

# mipro 2016



ISSN 1847-3938

organizator **μpro**

39.

## međunarodni skup

30. svibnja - 3. lipnja 2016. Opatija  
Jadranska obala, Hrvatska



miprom do znanja i inovacija

*Lampadem tradere*

**HEP**

informacijska i komunikacijska tehnologija u elektroprivrednoj djelatnosti



## Od prvog svjetla.

Prije više od 120 godina, vrijedne ruke naših radnika pokrenule su prve hidroelektrane, osvijetlili smo gradove, zagrijali domove i izgradili infrastrukturu. I tu ne mislimo stati, uvijek ćemo biti vaše svjetlo u budućnosti.

**HEP 121** godinu  
s vama



# **MIPRO 2016**

**39. Međunarodni skup**

**30. svibnja – 3. lipnja 2016.  
Opatija**

**Zbornik radova seminara**

**Informacijska i komunikacijska tehnologija u  
elektroprivrednoj djelatnosti /HEP**

**Urednici:**  
Vitomir Komen  
Renato Ćućić

## **organizator**

Hrvatska udruga MIPRO

## **tehničko kosponzorstvo**

IEEE Region 8

## **pokrovitelji**

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske  
Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske  
Ministarstvo poduzetništva i obrta Republike Hrvatske  
Ministarstvo uprave Republike Hrvatske  
Hrvatska gospodarska komora  
Primorsko-goranska županija  
Grad Rijeka  
Grad Opatija  
Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti  
Hrvatska burza električne energije - CROPEX

## **suorganizatori**

Sveučilište u Rijeci  
Sveučilište u Zagrebu  
IEEE Croatia Section  
IEEE Croatia Section Computer Chapter  
IEEE Croatia Section Electron Devices/Solid-State Circuits Joint Chapter  
IEEE Croatia Section Education Chapter  
IEEE Croatia Section Communications Chapter  
T-Hrvatski Telekom, Zagreb  
Ericsson Nikola Tesla, Zagreb  
Končar-Elektroindustrija, Zagreb  
HEP - Hrvatska elektroprivreda, Zagreb  
VIPnet, Zagreb  
Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu  
Institut Ruđer Bošković, Zagreb  
Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci  
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci  
Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci  
Fakultet organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin  
Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu Sveučilišta u Rijeci, Opatija  
Tehničko veleučilište u Zagrebu  
EuroCloud Hrvatska  
Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti  
Hrvatska pošta  
Erste & Steiermaerkische bank  
Selmet, Zagreb  
CISEx  
Kermas energija, Zagreb  
Rezultanta, Zagreb  
River Publishers, Aalborg, Danska

## **sponzori**

Ericsson Nikola Tesla, Zagreb  
T-Hrvatski Telekom, Zagreb  
Končar-Elektroindustrija, Zagreb  
HEP - Hrvatska elektroprivreda, Zagreb  
InfoDom, Zagreb  
Hewlett Packard Hrvatska, Zagreb  
IN2, Zagreb  
Odašiljači i veze, Zagreb  
Storm Computers, Zagreb  
Nokia, Zagreb  
VIPnet, Zagreb  
King-ICT, Zagreb  
Microsoft Hrvatska, Zagreb  
Micro-Link, Zagreb  
Mjerne tehnologije, Zagreb  
Altpro, Zagreb  
Danieli Automation, Buttrio, Italija  
Selmet, Zagreb  
ib-proCADD, Ljubljana, Slovenija  
Nomen, Rijeka

Za nakladnika:

**Petar Biljanović**

Nakladnik:

Hrvatska udruga za informacijsku i komunikacijsku tehnologiju,  
elektroniku i mikroelektroniku - **MIPRO**  
51001 Rijeka, Kružna 8/II, p.p. 303, tel./fax +385 (0)51 423 984

Tisak:

**GRAFIK, Rijeka**

**ISBN 978-953-233-089-2**

**Copyright © 2016 by MIPRO**

Svako daljnje umnožavanje i pretisak tekstova iz zbornika u bilo kojem obliku nije dopušten bez suglasnosti Hrvatske udruge MIPRO, jer tekstovi predstavljaju autorske radove u smislu zaštite autorskih prava.

# S A D R Ź A J

Tomislav Capuder (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb) <b>Napredni energetska sustavi: potrošači, mreže, gradovi</b> .....	1
Igor Kuzle (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb) <b>Baterijski spremnici energije - od električnih vozila do prijenosnog sustava</b> .....	6
Juraj Havelka (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb), Martin Golubić (Matel d.o.o., Zagreb) <b>Mogućnosti uštede električne energije u pametnim kućanstvima</b> .....	14
Srđan Skok (Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka) <b>Aktivni obnovljivi izvori električne energije u funkciji regulacije napredne prijenosne mreže</b> .....	22
Vedran Kirinčić, Dubravko Franković (Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka), Duško Radulović (Sensum d.o.o. Rijeka) <b>Održivi razvoj otoka za nisko-ugljično društvo</b> .....	23
Dušan Kozjek, Roman Tomažič (Eles d.o.o., Ljubljana, Slovenia) <b>Uporaba informacijskega sistema Maximo v podjetju ELES d.o.o. in integracija z ostalimi IS</b> .....	29
Maja Pokrovac (Klaster "Inteligentna Energija", Zagreb) <b>Open source energetska zajednica u funkciji povećanja potrošnje električne energije iz OIE</b> .....	34
Marko Bago, Stjepan Sučić (Končar - Inženjering za energetiku i transport d.d., Zagreb), Drago Cmur (Končar - Elektronika i informatika d.d., Zagreb), Andrija Eršek (Končar - Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb) <b>Digitalizacija u elektroenergetici</b> .....	36
Goran Pregrad, Ivan Višić, Damir Soldić, Mladen Perkov (Pro Integris d.o.o., Split) <b>Pilot projekt procesne sabirnice u sekundarnim sustavima</b> .....	37
Mario Bazina (Schneider Electric d.o.o., Zagreb), Fredi Belavić (Schneider Electric Energy Austria AG, Wien, Austria) <b>Direktna komunikacija daljinsko upravljivih stanica kod sustava "Samo obnavljajućih mreža"</b> .....	39

# Napredni energetska sustavi: potrošači, mreže, gradovi

Tomislav Capuder\*

\* Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, Hrvatska  
tomislav.capuder@fer.hr

**Sažetak** - Današnji energetska sustavi i infrastruktura, posebice distribucijski, nisu planirani na način da potiču upravljanje lokalnim izvorima energije, bilo potrošnje bilo proizvodnje. Samim time potencijal fleksibilnosti koji postoji na razini svakog korisnika gotovo uopće nije iskorišten. Jedan od glavnih preduvjeta stvaranja interaktivnog koncepta, u kojem su energetska sustavi vođeni ekonomskim signalima i omogućavaju svim korisnicima željenu uslugu po najpovoljnijoj cijenu, je postojanje naprednih sustava vođenja i upravljanja svim energentima na različitim razinama; od samog potrošača, preko naelja sve do naprednog niskougličnog grada. Pri tome je važno postaviti pitanje: koje tehnologije omogućavaju takvu interakciju, odnosno koliko je moguće opravdati potrebna ulaganja koristima koje odabrana tehnologija pruža korisniku ili operatoru mreže, kao i tko su dionici koji stvaraju i investiraju u budući napredni energetska sustav. Neizostavna uloga u stvaranju takvog sustava je i ona regulatora i operatora sustava, koji moraju osigurati stabilnost i sigurnost takvog sustava kroz niz tehničkih i regulatornih uvjeta. Kroz rad će biti kritički razmotrene tehnologije tzv. naprednih energetskih mreža, sa aspekta krajnjeg korisnika i sa aspekta operatora sustava, analizirajući napredne metode planiranja i vođenja pametnih energetskih distribucijskih sustava.

## I. UVOD

Liberalizacija tržišta električne energije i svijest o utjecaju proizvodnje električne energije na okoliš potiču sve veću integraciju proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE). Uz sve dobrobiti za ekonomiju i okoliš, proizvodnja iz OIE zbog svoje varijabilnosti i nesigurnosti zahtijeva promjenu koncepta održavanja ravnoteže između proizvodnje i potrošnje, ali i koncepta planiranja i vođenja sustava. Koncept naprednih mreža temelji se upravo na većem uključivanju kupaca te su, očekivano, najveće promjene upravo na strani distribucijske mreže koja do sada nije planirana ni vođena s velikim brojem aktivnih proizvođača i potrošača. Vođenje i planiranje takvog interaktivnog distribuiranog sustava je izazov, te su potrebna rješenja koja nadilaze tradicionalne pristupe, uzimajući u obzir dobrobiti koje donose nove tehnologije, kao primjerice spremnici energije koji se često navode kao ključna karika za održavanje sigurnog i pouzdanog pogona [1], [2], [3]. Distribucijska elektroenergetska mreža je dimenzionirana prema maksimalnom opterećenju potrošnje s pretpostavkom poznavanja smjera tokova snaga. Tradicionalni potrošači, promatrani na razini distribucijske transformatorske stanice koja je često zadnja

točka u kojoj imamo informaciju o sustavu, imaju predvidljiv smjer energije i dnevnu krivulju potrošnje te operator sustava nije imao potrebu za nadzorom i upravljanjem mreže izvan uređaja smještenih u pojnim stanicama. U distribucijskim transformatorskim stanicama nalaze se mjerni uređaji, ali su najčešće obračunskog karaktera mjesečne rezolucije te ne sadrže nikakve pokazatelje kvalitete električne energije niti omogućavaju znanje o stanju distribucijske mreže u svakom trenutku. Sve veći broj integriranih proizvodnih sudionika, priključenih nakon distribucijskih obračunskih mjerenja, stvara nove izazove posebno u kontekstu stvaranja mogućnosti aktivnog vođenja i upravljanja distribucijskom mrežom.

Integracija obnovljivih izvora danas je u velikoj mjeri motivirana sustavima poticaja, pogotovo na razini obnovljivih izvora male snage [4]. Težnja Europske unije je tranzicija prema proizvodnim tehnologijama s nultom razinom emisija [5] te će integracija velike količine obnovljivih izvora neupitno biti izazov s kojim će se trebati suočiti. Investicije i unaprjeđenja u distribucijskoj mreži će biti potrebni kako bi se sustav mogao nositi s varijabilnom proizvodnjom i uravnoteženjem mreže u takvim uvjetima [6]. Gruba podjela načina integracije obnovljivih izvora može se svesti na „*fit and forget*“ pristup i „*smart grid*“ pristup. Prvi pristup zahtijeva velike investicije i dovodi do neoptimalnog dimenzioniranja mreže [7] te povećava gubitke [8]. S druge strane pristup integraciji u konceptu naprednih mreža izbjegava velika pojačanja mreže uz određene investicije u nadzornu i upravljačku opremu [9]. Novi potrošači, kao što su električna vozila (EV), predstavljaju dodatni teret zamjetne snage koji nije bio predviđen dosadašnjim konceptom planiranja razvoja. Operator sustava, osim što se suočava s brojim izazovima u vođenju ovakvog sustava, ima priliku stvoriti nove koncepte vođenja i planiranja te, kroz svoje planove rada i razvoja, razmotriti koju tehnologiju primijeniti kako bi u novonastalom okruženju svi tehnički parametri ostali u dozvoljenim granicama [10].

U radu će biti predstavljen opći koncept naprednih potrošača i njihova interakcija s distribucijskom mrežom. Kroz primjer interakcije više energetskih vektora, i proširenjem na razinu grada, predloženi koncept pokazat će koje prednosti ima napredno upravljanje energentima i koje dobrobiti u smanjenju troškova možemo postići integracijom više energetskih vektora kao što su plin,

toplinska i električna energija. U konačnici će biti istaknuti najvažniji zaključci rada.

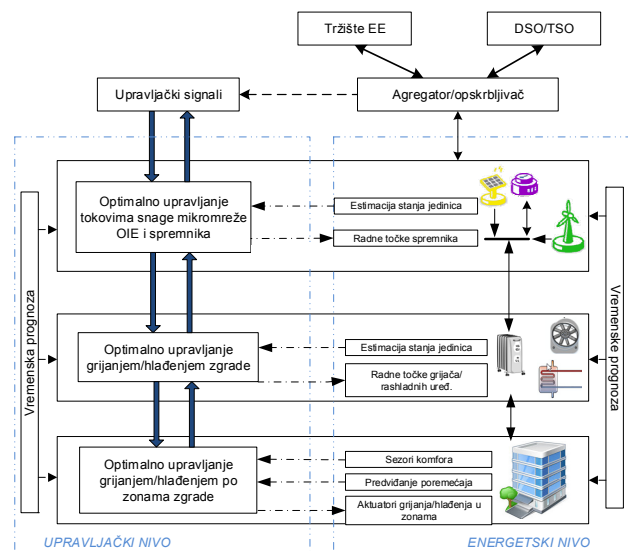
## II. UPRAVLJIVA POTROŠNJA

Potrošači energije danas su uglavnom pasivni i neučinkoviti; tarife i cijene energije nisu dizajnirane da potaknu konačnog kupca da promijeni svoje navike niti da postane učinkovitiji. Međutim, trend integracije obnovljivih izvora energije, posebno u zgradama, stvara značajan potencijal za poboljšanje performansi i smanjenje operativnih troškova na obje strane; onaj zgrade, ali i na strani distribucijske mreže. Ključ učinkovitog rada naprednog distribucijskog sustava je u istovremenom smanjenju gubitaka u distribucijskoj mreži uz optimizaciju ulaganja u kapacitete nužne za održavanje zadovoljavajućih tehničkih ograničenja, kao što su naponske prilike ili upravljanja zagušenjima. Vremensko alociranje potrošnje i proizvodnje električne energije treba biti potaknuto dinamičnim uvjetima razmjene energije/snage između mreže i samog potrošača. Pri tome koordinirano upravljanje lokalnom proizvodnjom i skladištenjem energije mora biti izvedeno tako da bude zadržana razina komfora krajnjeg potrošača uz minimalne troškove energije.

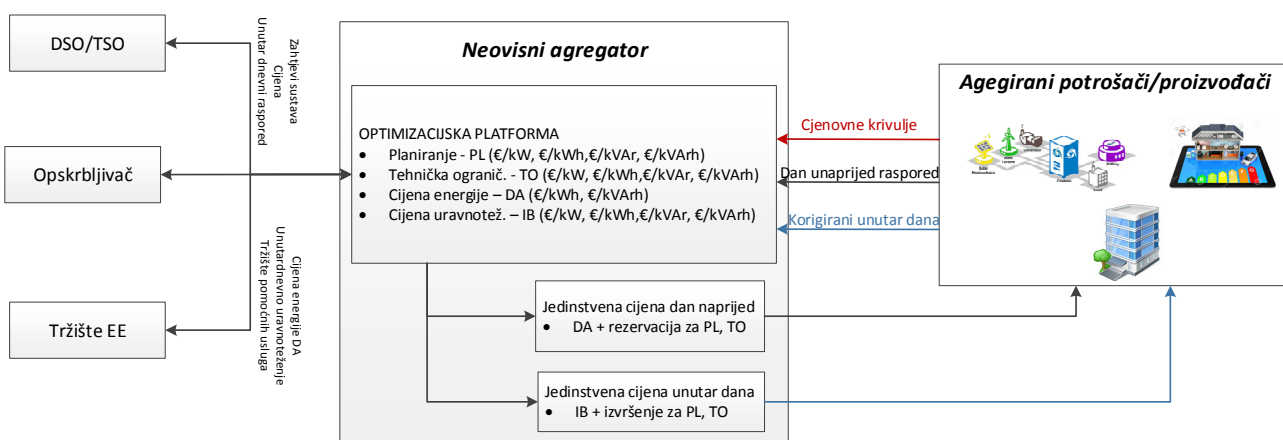
Kroz ovo poglavlje bit će prikazan koncept prijelaza iz današnjih pasivnih potrošača prema fleksibilnim potrošačima (eng. prosumers), koji bi imali mogućnost pružanja više različitih usluga u različitim vremenskim periodima. Ključnu ulogu u ovakvoj tranziciji imao bi agregator čija uloga je definiranje cjenovnih signala kao i strategije upravljanja portfeljom fleksibilnih potrošača. Pri tome je potrebno naglasiti da definicija agregatora još uvijek nije u potpunosti definirana u Europskim okvirima [11] dok se u Hrvatskoj prvi puta spominje u nedavno prihvaćenom Zakonu o energetskej učinkovitosti [12]. Uloga agregatora trebala bi biti poznavanje i raspolaganje određenom fleksibilnošću na strani prosumera (ubuduće će se u radu koristiti riječ prosumer za upravljive potrošače koji imaju lokalnu proizvodnju), kao i cijena pružanja usluge upravljanja proizvodnjom i potrošnjom. Koncept upravljivog potrošača s lokalnom proizvodnjom

i potrošnjom, prikazan je na Slici 1. Ideja upravljivog prosumera na slici 1 temelji se na konceptu u kojem postoji višerazinska mogućnost upravljanja (zone, zgrada, lokalna mikromreža), te ne mora svaki prosumer imati sve tri razine; model je općenit i primjenjiv na sve potrošače s potencijalom upravljivosti.

Cjenovni signali kreirani da bi bi „potaknuli“ agregator, a time i krajnjeg potrošača, da omogući iskorištavanje fleksibilnosti, tj pružanje usluga sustavu i operatoru, sastoje se od dva dijela: i) vrednovanje tehničkih ograničenja i zahtjeva od strane ODS i ii) cijene energije i pomoćnih usluga s tržišta električne energije. Ovi cjenovni signali trebaju biti kreirani na način da potiču agregatora da promijeni svoj profil potrošnje/proizvodnje temeljem cjenovnih signala i koristi sposobnost prosumera da promijene svoj obrazac ponašanja bez utjecaja na konačni komfor potrošača. Koncept kreiranja ovih cjenovnih signala, te komunikacije između raznih tržišnih subjekata, prikazan je na Slici 2.



Slika 1. Koncept upravljanja potrošnjom zgrada



Slika 2. Koncept naprednog upravljanja mrežom – neovisni agregator



### III. FLEKSIBILNI DISTRIBUCIJSKI SUSTAV

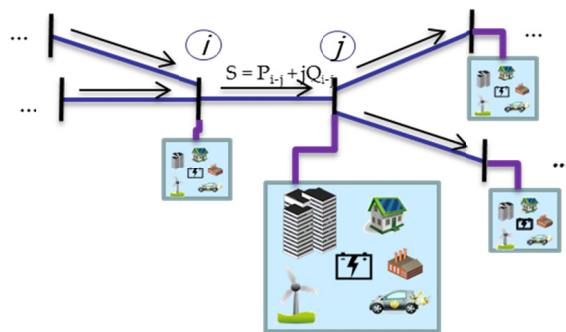
Fleksibilnost pogona može se definirati kao sposobnost sustava da angažira svoje resurse u odgovoru na promjene u opterećenju [13]. Ukoliko promatramo razinu sustava i tržišno planiranje pogona elektrana, fleksibilni plan angažmana jedinica je onaj koji operatoru omogućava brzu i ekonomski povoljnu promjenu u pogonu jedinica kao odgovor na promijenjenu tržišnu situaciju. Svi elektroenergetski sustavi inherentno imaju ugrađenu određenu razinu fleksibilnosti. Uključivanjem novih izvora fleksibilnosti u vođenje i planiranje sustava, kao što je upravljanje potrošnjom, povećava se sposobnost sustava u odgovoru na teško predvidljive događaje a samim time stvara se mogućnost veće integracije obnovljivih izvora energije.

U predloženom konceptu, pametne zgrade postaju fleksibilna čvorišta u sustavu koja "nude" sustavu dio svog kapaciteta promjene ponašanja u vremenu; zauzvrat imaju niže troškove pogona a pomažu sustavu kako bi održao siguran i stabilan način rada. Koncept cjenovnih signala koji bi bili prikupljeni i poslani od strane agregatora, te poticali potrošače da "otključaju" svoje potencijale pružanja pomoćnih usluga mreži odnosno sustavu, prikazan je na slici 2. Kompleksnost kreiranja i slanja ovakvih signala potrebno je analizirati kao višestupanjski problem, budući da će dio usluga biti ugovoren i isporučen na dnevnoj i/ili tjednoj bazi (pogonske usluge), dok će druge usluge biti potrebne znatno rjeđe, na razini mjeseca ili godine (usluge planiranja). Različiti cjenovni signali u različitim vremenskim periodima su potrebni kako bi se postigao željeni cilj; bilo u svakodnevnom radu mreže bilo u učinkovitom planiranju troškova budućeg sustava. I dok su tradicionalni sustavi spori u regulatornim prilagodbama na promjene, budući dvosmjerni napredni sustav, s više sudionika, zahtijevat će dinamičnije uključivanje energetskih regulatora, te brzu prilagodbu i prepoznavanje različitih cjenovnih signala i poticaja koji bi omogućili maksimizaciju tehnno-ekonomskih karakteristika pogona i planiranja distribucijskog sustava. „Životni ciklus“ pametnog distribucijskog sustava može se podijeliti u nekoliko glavnih koraka:

- *Planiranje distribucijskog sustava - dugoročno:* tradicionalni principi planiranja ne razmatraju uslugu upravljive potrošnje kao opciju "ulaganja" pri planiranju buduće distribucijske mreže; planovi se i dalje izrađuju uzimajući u obzir samo investicije u novu mrežnu opremu zbog rastuće potrošnje postojećih ili zbog priključenja novih potrošača/proizvođača. Promjenom paradigme planiranja, i uzimajući u obzir upravljivu potrošnju kao važan čimbenik, operator distribucijskog sustava (ODS) treba pronaći kompromis između korištenja usluga upravljive potrošnje kreiranjem odgovarajućih cjenovnih signala te tradicionalnog pristupa nadogradnje mreže. U tom slučaju, cjenovni signali bi trebali biti kreirani kroz dugoročne ugovore; vrijednost usluga planiranja sustava vjerojatno će biti vrlo visoka, međutim usluga neće biti pozvana vrlo često. Koncept organiziranja ove usluge bio bi takav da ODS plaća uslugu dostupnosti (manji iznos kojim se rezervira

kapacitet usluge) i naknadu za isporuku (iznos za isporučenu uslugu). U skladu s time, naknada za rezervaciju kapaciteta bi bila ugovorena u dugoročnom planiranju sustava (godinu dana unaprijed) i plaćena konstantno neovisno o isporuci. S druge strane, usluga isporuke bi bila pozvana unutar dana s obzirom da je diktirana potrebama mreže/sustava (u fazi pogona distribucijskog sustava), te bi njen iznos bio isplaćen naknadno u skladu s cijenom energije u tom trenutku. Pri tome je važno napomenuti da neisporuka ove usluge ima značajne posljedice na sigurnost rada sustava. Kako bi se smanjila opasnost od toga i prebacio rizik na agregatora, ODS će morati ugovorno definirati kazne za neisporuku valorizirane kao vrijednost gubitka opterećenja.

- *Planiranje rada distribucijskog sustava - srednjoročno:* u ovoj fazi ODS definira najvjerojatnije scenarije uklopa mreže, n-I kriterij kojim održava tehnička ograničenja mreže unutar željenih granica, (preventivni) raspored održavanja ODS opreme te željenu razinu pouzdanosti pogona mreže. Potencijalno, ODS definira i potrebne pomoćne usluge. U kontekstu naprednih distribucijskih mreža, u ovoj fazi ODS bi definirao poticaje za navedene usluge od strane fleksibilnih potrošača, uzimajući u obzir i mjesto potrošača u distribucijskoj mreži s obzirom na zahtjeve i tehnička ograničenja. Ponovo, ove usluge je potrebno ugovoriti unaprijed, a njihova vrijednost će gotovo sigurno biti veća od cijene energije u trenutku isporuke. Kao i u konceptu planiranja, troškovi/cjenovni signali trebaju biti definirani uzimajući u obzir sve mogućnosti koje ODS ima na raspolaganju te njihovu vrijednost treba odrediti s obzirom na frekvenciju pozivanja usluge. Koncept ugovaranja bi mogao biti sličan gore navedenom; naknadu za dostupnost se ugovara, odnosno rezervira, nekoliko tjedana/mjeseci unaprijed, dok bi isporuka usluge bila pozvana i provedena tijekom dana kada je usluga uistinu potrebna.



Slika 3. Dvosmjerni tokovi snaga u naprednom distribucijskom sustavu

- *Pogon distribucijskog sustava - kratkoročno:* ova faza je najdinamičnija u kontekstu upravljanja potrošnjom. Većina strategija danas razmatra upravljivu potrošnju samo u kontekstu arbitraže energije na tržištu dan unaprijed, dok se često zanemaruje značajan potencijal unutar dnevne regulacije. To se posebno odnosi na održavanje tehničkih ograničenja unutar granica ili odgađanje velikih i često sporih investicija u mrežu. U konceptu naprednih elektroenergetskih mreža,

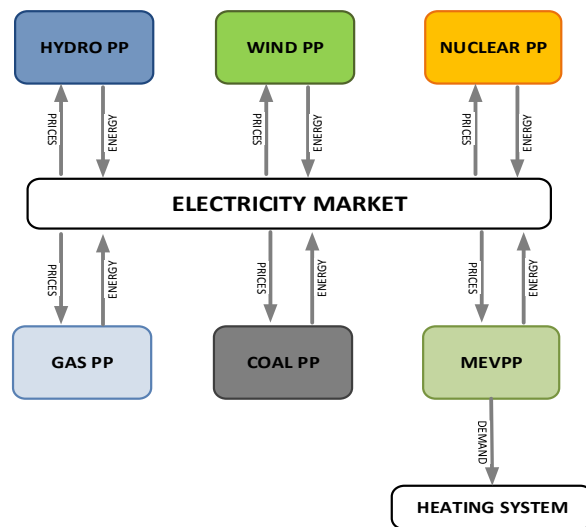
agregator bi dan prije isporuke (obično 12 sati prije početka tog dana) optimirao svoj portfelj prosumera temeljem signala sa tržišta dan unaprijed te rezerviranim dugoročnim kapacitetima za usluge ugovorene s ODS-om (tehnička ograničenja, pouzdanost usluge, pomoćne usluge), pa i operatorom prijenosnog sustava (pomoćne usluge, jednako kao ODS). Tijekom dana isporuke, agregator bi korigirao svoj pogon temeljem cjenovnih signala tržišta (uravnoteženje, rezerva), ODS-a (tehnička ograničenja) te zbog ispravljanja pogreške predviđanja vlastitog pogona (primjerice, zbog teško predvidive lokalne proizvodnje i/ili potrošnje).

Ključna uloga u omogućavanju predloženih koncepata je ona regulatora koji ima važnu ulogu u donošenju zakonskih okvira. Regulatori, kao i svi sudionici, trebaju komunicirati s ciljem pružanja relevantnih informacija kojima bi se postojeći tarifni sustav brzo adaptirao na novo, dinamičnije energetske okruženje.

#### IV. „SMART CITY“ KONCEPT VIRTUALNE ELEKTRANE

Danas u europskim gradovima živi preko 70% populacije koja proizvodi oko 80% globalnih emisija stakleničkih plinova. Stoga moderne gradove treba razmatrati kao energetska čvorišta u kojim se odvijaju interakcije svih energetskektorskih vektora, te njihove strategije planiranja i razvoja moraju usvojiti multidisciplinarni pristup. Jedino obuhvaćanjem velikog broja relevantnih faktora, koji adekvatno opisuju uzročnu posljedičnu povezanost, moguće je provesti kvalitetnu strategiju održivog razvoja za budućnost. Strategije usmjerene na dekarbonizaciju elektroenergetskog sektora prate slične smjernice u toplinskom sektoru, gdje se koncepti smanjenja CO<sub>2</sub> emisija uglavnom usmjeravaju prema elektrifikaciji grijanja. Razvijena ekološka svijest istovremeno utječe na sve veće usmjeravanje prometnog sektora prema električnim vozilima kao učinkovitom, ekološkom i atraktivnom načinu prijevoza u budućnosti. Posljedično, to znači da dva važna sektora, koji doprinose ukupnim CO<sub>2</sub> emisijama preko 70%, usmjeravaju svoje strategije prema elektrifikaciji. Postavlja se pitanje hoće li budući toplinski sektor, temeljen na dizalicama topline i električnim grijačima te promet usmjeren električnim vozilima, doprinijeti smanjenju stakleničkih plinova ili će se ponašati kao dodatni pasivni teret i još više produbiti problem. Manje jedinice, kao što su jedinice distribuirane proizvodnje do nekoliko MW ili prosumeri čije su karakteristike opisane u prethodim cjelinama, nisu u mogućnosti sudjelovati na tržištu električnom energijom, potrebno je uspostaviti nove tržišne koncepte. Agregiranje u jedan tržišni subjekt često je u literaturi opisan kao virtualna elektrana, i u takvom konceptu manje jedinice imaju mogućnost sudjelovanja na više tržišta i stvaranja profita/smanjivanja troška pružajući različite usluge [14]. Koncept gradske virtualne elektrane obuhvaća sve potrošače i proizvođače na razini grada kao jedan agregirani energetskektorski subjekt. Koncept takvih elektrana prikazan je na Slici 4, a detalje modela i rezultata, moguće je pronaći u [15]. Pri tome je naglasak stavljen upravo na interakciju između plinskog, električnog i toplinskog sektora, odabirući uvijek

najpovoljniju opciju bez narušavanja komfora krajnjih korisnika; idejno rješenje takvog sustava prikazano je Slikom 5.



Slika 4. Uloga virtualne elektrane u budućem EES-u [14]

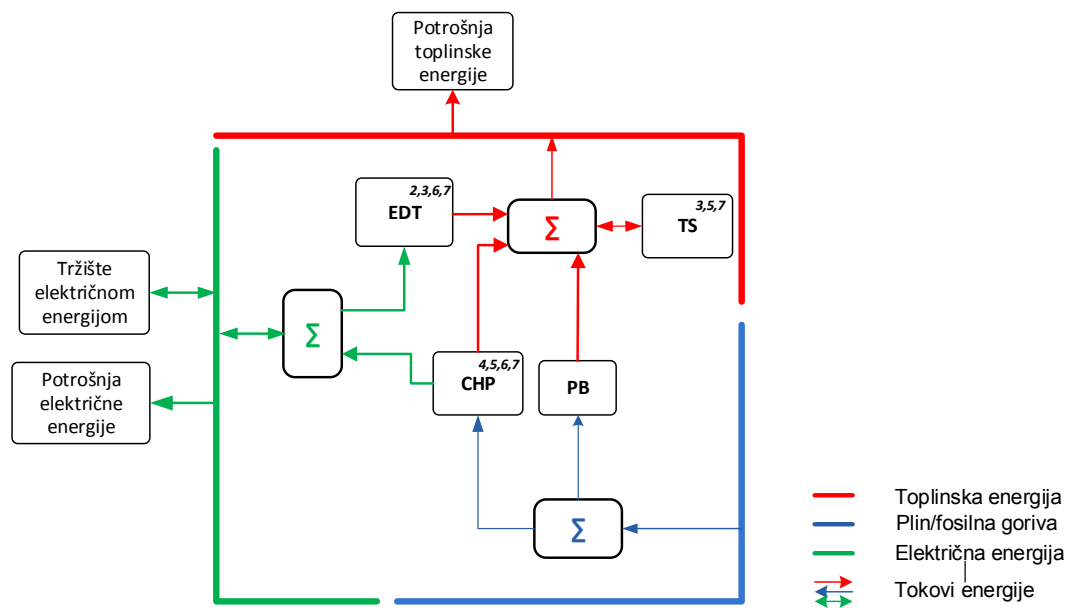
#### V. ZAKLJUČAK

Koncept naprednih energetskektorskih sustava nije nova tema; njena srž leži u uključivanju što većeg broja pojedinaca u sudjelovanje u energetici budućnosti. Nažalost, često su opći koncepti i ideje ostali samo na toj razini. U posljednje vrijeme pojavljuje se sve veći broj novih proizvođačaenergije, prije svega električne, blizu samih potrošača i postaje nužno da ideje postanu i konkretna rješenja.

U radu su prikazani koncepti naprednih potrošača, mreža i gradova, ne ulazeći u detalje modela na kojima se oni temelje. Opisana je uloga upravljanja potrošnjom, pri čemu je uloga agregatora prepoznata kao uloga neovisnog tržišnog subjekta koji nudi usluge na tržištu, ali i operatorima sustava, dok s krajnjim korisnicima ugovara nenarušavanje komfora pri korištenju „zaključane“ fleksibilnosti njihove proizvodnje/potrošnje. Detaljnije opise i obrazloženja modela kao i dobivenih rezultata moguće je pronaći u sljedećim radovima autora: i) napredno upravljanje lokalnom proizvodnjom i potrošnjom u [16] uz poseban osvrt na električna vozila u [17], [18], ii) napredno upravljanje distribucijskim mrežama u [19]; iii) višeenergijski sustavi i koncepti virtualnih elektrana u [20], [21], [22].

#### VI. ZAHVALA

Istraživanja prezentirana u ovom radu dio su projekta Fonda za zaštitu okoliša i energetskektorsku učinkovitost – SNOVI. Ovim putem zahvaljujem kolegama Ninoslavu Holjevcu i Matiji Zidaru na materijalima i komentarima koji su doprinijeli kvaliteti samog rada.



Slika 5. Višeenergijski sustav „pametnog“ grada

#### LITERATURA

- [1] P. Denholm, E. Ela, M. Milligan, The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation, 2010.
- [2] A. Zucker, T. Hinchliffe, A. Spisto, Assessing storage value in electricity markets a literature review, 2013.
- [3] J. Eyer, G. Corey, Energy Storage for the Electricity Grid : Benefits and Market Potential Assessment Guide A Study for the DOE Energy Storage Systems Program, 2010.
- [4] M.G. Pollit, The future of electricity (and gas) regulation in a lowcarbon policy world, Energy. 29 (2008) 63–94.
- [5] P. Siano, Assessing the Impact of Incentive Regulation for Innovation on RES Integration, IEEE Trans. Power Syst. 88 (2014) 2499–2508.
- [6] L. Baringo, A. Conejo, Wind power investment within a market environment, Appl. Energy. 88 (2011) 3239–3247.
- [7] A. Piccolo, P. Siano, Evaluating the impact of network investment deferral on distributed generation expansion, IEEE Trans. Power Syst. 24 (2009) 1559–1567.
- [8] S.J. Kazempour, A.J. Conejo, C. Ruiz, Strategic generation investment using a complementarity approach, IEEE Trans. Power Syst. 26 (2011) 940–948.
- [9] R. Hidalgo, C. Abbey, G.J. Joos, Technical and economic assessment of active distribution network technologies, in: IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. 2011, 2011: pp. 1–6.
- [10] D. Pudjianto, M. Aunedi, P. Djapic, G. Strbac, Whole-Systems Assessment of the Value of Energy Storage in Low-Carbon Electricity Systems, IEEE Trans. Smart Grids. 5 (2014) 1098–1109.
- [11] EG3 Report Smart Grid TaskForce, Regulatory Recommendations for the Deployment of Flexibility, 2015.
- [12] Narodne Novine, Zakon o energetskej učinkovitost, 2014.
- [13] E. Lannoye, D. Flynn, M. O’Malley, Evaluation of power system flexibility, IEEE Trans. Power Syst. 27 (2012) 922–931.
- [14] T. Capuder, Market and Environment Driven Optimization of Flexible Distributed Multi-Generation, 2014.
- [15] T. Capuder, P. Mancarella, Assessing the Benefits of Coordinated Operation of Aggregated Distributed Multi-Energy Generation, in: Power Syst. Comput. Conf. 2016, 2016: pp. 1–7.
- [16] N. Holjevac, T. Capuder, I. Kuzle, Adaptive control for evaluation of flexibility benefits in microgrid systems, Energy. (2014). doi:10.1016/j.energy.2015.04.031.
- [17] I. Pavić, T. Capuder, N. Holjevac, I. Kuzle, Role and Impact of Coordinated EV Charging on Flexibility in Low Carbon Power Systems, in: IEEE Int. Electr. Veh. Conf. 2014, 2014: pp. 1–5.
- [18] I. Pavić, T. Capuder, I. Kuzle, Value of flexible electric vehicles in providing spinning reserve services, Appl. Energy. 157 (2015) 60–74. doi:10.1016/j.apenergy.2015.07.070.
- [19] N.D. Hatzigryriou, D. Škrlec, T. Capuder, P.S. Georgilakis, M. Zidar, Review of energy storage allocation in power distribution networks: applications, methods and future research, IET Gener. Transm. Distrib. (2015) 1–8. doi:10.1049/iet-gtd.2015.0447.
- [20] H. Pandžić, I. Kuzle, T. Capuder, Virtual power plant mid-term dispatch optimization, Appl. Energy. 101 (2013) 134–141. doi:10.1016/j.apenergy.2012.05.039.
- [21] E.A. Martinez Cesena, T. Capuder, P. Mancarella, Flexible Distributed Multienergy Generation System Expansion Planning Under Uncertainty, IEEE Trans. Smart Grid. 7 (2016) 1–10.
- [22] T. Capuder, P. Mancarella, Techno-economic and environmental modelling and optimization of flexible distributed multi-generation options, Energy. 71 (2014) 516–533. doi:10.1016/j.energy.2014.04.097. .

# Baterijski spremnici energije – od električnih vozila do prijenosnog sustava

Prof. dr. sc. Igor Kuzle\*

\* Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva/Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, Hrvatska  
[igor.kuzle@fer.hr](mailto:igor.kuzle@fer.hr)

**Sažetak** - Sve veća integracija proizvodnih kapaciteta iz obnovljivih izvora energije (prvenstveno vjetra), čija je proizvodnja nestalna, teško predvidiva i brzo promjenjiva, predstavlja veliki izazov. Spremnici energije povećavaju fleksibilnost sustava tj. imaju svojstvo uravnoteženja nesigurnosti i varijabilnosti potrošnje i proizvodnje električne energije. U radu će se opisati tehnologije spremnika energije, s težištem na baterijskim spremnicima, te njihova primjena kod krajnjih potrošača, u električnim vozilima i ostalim primjenama. Razmotrit će se utjecaj spremnika na distribucijski sustav, a opisat će se i primjena baterijskih spremnika na prijenosnoj razini. Predstaviti će se realizirani projekti primjene baterijskih spremnika u elektroenergetskim sustavima.

## I. UVOD

Može se pretpostaviti da će se elektroenergetski sustava (EES) budućnosti sastojati od velikog broja malih proizvodnih jedinica u kombinaciji s konvencionalnom proizvodnjom, s masovnom proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije (OIE), što će uzrokovati dvosmjerne tokove snaga između prijenosne i distribucijske mreže kao i unutar distribucijske mreže. Ako se tome pridoda aktivna uloga potrošača vođenih cjenovnim signalima s tržišta bit će otežano održavanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje u sustavu. Stoga spremnici energije, kojima se povećava fleksibilnost sustava postaju ključni atribut budućih elektroenergetskih mreža. Može se reći da su spremnici energije nezaobilazna sastavnica naprednih elektroenergetskih mreža (engl. smart grids) koje podrazumijevaju skup tehnoloških multi-disciplinarnih elektrotehničko-informacijsko-komunikacijskih sustava uz primjenu novih materijala i konstrukcijskih rješenja.

### A. Fleksibilnost pogona EES-a

Općenito, fleksibilnost pogona može se definirati kao sposobnost sustava da angažira svoje resurse u odgovoru na promjene u opterećenju. Ako se promatra tržišno planiranje pogona elektrana, fleksibilni plan angažmana jedinica je onaj koji operatoru omogućava brzu i jeftinu promjenu u pogonu jedinica kao odgovor na promijenjenu tržišnu situaciju. Svi elektroenergetski sustavi inherentno imaju ugrađenu određenu razinu fleksibilnosti. Neizvjesnost i varijabilnost u proizvodnji i potrošnji moguće je uravnotežiti i s postojećim kapacitetima bez potrebe za dodanim ulaganjima u nove spremnike energije, fleksibilno upravljanje potrošnjom ili prijenosne kapacitete. No izgradnjom velike količine OIE zahtjevi na

fleksibilnost sustava su se povećali. Istovremeno je ostvarivanje fleksibilnosti nekonvencionalnim izvorima energije otežano jer se često radi o tehnologijama koje to ne omogućavaju (primjerice asinkroni generatori u slučaju vjetroelektrana ili fotonaponski sustavi čija proizvodnja ovisi o suncu).

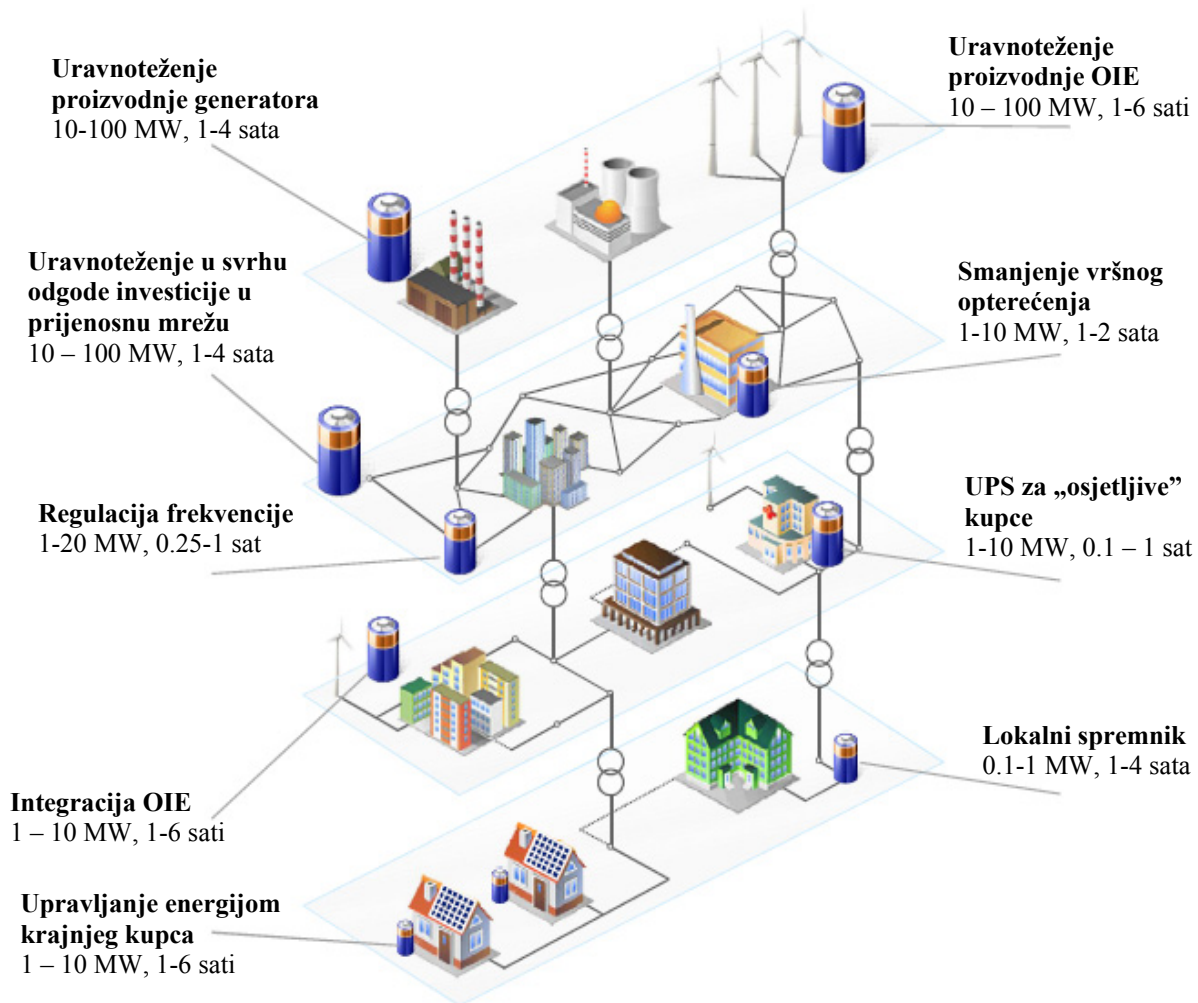
Pokazatelji nedostatka fleksibilnosti mogu se očitovati: nemogućnošću uravnoteženja proizvodnje i potrošnje što može dovesti do promjena u frekvenciji; značajnim količinama neiskorištene energije; odstupanjima od najavljenih rasporeda angažmana jedinica; volatilnošću cijena i negativnim cijenama električne energije.

Tradicionalno su elektrane s mogućnosti brze promjene snage pružale usluge rezerve. Pri tome su sustavi s velikim udjelom HE imali puno bolju fleksibilnost od pretežno sustava temeljenih na TE i NE. U uvjetima velike penetracije OIE sve je češća potreba da velike proizvodne jedinice značajno mijenjaju svoju snagu ili ulaze/izlaze iz pogona što povećava troškove pogona.

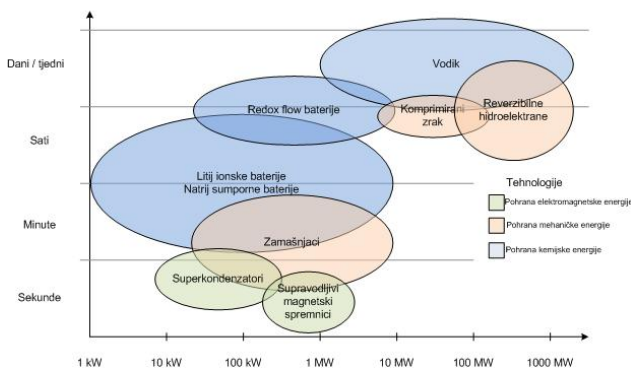
Intenzivnijim prodorom novih tehnologija (baterije, električna vozila, upravljiva trošila itd.) otvara se mogućnost ostvarivanja veće fleksibilnosti pogona. Osim upravljanja proizvodnjom za fleksibilnost sustava važno je i upravljanje potrošnjom. U ovom slučaju cilj je poticanje potrošača da troše manje energije tijekom vršnog opterećenja sustava, te da se potrošnja energije preseli iz perioda vršnog opterećenja u period manjeg opterećenja EES-a. Upravljanje potrošnjom ne mora nužno smanjiti ukupnu potrošnju energije, ali može se smanjiti potreba za ulaganjem u mrežu i/ili nove izvore.

Na slici 1 predočena je primjena i namjena spremnika energije u EES-u na različitim naponskim razinama u sustavu [1]. Spremnici se koriste za uravnoteženje proizvodnje i potrošnje, smanjenje vršnog opterećenja sustava, za regulaciju frekvencije u sustavu, za olakšavanje integracije OIE, za izbjegavanje zagušenja u sustavu, osiguravaju besprekidno napajanje u slučaju gubitka vanjskog napajanja itd. Osim navedenog, njihovom ugradnjom moguće je odgoditi investicije u izgradnju mreže što je posebice značajno u slučajevima kada je otežano dobivanje koridora za izgradnju vodova ili kada je ishođenje potrebnih dugotrajno. Općenito spremnici energije smanjuju pogonske troškove sustava.

Od tehnologija spremnika u EES-u se najčešće koriste: reverzibilne HE, baterije, superkondenzatori, zamašnjaci, spremnici vodika, spremnici komprimiranog zraka itd. (slika 2).



Slika 1. Primjena spremnika u EES-u



Slika 2. Značajke sustava za pohranu energije

## II. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

U tablici I predloženi su najznačajniji projekti baterijskih spremnika energije čiji je kapacitet skladištenja veći od 10 MW [2]. Radi se o spremnicima snaga od 10 MW pa do skoro 100 MW, s kapacitetom od nekoliko desetaka minuta pa do nekoliko sati u ovisnosti o njihovoj namjeni, da li služe za poboljšanje stabilnosti sustava (spremnici većih snaga ali manjeg kapaciteta) ili za smanjenje vršnog opterećenja, olakšanu integraciju OIE u sustav ili pružanje tercijarne rezerve sustavu (kada

su kapaciteti značajno veći ali su spremnici uobičajeno manjih snaga).

Iz tablice je vidljivo da su baterijski spremnici popularniji u SAD-u nego u Europi. Osnovni uzrok tome je što u SAD-u svega 2.5% isporučene električne energije dolazi iz neke vrste spremnika, dok je u Europi taj iznos oko 10%, a u Japanu čak 15%. U Europi i Japanu su reverzibilne hidroelektrane dominantna tehnologija, a u SAD-u nema toliko povoljnih lokacija za RHE pa su prisiljeni masovnije koristiti ostale tehnologije.

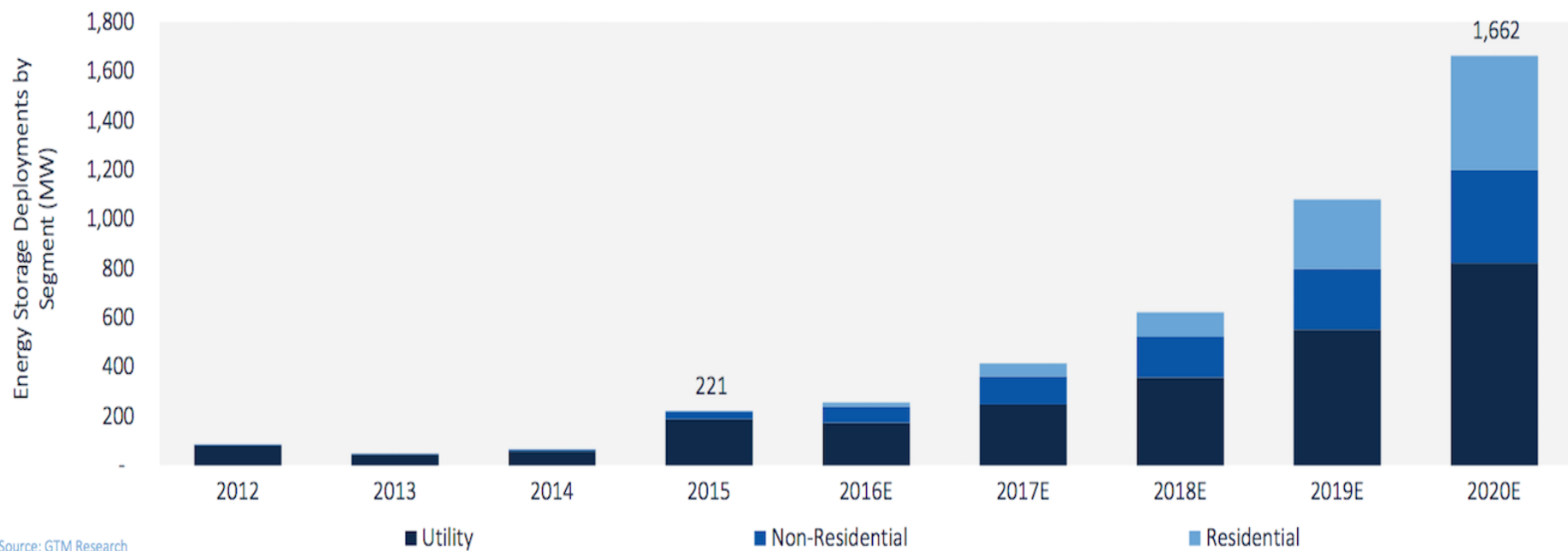
U Europi se izgradnji baterijskih spremnika najozbiljnije pristupilo u Italiji gdje se njihovom ugradnjom pokušava olakšati integracija OIE na nekim otocima i u jugoistočnom dijelu države gdje se pojavljuju i zagušenja mreže uzrokovana integracijom VE. S obzirom na visoku cijenu spremnika potrebno ih je koristiti za više namjena kako bi ostvarivali višestruke koristi te time opravdali visoke troškove investicije.

Predviđa se da će u SAD-u do 2019. godine ukupna snaga instaliranih spremnika električne energije biti veća od 1200 MW, od kojih velika većina otpada na baterijske spremnike energije (slika 3). Uočava se nagli trend porasta što je posljedica značajnijeg pada cijene spremnika posljednjih godina.

TABLICA I. NAJZNAČAJNIJI PROJEKTI SPREMNIKA ENERGIJE U SVIJETU

Projekt	Tehnologija	Nazivna snaga MW	Kapacitet s nazivnom snagom sati:minute	Status	Država	Poveznica
Terna SANC Project	Natrij-sumporne baterije	12	8:0.00	U izgradnji	Italija	<a href="http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx">http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx</a>
Terna SANC Project	Natrij-sumporne baterije	12	8:0.00	U izgradnji	Italija	<a href="http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx">http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx</a>
Terna SANC Projec	Natrij-sumporne baterije	10.8	8:0.00	U izgradnji	Italija	<a href="http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx">http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx</a>
Terna Grid Defense Plan Phase II	Litij-ionske baterije	20	0:0.00	Najavljen	Italija	<a href="http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx">http://www.terna.it/default/home_en/the_company/about_terna/Terna_Storage_en.aspx</a>
Auwahi Wind Farm	Litij-ionske baterije	11	0:24.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.a123systems.com/smart-grid-storage.htm">http://www.a123systems.com/smart-grid-storage.htm</a>
Kaheawa Wind Power Project II	Napredne olovne baterije	10	0:45.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.epri.com">http://www.epri.com</a>
Stem 85 MW Western Los Angeles Basin	Distribuirane elektrokemijske baterije	85	0:0.00	Ugovoren	SAD	<a href="http://www.stem.com/archives/11709">http://www.stem.com/archives/11709</a>
Duke Energy Notrees Wind Storage Demonstration Project	Napredne olovne baterije	36	0:40.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.yunicos.com/en/projects/06_Notrees/">http://www.yunicos.com/en/projects/06_Notrees/</a>
AES Laurel Mountain	Litij-ionske baterije	32	0:15.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.aesenergystorage.com/news/aes-laurel-mountain-achieves-commercial-operation-energy-storage-and-wind-generation.html">http://www.aesenergystorage.com/news/aes-laurel-mountain-achieves-commercial-operation-energy-storage-and-wind-generation.html</a>
Beech Ridge Wind Storage	Litij-željezo-fosfatne baterije (LiFePO <sub>4</sub> )	31.5	0:0.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.utilitydive.com/news/invenergy-adds-315-mw-battery-to-booming-pjm-frequency-regulation-market/408558/">http://www.utilitydive.com/news/invenergy-adds-315-mw-battery-to-booming-pjm-frequency-regulation-market/408558/</a>
Grand Ridge Energy Storage	Litij-željezo-fosfatne baterije (LiFePO <sub>4</sub> )	31.5	0:23.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.invenergyllc.com/ProjectsbyCountry/UnitedStates/GrandRidgeEnergyStorage.aspx">http://www.invenergyllc.com/ProjectsbyCountry/UnitedStates/GrandRidgeEnergyStorage.aspx</a>
GVEA Battery Energy Storage System	Nikl-kadmijske baterije	27	0:15.00	U pogonu	SAD	<a href="http://www.gvea.com/energy/bess">http://www.gvea.com/energy/bess</a>
Kahuku Wind Farm	Napredne olovne baterije	15	0:15.00	U rekonstrukciji	SAD	<a href="http://energy.gov/lpo/kahuku-wind-power-first-wind">http://energy.gov/lpo/kahuku-wind-power-first-wind</a>
Anchorage Area Battery Energy Storage System	Litij-ionske baterije	25	0:34.00	Najavljen	SAD	<a href="http://arctec.coop/wp-content/uploads/2012/11/arctecFY2014legislativepriorities.pdf">http://arctec.coop/wp-content/uploads/2012/11/arctecFY2014legislativepriorities.pdf</a>

Projekt	Tehnologija	Nazivna snaga MW	Kapacitet s nazivnom snagom sati:minute	Status	Država	Poveznica
MID Primus Power Wind Firming EnergyFarm	Cink-bromne protočne baterije	28	4:0.00	Najavljen	SAD	<a href="http://energy.gov/sites/prod/files/Primus.pdf">http://energy.gov/sites/prod/files/Primus.pdf</a>
AES Los Andes Battery Energy Storage System	Litij-ionske baterije	12	0:20.00	U pogonu	Čile	<a href="http://www.aesenergystorage.com/deployments/">http://www.aesenergystorage.com/deployments/</a>
AES Angamos Storage Array	Litij-ionske baterije	20	0:20.00	U pogonu	Čile	<a href="http://www.aesenergystorage.com/deployments/">http://www.aesenergystorage.com/deployments/</a>
Rokkasho Village Wind Farm	Natrij-sumporne baterije	34	7:0.00	U pogonu	Japan	<a href="http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Rokkasho-Futamata_Wind_Farm_Energy_Storage_Case_Study.html">http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Rokkasho-Futamata_Wind_Farm_Energy_Storage_Case_Study.html</a>
Changsha	Litij-željezo-fosfatne baterije (LiFePO <sub>4</sub> )	10	2:0.00	Najavljen	Kina	<a href="http://www.byd.com">http://www.byd.com</a>



Slika 3. Godišnji porast spremnika energije u SAD-u u periodu 2012.-2019. [3]

### III. VRSTE BATERIJSKIH SPREMNIKA ENERGIJE

#### A. Olovne baterije

Olovne baterije su tehnološki najstarije i najčešće korišteni baterijski spremnici energije. Obično se izvode kao nepropusne i hermetički zatvorene, poznatije kao VRLA (engl. Valve Regulated Lead Acid) baterije. Tijekom kvara ili nekontroliranog punjenja u bateriji se razvija eksplozivni plin koji se ispušta kroz sigurnosni ventil, pa je u slučaju primjene VRLA baterija potrebno osigurati provjetravanje prostora.

Najčešće se koriste dvije vrste VRLA baterija:

- AGM (engl. Absorbent Glass Mat) baterije i
- Gel baterije.

U slučaju AGM baterija elektrolit je apsorbiran u mreži staklenih vlakana, a u slučaju GEL baterija elektrolit je imobiliziran kao gel. AGM baterije odlikuju se sposobnošću većeg kratkotrajnog davanja visokih struja (struje pokretanja zahtjevnih trošila) u odnosu na GEL baterije. GEL baterije imaju dulji životni vijek i veći broj ciklusa pražnjenja u odnosu na AGM baterije.

Povišena temperatura skraćuje životni vijek svake baterije. GEL i AGM baterije ekstremno su osjetljive na povišenu temperaturu jer se tijekom punjenja u bateriji pojačano razvijaju plinovi koji mogu uzrokovati deformaciju i neupotrebljivost baterija (slika 1). Npr. kvalitetnija GEL baterija u radu na temperaturi 20°C traje oko 12 godina, na 30°C samo 6 godina, a u radu na 40°C trajati će samo 3 godine. Zavisno o ispražnjenosti i niskim temperaturama su pogubne za baterije, ukoliko temperatura pade ispod 0°C dolazi do smrzavanja i uništenja baterije.



Slika 4. Plinom deformirana VRLA baterija [5]

Osim temperature na životni vijek baterija najviše utječe proces sulfatizacije. Tijekom pražnjenja svake olovne baterije (GEL ili AGM s tekućim elektrolitom) na pločama baterije taloži se materijal (olovni sulfat). Ako nakon pražnjenja ubrzo nastupi punjenje, taj materijal se razgradi. Međutim ako se baterija ostavi nenapunjena, sulfat ostaje na pločama i s vremenom očvrstne (kristalizira). Nakon nekog vremena više nije moguće razgraditi sulfat punjenjem baterije i baterija nepovratno gubi dio kapaciteta i propada (u prosjeku nakon godine dana).

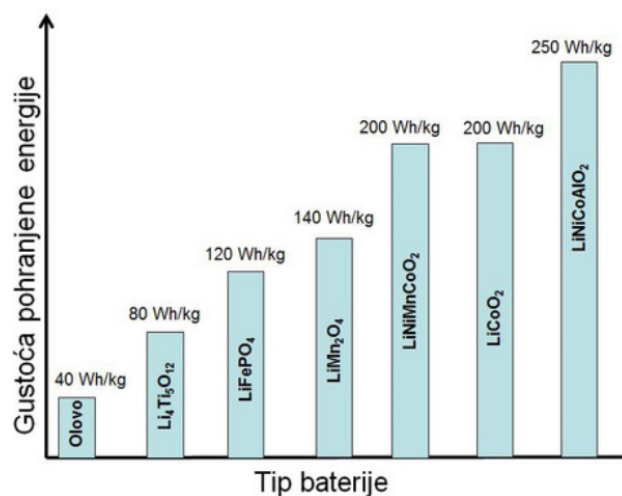
#### B. Olovo-kristal baterije

Olovo-Kristal baterije je najnovija vrsta olovnih baterija koje su posebno otporne na pojavu sulfatizacije i vrlo duboka pražnjenja, odlično podnose ekstremno

visoke i niske temperature i traju najmanje dva puta dulje od ostalih olovnih baterija. Cijena ovih baterija malo je viša od cijene standardnih cikličkih Gel baterija.

#### C. Litij-ionske baterije

Najzastupljenija baterijska tehnologija u električnim vozilima je Li-Ion tehnologija. Glavna prednost im je velika energetska gustoća (300-400 kWh/m<sup>3</sup>, 130 kWh/t) (slika 5), visoka učinkovitost koja je blizu 100% i dugačak životni vijek (mogu izdržati prilično velik broj ciklusa punjenja i pražnjenja (preko 50000 ciklusa uz nisku razinu ispražnjenosti, engl. Depth of Discharge DoD). Za razliku od olovnih baterija litij-ionska baterija može se bez oštećenja i ubrzanog starenja isprazniti do kraja pa po ciklusu daje znatno više energije od olovnih baterija istog kapaciteta i snage. Za istu raspoloživu energiju olovna baterija ima masu četiri puta veću Li-ionske baterije.



Slika 5. Gustoća pohranjene energije različitih vrsta Li-ion baterija u usporedbi s olovnom baterijom

Glavni nedostatak ovih baterija su visoki troškovi proizvodnje, koji uključuju sofisticirane upravljačke sustave baterija za zaštitu od prevelike struje i prevenciju otkazivanja zbog prevelikog ili premalog napona.

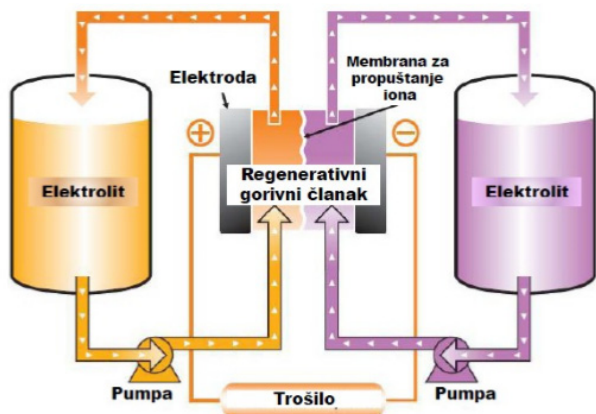
#### D. Cink-brom i vanadij-redoks protočne baterije

Ove baterije razvijene su još sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Za razliku od većine baterija koje sadrže sav elektrolit i elektrode unutar jednog kućišta protočna baterija glavninu elektrolita, uključujući i otopljene reaktivne vrste, imaju smještene u različitim odjeljcima (slika 6). Elektroliti se pumpaju kroz reaktor koji sadrži elektrode, kada se baterija puni ili prazni. Vanadij-redoks (VRB) i cink-brom (Zn-Br) baterije sadrže dva međusobno razdvojena elektrolita, koji se kombiniraju unutar takozvane regenerativnog gorivnog članka za vrijeme punjenja i pražnjenja.

Ako su elektroliti razdvojeni dok baterija ne radi, neće doći do samopražnjenja, što čini ovaj tip baterije idealnim za dugotrajno skladištenje energije. Ostale prednosti ovakvih baterija su: kapaciteti energije i snage su djelotvorno razdvojeni (iznos snage je ograničen veličinom gorivnog članka); kapacitet skladišta energije ovisi samo o veličini spremnika za elektrolit; sposobnost



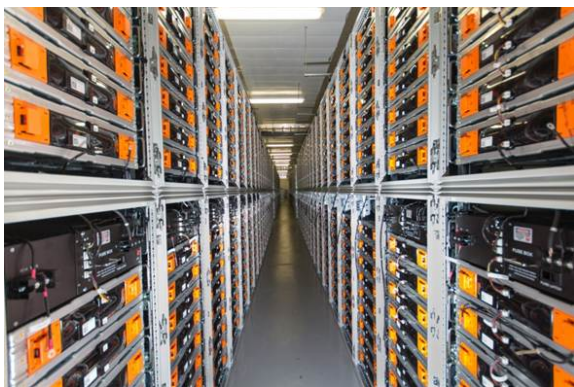
brzog dopunjenja (jednostavnom zamjenom ispražnjenog elektrolita); velik broj životnih ciklusa i dugačak radni vijek (jednostavna zamjena elektrolita i moguće obnavljanje gorivog članka); te, konačno, u mogućnosti potpunog pražnjenja bez negativnih učinaka. Glavni nedostaci ove relativno nove baterijske tehnologije leže u vrlo velikim dimenzijama (zahtijevaju prostor za spremnike i pomoćne crpke) i niskoj specifičnoj gustoći energije (manje od 50 Wh/kg). Ostali problemi se odnose na rad kemijskog postrojenja koje uključuje sustave crpki i spremnika, uz moguć utjecaj na okoliš u slučaju baterija na bazi broma. Učinkovitost im je oko 75%.



Slika 6. Protočna baterija

#### E. Baterijske banke

Više pojedinačnih baterija spojenih u seriju i/ili paralelu naziva se baterijskom bankom (slika 7). Prilikom formiranja baterijske banke, baterije se u određenom sustavu spajaju u seriju u svrhu povećanja napona, ili paralelno kako bi im se povećao kapacitet. Jako je važan način povezivanja baterija pri paralelnom spajanju jer se izborom spoja značajno utječe na otpor pojedine baterije zbog duljine spojnih kabela. Baterije s najmanjim otporom brže se pune i prazne, što utječe na životni vijek.



Slika 7. Baterijska banka

### IV. ELEKTRIČNA VOZILA

Posebnu kategoriju trošila čine električna vozila koja se mogu koristiti i kao spremnici energije. Broj električnih vozila ubrzano se povećava posljednjih godina. Razlozi za to su višestruki:

- smanjenje zagađenja stakleničkim plinovima, današnji promet odgovoran je za emisiju 13,5% stakleničkih plinova u svijetu, a na osobna vozila otpada 44,5% od tog postotka;
- smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, posebice ako koriste OIE za punjenje;
- povećavaju nacionalnu energetske sigurnost.

Danas postoji više tehnologija električnih automobila:

- hibridna vozila (engl. Hybrid Electric Vehicle – HEV), koja su kombinacija motora s unutarnjim izgaranjem i električnog motora. U ovom slučaju akumulatori se nadopunjavaju tijekom vožnje i kočenja, a domet takvih vozila na električni pogon im je vrlo ograničen (uobičajeno nekoliko kilometara);
- punjiva hibridna vozila (engl. Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV) imaju punjive baterije većeg kapaciteta, nego standardna hibridna vozila pa im je domet na električni pogon veći i uobičajeno iznosi nekoliko desetaka kilometara. Glavna prednost predmetnih vozila je smanjene tjeskobe vlasnika da im kapacitet baterija neće biti dovoljan da dosegnu željenu destinaciju; najpoznatiji su Chevrolet Volt (Opel/Vauxhall Ampera), Toyota Prius PHV, Mitsubishi Outlander P-HEV itd.
- baterijska električna vozila (engl. Electric Vehicle – EV) su vozila koja imaju samo električni motor; najprodavanije vozilo je Nissan Leaf s preko 100000 prodanih primjeraka, a poznati su još Tesla Model S i Tesla Roadster, Chevrolet Spark EV, Renault Zoe, itd., hrvatski predstavnici Concept\_One tvrtke Rimac Automobili (slika 8) i Loox tvrtke Dok-Ing (slika 9).



Slika 8. Concept one



Slika 9. Loox

Električni automobili mogu imati različite kapacitete baterija ovisno o tipu i namjeni automobila. Ako se uzme u obzir da prosječni dnevni put automobila iznosi oko 30 km uz potrošnju energije od 0,2 kWh/km dnevno je potrebno 6 kWh energije po vozilu. Potrošnja energije ovisi o načinu vožnje, duljini i profilu prijeđenog puta, a može iznositi od 5 kWh do 40 kWh dnevno. Punjenje baterije u pravilu traje nekoliko sati, ovisno da li se koristi normalno i brzo punjenje, pa tako punjenje može trajati od 30 minuta do 8 sati.

Kao trošila električni automobili imaju veliku fleksibilnost iz dva razloga. Prvi razlog je da 95% vremena električni automobili nisu u pogonu što ih čini jednostavnim za punjenje kod kuće, na poslu ili na parkiralištu. Drugi razlog je što većina današnjih baterija pruža autonomiju za prosječno stotinjak ili više km gradske vožnje, pa je stoga vrijeme za punjenje tijekom dana lagano odabrati i mijenjati. Ti razlozi omogućavaju električnim automobilima laganu prilagodbu za punjenje u vrijeme kada je opterećenje u mreži malo i kada je cijena električne energije niža.

Osim uloge trošila priključenih na mrežu električni automobili mogu biti i izvori električne energije obzirom da posjeduju spremnik energije tj. bateriju. Na taj način električni automobili postaju distribuirani spremnici električne energije u distribucijskoj mreži, te se mogu koristiti za smanjenje opterećenja u mreži. Takvi distribuirani spremnici električne energije u električnim automobilima čine mrežu stabilnijom, sigurnijom i fleksibilnijom za pružanje usluga poput regulacije frekvencije i rezervne snage u distribucijskoj mreži. Još jedna velika prednost ovakvih spremnika električne energije je da se na taj način može skladištiti električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora energije pogotovo električne energije iz fotonaponskih elektrana. Punjenje baterija električnih automobila energijom iz obnovljivih izvora ima značajan utjecaj na smanjenje opterećenja u mreži kao i emisije CO<sub>2</sub>.

Zbog maksimalnog opterećenja koje mreža može podnijeti i zbog tehničkih razloga (kvaliteta energije, zagušenje nekih grana i transformatora u mreži) ograničen je broj električnih automobila koje je moguće integrirati u mrežu bez značajnijih infrastrukturnih zahvata, a ovisi o načinu punjenja. Punjenje može biti nekontrolirano i kontrolirano. U slučaju nekontroliranog punjenja vlasnici vozila mogu u bilo koje vrijeme priključiti vozilo na mrežu kako bi napunili svoje vozilo. Nakon priključenja automatski započinje punjenje koje traje dok se baterija ne napuni ili do namjernog prekida punjenja.

Predmetni način punjenja električnih automobila nije prihvatljiv u slučaju integracije većeg broja električnih automobila, već je potrebno primijeniti kontrolirano punjenje. Ideja kontroliranog punjenja je osigurati punjenje vozila tijekom nižeg opterećenja mreže, iskoristiti čim je više moguće električnu energiju iz obnovljivih izvora (npr. fotonaponskih elektrana) ali i iskoristiti energiju pohranjenu u baterijama električnog automobila ukoliko se pokaže potreba.

Mogući problemi u mreži pojavljuju se posebice u slučaju brzog punjenja iako se radi o kontroliranom punjenju. Tijekom brzog punjenja, u slučaju suvremenih

punionica, snaga koju električni automobil povlači iz mreže može iznositi između 50-120 kW. Ako predmetna punionica ima desetak priključaka moguće je značajno opterećenje dijela mreže na koju je punionica priključena. U svijetu se sve češće uz takvu vrstu punionica ugrađuju dodatni baterijski spremnici kako bi se ublažio udar na mrežu. Osim navedenog, sve se više razrađuje poslovni model stanica za izmjenu baterija električnih vozila (engl. Battery Swapping Station – BSS) gdje se ispražnjene baterije mogu zamijeniti istovjetnim napunjenim baterijama (slika 10).



Slika 10. Stanica za izmjenu baterija električnih vozila

U predmetnom modelu korisnik kupuje električni automobil bez baterija (cijena baterija iznosi oko 80% cijene automobila) te sklapa ugovor za iznajmljivanje baterija s nekom od kompanija koje nude predmetnu uslugu. Na taj način se izbjegava nezadovoljstvo kupaca ukoliko mu se u automobil stave starije baterije jer su ionako samo privremeno u automobilu (slično zamjeni plinske boce). Kompanija koja zamjenjuje baterije ih ekološki zbrinjava kada izgube kapacitet, i vodi računa o punjenju, održavanju i distribuciji baterija i sl. Problem je standardizacija dimenzija i pristupa baterijama u vozilima jer proizvođači električnih vozila imaju različita rješenja. Predmetni koncept ima budućnost jer je stvarna zamjena sadašnjim benzinskim stanicama. Osim navedenog, predmetne stanice za izmjenu baterija bi se mogle koristiti i kao spremnici energije te pružati različite usluge u sustavu:

- G2V (engl. Grid-to-Vehicle), stanica maksimizira dobit puneći baterije tijekom perioda niskih cijena električne energije;
- V2G (engl. Vehicle-to-Grid), stanica prazni postojeće baterije i injektira snagu u mrežu tijekom perioda visokih cijena, a može osiguravati i pomoćne usluge sustava (primarnu regulaciju frekvencije, rotirajuću rezervu, regulaciju napona itd.), pri tome uvijek na skladištu u stanici postoji određeni broj punih baterija kako bi normalno mogla obavljati izmjenu istih kupcima;
- V2V ili B2B (engl. Vehicle-to-Vehicle ili Battery-to-Battery), kada se iskorištava preostali kapacitet u dijelu baterija kako bi se napunile ostale baterije na skladištu, npr. u slučaju jako visokih cijena kada se nema dovoljno punih baterija za izmjenu da bi se zadovoljila potražnja.

Napredno ili kontrolirano punjenje podrazumijeva aktivni upravljački sustav s hijerarhijskom strukturom upravljanja gdje se kontinuirano prate svi elementi mikromreže. Implementacija takvog sustava ili koncepta zahtjeva infrastrukturu, standardizaciju sučelja, tarife, uređenje tržišta električne energije i pomoćnih usluga itd.

## V. ZAKLJUČAK

Posljednjih desetak godina dogodile su se velike promjene u elektroenergetskom sektoru. Uvođenje tržišta električne energije kao i značajan porast penetracije obnovljivih izvora energije, distribuirane proizvodnje, spremnika energije, električnih vozila i ostalih naprednih trošila dramatično je promijenio načine vođenja pogona elektroenergetskog sustava.

Da bi se elektroenergetska mreža učinila sigurnijom, pouzdanijom i troškovno učinkovitijom značajni naponi usmjeravaju se na povećanje fleksibilnosti EES-a primjenom spremnika energije. Konvencionalni sustavi za spremanje energije poput reverzibilnih hidroelektrana, često su geografski ograničeni što pogoduje razvoju baterijskih sustava za spremanje energije. Predmetni sustavi mogu se instalirati u postojeća rasklopna postrojenja, a prema potrebi se mogu i seliti iz postrojenja u postrojenje. Najveća zapreka njihovom masovnom korištenju je još uvijek relativno visoka cijena predmetnih sustava. Međutim, veliki napredak u procesu proizvodnje baterija, za što su prvenstveno zaslužni električni automobili, doveli su baterije na prag isplativosti.

Električna vozila čine posebnu kategoriju trošila, a broj im se značajno povećava tijekom nekoliko posljednjih godina. Osim utjecaja električnih vozila kao trošila na elektroenergetski sustav u svijetu se intenzivno

istražuje i mogućnost njihovog korištenja kao spremnika energije. U svakom slučaju, s obzirom na brojnost, predviđa se pozitivan utjecaj električnih vozila na povišenje opterećenja sustava tijekom noći tj. na smanjenje razlike između maksimalne i minimalne potrošnje u sustavu. Značajan utjecaj, posebice u slučaju brzih punionica, bit će i na distribucijsku mrežu gdje se mogu očekivati lokalna preopterećenja, što će se vjerojatno ublažavati korištenjem baterijskih spremnika energije.

## ZAHVALA

Rad je dio projekta FENISG – Flexible Energy Nodes in Low Carbon Smart Grid financiranog od Hrvatske zaklade za znanost, šifra potpore 7766.

## LITERATURA

- [1] The Energy Storage Association ([www.energystorage.org](http://www.energystorage.org))
- [2] <http://www.energystorageexchange.org/projects>
- [3] <https://www.greentechmedia.com/research/subscription/u.s.-energy-storage-monitor>
- [4] <http://www.schrack.hr/alternativni-izvori/> (serija članaka autora J. Radina i J. Zdenkovića)
- [5] I. Kuzle, "Mikromreže i fleksibilna trošila," 38. međunarodni skup MIPRO, Opatija, Hrvatska, 25.-29.05.2015., pp. 1-6
- [6] H. Pandžić, "Integracija spremnika energije u elektroenergetski sustav," 38. međunarodni skup MIPRO, Opatija, Hrvatska, 25.-29.05.2015., pp. 1-6
- [7] A. Joseph, M. Shahidehpour, "Battery Storage Systems in Electric Power Systems," IEEE Power Engineering Society General Meeting (PES GM 2006), Montreal, Canada, 18-22 June, 2006, pp. 1-8
- [8] I. Pavić, T. Capuder, I. Kuzle, "Low Carbon Technologies as Providers of Operational Flexibility in Future Power Systems," Applied energy, Vol. 168, April 2016, pp. 724-738

# Mogućnosti uštede električne energije u pametnim kućanstvima

Doc. dr. sc. Juraj Havelka\*, Mr. sc. Martin Golubić

\* Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva/Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, Hrvatska  
[juraj.havelka@fer.hr](mailto:juraj.havelka@fer.hr)

**Sažetak** - Tehnologije vezane uz električnu energiju na polju elektrotehnike, automatizacije, strojarstva i građevinarstva posljednjih su godina ostvarile veliki napredak. Današnji zahtjevi se ubrzano mijenjaju. Dom bi trebao biti opremljen prema potrebama stanara, te udovoljavati zahtjevima za sigurnošću, udobnošću i ekonomičnošću. Sustavi pametnih kuća nude atraktivna rješenja koja udovoljavaju najvišim standardima u stambenim, komercijalnim i javnim građevinama. Kvaliteta života, udobnost i sigurnost se mogu lako kombinirati sa ekonomičnošću i brigom za okoliš navedenih sustava. Ovi sustavi obuhvaćaju širok spektar primjene u građevinama: od rasvjete i kontrole roleta do grijanja, ventilacije, upravljanja potrošnjom energije, sigurnosti i nadzora. Fleksibilno korištenje prostorija i kontinuirana promjena potreba mogu se vrlo lako implementirati. Za realizaciju visokih zahtjeva korisnika važno je profesionalno i detaljno planiranje.

U posljednjih nekoliko godina raste svijest čovječanstva o pogodnostima prilikom uštede energije. Pri tom se misli na energetske učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije. Nove tehnologije postaju sve dostupnije zbog niza prednosti: troškovi za energiju se smanjuju, tvrtke sve bolje posluju, čuva se okoliš, smanjuje se ispuštanje stakleničkih plinova, povećava broj radnih mjesta itd. S gledišta običnog čovjeka to znači uštedu u troškovima mjesečnih režija za energiju. Uvodi se novi pojam: upravljanje energijom. Moguća su mnoga rješenja, kao što su: ugradnja fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije iz Sunčeve energije, priprema tople vode pomoću solarnih kolektora, mali vjetroagregati, korištenje biomase i slično. S druge strane, osim uštede energije, korisnik dobiva i veću razinu udobnosti i sigurnosti. U sustav za nadzor i upravljanje naprednim instalacijama u objektima spadaju još: protuprovalna zaštita, zaštita od poplave, požara ili curenja plina, otvaranje garažnih vrata, sustav video nadzora, upravljanje rasvjetom, mjerenje temperature, upravljanje tendama i roletama, upravljanje grijanjem, klimatizacijom i ventilacijom, upravljanje multimedijским uređajima u kućanstvu i sl.

## I. UVOD

Vrlo veliki izazovi današnjeg vremena su klimatske promjene i povećani nedostaci resursa. Dodatno, mnoge zemlje diljem svijeta su ovisne o uvoznjoj energiji – u Europskoj uniji se danas koristi 50 % energije iz uvoza, a to je podatak za koji se očekuje da će do 2030. godine doseći 70 % [1]. Efikasno i održivo korištenje energije je stoga od goruće važnosti, što je potpuno u skladu s motom Europske komisije: „manje je više“. Nakon područja transporta i proizvodnje električne energije, zgradarstvo je najveći potrošač energije. Grijanje, hlađenje i rasvjeta u

stambenim i poslovnim zgradama zauzimaju otprilike 40 % energije, potrošene u razvijenim zemljama [1]. To pokazuje da postoji veliki prostor za optimizaciju. Na razini Europske unije, ova činjenica je iskazana u publikaciji u kojoj je dana Direktiva, a odnosi se na korištenje energije u zgradarstvu (2002/91/EC). Glavni zahtjev je problem energetske certificiranja koje sadrži potrošnju energije građevine kao i analizu potencijalnih ušteda. Kako bi se započeo ovaj mukotrpan i dug, ali nužan put, koji započinje mjerenjem, implementirani su mnogi europski standardi, kao na primjer EN 15232, a u Njemačkoj DIN standard (DIN 18599).

Inženjering sustava zgradarstva, podržan od strane inteligentnih i umreženih prostorija i kontrola (rasvjeta, zaštita od sunca, grijanje, ventilacija i klimatizacija kao i ostali sustavi u zgradarstvu), značajno doprinosi efikasnom korištenju energije i korištenju energije baziranom na očuvanju okoliša. Svjetski standardi za takve tehnologije omogućuju uštede energije dvoznamenkastih vrijednosti i ujedno ostvaruju poboljšanu fleksibilnost planiranjem i implementacijom, visoku razinu zaštite investiranja i sve veću dostupnost korisniku.

Različiti koncepti i pristupi mogući su u optimizaciji energetske efikasnosti u zgradarstvu. U ovom kontekstu, korištenje inteligentne kontrole građenja omogućuje dokazanu i zanimljivu alternativu ili dodatak koji je jasno odvojen njegovim uvjerljivim omjerom troškova i koristi (eng. cost-benefit ratio). Prosječna vrijednost potencijala uštede energije je u granicama koje su prikazane u tablici 1. Sumarno, ovi rezultati kod prosječne uštede energije s općim mjerenjima i optimizacijom kontrola kreću se otprilike između 11 i 31 % [1].

Tablica 1. Potencijalna ušteda energije

Metoda	Potencijalna ušteda
Kontrola osobnog grijanja	14% -15%
Automatizacija grijanja	7% - 17%
Kontrola roleta	9% - 32%
Kontrola rasvjete	25% - 58%
Kontrola ventilacije	20% - 45%

## II. KONCEPT PAMETNE KUĆE

Sustavi u pametnim kućama sastoje se od mnogo različitih komponenti. Ovdje je nabrojana većina njih: upravljanje rasvjetom, sustav video nadzora, regulacija

temperature, grijanje, klimatizacija, ventilacija, daljinsko upravljanje dvorišnim i garažnim vratima, daljinski nadzor i upravljanje putem osobnog računala, upravljanje i nadzor pomoću zaslona na dodir, daljinski nadzor i upravljanje putem GSM-a, upravljanje daljinskim IC upravljačem, alarm neovlaštenog ulaza, dojava prisutnosti plina, dojava požara, dojava poplave, jačina vjetrova, ambijent – ugođaj scene, upravljanje tendama, upravljanje roletama, daljinsko upravljanje i kontrola ulaza u objekt, zalijevanje vrta, stereo ozvučenje u više zona i slično.

Osim navedenih sustava, koji su potrošači električne energije, ovdje spadaju i sustavi koji proizvode električnu energiju u sklopu objekta, prvenstveno se bazirajući na obnovljivim izvorima energije:

- fotonaponski sustavi za proizvodnju električne energije,
- solarni kolektori za pripremu i dobavu tople vode,
- male vjetroturbine za proizvodnju električne energije,
- korištenje geotermalnih izvora energije.

Više je razloga zašto je koncept pametne kuće sve traženiji i poželjniji, a ovdje će biti nabrojane samo neke od prednosti ovog sustava.

#### A. Kućna automatizacija (pametna kuća)

Kućna automatizacija može se definirati kao tehnika upravljanja tehnologijom u domu koja doprinosi poboljšanju kvalitete života. Upravo je to razlog zašto je kućna automatizacija prestala biti luksuz i postala pametan alat za upravljanje. Pomoću ove tehnike mogu se kontrolirati sve funkcije u domu: rasvjeta, kućanski aparati, rolete, alarmi, ulazi itd. Tako se korisnik može pobrinuti za svoju sigurnost i izbjeći nepotrebno trošenje energije.

#### B. Sigurnost

Zahvaljujući napredcima na polju električne energije, načelo prevencije postalo je moguće pomoću simulacije prisutnosti. Sustav analizira životne navike ukućana (uključivanje i isključivanje radioprijamnika, televizora, svjetiljaka itd.), te ih oponaša kad nisu kod kuće. To je ponekad sasvim dovoljno da obeshrabri ljude od nepoželjnog ulaska na tuđi posjed. Ako je potrebno, uključit će se i alarm, te moguća dodatna iznenađenja za uljeza: uključit će se cjelokupna rasvjeta, podići sve rolete itd. Takvi sustavi omogućuju jednostavno ostvarivanje svih mogućih scenarija. Sigurnost proizlazi i iz uvjerenja da je isključeno sve što je poželjno pri izlasku iz kuće (primjerice, da nije ostavljen uključen štednjak, friteza, glačalo ili nešto drugo). Sigurnost znači i primanje upozorenja u slučaju poplave ili požara. Pametno smješten osjetnik upozorit će na svaki mogući kvar putem GSM-a.

#### C. Biokompatibilnost

Živimo okruženi električnim valovima, a kod kuće smo im stalno izloženi. Prekidač pokraj jastuka, lampa uz krevet, krevet s električnom dekom itd. emitiraju električne valove. Jedino rješenje je da isključite struju,

što nije tako jednostavno uz postojeće klasične električne sustave. No uz sustave pametnih kuća svi se štetni oblici energije isključuju na samoj razvodnoj ploči. Jednim klikom mogu se isključiti svi potrošači u kući kad se ide na spavanje. Nema više štetnih valova.

#### D. Udobnost

Sustavi pametnih kuća omogućuju udobnost u domu na visokoj razini. Može se pozvati prijatelj i jednim potezom stvoriti pravi ugođaj kad je svaka lampa u sobi podešena na odgovarajući intenzitet svjetlosti ili se može programirati rasvjeta da se postupno uključuje i sl.

#### E. Ušteda energije

Automatsko podešavanje razine rasvjete prema vanjskim uvjetima i namjeni, štedi električnu energiju. Grijanje je optimalno. U svakoj je prostoriji podešeno prema njenim vlastitim potrebama, grije se u pravo vrijeme i na odgovarajuću temperaturu.

#### F. Pomoć za invalide

Ako kretanje po kući iziskuje veliki napor, od velike je važnosti mogućnost daljinskog kontroliranja svega u kući, bilo pomoću infracrvene veze, radiofrekvencijske veze ili računala. Sučelja u pametnim kućama s različitim upravljačkim tipkama osobama s invaliditetom omogućuju potpun nadzor kuće.

#### G. Ostalo

Karakteristike sustava pametnih kuća su sljedeće:

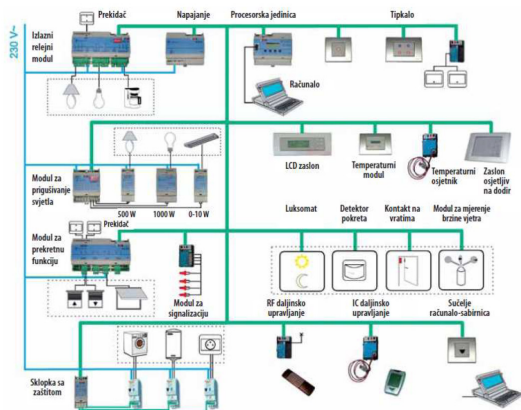
- modularnost sustava, mogućnost ugradnje osnovnijih funkcija i naknadno proširenje do pune konfiguracije po želji korisnika,
- jednostavnost pri projektiranju i izvođenju,
- praktičnost kod uporabe,
- pouzdanost sustava,
- kontinuirani razvoj i usklađivanje s novim životnim navikama uz primjenu dostignuća na području automatike.

### III. PRINCIP RADA PAMETNE KUĆE

Cijelim sustavom upravlja procesorska jedinica. Trošila se putem odgovarajućih modula povezuju na procesorsku jedinicu što im omogućuje kontrolu i upravljanje svim električnim uređajima u kućanstvu (rasvjetom, električnim aparatima, hi-fi opremom, elektrobravama itd.). Moduli, prekidači i osjetnici se povezuju s procesorskom jedinicom niskonaponskim (12 V) sabirničkim kabelom (BUS). Povezivanje je moguće u bilo kojoj točki električne mreže, te se tako ostvaruje programsko povezivanje bilo koje ulazno-izlazne jedinice. S bilo kojeg mjesta može se upravljati svim željenim funkcijama u kući, čak i putem GSM-a ili fiksne telefonske linije [3].

Središnja jedinica je praktički središnje računalo koje kontrolira cijelim sustavom. Opremljeno je procesorom najnovije generacije. Interni sat sa stvarnim vremenom

služi za programiranje vremenskih odgoda, sata i svih drugih funkcija vezanih uz vrijeme. Izravna računalna veza sa središnjom jedinicom putem USB-a služi za prikaz ulaznih/izlaznih operacija, ali i za programiranje naprednih funkcija sustava. Obuhvaćena je i inteligentna simulacija prisutnosti. Slika 1 prikazuje princip jednog takvog sustava.



Slika 1. Shematski prikaz ožičenja sustava u pametnoj kući

Jedno od primarnih promišljanja u planiranju sustava kontrole građevine, prilikom korištenja nadzornih i upravljačkih sustava, je hoće li se uzbudnici za strujne krugove instalirati centralno ili distribuirano. Obje opcije imaju prednosti i nedostatke. Centralne instalacije se koriste u manjim građevinama i stambenim građevinama gdje se ožičenje na trošila može učiniti na jednom mjestu.

Centralna instalacija je stoga transparentnija, potrebno je manje komponenti sustava i cijena po pojedinom kanalu je manja. Nedostatak je složenije ožičenje. Kod distribuirane instalacije uređaji su postavljeni u blizini trošila. Distribuirana instalacija zahtijeva puno jednostavnije ožičenje trošila, ali značajno povećava cijenu po kanalu. Cijeli sustav može izgubiti na transparentnosti i uređajima se može teško pristupiti. Kako se broj uređaja povećava s distribuiranošću instalacijom, programiranje je također složenije. U tom slučaju će možda biti potrebna dodatna napajanja i spojevi, što će također povećati troškove. Prilikom planiranja instalacija važno je uzeti u obzir konstrukcijska svojstva građevine. U praksi su se korisnim pokazale kombinacije centralnih i distribuiranih metoda. Na primjer, distribuirana instalacija neće biti moguća zbog nedostatka prostora u stambenim građevinama. Za veće građevine, centralna instalacija može značiti: jedna prostorija, hodnik ili kat, što i dalje udovoljava pojmu distribuirane instalacije u terminima sveukupnog koncepta.

#### IV. KOMPONENTE PAMETNE KUĆE

##### A. Rasvjeta

Kontrola rasvjete je jedna od osnovnih funkcija u sustavima pametnih kuća. Njena velika prednost je fleksibilnost sustava. S tim u vezi, promjene rasvjete i kontrole rasvjete u terminima njezine funkcije, korištenja

i planiranja po katovima se obično mogu realizirati jednostavnim reprogramiranjem.

Postoje tri tipa osnovne kontrole:

1. uključivanje/isključivanje svih tipova rasvjetnih tijela sklopnim uzbudnicima,
2. prigušenje određenih rasvjetnih tijela preko jedinstvenih prigušnih uzbudnika,
3. prigušenje određenih rasvjetnih tijela preko svjetlosnih kontrola / prekidača / prigušnih uzbudnika.

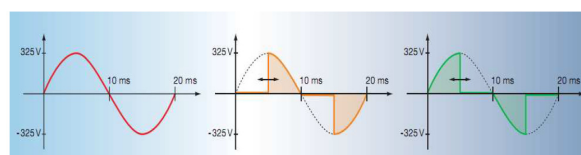
Sklopni uzbudnici se koriste preko određenih sustava, za razliku od uobičajenog sklapanja preko rasvjetnih prekidača ili tipkala s instalacijskim relejima. Sklopni uzbudnici se zovu još i inteligentni releji, a dostupni su s različitim vrijednostima struja. Prigušna opcija za rasvjetu je vrlo važna i možda najpoželjnija funkcija. Ovdje važnu ulogu igraju dva važna faktora, a to su udobnost: na primjer ugodna rasvjeta tijekom objedovanja koja odgovara situaciji i raspoloženju te. troškovna efikasnost, manja potrošnja energije i smanjenje troškova kroz:

- prigušenje rasvjete da odgovara količini koja je potrebna s obzirom na količinu vanjskog svjetla,
- produljen vijek trajanja rasvjetnih tijela kroz smanjenje svjetlosnog toka,
- smanjena rasvijetljenost za različita područja korištenja: na primjer u sportskoj dvorani tijekom utakmice je potrebna različita razina rasvijetljenosti nego tijekom običnog treninga.

Pri tom treba uzeti u obzir da se metalhalogene, natrijeve i živine žarulje ne mogu prigušivati jer prigušivanje ima nekontroliran efekt na kvalitetu rasvjete i trajanje životnog vijeka navedenih rasvjetnih tijela.

Prigušivači (popularno zvani „dimmeri“) sadrže kontrolu faze ili kontrolu kuta faze, a određena kontrola se može podesiti kako bi odgovarala trošilu. Žarulje sa žarnom niti i fluorescentne lampe mogu se prigušivati korištenjem univerzalnih prigušnih uzbudnika.

Žarulje sa žarnom niti i visokonaponske halogene lampe prigušuju se preko kontrole kuta faze. Sinusoidalni napon je fazno kontroliran direktno s naponom 230 V. Niskonaponske halogene lampe s konvencionalnim transformatorima (induktivni teret) mogu se prigušivati korištenjem kontrole faze. Niskonaponske halogene lampe s elektroničkim transformatorima prigušuju se korištenjem kontrole faznog kuta. Načini prigušenja su prikazani na slici 2.

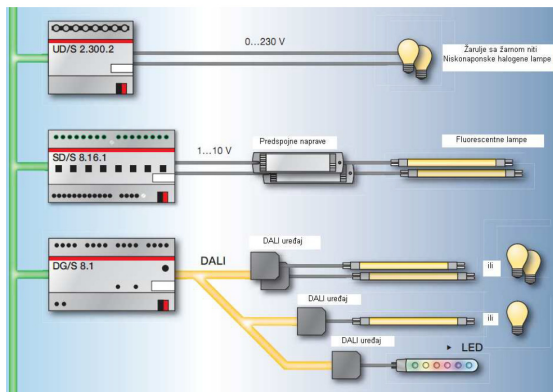


Slika 2. Prigušenje univerzalnim uzbudnicima

Vijek trajanja žarulja se mijenja prigušivanjem. Žarulje sa žarnom niti, na primjer, na malo smanjenom naponu imaju značajno dulji vijek trajanja, dok halogene lampe s kontinuirano smanjenim svjetlosnim tokom imaju kraći vijek trajanja. Ipak, to se može spriječiti stalnim osvjetljenjem maksimalnim svjetlosnim tokom.

Neophodno je instalirati prikladnu elektroničku prigušnicu kod nekih tipova žarulja jer se sve žarulje ne mogu direktno prigušivati. Fluorescentne lampe (žarulje na izboj) se prigušuju preko elektroničke prigušnice koje imaju kontrolu napona 0-10 V. Ovim elektroničkim prigušnicama se upravlja odgovarajućim uzбудnikom.

Sljedeća opcija za kontrolu rasvjete (uključivanje/isključivanje i prigušenje) je korištenje digitalne tehnologije kao što je DALI. DALI (Digital Addressable Lighting Interface) je standard za digitalnu komunikaciju u rasvjetnom sustavu kojeg koristi većina proizvođača [4]. Komunikacija implementirana korištenjem digitalnog protokola. Na slici 3 su prikazani gore spomenuti načini prigušenja.



Slika 3. Prikaz mogućnosti prigušenja rasvjete

### B. Grijanje, klimatizacija i ventilacija

Kontrola temperature, koja je temelj za podešavanje grijanja, klimatizacije i ventilacije, izvodi se detektiranjem trenutne vrijednosti temperature i specificiranjem željene temperature pomoću kontrolnog algoritma, a termostat šalje kontrolnu vrijednost do uzbudnika. Uzбудnik kontrolira jedinicu za grijanje ili hlađenje, te mijenja temperaturu prostorije. Preduvjet je da postoji sustav grijanja i hlađenja u kojima je medij voda. Korisno je poduzeti preliminarna razmatranja kad se planira ovakav projekt. To uključuje odabir uređaja i kontrolu specijalnih funkcija. Za kontrolu HVAC-a („Heating, Ventilation and Climatization“) karakteristična je visoka razina fleksibilnosti. Dostupne su mnoge funkcije i uređaji, a ovdje će biti nabrojani samo neki:

- senzori za kontrolu temperature prostorije
- uzbudnici za kontrolu temperature prostorije:
  - termostat s elektromotornim upravljanjem ventilima,
  - termostat s elektrotermalnim upravljanjem ventilima;

- ventilokonvektorske jedinice,
- ventilacija.

Ako se koristi konvencionalni termostat, tada je moguće korištenje i termostata s preklopkom. Kontakt preklopke je spojen na binarni ulaz preko sustava pametne kuće kako bi bila dostupna kontrolna vrijednost. Ventil tada kontroliraju uzбудnik i funkcija termičkog upravljanja ventilom. Ako se koriste konvencionalni prekidači za rasvjetu i rolete preko binarnih ulaza, i klasični termostat bi se trebao koristiti kad god je to moguće.

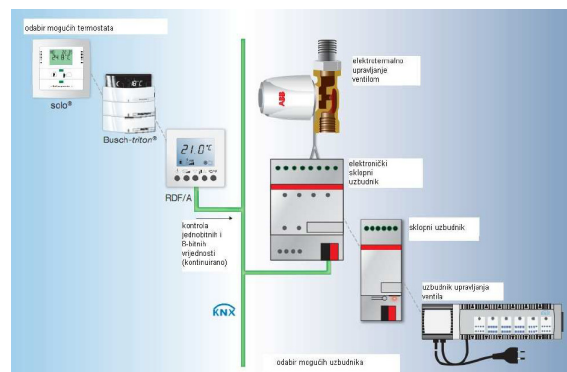
Elektromotorno upravljanje ventilima sastoji se od motora, reduktora i elektronike (slika 4).



Slika 4. Kontrola temperature prostorije preko elektromotornog upravljanja ventilom

Ventil, koji regulira cirkuliranje vode, pokreće se direktno preko pogona ventilu koji osigurava kontinuiranu regulaciju. Napajanje elektronike i motora osigurava se preko sustava pametne kuće. Prednosti kontrole temperature prostorije preko elektromotornog upravljanja ventilom su: jednostavno ožičenje i spajanje, samo je podatkovni kabel potreban do ventila, kontinuirana kontrola i jako niski napon. Nedostaci su: viši troškovi, buka povezana s kretanjem (motor s reduktorom), mehaničko trošenje, potrošnja struje od 12 mA tijekom kretanja ventila što se mora brižno nadzirati distribuiranim komandama.

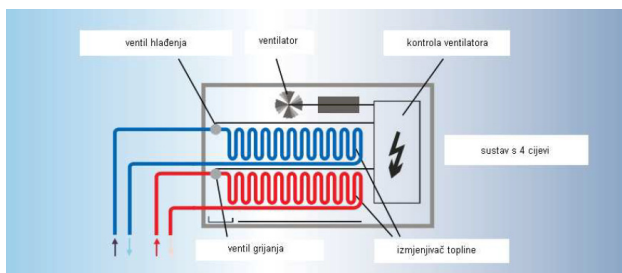
Elektrotermalno upravljanje ventilom (slika 5) sastoji se od elementa koji termalno ekspandira, na primjer posuda s voskom koja se grije i ekspandira kada je doveden električni napon.



Slika 5. Kontrola temperature prostorije s elektrotermalnim upravljanjem ventilom

Nakon što se napon isključi, vosak se skuplja. To otvara ili zatvara ventil, te na taj način utječe na protok vode. Vrijeme za otvaranje ili zatvaranje ventila je dvije do tri minute. Sustav je dostupan u verzijama od 230 V i 24 V. Prednosti kontrole temperature prostorije s elektrotermalnim upravljanjem ventilom su: mala cijena i više slobodnih izlaza u uzбудniku koji se mogu koristiti za druge funkcije. Nedostaci su: buka (releji), mehaničko trošenje i provlačenje kabela (napon za napajanje ventila i izlaz). Zanimljiv aspekt ovog rješenja je spajanje kontakata prozora na slobodne kanale jedinstvenog sučelja.

Ventilokonvektori su izmjenjivači topline u kojima se tok vode kontrolira ventilima kao u radiatorima i podnom grijanju. Topao i hladan zrak se upuhuju u prostoriju korištenjem ventilatora. Prisilna konvekcija omogućuje da se prostorija brzo zagrije ili rashladi. Postoje sustavi za grijanje i/ili hlađenje s 2, 3 ili 4 vodiča ili cijevi s vodom [5]. Na slici 6 je prikazan princip rada ventilokonvektorske jedinice (sustav s 4 cijevi).



Slika 6. Shema sustava s 4 cijevi

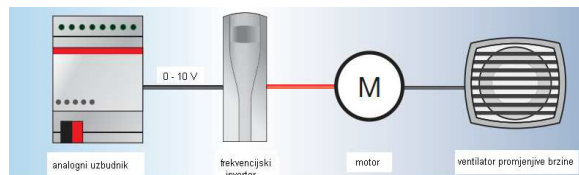
### C. Ventilacija

Cilj ventilacije prostorije ili građevine je promjena temperature ili vlažnosti zraka, odstranjivanje nepogodnih mirisa ili dima, te smanjenje koncentracije CO<sub>2</sub> u zraku. Ventilacija izbacuje zrak iz unutrašnjosti prostora i nadomješta ga sa svježim zrakom izvana pri čemu zrak i cirkulira unutar građevine. Razlikujemo prirodnu i prisilnu ventilaciju.

Tijekom prirodne ventilacije zrak se izmjenjuje bez korištenja mehaničkih sustava, na primjer ventilatora koje pokreće motor. Najjednostavniji oblik prirodne ventilacije je ručno otvaranje prozora u prostoriji. Umjesto ručnog otvaranja prozora, moguće je ugraditi prozore pokretane motorima. Njima se također može upravljati pomoću sustava pametne kuće, odnosno zaklopnim uzbudnicima.

Zrak se izmjenjuje mehaničkom ventilacijom pomoću ventilatora. Tipični primjer je ventilator u kupaonici. Daljnja rješenja traže korištenje stropnih ventilatora kako bi zrak cirkulirao u prostoriji. Dodatni razlog za korištenje ovih uređaja je bolja distribucija topline u prostorijama. Pomoću kontrole ventilatora i puhalo putem sustava pametne kuće, nije potrebno uključivati i isključivati pojedine sustave, čak ni mijenjati brzine. Postoji kontinuirana i stupnjevana kontrola brzine. Kod kontinuirane kontrole brzine motor ventilatora može

mijenjati brzinu korištenjem kontrolne jedinice kao što je frekvencijski inverter. Odgovarajući signal, na primjer 0-10 V, dan je na analognom uzбудniku (slika 7).



Slika 7. Analogni uzbudnik s kontrolom brzine ventilatora preko frekvencijskog invertera

Stupnjevana kontrola brzine motora koristi se vrlo često. Može se djelovati s nekoliko brzina vrtnje. Za to su potrebni relejni kontakti, te se koriste za kontrolu različitih namotaja motora. Ovdje se zahtijeva višekanalni sklopni uzbudnik s odgovarajućom programskom podrškom. Postoji razlika između automatskog i ručnog djelovanja. Kod automatskog djelovanja brzina se mijenja u ovisnosti o kontrolnoj vrijednosti, na primjer prethodno postavljenoj temperaturi ili vlažnosti zraka. Pragovi sa histerezom za mijenjanje brzine ventilatora mogu se podešavati u uzбудniku.

### D. Rolete

Kontrola pogona motora je jedna od glavnih primjena sustava pametnih kuća. Sljedećim primjenama se može djelovati uz pomoć pogona motora: rolete sa ili bez rešetkastih otvora, na primjer komercijalne građevine kao što su uredi, bolnice i škole, valjkaste rolete (rolo), kao u stanovima, električki pokretani prozori, krovni prozori, na primjer u proizvodnim halama, električki pokretane zavjese, vrata (garažna), tende, pregrade, odnosno paravani, ventilacijske zaklopke.

Sve do nedavno, u mnogim slučajevima je bio moguć samo pogon na licu mjesta. Ovo otežava korištenje dodatnih funkcija, kao što su uređaji za praćenje vjetrova ili centralne/grupne kontrole. Implementacija takvih funkcija bila je vrlo skupa. Primjenom sustava pametnih kuća to više nije problem. Sljedeće funkcije za pogon roleta su dostupne [6]: kontrola na licu mjesta, grupno/centralno djelovanje funkcije podizanja/spuštanja, funkcija zaustavljanja, podešavanje rešetkastih otvora, funkcije pokretanja, praćenje sigurnosti, npr. pomoću senzora vremena, vremenski kontroler, npr. kod odsutnosti stanara, zabranjivanje/blokiranje pogona, automatska funkcija.

Automatsko zasjenjivanje bi se trebalo implementirati u školi kako predavanja ne bi bila prekidana. Ipak, zatamnjenje svake pojedine učionice i dalje treba biti moguće kad je potrebno, kao kad se prikazuje film i sl. Važna prethodna razmatranja su se pokazala korisnima za optimalno planiranje projekta. To uključuje odabir strujnih krugova i kontrolnih funkcija.

## V. ELEKTROINSTALACIJE U PAMETNOJ KUĆI

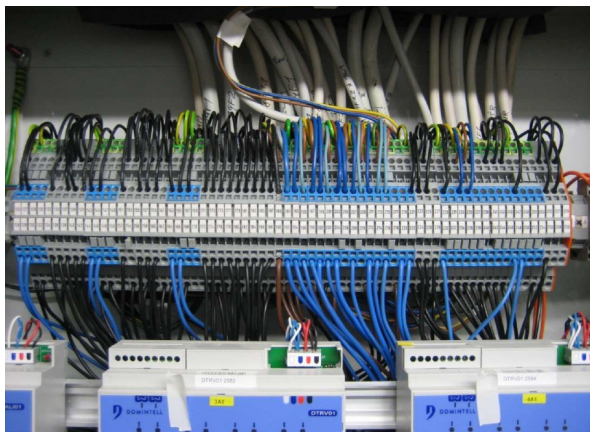
Cijelim sustavom upravlja procesorska jedinica. Trošila se putem odgovarajućih modula povezuju na



procesorsku jedinicu što im omogućuje kontrolu i upravljanje svim električnim uređajima u kućanstvu (rasvjetom, električnim aparatima, hi-fi opremom, elektrobravama itd.). Moduli, prekidači i osjetnici povezuju se s procesorskom jedinicom niskonaponskim (12 V) sabirničkim (BUS) kabelom. Povezivanje je moguće u bilo kojoj točki mreže, te se tako ostvaruje programsko povezivanje svake ulazno-izlazne jedinice. S bilo kojeg mjesta može se kontrolirati svim željenim funkcijama u kući, kao i putem GSM-a ili fiksne telefonske linije [7, 8]. Sabirnički kabel RS 485 povezuje sve ulazne/izlazne module. Moduli se na sabirnički kabel mogu spojiti u bilo kojoj točki. Sabirnički kabel prenosi podatke i napajanje niskog napona kojim se osigurava električna energija za elektroniku različitih modula. Kabel mora udovoljavati sljedećim specifikacijama:

- jedan parični ili neparični kabel (napajanje), presjeka od 1 mm<sup>2</sup>, maksimalnog otpora 35 Ω/km,
- jedan parični kabel (podaci), presjeka od 0.8 mm<sup>2</sup>, maksimalnog otpora 75 Ω/km, karakteristične impedancije od 100 Ω, međukapacitivnosti od maksimalno 48 pF, prigušenja pri 1 MHz od maksimalno 2.1 dB.

Moduli su opremljeni konektorima za jednostavno i brzo spajanje, te zamjenu modula. Strujni kabeli su postavljeni prema općim električnim pravilima i standardima, a na izlazu se uvijek koriste dvostruki kontakti. Kabeli svih uređaja (rasvjetna tijela, perilica rublja, aparat za kavu...), kojima se na neki način upravlja preko pametne kuće, povlače se direktno do razvodnog ormara na predviđene stezaljke prema shemi koja se dobije uz razvodni ormar. Slika 8 prikazuje jedan od razvodnih ormara sustava pametne kuće.



Slika 8. Izgled stezaljki u razvodnom ormaru

## VI. PRIMJER IZRAČUNA UŠTEDA

U gotovo svoj tehničkoj literaturi, konstantna kontrola rasvjete je često akreditirana s visokom razinom potencijalnih ušteda za električnu energiju. Korištenjem konstantne kontrole rasvjete, za razliku od one koja je uvijek uključena, zahtijevana razina rasvjete u sobi se postiže kontroliranim i kontinuiranim dodavanjem „umjetne rasvjete“, potrebne da se održava definirana

razina rasvijetljenosti. Stoga se koristi samo energija koja je potrebna za umjetnu rasvjetu.

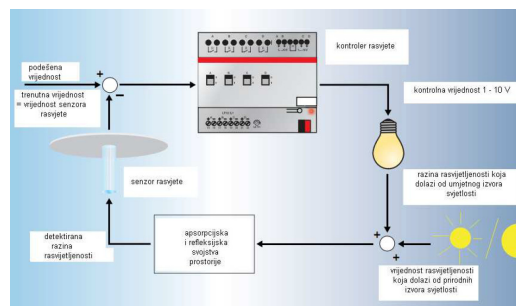
U terenskim studijama konstantna kontrola rasvijetljenosti donosi uštede veće od 25 % u usporedbi s ručnim uključivanjem i isključivanjem rasvjete. Konačni rezultat brojnih ispitivanja je jasan: korištenjem inteligentnih sustava u kućanstvu moguće je postići znatne uštede energije. Mogu postojati razlike u rezultatima raznih studija koji se odnose na konkretne brojeke, ali osnovni trend je nepobitan:

- energija se šteti pametnim kontrolama u zgradarstvu u usporedbi s konvencionalnom tehnologijom,
- razina potencijalnih ušteda ovisi o brojnim parametrima građevine i profilima korištenja,
- maksimalni potencijal energetske uštede postignut je korištenjem kombinacije različitih funkcija automatizacije,
- uštede su fundamentalno u dvoznamenkastim vrijednostima,
- potrebna investicija u pametne kontrole u zgradarstvu je generalno mala u usporedbi sa strukturnim modifikacijama u građevinama,
- periodi povrata investicija su relativno kratki i općenito su unutar jedne do pet godina.

## VII. PRIMJER OPTIMIZACIJE U SUSTAVU KUĆANSTVA

### A. Optimizacija rasvjete

Konvencionalno prigušenje fluorescentnih svjetiljki zamjenjuje se elektroničkim prigušenjem. Prema tome s, potrošnja električne energije fluorescentnih svjetiljki smanjuje se za otprilike 30 %. S ciljem daljnje optimizacije potrošnje energije može se uvesti i dodatna konstantna kontrola rasvjete. Namjera je da se postigne konstantna kontrola rasvijetljenosti koja iznosi 500 lx na radnim površinama. Senzor rasvijetljenosti mjeri trenutnu rasvijetljenost. Korištenjem trenutne vrijednosti i razlike s potrebnim iznosom rasvijetljenosti, kontroler rasvjete izračunava postavke luminoznosti za prigušivače rasvjete (popularno zvane „dimere“) [2]. Navedeni način rada je prikazan na slici 9.



Slika 9. Funkcijski prikaz konstantne kontrole rasvjete

Ovom metodom kontrole može se uštedjeti između 28 i 66 % električne energije korištene za rasvjetu, a to ovisi

o sezoni, vremenu i lokaciji građevine [2]. Konačno, moguće je detektirati prisutnost osoba u prostoriji korištenjem detektora prisutnosti i implementirati sustav kontrole rasvjete na temelju prisutnosti u prostoriji. Ako se nitko ne nalazi u prostoriji, rasvjeta se može automatski isključiti, ukoliko je netko zaboravio ručno isključiti rasvjetu. Automatskom kontrolom prisutnosti u prostoriji se može doprinijeti budućim 13 % - tnm uštedama električne energije [2]. U konačnici se uglavnom koriste četiri optimizacijske varijante:

1. kontrola rasvjete korištenjem konstantne kontrole rasvjete preko prigušnice s tehnologijom napona 1-10 V i ručnim upravljanjem rasvjete,
2. kontrola rasvjete korištenjem konstantne kontrole rasvjete preko prigušnice s digitalnom adresibilnom tehnologijom rasvjetnog sučelja (eng. „DALI“) i ručnim upravljanjem rasvjetom,
3. kontrola rasvjete korištenjem konstantne kontrole rasvjete preko prigušnice sa tehnologijom napona 1-10 V i ručnim upravljanjem rasvjetom, a svi potrebni uređaji su instalirani u „kontroleru sobe“ koji je ugrađen u strop ili ispod poda,
4. kontrola rasvjete koja ovisi o prisutnosti korištenjem konstantne kontrole rasvjete preko prigušnice s tehnologijom napona 1–10 V

### *B. Optimizacija grijanja, klimatizacije i ventilacije*

Tehnički sustavi za kontroliranje temperature prostorije i kvalitetu zraka troše najveće količine energije u zgradama. Prema tome, ovdje mogu biti postignute najveće uštede. Netočno djelovanje može biti značajno smanjeno optimizacijom građevine u odnosu na arhitekturu, konstrukciju i inženjering instalacija. Na razini prostorije, inteligentna kontrola zgrada optimizira parametre određenih postavki. Detektor prisutnosti, korišten i za kontrolu sobne rasvjete, može simultano mijenjati sobni termostat u način odsutnosti čim duži period nema prisutnosti u prostoriji. Na taj način uštedena je energija za grijanje ili hlađenje. Praktična iskustva pokazuju da se smanjenjem temperature za 1<sup>0</sup> C, potrošnja energije za grijanje smanjuje za 6 %. Ako je temperatura sobe smanjena za 3<sup>0</sup> C tijekom odsutnosti, može se uštedjeti 18 % energije za grijanje. Kako razina temperature reagira sporo, ovaj oblik kontrole je koristan samo tijekom duljeg vremena odsutnosti. Spajajući ovu kontrolu sa sezonskom kontrolom roleta, dobivaju se još veće uštede.

Električna kontrola ventila, koji su kontrolirani bešumno preko električnog uzбудnika, korištena je kao kontrolni element za automatsko podešavanje temperature prostorije na željenu temperaturu. Kako bi se izbjegla nepotrebna potrošnja energije tijekom ventilacije, kontrolni ventili su automatski ugašeni sve dok je prozor otvoren. Pozicija ventila može biti korištena s namjerom da daje povratnu informaciju kao indikaciju potrebe grijanja ili hlađenja u zgradi. Relevantni sustavi mogu postaviti svoje izlaze kako bi zadovoljili trenutne potrebe. Zračni konvektori ili ventilokonvektori se koriste

za kontrolu temperature prostorije i kvalitetu zraka, a mogu biti ujedno kontrolirani i preko sklopovlja pomoću zaklopnog uzбудnika. Korisno je da se implementiraju optimizacijska mjerenja ako postoji svijest kolika je potrošnja energije.

### *C. Optimizacija roleta*

Sustavi roleta korišteni su u građevinama primarno za stvaranje sjene i zaštitu od Sunca. Oni sprečavaju učestalo direktno sunčevo bliještanje u prostoriju. Pomoću kontrole roleta moguće je utjecati na bliještanje vanjskog svjetla u prostoriju. Stoga postoji međuzavisnost kontrole roleta i kontrole vanjskog svjetla. Ako postane premračno u uredu, jer su rolete spuštene, rasvjeta je uključena kako bi kompenzirala nedostatak svjetla. Kao rezultat, električna energija je potrošena od strane rasvjete u vremenu kad nema dovoljno dostupnog dnevnog svjetla. Još efikasnije rješenje je automatska kontrola kuta rešetkastog otvora za svjetlo kako bi se uzela u obzir pozicija sunca.

Rešetkasti otvori su otvoreni dovoljno da omoguće prodiranje dostatne količine svjetla u prostoriji, te je time spriječeno direktno bliještanje. Korištenjem specijalnih rešetkastih otvora koji usmjeruju svjetlost, poboljšana je usmjerenost svjetla. U sprezi s konstantnom kontrolom rasvjete, koja osigurava da je minimalna količina svjetla korištena kako bi se održala potrebna rasvijetljenost, velika količina električne energije može biti očuvana. Iz prethodno spomenutih studija, automatska kontrola roleta može biti implementirana u sprezi s konstantnom kontrolom rasvjete, u ovisnosti o prisutnosti u prostoriji, te može osigurati potencijalne uštede do 40 % u usporedbi s ručnim upravljanjem rasvjetnog sustava [2].

Uzimajući u obzir energetska efikasnost u zgradama, kontrola roleta također igra važnu ulogu u odnosu na kontrolu klimatizacije. Sustav inteligentne kontrole roleta ima optimizirajući efekt na kontrolu klimatizacije građevine i podupire korisnika u konzervativnom i novčano efikasnom korištenju energije. Najbolji rezultati su postignuti umrežavanjem kontrole roleta sa sustavima za kontrolu klimatizacije prostorije. Spuštanje roleta na fasadama građevina, na kojima sunce sja tokom ljeta, može spriječiti prostorije od neželjenog pregrijavanja, a time se štedi energija koja bi bila korištena za hlađenje. Zimi je situacija obrnuta. Tada je korisno da se uhvati što više moguće topline, dobivene od sunca u sobama, što štedi energiju za grijanje prostorija.

U oba slučaja je potrebno balansirati kontrolu roleta s prisutnošću ljudi u prostoriji. Dok god netko radi u prostoriji, kontrola rasvjete koja ovisi o prisutnosti ima prioritet, posebno s uredskim radnim mjestima s računalima, ali isto tako i u školama i konferencijskim dvoranama. Za optimizaciju korištenja dnevnog svjetla, može biti korištena dodatna kontrola prekidača. Kontrola klimatizacije, koja uključuje i rolete, smanjuje količinu električne energije potrebne za klimatizacijski uređaj do 30 % [2].

## VIII. ZAKLJUČAK

Povećanjem cijena svih energenata u zadnjih nekoliko godina značajno se povećala i svijest o energetskej efikasnosti. Optimizacijom potrošnje dolazi se do znatnih ušteda. Dokaz tome je istraživanje provedeno u uredskim prostorijama gdje se došlo do zaključka da je u sustavu rasvjete moguće uštedjeti čak do 66% električne energije, što je vrlo velik iznos. Smanjenjem temperature grijanja za 2<sup>0</sup> C u sustavu grijanja moguće je uštedjeti do nekoliko stotina kuna mjesečno. O navedenim rezultatima utječu mnogi faktori: debljina izolacije, veličina kuće, vremenske prilike, orijentacija kuće, navike stanara i sl. Pametna kuća osigurava korisniku visoku dozu sigurnosti, udobnosti i ekonomičnosti. Ona je spoj tehnologije i kvalitete življenja. Pritom se sustav pametnih kuća prilagođava potrebama i navikama korisnika. U ovom diplomskom radu su navedeni sustavi pametnih kuća u kojima je moguće postići značajne uštede energije. U novije vrijeme je sve više mogućnosti koje ona nudi. Instalacija modula u cjeloviti sustav pametnih kuća je vrlo jednostavna. Prednost je i u fleksibilnosti sustava. Na tržištu postoji mnogo proizvođača koji su uvidjeli prednosti ugradnje pametnih instalacija u objektima. Cijena takve tehnologije postaje dostupna sve širem krugu ljudi, a time i sve zanimljivija.

## LITERATURA

- [1] Smart home and intelligent building control, Energy efficiency in buildings with ABB i bus KNX, s Interneta, [http://knx\\_gebaedesysteme.de/sto\\_g/English/GENERAL\\_DOCUMENTATION/2CDC500060M0201\\_HB\\_EnergyEfficiency\\_EN.pdf](http://knx_gebaedesysteme.de/sto_g/English/GENERAL_DOCUMENTATION/2CDC500060M0201_HB_EnergyEfficiency_EN.pdf), 2. svibnja 2015.
- [2] ABB i bus KNX Lighting, Constant lighting control, s Interneta, [http://knx\\_gebaedesysteme.de/sto\\_g/English/APPLICATIONS/LRS\\_X161\\_AB\\_EN\\_V1\\_0\\_2CDC507093M0201.pdf](http://knx_gebaedesysteme.de/sto_g/English/APPLICATIONS/LRS_X161_AB_EN_V1_0_2CDC507093M0201.pdf), 2. Svibnja 2011.
- [3] Grič automatika: DOMINTELL, katalog proizvoda, Zagreb
- [4] ABB i bus KNX Application Manual Lighting, s Interneta, [http://www.knx\\_gebaedesysteme.de/sto\\_g/English/APPLICATIONS/2CDC500051M0202\\_ApplikationsHB\\_lightingcontrol\\_EN.pdf](http://www.knx_gebaedesysteme.de/sto_g/English/APPLICATIONS/2CDC500051M0202_ApplikationsHB_lightingcontrol_EN.pdf), 2. Svibnja 2011.
- [5] ABB i bus KNX Application Manual Heating/Ventilation/Air Conditioning, s Interneta, [http://knx\\_gebaedesysteme.de/sto\\_g/English/APPLICATIONS/2CDC500067M0201\\_ApplikationsHB\\_HVAC\\_EN.pdf](http://knx_gebaedesysteme.de/sto_g/English/APPLICATIONS/2CDC500067M0201_ApplikationsHB_HVAC_EN.pdf), 4. Lipnja 2014.
- [6] ABB i bus KNX Application Manual Shutter Control, s Interneta, [http://knx\\_gebaedesysteme.de/sto\\_g/English/APPLICATIONS/2CDC500057M0202\\_ApplikationsHB\\_shuttercontrol\\_EN.pdf](http://knx_gebaedesysteme.de/sto_g/English/APPLICATIONS/2CDC500057M0202_ApplikationsHB_shuttercontrol_EN.pdf) 4. lipnja 2014
- [7] Getting Started with the LabVIEW Datalogginh and Supervisory Control Module, s Interneta, <http://www.ni.com/pdf/manuals/372946b.pdf>, 2016.
- [8] LabVIEW 2016 help, s Interneta, <http://www.ni.com/pdf/manuals/372946b.pdf>, 2016

## **Aktivni obnovljivi izvori električne energije u funkciji regulacije napredne prijenosne mreže**

Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok

Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet

[srdjan.skok@riteh.hr](mailto:srdjan.skok@riteh.hr)

Sažetak:

Obnovljivi izvori energije (OIE) danas bez sumnje, predstavljaju značajan proizvodni resurs naprednih elektroenergetskih mreža (eng. Smart Grid - SG). Pozitivni učinci proizvodnje električne energije iz OIE na očuvanje zaštite okoliša su neosporni, međutim njihov intermitentni i dugoročno nepredvidiv način rada donosi nove uvjete nadzora, zaštite i vođenja naprednih mreža. Tradicionalni princip regulacije elektroenergetskog sustava oslanja se na redundantne klasične proizvodne jedinice (termoelektrane, hidroelektrane i plinske elektrane) koje, u slučaju poremećaja u sustavu, a posebice u današnje vrijeme u slučaju ispada OIE, održavaju stabilnost elektroenergetskog sustava. Uzevši u obzir povlaštenu otkupnu cijenu električne energije proizvedene iz OIE i troškove regulacije elektroenergetskog sustava u slučaju ispada proizvodnje pojedinog OIE, cijena proizvedene električne energije iz OIE postaje značajno viša tržišne cijene. Slijedom navedenog potrebno je promijeniti ulogu OIE u naprednom elektroenergetskom sustavu, odnosno potrebno je aktivno uključiti OIE u regulatorne usluge koje pružaju operatori sustava, a ne promatrati kao pasivnog proizvođača električne energije. Sukladno Mrežnim pravilima danas regulatorne usluge pružaju Operatori sustava o vlastitom trošku. Korištenjem OIE u regulatornim uslugama ekonomski je opravdano budući se indirektno postiže smanjenje cijene proizvedene električne energije iz OIE. Cilj projekta su napredna tehnička rješenja koja omogućavaju promijenu uloge OIE iz pasivnih proizvođača u aktivne. Skup tehničkih rješenja obuhvaća omogućavanje rada OIE u regulaciji EES-a; nadzor, zaštitu i vođenje aktivnih OIE, kao i vođenje cjelokupnog EES-a; uvjete i načine priključka aktivnih OIE na mrežu; te model finacijske naknade OIE za regulatorne usluge.

Ključne riječi: napredne tehnologije, mikromreže

# Održivi razvoj otoka za nisko-ugljično društvo

V. Kirinčić<sup>1#</sup>, D. Franković<sup>2#</sup>, D. Radulović<sup>3\*</sup>

<sup>#</sup>Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Zavod za elektroenergetiku, Rijeka, Hrvatska

\*Sensum d.o.o., Rijeka, Hrvatska

<sup>1</sup> vedran.kirinčić@riteh.hr, <sup>2</sup> dubravko.frankovic@riteh.hr, <sup>3</sup> dusko.radulovic@sensum.hr

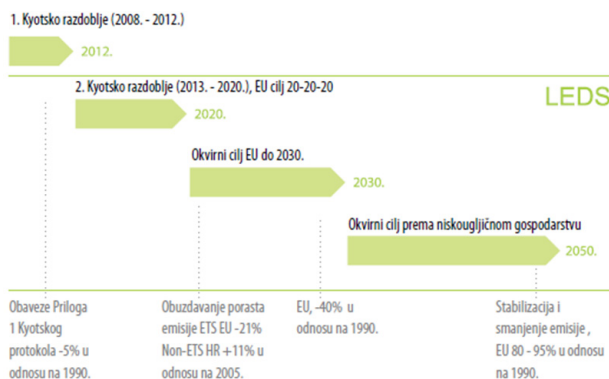
Sažetak - Specifičnosti otoka, poput relativne izoliranosti, koja se očituje u ograničenim transportnim mogućnostima te otežanim putovima dobave energetske i ostalih resursa, predstavljaju opterećenje za njihovu ekonomiju, koje su često u velikoj mjeri ovisne o varijabilnim vremenskim prilikama. Izazovi razvoja lokalnog gospodarstva su dodatno pojačani depopulacijom generacije koja bi trebala biti nositelj novog gospodarskog zamaha. S druge strane, suvremene tehnologije otvaraju mogućnosti razvoja, što može biti iznimno pogodno za manje zajednice okupljene oko zajedničkih ciljeva, obzirom na mogućnosti integriranog djelovanja unutar cjeline. Provođenjem niza mjera u raznim sferama života na otocima te kontinuiranom edukacijom i poticanjem žitelja na aktivnu participaciju, otoci predstavljaju idealne kandidate za razvoj programa održivog razvoja. Prikazani primjeri ukazuju na izazove i prilike te primjere uspješno realiziranih projekata održivog razvoja otoka s ciljem smanjenja emisije stakleničkih plinova, odnosno uspostave nisko-ugljičnog društva. Ukazuje se da pored dugoročnih ekoloških ciljeva, programi moraju biti usmjereni ka razvoju lokalnog poduzetništva temeljenog na primjeni stečenog znanja i vještina, odnosno kreiranja dodane vrijednosti za dionike, kako za stanovništvo otoka kroz koncepte zadrugarstva i komunalnog vlasništva infrastrukture, tako i za posjetitelje u vidu posjeta destinacijama koje kroz primjenu suvremenih tehnologija razvijaju inovativne koncepte gospodarenja resursima.

## I. UVOD

U razdoblju suštinskih promjena na globalnoj razini, a potaknutih ekonomskom krizom te razvojem svijesti o nužnosti alternative dosadašnjoj paradigmi razvoja temeljenog na agresivnoj eksploataciji fosilnih goriva, s posljedicama porasta koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi te negativnim utjecajem na klimatski sustav, intenziviran je proces tranzicije u nisko-ugljično društvo/ekonomiju (eng. *low-carbon economy*, *low-fossil-fuel economy*, *decarbonised economy*), a s ciljem razdvajanja gospodarskog rasta od iscrpljenja ograničenih prirodnih resursa [1]. Faze u tranziciji prema nisko-ugljičnom društvu prikazuje Slika 1.

Stoga je na konferenciji UN-a o klimatskim promjenama COP21 održanoj u Parizu krajem 2015. godine postavljen cilj međunarodne zajednice o ograničenju globalnog zagrijavanja na 2K u odnosu na

predindustrijsko vrijeme, što je prag iznad kojeg se predviđaju nepovratne štetne posljedice za brojne regije planeta [2].



Slika 1. Faze u tranziciji prema nisko-ugljičnom društvu [1]

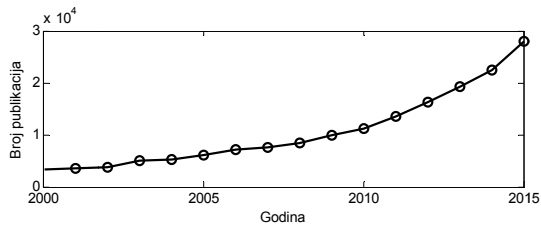
Sa stajališta energetske politike, moguće je identificirati sljedeća prioriteta područja razvoja, koja će pridonijeti tranziciji [1]:

- povećanje učinkovitosti pri potrošnji energije;
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije (OIE) u ukupnom proizvodnom kapacitetu;
- razvoj koncepata i tehnologija za uspostavu naprednih elektroenergetskih mreža (eng. *Smart Grids*).

Kao nit vodilja u navedenom procesu odabrana su načela koncepta održivog razvoja (eng. *sustainable development*), koji podrazumijeva ravnotežu između ekoloških, socijalnih i gospodarskih zahtjeva, a s ciljem zadovoljavanja potreba sadašnje generacije bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe [1]. Iako su osnovne postavke održivog razvoja dane prije više desetljeća, aktualnost tematike potvrđuje Slika 2. Pritom su prema Okviru za izradu Strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske (eng. *Low-emission Development Strategy – LEDS*) [1], prioriteta akcijske mjere po sektorima sljedeće:

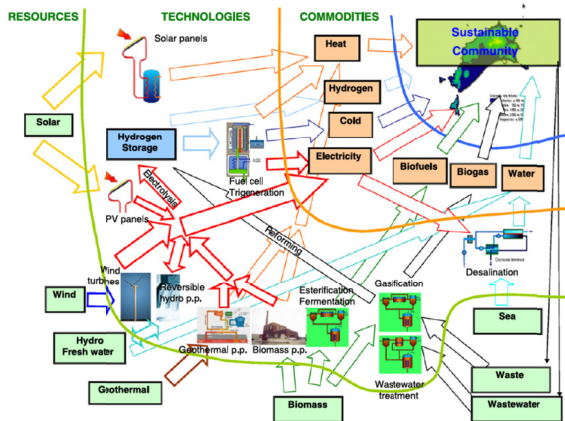
- energetika: energetska učinkovitost i OIE, tehnologije hvatanja i skladištenja CO<sub>2</sub> za elektrane na fosilna goriva, napredne mreže;

- promet: električna vozila i vozila na biogorivo, smanjenje udjela cestovnog prometa;
- zgradarstvo: tehnologije za smanjenje potrošnje energije, energetska učinkovitost i OIE;
- industrija: sustav trgovanja emisijskim jedinicama, energetska učinkovitost i OIE;
- gospodarenje otpadom: odvojeno sakupljanje, reciklaža i ponovno korištenje;
- turizam: razvoj „zelenih“ destinacija.



Slika 2. Broj publikacija na godinu za upit "Sustainable development" [3]

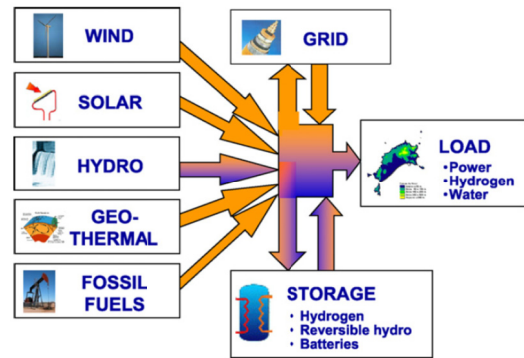
Kao početni korak u procesu razmatranja rješenja primjerenih održivom razvoju, potrebno je identificirati raspoložive resurse te potrebe pojedine zajednice, kako prikazuje Slika 3. Pritom je jasno da su alati za ostvarenje željenih ciljeva ne samo razvoj i implementacija tehnoloških rješenja, već usuglašena uporaba resursa, svrsishodno investiranje te odgovarajuće institucionalne promjene.



Slika 3. Resursi i potrebe održive zajednice [4]

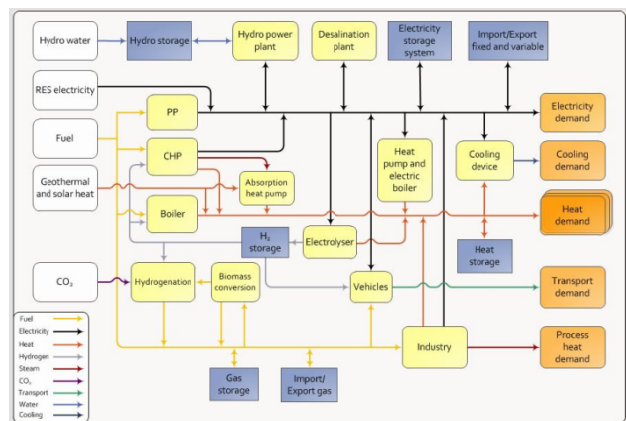
Jedna od metoda za sagledavanje energetskih potreba zajednica je RenewIslands metodologija, sa sljedećim koracima: mapiranje potreba, mapiranje resursa, razvoj scenarija koji korištenjem raspoloživih resursa i tehnologija zadovoljavaju potrebe te konačno modeliranje scenarija [5]. Za proračun energetskih scenarija otoka moguće je koristiti modele poput H<sub>2</sub>RES, koji prikazuje Slika 4. Analizom satnih vrijednosti proizvodnje energije korištenjem različitih tehnologija (fotonaponske elektrane - FNE, vjetroelektrane - VE, hidroelektrane - HE, elektrane na biomasu/fosilna goriva) te potrošnje resursa (voda, električna energija, potrošna topla voda, vodik) moguće je modelirati niz scenarija s ciljem određivanja mogućeg stupnja penetracije OIE [6]. Financijsku analizu

pojednog scenarija moguće je provesti korištenjem alata poput programskog paketa HOMER (eng. *Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) [7].



Slika 4. H<sub>2</sub>RES model [4]

Konačno, analizu scenarija potrošnje energetskog sustava moguće je provesti računalnim modelima poput EnergyPLAN-a [5], koji omogućuje niz tehno-ekonomskih analiza. Kao ulazni podaci koriste se podaci o proizvodnji/potrošnji energije, instalirane snage postrojenja te fiksni/varijabilni troškovi i regulacijske strategije, dok su izlaz iz modela energetske bilance te godišnje proizvodnje/potrošnje, uvoz/izvoz električne energije te sveukupni troškovi sustava [8].



Slika 5. Prikaz modela u programskom paketu EnergyPLAN [9]

## II. ODRŽIVI RAZVOJ OTOKA

Rezultati istraživanja ukazuju da bi otapanje arktičkog leda kao posljedica globalnog zagrijavanja mogla uzrokovati povećanje razine mora za 150 cm [11] pa iako stanovnici otoka imaju neznatan udio u doprinosu emisijama stakleničkih plinova, upravo ih činjenica da su među prvima pogođeni negativnim klimatskim trendovima čini vrlo zainteresiranim za razvoj i implementaciju rješenja održivog razvoja, koja će biti pokazni primjer za druge zajednice.

Analiza gospodarskih i društvenih tokova na otocima ukazuje na izrazitu ovisnost o naftnim derivatima [12]:

- dolazak turista, opskrba hranom i drugim dobrima te isporuka proizvoda s otoka na kopno prvenstveno vozilima/plovidima pogonjenim motorima s unutarnjim izgaranjem,

- obrada poljoprivrednih površina uglavnom motoriziranim alatima (nafta), prihrana i zaštita kemikalijama (prirodni plin, nafta),
- odvoz otpada, funkcioniranje administrativnih i interventnih službi, razvoz učenika te kompletan unutarotočki transport značajno ovise o naftnim derivatima.

Otočni elektroenergetski sustav (EES) predstavlja infrastrukturu koja je u pravilu relativno slabo povezana ili uopće nije povezana s kopnenim EES-om, što uglavnom ovisi o udaljenosti otoka od kopna te veličini otoka i populaciji. Ukoliko veza postoji, ona je u pravilu realizirana polaganjem jednog ili više podmorskih kabela, koji služe napajanju potrošača na otoku. Većina otoka u Hrvatskoj je također međusobno povezana putem elektroenergetske mreže, čime se postiže određena razina zalihosti. Neovisno o navedenom, uslijed kvarova koji su posljedica vremenskih (ne)prilika, starenja opreme ili namjernog ljudskog djelovanja, postoji realna opasnost od ugrožavanja ili potpunog prekida dobave električne energije na otoke. Iako relativno rijetki, navedeni slučajevi imaju direktne posljedice na cjelokupan život na otoku, odnosno značajne (in)direktne štete ukoliko se dogode tijekom turističke sezone [10]. Dodatna specifičnost EES-a na otocima jest da tijekom turističke sezone vršna opterećenja značajno premašuju ona tijekom ostatka godine pa mreža i dobavni pravci moraju biti primjereno dimenzionirani, odnosno ukoliko planiranje povećanja kapaciteta mreže nije nužno opravdano sa stajališta ostatka sustava navedeno predstavlja ograničavajući aspekt razvoja otoka u smislu turističkog kapaciteta i ponude.

Postoji niz primjera u svijetu gdje je velika udaljenost od kopna i potpuna izoliranost od kopnenog energetskog sustava rezultirala izgradnjom proizvodnih postrojenja koja korištenjem fosilnih goriva predstavljaju ozbiljnu prijetnju za krhki ekosustav otoka, dok dobava primarnog energenta čini električnu energiju skupljom pa inzistiranje na tehnologijama, koje za kopnene prilike još nisu dovoljno financijski atraktivne, ima djelomično opravdanje. Moguće rješenje za smanjenje ovisnosti o energiji s kopna i smanjenje emisija stakleničkih plinova jest izgradnja distribuiranih izvora bliže mjestu potrošnje, odnosno na samim otocima. Obzirom na bogatstvo resursa kojima otoci raspolazu, nameće se proizvodnja električne energije iz OIE za zadovoljavanje osnovnih potreba kućanstava i društveno-gospodarske potrebe. Pritom je potrebno poticati izgradnju OIE na svim za to prikladnim objektima, odnosno površinama. Tehnologije primjerene otocima obuhvaćaju iskorištavanje sunčeve energije, energije vjetera, toplinske crpke te postrojenja na biomasu, do prirodnog kapaciteta pojedinog otoka. Poželjno da se na otocima proizvodi što je moguće više energije korištenjem vlastitih resursa te po potrebi razmjenjuje energija s ostatkom sustava, što vodi ka konceptu virtualnih elektrana. Dodatno, nedostatak infrastrukture za grijanje kod većine objekata na hrvatskim otocima značajno pridonosi sezonskom karakteru otočkog turizma pa kad bi korištenje OIE i suvremenih tehnologija omogućilo grijanje objekata uz prihvatljivi financijski izdatak, navedeno bi pozitivno

utjecalo na produljenje sezone, odnosno financijsku sliku otoka.

Pregled literature ukazuje na podijeljene stavove i iskustva o mogućnostima potpune energetske neovisnosti o fosilnim gorivima, odnosno proizvodnji električne energije korištenjem samo OIE te se dovodi u pitanje financijska opravdanost takvih projekata [13]. S druge strane, naseljeni otoci u Hrvatskoj su povezani s kopnenim EES-om te je cijena električne energije ista kao na kopnu. Stoga bi kao izvor motivacije za razvoj projekata OIE, provođenje mjera energetske učinkovitosti, koncepti elektromobilnosti te promjene u ostalim sektorima trebalo biti određenje ka minimizaciji emisija stakleničkih plinova, odnosno turističkom profiliranju destinacija [14].

Pored proizvodnih postrojenja, bitnu ulogu u radu otočnog EES-a imaju spremnici energije (eng. *energy storage*). Neke od tehnologija pogodne za otočne sustave uključuju reverzibilne hidroelektrane (RHE) kapaciteta primjerenih skladištenju energije na razini cijelog otoka, odnosno baterijske sustave za male autonomne sustave, dok se sve više istražuje integracija većeg broja električnih vozila kao spremnika energije, odnosno tehnologije temeljene na vodik. Skladištenje energije proizvedene korištenjem za to primjerenih tehnologija pozitivno utječe na fleksibilnost inače intermitentnih OIE, koji nestalnošću proizvodnje ovisne o vremenskim uvjetima često remete prilike u sustavu, odnosno omogućava optimizaciju proizvodnje te veći stupanj penetracije istih [15].

Kao tehnološka platforma za integraciju OIE te preduvjet za stabilan i pouzdan pogon EES-a je razvoj i implementacija niza tehnoloških rješenja i koncepata naprednih elektroenergetskih mreža. Neke od mogućnosti uključuju nadzor, zaštitu i vođenje EES-a zasnovano na tehnologiji sinkroniziranih mjerenja fazora (eng. *Synchronized Phasor Measurements*), koja omogućuje osmatranje sustava u realnom vremenu (eng. *Wide Area Monitoring, Protection and Control - WAMPAC*) [16]. Za razvoj otočnih EES-ova također su zanimljivi koncepti mikromreža (eng. *microgrid*), koje predstavljaju samodostatnu skupinu proizvođača i potrošača, te mogu raditi u otočnom režimu i paralelno s ostatkom EES-a, izmjenjujući energiju preko susretnog mjesta priključka [17]. Pored napredne distribucijske mreže te sustava naprednih brojila (eng. *smart metering*) za rad mikromreže značajna su napredna trošila s mogućnošću prilagodbe profila potrošnje prilikama u sustavu, odnosno trenutno raspoloživoj energiji proizvedenoj u distribuiranim izvorima energije. Pritom aktivnu ulogu imaju sami potrošači, koji su često i proizvođači električne energije (eng. *producers + consumers = prosumers*), koji promjenom načina korištenja energije mogu značajno pridonijeti radu mikromreže.

Sektor transporta na otocima treba razvijati sustavno te paralelno s ostalim sektorima. Pritom bi transport ljudi i roba na i s otoka trebalo u što je moguće većoj mjeri usmjeriti na pomorski promet do većih kopnenih luka, odnosno u unutrašnjost željezničkim prometom kao snažnoj alternativi cestovnom prometu. Promet na otoku bi trebalo usmjeriti na koncepte elektromobilnosti, kako za turiste tijekom turističke sezone, tako i lokano stanovništvo tijekom cijele godine. Kao preduvjet

potrebno je uspostaviti mrežu punionica uz glavne prometnice, na istaknutim turističkim punktovima te na sporednim putovima. Navedeno će pridonijeti razvoju cikloturizma, kao jedne od perspektivnih okosnica aktivnog turizma.

U sektoru zgradarstva na otocima se pružaju brojne prilike za provođenje mjera energetske učinkovitosti prilikom obnove postojećih javnih i privatnih objekata pri čemu se lokalna ekonomija potiče angažmanom lokalnih tvrtki, dok se prilikom izgradnje objekata treba težiti energetske neutralnim zgradama. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost u Republici Hrvatskoj provodi programe energetske obnove koje je donijela Vlada RH te sufinancira mjere energetske učinkovitosti u zgradama (energetske obnove obiteljskih kuća, višestambenih zgrada, nestambenih zgrada komercijalne namjene i zgrada javne namjene). Upravo to je jedna od bitnih smjernica nacionalne i europske energetske politike s kojom se usklađuje i energetska politika pojedinih otoka. Također, ulaskom u EU Republici Hrvatskoj se na raspolaganju nalaze i europska sredstva namijenjena upravo poboljšanju energetske učinkovitosti pa se tako raspisuju natječaji za energetske obnovu zgrada javnog sektora i privatnih kuća za što otočka populacija ima potencijal kao prijavitelj.

Iz niza ekonomsko-povijesnih razloga, industrija na domaćim otocima svedena je na minimum te je potrebno postojeća postrojenja uskladiti s nacionalnim i međunarodnim standardima, odnosno poticati razvoj radnih mjesta čija će dodana vrijednost biti temeljena na principima održivog razvoja. Kao primjer moguće proizvodnje navode se mala brodogradilišta na otocima, koja bi trebala dati doprinos izgradnji flote plovila za međuotočne i kopnene pomorske veze. Zanimljive su i radionice za konverziju postojećih vozila koja koriste motore s unutarnjim izgaranjem u vozila pogonjena električnim motorima, odnosno pravni subjekti za pružanje usluga i implementaciju mjera energetske učinkovitosti. Rad [18] daje detaljnu analizu mogućnosti novih radnih mjesta u Republici Hrvatskoj vezanih za „zelenu ekonomiju“.

Obzirom da se otoci mogu promatrati kao zatvorene cjeline, sustav gospodarenja otpadom zaslužuje posebnu pažnju te treba biti osmišljen i realiziran korištenjem najboljih svjetskih praksi. Pored izgradnje odgovarajućih postrojenja te uspostave infrastrukture za prikupljanje i obradu, potrebno je provoditi kontinuiranu edukaciju žitelja u svim dobnim skupinama te individualizaciju odgovornosti, odnosno ključna je pravilna komunikacija prema svim dionicima.

Sektor turizma za većinu otoka predstavlja glavnu gospodarsku djelatnost te značajno pridonosi ekonomskim prilikama stanovništva. Stoga je svijest o razvoju turističkih destinacija na otocima prisutna u svim segmentima djelovanja. Sukladno tome, aktivnosti u ostalim sektorima trebaju doprinijeti i dati potporu „brendiranju“ destinacija, odnosno upravo provedene mjere trebaju biti dodana vrijednost za posjetitelje.

Kao model financiranja projekata predlaže se što je moguće veći angažman kapitala stanovništva otoka. Pritom modeli prakticirani od strane energetske zadruga pozitivno utječu na pojednostavljenje procedure za

buduće vlasnike, odnosno povoljnije cijene opreme i usluga prilikom korištenja modela grupne kupnje. Prilikom odabira ponuđača zadruge također imaju mogućnost poticanja lokalne ekonomije, odnosno jačanja nacionalne privrede. Pozitivni primjeri komunalnog suvlasništva se nalaze u Njemačkoj u kojoj je 60% svih postrojenja koja koriste OIE u vlasništvu zadruga i gradana, odnosno Danskoj u kojoj je 150.000 članova energetske zadruga koje u suvlasništvu imaju više od 75% svih vjetroelektrana u Danskoj [19].

### III. PRIMJERI U SVIJETU

Pregled literature ukazuje da projekti održivog razvoja na otocima u velikoj većini slučajeva dolaze „odozdo“, odnosno kao lokalne inicijative stanovništva otoka, koje osjeća potrebu za djelovanjem u vlastitom okruženju. Pozitivni primjeri proizvodnih postrojenja temeljenih na OIE, odnosno povezivanja proizvođača i potrošača u mikromrežu postoje u različitim dijelovima svijeta, neke od kojih daje TABLICA I.

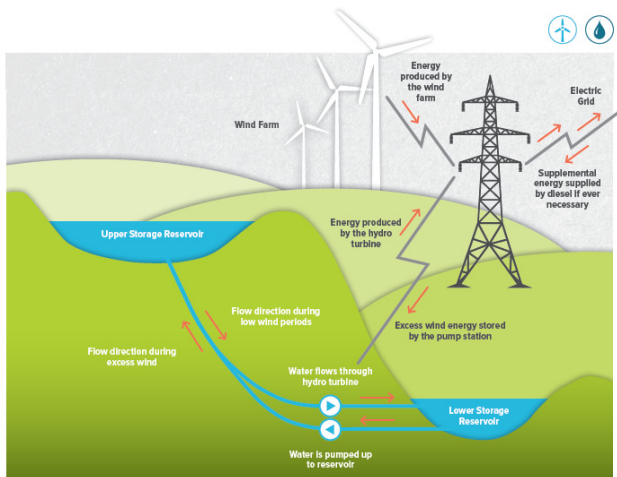
TABLICA I. MIKROMREŽE ZASNOVANE NA OIE [20]

	1	2	3	4	5	6
BONAIRE, Nizozemska	14,5	25	11	44	0,34	0,34
KODIAK, SAD	13	75	27,8	99,7	0,14	0,15
EL HIERRO, Španjolska	11	35	7,6	100	0,15	0,17
FAKLANDSKI OTOCI, UK	2,5	8,58	3,2	33	0,3	0,3
KING ISLAND, Australija	1,8	8,84	2,5	65	0,19	0,19
MARBLE BAR & NULLAGINE, Australija	0,6	2,74	0,82	30	0,19	0,22
CORAL BAY, Australija	0,14	2,915	0,6	45	0,19	0,22
ISLE OF EIGG, Škotska	0,1	0,25	0,06	87	0,31	0,31
NECKER ISLAND, Brit. djev. otoci	0,06	2,16	0,4	80	0,24	0,24
Stanica Mawson, Antarktika	0,03	1,15	0,45	0,5	N/A	N/A

1 - Populacija [k]; 2 - Ukupno instaliran kapacitet [MW]; 3 - Vršno opterećenje [MW]; 4 - Prosječna godišnja proizvodnja iz OIE (%); 5 - Tarifa za kućanstva [\$/kWh]; 6 - Tarifa za poduzetništvo [\$/kWh].

Za primjere dane tablicom, kao motivi uspostave mikromreža zasnovanih na OIE navode se cijena električne energije, ekološki razlozi te značajni prirodni resursi pogodni za iskorištavanje u OIE, dok su izazovi stabilnost pogona EES-a uslijed intermitentnosti proizvodnje električne energije, trošak nabave i transporta opreme zbog dislociranosti destinacija te administrativne prepreke za provedbu projekata. Prevladavajući izvori korišteni u danim primjerima su FNE i VE te male HE, odnosno RHE za skladištenje energije. Nadvedeno ukazuje da iako još uvijek postoje određeni tehnički izazovi, upravo je krutost regulative u brojnim slučajevima prepreka bržem razvoju sličnih projekata. Slika 6. daje shematski prikaz EES-a na otoku El Hierro, Španjolska, na kojem su integrirane VE i RHE.





Slika 6. Shematski prikaz EES-a na otoku El Hierro, Kanarski otoci, Španjolska [20]

Na primjeru otoka Samsø u Danskoj vidljiv je značajan angažman lokalne zajednice, koja ima direktne koristi od proizvodnje električne energije u OIE, obzirom na suvlasništvo putem modela komunalnih elektrana. Pritom se istovremeno potiče nacionalna ekonomija, ako se uzme u obzir razvijena industrija proizvodnje vjetroelektrana. Značajnu ulogu u cjelokupnom procesu energetske transformacije ima edukacijska komponenta, odnosno energetska akademija koja djeluje na otoku [21].

#### IV. PRIMJER OTOKA KRKA

Na primjeru otoka Krka kao otoka u Republici Hrvatskoj koji teži uspostavi nulte emisije stakleničkih plinova te aktivno razvija programe održivog razvoja, bit će prikazana preporučena metodologija za održivi razvoj otoka za nisko-ugljično društvo.

Otok Krk predstavlja atraktivnu destinaciju za domaće i strane turiste te poželjno mjesto za život, čemu pridonosi dobra prometna povezanost (most prema kopnu, pomorske veze sa susjednim otocima, zračna luka s međunarodnim letovima). Iako prednjači po broju noćenja u odnosu na ostale hrvatske otoke, lokalno komunalno društvo je zajedno s predstavnicima jedinica lokalne samouprave odlučilo ići korak dalje te razvojem modela održivog razvoja dati destinaciji dodatnu prepoznatljivost. S konačnim ciljem uspostave održive zajednice, okvirni plan akcija je dan „Interdisciplinarnom strategijom nulte emisije stakleničkih plinova za integrirani održivi razvoj otoka Krka“ [14], koja predstavlja temeljni dokument djelovanja. Odluke i akcije se provode u svim sektorima nužnim za uspostavu održive zajednice:

- razvoj projekata i integracije OIE u sustav (FNE, solarni toplinski kolektori, u planu je RHE te komunalne FNE i VE);
- uspostava mreže punionica i nabavka električnih vozila (automobili, skuteri, električni bicikli), opremljena radionica i uspostavljen tim za konverziju vozila u električna;
- provedba mjera energetske učinkovitosti u zgradarstvu i javnoj rasvjeti (GIS, plan za nadzor i

upravljanje sustavom javne rasvjete), sustavno gospodarenja energijom u javnom sektoru;

- razrađeni sustavi odvojenog prikupljanja i gospodarenja otpadom (plan izgradnje energane/toplane na biomasu) te gospodarenja vodnim resursima;
- razvoj širokopoljane IT infrastrukture;
- plan razvoja napredne elektroenergetske mreže;
- uspostavljen projektni tim za privlačenje sredstava iz nacionalnih i fondova Europske unije;
- kontinuirane edukacijske aktivnosti putem energetske zadruge i lokalne akcijske grupe s planom izgradnje edukacijsko-istraživačkog centra te promocijske aktivnosti za intenzivnije uključivanje lokalnog stanovništva te informiranje šire javnosti.

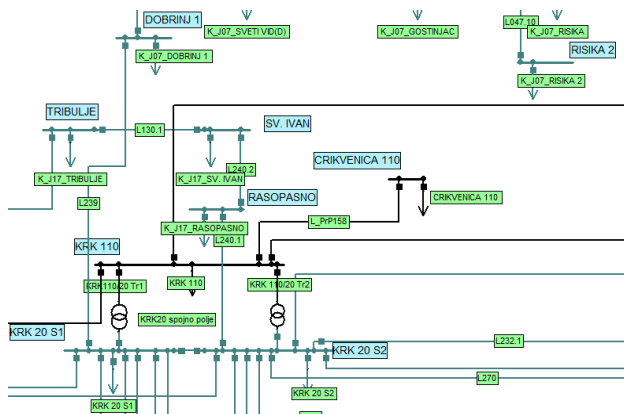
Uzevši u obzir podatke o godišnjoj potrošnji električne energije na otoku Krku (120.000 MWh), literatura [19] daje izračun potrebne instalirane snage u OIE za ostvarivanje energetske samodostatnosti, a rezultate kojeg prikazuje TABLICA II. Temeljem odnosa broja stanovnika otoka Krka i svih naseljenih otoka u hrvatskom dijelu Jadrana, pretpostavljena je sveukupna potrošnja (600.000 MWh). Prvi scenarij pritom daje izračun potrebne instalirane snage uz pretpostavku da se jednaka količina električne energije proizvodi u FNE na krovovima (integrirane - FNE<sub>i</sub>) i VE, dok drugi scenarij umjesto VE uvodi FNE na tlu (neintegrirane - FNE<sub>n</sub>). Kao nužna pretpostavka realizacije navedenih scenarija navodi se prelazak na elektromobilnost, implementacija tehnologija za skladištenje energije, provedba mjera energetske učinkovitosti, odnosno uspostava napredne elektroenergetske mreže.

TABLICA II. SCENARIJI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA ENERGETSKI SAMODOSTATNE OTOKE [19]

Scenarij 50% FNE <sub>i</sub> , 50% VE		Krk	HR otoci
Snaga [MW]	FNE <sub>i</sub>	50	230,79
	VE	16	93,75
Proizvodnja [MWh]	FNE <sub>i</sub>	61.100	300.000
	VE	58.578	300.000
Scenarij 50% FNE <sub>i</sub> , 50% FNE <sub>n</sub>		Krk	HR otoci
Snaga [MW]	FNE <sub>i</sub>	50	230,79
	FNE <sub>n</sub>	50	230,79
Proizvodnja [MWh]	FNE <sub>i</sub>	61.100	300.000
	FNE <sub>n</sub>	59.300	300.000

Kako je već navedeno, u ovom se radu predlaže postepena tranzicija ka energetskej neovisnosti, odnosno zadržavanje postojećih elektroenergetskih veza s kopnenim EES-om, uz težnju ka maksimizaciji proizvodnje električne energije u izvorima temeljenim na OIE, s mogućnošću dvosmjerne razmjene energije s ostatkom EES-a. Kako bi se izračunali mogući scenariji s različitim stupnjem penetracije OIE u EES otoka Krka, pristupilo se izradi matematičkog modela EES-a otoka

Krka. Slika 7. prikazuje dio modela EES-a otoka Krka izrađenog u programskom paketu NEPLAN.



Slika 7. Prikaz dijela matematičkog modela EES-a otoka Krka izrađenog u programskom paketu NEPLAN

Sljedeća faza istraživanja će biti prijedlog primjerenih tehnoloških rješenja nadzora, zaštite i vođenja EES-a otoka Krka, odnosno razvoj programa inteligentnog upravljanja potrošnjom s ciljem postupnog razvoja EES-a otoka Krka u naprednu elektroenergetsku mrežu.

## V. ZAKLJUČAK

Globalni trendovi povezani s klimatskim promjenama, odnosno mjerama za ublažavanje istih, ukazuju da postojeći tehno-ekonomski izazovi trebaju istodobno biti promatrani kao prilike koje predstavljaju osnovu za nove razvojne modele. Pritom prvenstveno treba uzeti u obzir načela održivog razvoja, razvojem projekata u energetici i povezanim sektorima. Rješenja trebaju biti integrirana i interdisciplinarna, s planiranim periodima povrata investicije koji će omogućiti privlačenje kapitala za provedbu.

Problematika energetike otoka se očituje u nizu specifičnosti koje rezultiraju smanjenjem konkurentnosti finalnog proizvoda i usluge na tržištu. Pored toga, direktne posljedice negativnih klimatskih promjena predstavljaju dodatan motiv za lokalne zajednice u smislu razvoja projekata u nizu sektora. Energetika pritom predstavlja jedno od ključnih područja fokusa u težnji ka uspostavi nisko-ugljičnog društva. Stoga, primjeri dobrih praksi u implementaciji tehničkih rješenja i koncepata temeljenih na suvremenim tehnologijama trebaju biti proučeni te svrsishodno primijenjeni u domaćim uvjetima. Posebnu pažnju pritom treba dati angažmanu u što je moguće većoj mjeri vlastitih resursa, kako bi se osigurala adekvatna podrška lokalne zajednice, odnosno kreiranja novih radnih mjesta s visokom dodanom vrijednosti. Primjeri navedeni u radu predstavljaju primjere dobre prakse, koji mogu i trebaju biti poticaj za razvoj sličnih projekata.

## ZAHVALE

Autori rada se zahvaljuju djelatnicima Ponikve eko otok Krk d.o.o. na ustupljenim materijalima i suradnji prilikom izrade rada.

## LITERATURA

- [1] Tranzicija prema niskougljičnom razvoju Republike Hrvatske : okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja - sažetak : primjeri dobre prakse iz Hrvatske [e-dokument] / Ministarstvo zaštite okoliša i prirode. - Zagreb : Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, 2013. ISBN 978-953-7429-44-7.
- [2] Dostupno na [http://www.cop21paris.org], 2.4.2016.
- [3] ScienceDirect. Online: http://www.sciencedirect.com (29.3.2016.)
- [4] Duic, N., Krajacic, G. & da Graça Carvalho, M., "RenewIslands methodology for sustainable energy and resource planning for islands," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 1032-1062, 2008.
- [5] Hemetek, B., "Planiranje energetskog sustava otoka Lošinja primjenom RenewIslands metodologije", diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje., 2007. Dostupno na [http://repositorij.fsb.hr/234/], 29.3.2016.
- [6] Krajacic, G., Duic, N. & Carvalho, M. d. G., "H2RES, Energy planning tool for island energy systems – The case of the Island of Mljet," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 7015-7026, 2009.
- [7] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal: "Micropower System Modeling with HOMER," *Integration of Alternative Sources of Energy*, 2006.
- [8] Dominković, D. F., "Dugoročno energetsko planiranje Primorsko-goranske županije," diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2013. Dostupno na [http://repositorij.fsb.hr/2417/], 31.3.2016.
- [9] Lund, H., "EnergyPLAN Advanced Energy Systems Analysis Computer Model Documentation Version 12," *Sustainable Energy Planning Research Group*, Aalborg University, Denmark, 2015.
- [10] HEP Vjesnik, "Popravak podmorskog kabela Šipan-Lopud," kolovoz 2010.
- [11] Robert M. DeConto, David Pollard, "Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise," *Nature*, vol 531, 2016. DOI: 10.1038/nature17145.
- [12] Udruga Eko Kvarner: ZELENI PLAN - LAG 5, Krk, 2015.
- [13] Institute for Research Energy, "The Myth of Sustainable Power from Renewables," ožujak 2016. Dostupno na [http://instituteforenergyresearch.org/analysis/the-myth-of-sustainable-power-from-renewables], 31.3.2016.
- [14] „Interdisciplinarna strategija nulte emisije stakleničkih plinova za integrirani održivi razvoj otoka Krka,“ igr d.o.o., Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS), Umwelt-Campus Birkenfeld, Zagreb, 2012.
- [15] Krajačić, G., "The Role of Energy Storage in Planning of 100% Renewable Energy Systems," doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2012.
- [16] Terzija V, Valverde G, Cai D, Regulski P, Madani V, Fitch J, Skok S, Begovic M, Phadke A, "Wide Area Monitoring, Protection and Control of Future Electric Power Networks," *Proceedings of IEEE 2011*; 99: 80-93.
- [17] Kuzle, I., "Mikromreže i fleksibilna trošila," MIPRO, Opatija, Hrvatska, 2015.
- [18] Duić, N.; Krajačić, G.; Pukšec, T.; Čosić, B.; Novosel, T.; Ridjan, I., "Iskorištavanje obnovljivih izvora energije, energetska učinkovitost i smanjenje emisija stakleničkih plinova kao pokretač razvoja "zelene ekonomije" u Hrvatskoj do 2050.," 21. Forum: Dan energije u Hrvatskoj, Zagreb, Hrvatska, 2012.
- [19] Zelena energetska zadruga, "Prelazak Hrvatske na 100% obnovljivih izvora energije: Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj," Zagreb, 2015.
- [20] "Renewable Microgrids: Profiles from Islands and Remote Communities Across the Globe," Bunker, Kaitlyn, Kate Hawley, and Jesse Morris, Rocky Mountain Institute, November 2015.
- [21] Dostupno na [http://energiakademiet.dk/en/], 31.3.2016.

# Uporaba informacijskega sistema Maximo v podjetju ELES, d.o.o. in integracija z ostalimi IS

Dušan Kozjek<sup>1#</sup>, Roman Tomažič<sup>2#</sup>

<sup>#</sup> ELES, d.o.o., sistemski operater prenosnega elektroenergetskega omrežja  
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>1</sup> dusan.kozjek@eles.si

<sup>2</sup> roman.tomazic@eles.si

## Povzetek:

Informacijski sistem za upravljanje s sredstvi Maximo, uporabljamo v podjetju ELES, d.o.o. od leta 2004. Z uvedbo IS Maximo smo v podjetju na področju vzdrževanja VN naprav in daljnovidnega omrežja poenotili način dela v štirih vzdrževalnih centrih in vzpostavili sistem spremljanja stroškov vzdrževanja. Maximo vsebuje bazo tehničnih podatkov VN naprav in lastne rabe, ki je povezana z osnovnimi sredstvi v poslovnem sistemu. Osrednji del so nalogi za delo, ki se pripravljajo na osnovi delovnih planov. Preko nalogov se spremlja mesečni plan in realizacija vzdrževanja. V povezavi s poslovnim informacijskim sistemom, spremljamo v Maximi stroške vzdrževanja in delo na investicijskih projektih in rekonstrukcijah. Evidenca opravljenega dela je osnova za izdelavo delovnih izkazov za plače in spremljanje merljivih ciljev. Maximo koristimo tudi za evidenco podatkov iz varstva in zdravja pri delu in pripravo delovnih nalogov VPD. Maximo je osrednji tehnični informacijski sistem, na katerega je povezan mobilni sistem vzdrževanja RTP in DV, diagnostika instrumentnih in energetskih transformatorjev, in nekaj drugih aplikacij. Maximo AM je bil v letu 2015 združen z Maximo ITIL in integriran z novim poslovnim sistemom podjetja – MS Dynamics AX. V teku sta dva projekta nadgradnje sistema. Uvedba modulov Maximo Linear in Maximo Spatial (povezava z GIS) in uvedba aplikacijske podpore metodologiji vrednostno vodenega vzdrževanja.

Ključne besede: upravljanje s sredstvi, vzdrževanje, informacijski sistem, metodologija, integracije.

## I. Uvod

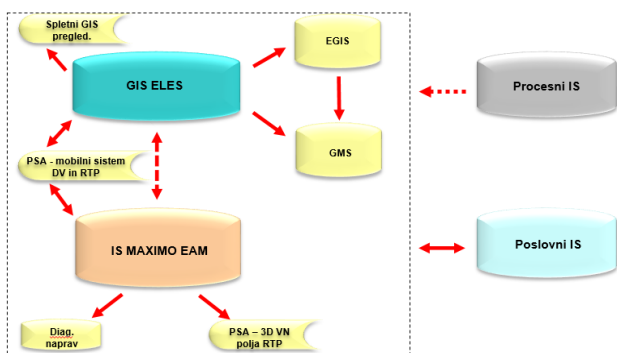
IS Maximo je informacijski sistem za računalniško podprto upravljanje s sredstvi, ki ga v ELES d.o.o. uporabljamo že od leta 2004 naprej. Omogoča centralno zajemanje in hranjenje podatkov upravljanja in vzdrževanja sredstev in v povezavi z ostalimi poslovnimi in tehničnimi sistemi zagotavlja informacije za učinkovito planiranje, organiziranje, izvajanje, analiziranje in optimiranje vzdrževalnih del ter



Slika 1. Uporaba IS Maximo v 4 Centrih za infrastrukturo prenosnega omrežja

d.o.o. poenotili proces vzdrževanja v Centrih za infrastrukturo prenosnega omrežja, vzpostavili centralno bazo tehničnih podatkov in sistem za spremljanje in obvladovanje stroškov vzdrževanja. S področja varnosti in zdravja pri delu smo s pomočjo IS Maximo vzpostavili evidenco osebne varovalne opreme, usposabljanj na področju VZD in zdravniških pregledov in zagotovili spremljanje in analizo nepričakovanih dogodkov in pregledov delovišč. Podatki nam služijo za izdelavo stroškovno analitičnih poročil in izdelavo merljivih ciljev, ter primerjavo med centri za vzdrževanje prenosnega omrežja.

IS Maximo smo do leta 2015 uporabljali zgolj na področju vzdrževanja VN naprav, lastne rabe in daljnovodov. Z združitvijo z Maximo IT, ki je bil v podjetju uveden pred 3 leti in integracijo z novim poslovnim sistemom MS Dynamic AX, je postal drugi največji steber informacijskega sistema Elesa. IS Maximo je v Elesu trenutno v fazi razširitve še na ostala področja vzdrževanja, kot je spremljanje vzdrževanja sekundarnih in TK sistemov, s pričetkom letošnjega leta pa smo v Maximo vključili tudi upravljanje z nepremičninami. IS Maximo je centralni tehnični informacijski sistem v Elesu na katerega se povezuje diagnostika VN naprav in mobilni sistem vzdrževanja. V povezavi z IS Maximo pa je v uporabi tudi



Slika 2. Arhitektura tehničnih IS

grafični pregledovalnik 3D poenostavljenih modelov VN polj in enopolnih shem stikališč. V povezavi z IS Maximo sta v letu 2016 v teku dva nova projekta. Prvi je uvedba modulov Maximo Linear in Spatial, s katerima bomo v Maximi omogočili spremljanje stanja in vzdrževanja linijskih objektov (daljnovodov, TK kablov) in vzpostavili povezavo z geografskim informacijskim sistemom Elesu. Drugi projekt je uvedba aplikativne podpore metodologiji vrednostno vodenega vzdrževanja. Cilj uvedbe metodologije vrednostno vodenega vzdrževanja je zniževanje stroškov vzdrževanja in pomoč pri odločanju ob načrtovanju porabe sredstev namenjenih vzdrževanju in obnovi prenosnega elektroenergetskega sistema, ob ohranjanju ali povečanju sedanje zanesljivosti obratovanja sistema.

## II. IS Maximo – funkcionalnosti, ki jih uporabljamo v Elesu

Maximo omogoča velik nabor funkcionalnosti, ki omogočajo učinkovito spremljanje vzdrževanja in upravljanja s sredstvi. V Elesu v IS Maximo uporabljamo:

- evidenco tehničnih podatkov visokonapetostnih naprav in naprav lastne rabe
- naloge za delo
- delovne plane
- delovne naloge iz varstva pri delu in
- evidenco sredstev za varstvo in zdravje pri delu, nepričakovanih dogodkov in pregledov delovišč

### A. Baza tehničnih podatkov

Maximo omogoča hierarhičen in mrežni sistem spremljanja lokacij sredstev. V hierarhičnem sistemu spremljamo podatke VN naprav v RTP-jih, RP-jih in stikališčih hidro ter termoelektrom (energetski in instrumentni transformatorji, odklopniki, ločilniki, odvodniki prenapetosti...) in podatke naprav lastne rabe (aku baterije, diesel agregati, usmerniki, razsmerniki ...). Sistem lokacij v RTP je v obliki drevesne strukture od osnovne lokacije Eles, preko posameznega vzdrževalnega centra, objektov, stikališč, VN polj, do posamezne faze (L1, L2, L3). Za vsako napravo spremljamo individualne in tipske podatke, ki se na napravah preko krožečih identov vodijo v sklopu specifikacij tehničnih podatkov. Podatke daljnovodov in daljnovodnih sistemov spremljamo v mrežnem sistemu lokacij. Podrobnejši tehnični podatki daljnovodov so sedaj še v geografskem informacijskem sistemu. Z uvedbo modula Linear bomo v letošnjem letu prenesli tehnični del podatkov

daljnovodov iz GIS-a v Maximo in preko modula Spatial Maximo povezali s prostorsko bazo podatkov. S prehodom na nov poslovni IS MS Dynamic AX in izvedbo integracije le-tega z Maximo, smo povezali tehnično bazo VN naprav v Maximi z osnovnimi sredstvi in komponentami v poslovnem IS. Sredstva se sedaj ne vnašajo neposredno v Maximo. Ob nakupu se prevzem izvede preko poslovnega IS, kamor se vnesejo kot tehnična sredstva in nato razporedijo na mikrolokacije v sistem lokacij RTP ali DV v IS Maximo.

### B. Nalogi za delo in delovni plani:

Spremljanje dela preko nalogov za delo je osrednji najpomembnejši del Maxime. Nalogi za delo (NZD) se v Centrih za infrastrukturo prenosnega omrežja pripravljajo mesečno, ločeno za RTP in DV področje, glede na vzrok za delo in tip dela. Ločujemo med NZD-ji za izvedbo vzdrževanja in sodelovanje na projektih investicij in rekonstrukcij. Preko nalogov za delo se izdelujejo mesečni plani vzdrževalnih del. Mesečno se spremlja tudi realizacija. Za izvedbo vzdrževanja, revizij VN polj, so za vsako VN polje vnaprej pripravljene tipske naloge (poti), ki so povezane z delovnimi plani. Z uporabo poti je priprava naloga za delo hitra in enostavna. Delovni plani so pripravljene po Navodilih o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav. Namen navodila je zagotoviti tako vzdrževanje prenosnega sistema, da je ves čas ohranjena njegova funkcionalnost, obratovalna usposobljenost in varnost delovanja. Delovni plani vsebujejo opravila in roke opravljanja vzdrževalnih del za stikališča ter pripadajoče objekte, prenosne vode in systemske naprave v prenosnem elektroenergetskem sistemu. Opravila in roki za posamezne naprave so razvrščeni v štiri skupine:

- pregled brez izklopa,
- pregled z izklopom,
- preizkusi-meritve in
- odprava pomanjkljivosti

VN naprave se vzdržujejo glede na časovno orientiran način vzdrževanja za naprave stare do 10 let po enem in naprave stare več kot 10 let po drugem delovnem planu. Daljnovodi se vzdržujejo glede na njihovo pomembnost. Naloge za delo (NZD) spremljamo preko njihovih statusov. Za vsak NZD je predpisana odgovornost kdo od delavcev je zadolžen za pripravo, odobritev in zaključevanje NZD. Krovni NZD ima lahko več podnalogov in več opravil. Vsakemu nalogu za delo pripada poročilo o opravljenem delu, preko katerega se spremlja realizacija opravljenega dela.



Slika 3. Matrika odgovornosti



Slika 4. Proces vzdrževana VN naprav, podprt z IS Maximo

Ob zaključku naloga za delo se na krovni nalog, podnalog ali posamezna opravila, dnevno beležijo opravljene delovne ure, nadure in dodatki za delo. Ti podatki so glavni vir za izdelavo mesečni delovnih izkazov v poslovnem IS za izračun plač delavcem. Pomembni so tudi zaradi evidentiranja stroškov vzdrževanja. Na vsak NZD se poleg delovnih ur evidentira tudi strošek uporabljenih orodij, v povezavi s poslovnim informacijskim sistemom pa strošek porabljenega materiala izdanega iz skladišča, strošek storitev zunanjih izvajalcev, dnevnic in potnih nalogov.

Delovne ure evidentirane na naloge za delo, ki so vezani na projekte investicij in rekonstrukcij, se mesečno prenašajo v poslovni sistem v register projektov, kjer se po posameznih projektnih spremljajo porabljena sredstva in stroški lastnih storitev.

### C. Delovni nalogi iz varstva pri delu:

Za delo v nevarnostnih območjih, delovne skupine potrebujejo dovoljenje za delo, ki se izda na podlagi delovnega naloga VPD. Ti se lahko pripravijo v sklopu nalogov za delo s pomočjo IS Maximo. Za ta namen se podatki naloga za delo dopolnijo s podatki potrebnimi za pripravo vseh ukrepov za varno delo. V primeru da enemu NZD-ju pripada več delovnih nalogov VPD, se ti vodijo kot podrejeni nalogi z določenim tipom dela DNVPD.

### D. Evidenca VZD, nepričakovanih dogodkov in pregledov delovišč

Glavni cilj Elesa glede varstva in zdravja pri delu je, da so postopki in ukrepi za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu zaposlenih v čim večji meri integrirani v delovne procese. Predvsem tiste, ki so povezani s področjem vzdrževanja elektroenergetskih naprav. Da bi zagotovili izvajanje temeljnih načel in doseganje glavnega cilja s področja VZD in s tem poenotili evidence iz področja VZD, ki jih vodijo pooblaščenca VZD v posameznih centrih vzdrževanja, smo pred leti nadgradili IS Maximo z modulom Safety & Health Solution for Maximo.

V povezavi s poslovnim informacijskim sistemom v IS Maximo, za vsakega delavca spremljamo evidenco osebne varovalne opreme, usposabljanja iz VZD in zdravniških pregledov. Za vsako delovno mesto so v Maximi z uporabo delovnih planov vnaprej vpisane postavke VZD, ki se ob vnosu novega delavca v evidenco VZD, avtomatsko prepisejo med podatke o delavcu.

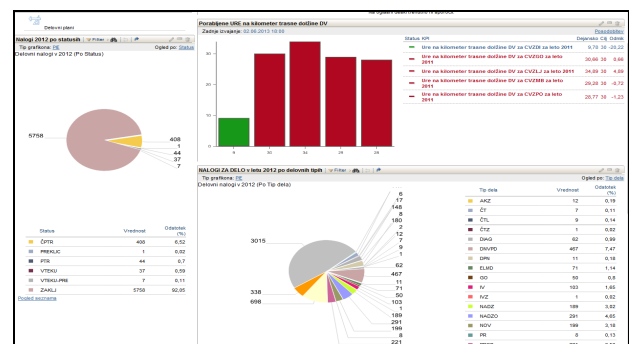
Napotnice za zdravniške preglede pripravljajo pooblaščenca VPD s pomočjo Maxime. Napotnice se prenesejo v kadrovske evidenco poslovnega sistema, kjer se ob zaključku zdravniškega pregleda vnese zdravniško spričevalo in morebitne omejitve. Vsi podatki zdravniških pregledov so tako vedno na vpogled kadrovske službi in pooblaščenca VPD v obeh sistemih, Maximo in poslovnem IS.

Poleg evidence VZD po delavcih, v IS Maximo spremljamo tudi nepričakovane dogodke (nezgode pri delu in nevarne pojave) ter preglede delovišč, ki jih izvajajo pooblaščenca VPD. V primeru nezgode pri delu ali zaznave nevarnega pojava pooblaščenec VZD iz posameznega centra vzdrževanja izpolni interno prijavo dogodka v IS Maximo. Avtomatsko se posreduje elektronsko sporočilo glavnemu inženirju iz varstva in zdravja pri delu, ki s pomočjo Maxime izpolni predpisani obrazec ER8 za prijavo nezgode. Obrazec se posreduje Zavodu za zdravstveno zavarovanje Slovenije, interno pa se izdela analiza dogodka. Sledijo ustrezni ukrepi za zaščito delavcev pred nepričakovanimi dogodki in spremljanje realizacije le-teh.

Naloga pooblaščenca VPD je tudi občasen pregled delovišč. Pri pregledu na delovišču preverjajo ali so izvedeni vsi predpisani ukrepi s stališča varstva in zdravja pri delu. S pomočjo Maximo, pooblaščenca VPD vodijo evidenco pregledov, analizirajo pomanjkljivosti in določajo ukrepe in aktivnosti za njihovo odpravo.

### E. Stroškovno analitična poročila

Podatki opravljenih vzdrževalnih del, stroški vzdrževanja, podatki VN naprav, daljnovodov in VZD, vodeni s pomočjo IS Maximo, služijo odgovornim v Elesu kot glavni vir za izdelavo ustreznih stroškovno analitičnih poročil, ki so osnova za planiranje vzdrževanja in sprejemanje odločitev vodstva o bodočem upravljanju s sredstvi v podjetju. Nekatere poizvedbe, analize, grafi in poročila so uporabnikom na voljo v IS Maximo že v sklopu vstopnih centrov, ki so pripravljene za določene skupine uporabnikov. Vse ostale poizvedbe in izpisi pa se izdelujejo na bazi Maxime s pomočjo drugih orodij kot so MS Access in podobno. Za konkretnejše analize stanja na področju vzdrževanja in pripravo ukrepov za zmanjšane stroškov, pa je v Elesu trenutno v teku projekt uvedbe aplikacijske podpore metodologiji vodene vzdrževanja, pod okriljem katere bo izdelan nabor ključnih kazalnikov učinkovitosti in analiz v skladu z metodologijo vrednostno vodene vzdrževanja. Glavni vir podatkov bosta IS Maximo in poslovni IS.



Slika 5. Vstopni center – stroškovno analitična poročila

### III. Povezava IS Maximo z ostalimi tehničnimi IS

#### A. Diagnostika energetskih in instrumentnih transformatorjev

Diagnostika je proces določanja karakterističnih parametrov delovanja naprav ter analiza njihovih vrednosti za določanje stanja posamezne naprave ali skupine naprav. Izvaja se skladno z organizacijskim predpisom Elesa in navodilom o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav.

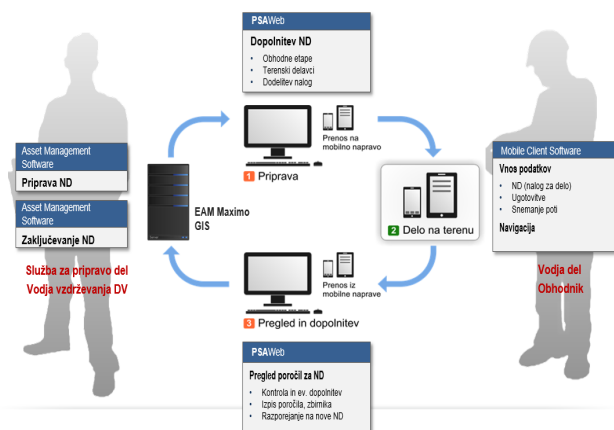
Za potrebe vodenja evidence opravljenih preizkusih izolacijskih olj in električnih meritev na energetskih in instrumentnih transformatorjih in izdelavo letnih planov diagnostike, je v Elesu že 15 let v uporabi aplikacijska podpora izdelana v MS Accessu. Vir podatkov o napravah in njihovih lokacijah je tehnična baza podatkov IS Maximo. Ker želimo v bodoče letne plan diagnostičnih meritev pripravljati neposredno v IS Maximo, načrtujemo v letu 2016 prenesti funkcionalnosti aplikativne podpore diagnostiki v IS Maximo.

#### B. Mobilni sistem vzdrževanja RTP in DV

V sklopu uvedbe sodobnejše informacijske podpore vzdrževalcem na terenu, smo v Elesu v letu 2012 pričeli z uporabo mobilnega sistema v povezavi z IS Maximo in prostorskim IS. Prva verzija mobilne podpore je bila izdelana na MS Windows mobile operacijskem sistemu, za uporabo na dlančnikih. V letu 2014 je bil sistem nadgrajen in izdelan na operacijskem sistemu Android, ki omogoča uporabo na tabličnih računalnikih in mobilnih telefonih. Sistem omogoča:

- upravljanje z nalogi za delo na mobilni napravi
- beleženje dela in okvar na daljnovodih in VN napravah
- evidentiranje dostopnih poti do daljnovodov

Z uvedbo mobilnega sistema smo prešli iz papirnega na elektronsko uporabo nalogov za delo na terenu, enostavnejše vnašanje in pregledovanje podatkov neposredno na terenu, kvalitetnejše in enostavnejše beleženje ugotovitev, sistematično spremljanje in izdelavo analiz okvar, ter enostavnejšo orientacijo v prostoru za dostop do naprav, ki jih vzdržuje Eles. Poleg podatkov



Slika 6: Potek prenosa podatkov: Maximo - mobilni klijent - Maximo



Slika 7: Pregledovalnik 3D slojev VN polj

vzdrževalnih del in ugotovitev se s pomočjo mobilnega sistema na terenu zajemajo fotografije ugotovitev, ki se skupaj z poročilom o opravljenem delu prenesejo neposredno v IS Maximo in prostorske koordinate ugotovitev, ki jih lahko spremljamo s pomočjo GIS in RTP pregledovalnika. Z uvedbo modula Maximo Spatial bo prostorski pregled na naprave, izvajanje del in ugotovitve na daljnovodih na voljo uporabnikom neposredno v IS Maximo.

#### C. 3D pregledovalnik VN polj in enopolnih shem ter ugotovitev na VN napravah evidentiranih s pomočjo mobilnega sistema vzdrževanja.

Za namen grafičnega pregleda VN naprav v VN poljih, enopolnih shem stikališč RTP-jev, vizualnega pregleda stanja opravljenih revizij v RTP-jih in ugotovitev na VN napravah evidentiranih s pomočjo mobilnega sistema vzdrževanja, smo pred leti v sklopu laserskega snemanja VN polj v Elesu izdelali 3D pregledovalnik VN polj in enopolnih shem v povezavi z IS Maximo in mobilnim sistemom vzdrževanja. Pregledovalnik omogoča pregled:

- 3D izrisa naprav v VN poljih
- enopolnih shem stikališč v RTP-jih
- podatkov VN naprav evidentiranih v Maximo
- izvedenih revizij VN polj in evidentiranih ugotovitev (okvar) v določenem obdobju
- sprememb lokacij in premkov VN naprav

Med drugim pregledovalnik omogoča merjenje dimenzij naprav v VN poljih in razdalj med njimi. Pregledovalnik je sodoben interaktiven dodatek IS Maximo, ki služi predvsem kot pomoč pri planiranju vzdrževanja in zagotavlja kvaliteten vir 3D podatkov za izdelavo projektov rekonstrukcij.

#### *IV. Zaključek*

IS Maximo skozi leta uporabe v Elesu postaja centralni tehnični informacijski sistem, ki v povezavi s poslovnim in ostalim IS tvori nepogrešljivo in učinkovito informacijsko podporo vzdrževanju in upravljanju s sredstvi. Predstavlja zanesljiv vir podatkov, ki zagotavlja celovit pregled nad vzdrževanjem VN omrežja in stroški, ki pri tem nastanejo. V Elesu se zavedamo, da brez zanesljive in napredne informacijske podpore ne moremo učinkovito poslovati, zato je naš strateški cilj razširitev IS

Maximo na še ostala področja vzdrževanja, nadgradnja z novimi funkcionalnosti in še naprednejša integracija z ostalim IS v podjetju.

#### *Literatura*

FERLIČ Rado, Navodila o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav, ELES, december 2015

BELAK Lovro, Navodila za uporabnike IS Maximo EAM, dr. , ELES, april 2016

PSA uporabniški priročnik mobilnega sistema, C&G d.o.o., april 2016

# OPEN SOURCE ENERGETSKA ZAJEDNICA U FUNKCIJI POVEĆANJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OIE

VIRTUALNA POLITIKA IZ OIE U ENERGETSKOM PODUZETNIŠTVU

UPRAVLJAČKI I REGULATORNI MEHANIZMI ZA OPEN SOURCE ENERGIJU IZ OIE

Maja Pokrovac  
Klaster "Inteligentna Energija", Zagreb

U Hrvatskoj se mijenja odnos prema krajnjem potrošaču: odnos HEP-ODS prema potrošaču, odnos države prema HEP-ODS i odnos države prema potrošaču. Mijenja se jer više nije jednosmjerna komunikacija: država->HEP-ODS->potrošač.

Gospodarstvo je u zadnjih 3 godine utjecalo na promjenu zakonskog i poduzetničkog okvira što je, za razliku od dosadašnjeg isključivo financijskog ulaganja u energetiku, artikuliralo potrebu za poduzetničkim ulaganjem u energetiku. Za realizaciju tog poduzetničkog okvira, uložilo se u tri poluge: proizvodnja električne energije iz OIE u funkciji energetske učinkovitosti, proizvodnja električne energije iz OIE na mjestu potrošnje (do 500KW) i proizvodnja električne energije u sustavu *feed in* do 30 KW (zajamčena otkupna cijena električne energije iz obnovljivih izvora).

Za gore navedene poluge, treba osigurati regulatorne i upravljačke mehanizme kojim će se sustav staviti u pogon. Do sada je sustav bio spontan i neupravljan te funkcionirao na principu zadovoljenja financijskog interesa kroz naplatu proizvedene električne energije iz OIE.

Poduzetnici mijenjaju, dosadašnji *feed in* sustav baziran isključivo na interesu financijskih ulaganja, za sustav ulaganja u poduzetništvo u energetici. Tko su klijenti ovoga sustava? *Open source energetska zajednica* tj. mali/mikro proizvođači energije, potrošači energije, virtualna energetska mreža i virtualna politika.

Za početak realizacije *open source energetske zajednice*, poduzetnici predlažu projekt novih 50.000 mikro energetske postrojenja. Tu vrijednost jedino može iznijeti netko tko ima fizičku energetske infrastrukturu (HEP-ODS), fizičku ICT infrastrukturu i umreženi energetske poduzetnici. Taj trokut čini *open source energetske zajednicu* koja će omogućiti daljnji tehnološki razvoj u energetici i povećanje potrošnje električne energije iz OIE, osigurati prelazak sa centralnog na distribuiran sustav proizvodnje i potrošnje električne energije gdje se prožimaju i potrošač i proizvođač, naizgled neumreženo, ali inženjerski strogo vođeno i uvezano. Za taj novi iskorak potreban je inteligentan upravljački sustav koji će u svakom trenutku odgovoriti na zahtjeve umreženih potrošača kao proizvođača električne energije.

Zakonski okvir koji pokriva obnovljive izvore energije od 1. siječnja 2016. omogućava u Hrvatskoj po prvi puta uspostavu *open source energetske zajednice*. HEP-ODS ima izazov i mogućnost biti upravljački mehanizam takve zajednice.



ICT sektor je izazvan ponuditi nova rješenja na načelima *open source softwareske zajednice* kako bi omogućili funkcioniranje te zajednice, to je stvarnost koju donose poduzetnici za koju nemamo „inteligentna“ i otvorena rješenja.

ICT koristi žicu i eter za prijenos podataka, HEP-ODS koristi žicu za prijenos struje, a politika stvara regulatorni okvir za povezivanje energetskih poduzetnika i svih aktera u mrežu.

U Hrvatskoj iz realne politike treba prijeći u virtualnu tj. umreženu interaktivnu politiku. Ona mora biti umrežena i jasna svim akterima u trokutu mreže.

Potrebno je umrežiti se s poduzetnicima, javnim politikama, u kojoj inženjerska funkcija dobiva svoju cjelovitu ulogu.

*Open source* energetska zajednica je jedno od mogućih rješenja jer kopira model iz ICT u energetski sektor. Svaki proizvođač električne energije iz OIE koji ima višak proizvedene električne energije, možemo ga smatrati proizvođačem *open source* energije, *free of charge*, ponuđene od proizvođača na otvoreno tržište OIE. Svaki potrošač, koji je ujedno i proizvođač električne energije, preuzet će onoliko koliko mu je potrebno. U svakom trenutku se znati tko proizvodi i ima viška, a tko potražuje energiju. To nudi *open source* energetska zajednica. HEP-ODS će korištenjem ICT tehnologija omogućiti energetskom poduzetništvu korištenje *open source* energije.

#### Business case: *Open source* zajednica snage 200 MW

Vladin projekt 200 MW mikro solara u rukama energetskih poduzetnika do 2020. uspostaviti će *open source* energetska zajednicu od 50.000 mikro solarnih proizvođača i potrošača električne energije iz OIE. Zakonski omogućena proizvodnja na mjestu potrošnje zahtijeva otvorena ICT rješenja. Ovaj sustav je izuzetno složen i zahtjevan jer će povezivati mobilne aplikacije distribuirane proizvođače energije i višestruko veći broj potrošača energije. Kada virtualna politika definira odnose između proizvođača i potrošača i bude poticala potrošnju električne energije iz OIE tada će svaki potrošač u Hrvatskoj tražiti proizvođača električne energije iz OIE.

Razvoj OIE od 2007. do 2016. istrošen je kapacitet neumreženih odnosa. Nestankom isključivo financijskog pristupa energetici, započinje razdoblje umreženih, pametnih i „otvorenih“ sustava, a time i razvojni put do energetski neovisne Hrvatske do 2050.

Može li Hrvatska inovirati u virtualnoj energetskoj *open source* politici?

Pozivam sve aktere da se umreže.

# DIGITALIZACIJA U ELEKTROENERGETICI

---

Marko Bago<sup>1</sup>, Stjepan Sučić<sup>1</sup>, Drago Cmuk<sup>2</sup>, Andrija Eršek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>KONČAR – INŽENJERING ZA ENERGETIKU I TRANSPORT d.d.  
Fallerovo šetalište 22, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>KONČAR – ELEKTRONIKA I INFORMATIKA, d.d.  
Fallerovo šetalište 22, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup>KONČAR – INSTITUT ZA ELEKTROTEHNIKU d.d.  
Fallerovo šetalište 22, 10000 Zagreb, Hrvatska

[marko.bago@koncar-ket.hr](mailto:marko.bago@koncar-ket.hr)  
[stjepan.sucic@koncar-ket.hr](mailto:stjepan.sucic@koncar-ket.hr)  
[drago.cmuk@koncar-inem.hr](mailto:drago.cmuk@koncar-inem.hr)  
[andrija.ersek@koncar-institut.hr](mailto:andrija.ersek@koncar-institut.hr)

## Sažetak:

Razvoj tehnologija na strani proizvođača električne energije predstavlja izazove na stabilnost i adekvatnost elektroenergetskog sustava dok tehnološki razvoj na strani potrošača električne energije predstavlja nove izazove na kvalitetu isporučene električne energije. Elektroenergetski sustav zahtjeva balans, tj. PROIZVODNJA = POTROŠNJA mora biti zadovoljeno u svakom trenutku ali i u svakom dijelu sustava.

Digitalizacija je globalni megatrend prisutan u svim aspektima današnjeg društva. Jedan od razloga leži i u činjenici kako bilo koji sustav prvo mora biti osmotriv kako bi bio upravljiv. Današnji sustavi upravljanja i zaštite omogućavaju uvid u ponašanje sustava u stvarnom vremenu, međutim dobar dio tih informacija je prisutan samo lokalno u trafostanicama. Razlozi su višestruki, ali jedan od značajnijih razloga je tehno-ekonomska nemogućnost prikupljanja, prijenosa i obrade velike količine informacija u prošlosti na način kako je to danas moguće.

Digitalizacija predstavlja konceptualni pomak u promišljanju sustava jer digitalizacija de-facto znači virtualizacija sustava. Današnji mjerni transformatori osiguravaju prijenos kako informacije tako i energije iz polja do sustava upravljanje i zaštite. Kod strujnih mjernih transformatora navedeno svojstvo može dovesti do po život opasne situacije ukoliko dođe do otvorenog kruga sekundara. Digitalizacijom podatka što bliže mjestu nastanka odvaja se stvarni svijet od digitalnog (virtualnog). Jednom digitalizirani podatak moguće je obrađivati u jednom ili više stvarnih ili virtualnih sustava istovremeno, a što znači da je jednaku ili veću razinu pouzdanosti i sigurnosti sustava moguće realizirati i na drugačije načine nego što je dosadašnja praksa.

## Pilot projekt procesne sabirnice u sekundarnim sustavima

Goran Pregrad, Ivan Višić, Damir Soldić, Mladen Perkov

*Pro Integrus d.o.o.*

*Lovački put 7, 21000 Split, Hrvatska*

*Oreškovićeveva 8J, 10010 Zagreb, Hrvatska*

[goran.pregrad@prointegrus.hr](mailto:goran.pregrad@prointegrus.hr)

[ivan.visic@prointegrus.hr](mailto:ivan.visic@prointegrus.hr)

[damir.soldic@prointegrus.hr](mailto:damir.soldic@prointegrus.hr)

[mladen.perkov@prointegrus.hr](mailto:mladen.perkov@prointegrus.hr)

### Sažetak:

Jedan od glavnih poticaja uvođenju IEC61850 norme je napredak komunikacijske tehnologije u zadnjim desetljećima. Mogućnost slanja velike količine podataka brzo i pouzdano putem ethernet komunikacije otvorila je nove mogućnosti za sekundarne sustave u elektroenergetskoj industriji. Tijekom desetak godina primjene IEC61850 norme u sekundarnim sustavima ona je implementirana za potrebe stanične komunikacije između releja i staničnog računala te, u manjem obimu, za ostvarivanje komunikacije između uređaja u poljima. Tehničke značajke ova dva sustava dopuštale su da se oba realiziraju na istoj staničnoj mreži koja je prema normi nazvana staničnom sabirnicom.

Današnji razvoj tehnologije donosi mogućnost akvizicije, uzorkovanja i prijenosa mjernih veličina s preciznošću koja odgovara potrebama zaštite i upravljanja. Prijenos mjerenih veličina preko procesne sabirnice donosi svoje značajke u sustav zbog kojih sustav treba prilagoditi, ali bi sustav zbog njih trebao biti i unaprijeđen.

Izvor procesnih mjerenja su akvizicijske jedinice (eng. Merging Unit) koje uzorkuju analogne veličine dobivene iz konvencionalnih ili nekonvencionalnih mjernih transformatora te ih upisuju u ethernet pakete i šalju na komunikacijsku sabirnicu definiranom frekvencijom. Prijenos procesnih mjerenja zauzima velik promet na komunikacijskoj sabirnici zbog čega je potrebna zasebna komunikacijska sabirnica, procesna sabirnica. Procesna mjerenja su tipa multicast. Akvizicijska jedinica ih kontinuirano stavlja na procesnu sabirnicu neovisno o stanju i broju korisnika mjerenja. Ona se, za razliku od GOOSE poruka, ne ponavljaju već predstavljaju kontinuirani niz mjernih uzoraka, što odgovara karakteru analognih mjerenja. Za preciznost mjerenja važan je stalni takt uzorkovanja u akvizicijskim jedinicama, zbog čega je potrebno osigurati PPS metodu sinkronizacije (IEEE1588) u procesnoj mreži.

Prelaskom na procesnu sabirnicu sustav bi „izgubio“ sekundarno ožičenje mjernih grana od mjernih transformatora do releja. Sam akvizicijski uređaj može biti implementiran direktno u mjerni transformator, te se povezuje isključivo putem Etherneta. To omogućava različite načine projektiranja sekundarnog sustava, odnosno smještaja sekundarne opreme u rasklopištu, kako bi se njegovo ožičenje svelo na minimum. U konačnici procesna sabirnica bi trebala nadomjestiti sekundarno ožičenje i povezivati mjerne uređaje, zaštitne i upravljačke releje i elemente rasklopišta koji daju ili primaju signale ili komande. Promet na njoj bi sadržavao procesne mjerne veličine i GOOSE poruke koje bi služile za slanje informacija iz rasklopišta prema relejima, između releja i za djelovanje releja na elemente rasklopišta.

Kako su ovakvi sustavi tek u začetima, jasno je da postoje mnoga otvorena pitanja kako bi se takav sustav ponašao te koje bi bile njegove značajke. Sustav s procesnom sabirnicom može donijeti svoje prednosti u načinu izgradnje i inženjeringa sekundarnih sustava, pod uvjetom da zaštitne i upravljačke funkcije, minimalno, zadrže kvalitetu kao kod sustava s analognim mjerenjima. Ispitivanjem pilot projekta s procesnim mjerenjima i njegovom paralelnom usporedbom sa sustavom s analognim mjerenjima dobivena su prva usporedna iskustva njihova rada. Ispitivanje je zamišljeno tako da se iste strujne i naponske prilike dovedu na akvizicijsku jedinicu i relej s analognim ulazima. Akvizicijska jedinica je dalje putem procesne sabirnice spojena na relej s procesnim mjerenjima te je osigurana PPS metoda sinkronizacije. Usporedba je napravljena između osnovnih zaštitnih funkcija distantnih releja.

Ključne riječi: IEC61850, Procesna sabirnica, Akvizicijska jedinica.

Mario Bazina<sup>1#</sup>, Fredi Belavić<sup>2\*</sup>,

<sup>#</sup>*Schneider Electric d.o.o., Strojarska Cesta 22, Zagreb*

<sup>\*</sup>*Schneider Electric d.o.o., Schneider Electric Energy Austria AG,*

<sup>1</sup> mario.bazina@schneider-electric.com

<sup>2</sup> fred.belavic@schneider-electric.com

#### Sažetak:

Veliki elektroenergetski sustavi su vrlo osjetljivi na poremećaje u sustavu i prekide u opskrbi električnom energijom, koji mogu imati značajni utjecaj na ekonomske i socijalne prilike. Kada uzmemo u obzir i činjenicu da su kvaliteta električne energije i kontinuitet napajanja striktno definirani normama, internim pravilnicima i zakonima, operator distributivnog sustava nalazi se pred velikim izazovom u osiguranju kontinuiteta svih korisnika priključenih na mrežu kojom on upravlja. Postoje razne varijante pametnih mreža i upravljačkih sustava koje pomažu operateru sustava, a sustav „Samo obnavljajućih mreža“ predstavlja jednostavan, moderan i vrlo učinkovit sustav. „Samo obnavljajuće mreže“ koriste daljinski upravljive stanice koje imaju funkciju daljinskog upravljanja sklopnim aparatima diljem mreže putem SCADA/DMS sustava. Za potrebe brze re-konfiguracije mreže nakon poremećaja ili kvara kod sustava „Samo obnavljajućih mreža“ daljinske stanice međusobno komuniciraju direktno (peer-to-peer), bez potrebe za akcijom dežurnog operatera i bez potrebe uključivanja SCADA sustava. Koristeći jednostavan sustav peer-to-peer komunikacije i konfiguraciju korak-po-korak, sustav izolira pogođeno područje, automatski vraća napona u nepogođena područja za manje od 30 sekundi. U ovom radu će biti opisani standardni komunikacijski sustavi prisutni kod operatera distribucijskih sustava diljem Europe, s naglaskom na sustave direktne komunikacije, popraćeni s primjerima iz prakse i prijedlozima za daljnji razvoj sustava komunikacije kod „Samo obnavljajućih mreža“.

Ključne riječi: energetika, pametne mreže, „Samo obnavljajuće mreže“, komunikacija



# UVIJEK DOBIVATE VIŠE

SPŌJITE SVE USLUGE U  
VAŠEM DOMU U **MAGENTU 1**  
I UĐITE U SVIJET DODATNIH  
BESPLATNIH POGODNOSTI:

- ✓ razgovarajte koliko god želite  
fiksним telefonom prema svima,  
a mobitelom unutar HT mreže
- ✓ doživite vrhunsko iskustvo surfanja  
na još bržem fiksnom i 4G mobilnom  
internetu
- ✓ iskoristite 500 besplatnih minuta za  
razgovore s fiksnoga telefona prema  
fiksним brojevima u zemljama EU-a

Otkrijte još više na [hrvatskitelekom.hr](http://hrvatskitelekom.hr), T prodajnom mjestu ili pozivom na 0800 9000.  
Za vaš posao potražite Magenta 1 Business.

## Magenta



RAZGOVORI



INTERNET



TELEVIZIJA

T. ■ ■

ŽIVJETI ZAJEDNO

# sponzori

## zlatni sponzori

**KONČAR**



## srebrni sponzor

**INFODOM**

## brončani sponzori



## sponzori



**MIPRO**  
Kružna 8/II, HR-51000 Rijeka, Hrvatska

ISBN 978-953-233-089-2

tel: +385 51 423 984  
mipro@mipro.hr • www.mipro.hr