoosti baterije SoC (engl. State of Charge)
Izlazni podaci (input) za podmodul M.PE.1	
$SOC_E (\text{kWh})$	Trenutni kapacitet baterijskog sustava (stanje napunjenoosti)

Podmodul M.PE.3 [8] će se koristiti za predviđanje i estimaciju proizvodnje fotonaponskog sustava. Ulagani podaci potrebni za ovaj podmodul kao i izlazni podaci, prikazani su u tablicama 5 i 6.

Tablica 5. Ulagani podaci za M.PE.3

Naziv varijable	Oznaka varijable	Opis varijable
Relevantni podaci sa brojila električne energije	PM	Proizvodnja energije iz fotonaponskog sustava injerena izravno na AC strani
Prognošćki podaci	w	Podaci o vremenskoj prognozi (prognoza globalne i difuzne komponente sunčevog zračenja, prognoza temperature zraka)
Geografski podaci o vremenu	π	Različiti geografski i vremenski podaci (sunčev zenit i azimutni kutovi)
Tvornički podaci o PV panelima	PV	Podaci PV panela ovisno o proizvođaču PV panela (struja kratkog spoja, napon otvorenenog kruga, točka maksimalne snage)
Podaci o instalaciji PV panela	ϕ	Specifični podaci za PV sustav ovisno o instalaciji panela (PV-nagib i azimutni kut)

Tablica 6. Izlazni podaci za M.PE.3

Naziv varijable	Oznaka varijable	Opis varijable
Parametri predviđanja modela (za off-line rad podmodula)	θ_{PV}	Potrebito za off-line rad podmodula
Predviđeni profil proizvodnje energije fotonaponskog niza (za on-line rad podmodula)	$E_{PV, \text{pred}}$	Potrebito za MPC modul na razini mikromreže

M.PE.6 [8] je podmodul za procjenu modela spremnika za spremnik grijanja/hlađenja koji se odnosi na punjenje i pražnjenje topline na temperaturu medija u spremniku. Ulagani podaci za M.PE.6 prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Ulagani podaci za M.PE.6

Oznaka varijable	Opis varijable
$T_{heatstorage} (\text{°C})$	Povijesni profil izmjerjenih temperatura spremnika
$E_{in} (\text{kWh})$	Povijesni profil ulazne energije za grijanje spremnika
$E_{out} (\text{kWh})$	Povijesni profil izlazne energije iz spremnika

$T_{env} (\text{°C})$	Zadnje mjerjenje vanjske/sobne temperature (vanjska temperatura za grijanje prostorije, sobna temperatura za spremnik i dizalicu topline)
$T_{setpoint} (\text{°C})$	Zadana temperatura za jedinicu (ako postoji)
$op_mode = \{\text{normal}, \text{anti-legionella}\}$	Posljednji zadani način rada, op_mode (primjenjuje se samo za kotlove)

Temperatura spremnika topline je:

- sobna temperatura u slučaju grijanja prostorije,
- temperatura spremnika izmjerena na srednjoj visini u slučaju rashladnika vode,
- ekvivalentna temperatura izračunata na temelju tri mjerjenja (gornja, srednja, donja) u slučaju kotla za vodu.

Podmodul M.PE.6 daje izlazne podatke prikazane u tablici 8.

Tablica 8. Izlazni podaci iz M.PE.6

Oznaka varijable	Opis varijable
1. Pojednostavljeni model kontroliranog potrošača, θ_1:	
$C_{ht} (\text{kWh/°C})$	Specifična toplina spremnika topline
η_{in}	Učinkovitost unosa energije (u slučaju kada se koriste vodeni rashladnici, koristi se COP izračunat drugim modulom), bez dimenzije
$P_{in,min} (\text{kW})$	Minimalna dopuštena ulazna snaga (općenito nula)
$P_{in,max} (\text{kW})$	Maksimalna dopuštena ulazna snaga (općenito nula)
$P_{loss} (\Delta T), (\text{W/°C})$	Gubici energije u sekundi u funkciji temperaturne razlike spremnika topline i njegove okoline
$T_{plus_tolerance} (\text{°C})$	Maksimalno dopušteno pozitivno odstupanje od zadane vrijednosti (granica udobnosti) u odnosu na zadanu vrijednost
$T_{minus_tolerance} (\text{°C})$	Maksimalno dopušteno negativno odstupanje od zadane vrijednosti (granica udobnosti) u odnosu na zadanu vrijednost
$T_{plus_physical} (\text{°C})$	Apsolutna maksimalna temperatura za jedinicu (fizička granica ili radni zahtjev)
$T_{minus_physical} (\text{°C})$	Apsolutna minimalna razina temperature za jedinicu (fizičko ograničenje ili radni zahtjev)
Model	$\Delta T = \frac{(T_{hs}(k+1) + T_{hs}(k))}{2} - T_{env}(k+1)$ $T_{hs}(k+1) = T_{hs}(k) - \frac{E_{in} - E_{out} - P_{loss}(\Delta T)T_d}{C_{ht}}$

Podmodul M.MPC.1 koristi se za prediktivno upravljanje modelom koji u off-line radu komunicira s drugim MPC modulima i odlučuje o ugovorenoj količini fleksibilnosti zgrade dok u on-line operacijama odlučuje o aktiviranju upravljanja, skladištenja ili opterećenja na razini mikromreže [9]. Sučelje modula je definirano u tablici 9.

Tablica 9. Ulazi i izlazi podmodula M.MPC.1

Naziv varijable	Oznaka varijable	Opis varijable
1. Ulazni podaci za M.MPC.1		
Kumulativna predviđena potrošnja energije koja se može kontrolirati i koju treba opskrbiti mikromreža, električna i toplinska energija	E_L, E_H	Energetski ulazi optimizirani unutar MPC razine HVAC-a
Tarife iz mreže	c_{DA}	Cijene i uvjeti dobiveni iz distribucijske mreže / mreže
Predviđanje ukupnog profila nekontrolirane potrošnje električne energije / topline / plina	$E_{L,nc}, E_{H,nc}, E_{gas,nc}$	
Predviđanje ukupnog kontroliranog profila proizvodnje električne energije / topline / plina	$E_{L,c}, E_{H,c}$	
Parametri modela baterije/baterija (ako postoji)	θ_{BAT}	
Stanje napunjenoosti baterije/ baterija (ako postoji)	SoC	
Interne stanje kontroliranih opterećenja, ako postoje (npr., reprezentativna temperatura u bojleru za vruću vodu ili hladnjaku)	x	
Grančne vrijednosti stanja kontroliranih opterećenja, ako postoje (npr. gornja i donja granica kotla za vruću vodu ili hladnjaku)	X_{min}, X_{max}	
Model pretvorbe energije upravljivog opterećenja, ako postoji (npr. model snage za grijanje u bojleru za vruću vodu ili hladnjaku)	θ_{cont}	

Stanje spremnika topline, ako postoji (npr. reprezentativna temperatura spremnika topline)	T_{hs}
Parametri modela toplinskog spremnika	θ_{hs}
Parametri modela jedinica za pretvorbu energije, ako postoji (npr. CHP)	θ_{cc}
Predviđanje uvjeta korištenja kontroliranih opterećenja, ako je primjenjivo (npr. temperatura dovoda hladne vode u spremnik tople vode i profil potrošnje tople vode)	d_{cont}
Maksimalna cijena energije	C_{Pmax}
Cijene za dan unaprijed	C_{DA}
Cijene unutar dana	$C_{ID,penal}, C_{ID,incent}$
Tražena usluga u roku od jednog dana	ΔE_G

2. Izlazni parametri modula M.MPC.1

Profil razmjene energije s baterijskim sustavom/baterijama	E_{BAT}	Vrijednost koja vrijedi za prvo razdoblje uzorkovanja treba se prenijeti na modul sučelja
Profil naredbi za upravljanjem opterećenjem	E^*_{LC}	Za kontrolirana opterećenja generiraju naredbu o aktiviranju koje se zatim prebacuju na podmodul sučelja
Profil aktiviranja jedinica za pretvorbu energije	E_{cu}	Na primjer, CHP naredba za proizvodnju električne energije s toplinom kao nusprodukton ili obrnuto
Lokalna karakterizacija vrijednosne funkcije optimizacije oko planiranog profila kontroliranih opterećenja E^{EL}_H , E^H	$J^*(E_L, E_H)$	Ova lokalna karakterizacija se prenosi natrag u podmodule za upravljanje na razini zona i središnje HVAC razine
Profili razmjene energije s mrežom i drugi podaci za mrežu: električna energija, toplinska energija, energija plina	E_G, E_G^H, E_G^{gas} , ostali uvjeti	Uvjeti dobiveni optimizacijom interakcije s distribucijskom mrežom / mrežama
Fleksibilnost politopa s obzirom na izdane cijene unutar dana	P_{flex}	Politorna funkcija koja sadrži sve profile izmjene energije koji su prihvativi za zgradu u skladu s trenutnim stanjem, proglašenim danom unaprijed i dnevnim cijenama

Podmodul M.I.1 koristi se kao sučelje za razmjenu električne energije s baterijskim sustavom [10]. Uzaljni i izlazni podaci za M.I.1 prikazani su tablici 10.

Tablica 10. Uzaljni podaci za M.I.1

Oznaka varijable	Opis varijable
1. Uzaljni parametri za M.I.1	
SoCE (kWh)	Trenutačno stanje napunjenoosti baterija
SoC (%)	
P _{out,max} (kW)	Maksimalna dopuštena izlazna snaga baterijskog sustava
P _{in,max} (kW)	Maksimalna dopuštena ulazna snaga baterijskog sustava, kontinuirana funkcija E_{SoC} u obliku politopa (konzervativna aproksimacija)
U _{sat} (V)	Izmjerena vrijednost napona baterija
E _{bat} (kWh)	Upravljanje razmjenom energije na AC strani
TMPC (s)	Vrijeme uzorkovanja MPC
2. Izlazni parametri za M.I.1	
I _{ref} (A)	Referentna struja za DC stranu baterijskog pretvarača

VII. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je koncept mikromreže na zgradi JP EP HZ HB u Tomislavgradu. U trenutnoj fazi projekta radi se na implementaciji svih modula (*building-side* i *grid-side*) na pilot lokaciji. Nakon implementacije modula za upravljanje biti će moguća identifikacija stvarnog učinka primjenjene EMS platforme i mikromreže na povećanje energetske efikasnosti objekta. Jedan od rezultata projekta je i *cost-benefit* analiza, u kojoj će biti prikazani svi troškovi i koristi implementiranog sustava.

ZAHVALNICA

Prezentirani istraživački rezultati dobiveni su unutar projekta Smart Building – Smart Grid – Smart City (3Smart).

Projekt je sufinanciran sredstvima Europske unije (ERDF, IPA) kroz Program transnacionalne suradnje Dunav (DTP1-502-3.2-3Smart).

LITERATURA

- [1] N. Holjevac, "Analiza fleksibilnosti elektroenergetske mikromreže", FER, Zagreb, 2016.
- [2] N. Duić, G. Gašparović, B. Čosić, Z. Guzović, M. Klun, „Energetsko planiranje mikromreža“, Završna radionica projekta MICROGRID, Zagreb, 26. siječnja 2015.
- [3] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Brošura - Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije
- [4] Sa web-a, pristupljeno 4.3.2019.: <https://building-microgrid.lbl.gov/examples-microgrids>
- [5] Wolfram Heckmann, „Overview of Microgrids in Europe“, Niagara 2016 Symposium on Microgrids, 20-21 October 2016, Niagara-on-the-Lake, Ontario, Canada
- [6] Mile Međugorac, „Realizacija projekta 3Smart na lokaciji poslovne zgrade EPHZHB u Tomislavgradu“, 1. SAVJETOVANJE BH K/O CIRED, Mostar, 14.-16. listopad 2018.
- [7] M. Vašak, A. Martinčević, V. Lešić, A. Starčić, T. Capuder, „D4.1.1 Building-side EMS concept and information exchange interfaces definition“, Lipanj 2017.
- [8] H. Novak, M. Vašak, A. Racz, "DELIVERABLE D4.5.3 - Final building-side energy management software module – Estimation and prediction submodules for microgrid management", September 2018.
- [9] D. Marušić, M. Vašak, "DELIVERABLE D4.5.3 - Final building-side energy management software module – Model predictive control module for microgrid management", September 2018.
- [10] A. Racz, M. Baša, M. Vašak, "DELIVERABLE D4.5.3 - Final building-side energy management software module – Interfacing submodules for microgrid management", September 2018.

ABSTRACT

This report presents the concept of microgrid, which is implemented at the location of JP Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg Bosne, OJ Proizvodnja, business building in Tomislavgrad. The microgrid consists of a photovoltaic plant, a battery system with an autonomous power inverter and a load (building). Through this pilot project will be identified the potential of using microgrids with energy storage and renewable sources in combination with advanced energy management in building and in coordination with smart grids.

Key words: micrigrad, smart building, smart grid;

MICROGRID AT THE LOCATION OF THE EPHZHB BUSINESS BUILDING IN TOMISLAVGRAĐAD

Marin Bakula, Mile Međugorac, Nikolina Ćorluka
Development Division, JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar,
Mostar, Bosnia and Herzegovina
marin.bakula@ephzb.ba, mile.medugorac@ephzb.ba,
nikolina.corluka@ephzb.ba