

Tomislav Dragičević
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
tomislav.dragicevic@fer.hr

Ivan Cvrk
KONČAR – Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb
icvrk@koncar-institut.hr

Bakir Đonlagić
KONČAR – Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb
bakir@koncar-institut.hr

Davor Škrlec
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
davor.skrlec@fer.hr

OPIS LABORATORIJA ZA OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE I DISTRIBUIRANU PROIZVODNJU

SAŽETAK

Industrija obnovljivih izvora energije ubrzano raste čemu doprinose bojazan od klimatskih promjena, stalna poskupljenja naftnih derivata, ali i visoki državni poticaji za proizvedenu energiju iz takvih izvora. S rastom udjela distribuirane proizvodnje mora rasti i razina njihove ukupne upravljivosti kako bi se izbjegle neželjene i nepredvidive fluktuacije snage u mreži. Način za povećanje udjela distribuirane proizvodnje je integracija više distribuiranih izvora u virtualne elektrane i mikromreže te sprega takovih sustava s lokalnim trošilima.

U ovom je radu prikazan koncept rada laboratorija za obnovljive izvore u tvrtci KONČAR-Institut za elektrotehniku d.d.. Izgrađena je kogeneracija koja koristi gorivne članke na vodik i proizvodi električnu energiju i toplinu. Izgrađena je fotonaponska elektrana s ciljem istraživanja razlika u radu tri grupe od po 14 fotonaponskih modula, gdje svaka od grupa ima drugačiji sustav praćenja prividnog kretanja Sunca. Prezentirani su i planovi za povećanje upravljivosti sustava u vidu ugradnje sustava za pohranu energije.

Ključne riječi: laboratorij distribuirane proizvodnje, mikromreže, fotonaponska elektrana, gorivi članak

DESCRIPTION OF THE LABORATORY FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES AND DISTRIBUTED GENERATION

SUMMARY

Renewable energy industry is growing rapidly, because of climate change scare, continuous increase in fossil fuel prices and particularly due to high incentives for renewable energy production. As the share of renewable and distributed energy sources in the total production will rise, so should their controllability. Integrating more resources into controllable multitudes presents a novel way for upgrading the share of distributed generation. The most popular concepts are virtual power plants and micro grids.

This work presents the laboratory infrastructure in KONČAR-Institut za Elektrotehniku d.d. Combined heat and power fuel cell unit with reformer based on steam reforming of natural gas for hydrogen production were built. Also, photovoltaic plant whose goal is to compare the differences in electricity production from three levels of sun tracking was built. There are also plans for further propagation of the laboratory by embedding an energy storage system to current composition for controllability improvement.

Key words: Distributed resources laboratory, micro grids, photovoltaic plant, fuel cell

1. UVOD

Sukladno političkim ciljevima za proizvedenu električnu energiju iz distribuiranih i obnovljivih izvora energije u mnogim se državama u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, takvim proizvođačima nude povlaštene cijene za otkup energije. Poticaji se tiču isključivo ukupno prenesene električne energije u mrežu, i neovisni su o fluktuirajućoj prirodi trenutne snage najraširenijih oblika obnovljivih primarnih energenata (sunce i vjetar). Prema tome, proizvođači koji potpišu povlaštene ugovore sa HROTE-om ne pokazuju nikakav interes za reguliranjem svoje proizvodnje prema lokalnim potrebama i potrebama sustava. Jedinice jednostavno kontinuirano pretvaraju svu raspoloživu energiju iz primarnih izvora u električnu, odnosno koriste tzv. "fit and forget" pristup.

U budućim scenarijima sa sve većim udjelom distribuirane proizvodnje u općoj opskrbi sustava, potreba za njihovom aktivnom potporom cjelokupnom mrežnom radu će rasti. Kako su regulacijske sposobnosti obnovljivih izvora energije, iako postoje, vrlo male, a vršna potrošnja u određenom sustavu često ne odgovara vršnoj proizvodnji iz takvih izvora, tako se nameće potreba za nekim oblikom pohrane energije. Sustavi za pohranu energije čine ključni dio potreban za mogućnost upravljanja skupinom distribuiranih izvora koju se može promatrati kao cjelinu.

U literaturi se spominju dva koncepta upravljanja većeg broja distribuiranih izvora, mikromreže i virtualne elektrane. Koncepti se bitno razlikuju u metodama upravljanja sustava distribuiranim jedinicama, načinu spajanja grupe izvora na mrežu te općem kapacitetu proizvodnje s obzirom na lokalnu potrošnju. Općenito, jedno od najvažnijih svojstava distribuirane proizvodnje je činjenica da je smještena u neposrednoj blizini lokalne potrošnje pa su i gubici prijenosa značajno smanjeni. Mogućnost iskorištenja otpadne topline iz plinskih turbina, mikroturbina ili gorivih članaka predstavlja jedan od ključnih ekonomskih potencijala distribuirane proizvodnje. Proširenje prijenosne mreže također može biti odgođeno ili pak sasvim otkazano.

2. KONCEPTI UPRAVLJANJA KOMBINACIJOM DISTRIBUIRANIH IZVORA

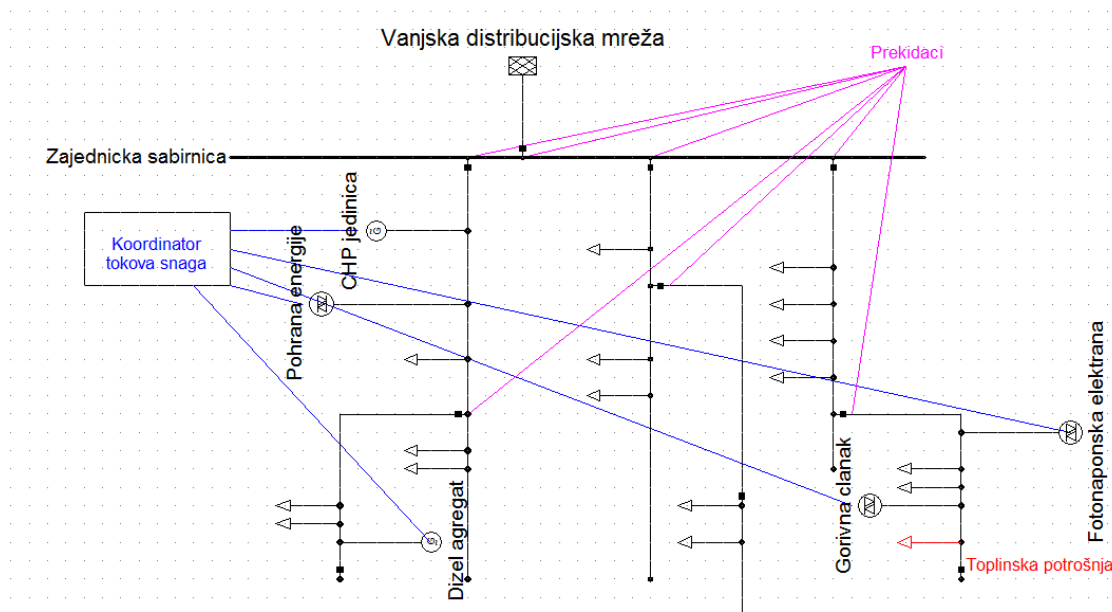
2.1. Mikromreže

Mikromreža podrazumijeva skup trošila i mikroizvora koji se ponašaju kao zaseban sustav koji opskrbljuje lokalno područje s električnom energijom i topline [1]. Mikromreža radi sigurno i efikasno unutar lokalne distribucijske mreže, ali ima i mogućnost otočnog rada. U slučaju kvara na glavnoj mreži ili planiranog izoliranja, isklapa se prekidač na točki priključka (eng. point of common coupling). Glavna mreža na koju je spojena mikromreža vidi istu kao upravljivo trošilo koje, ovisno o potrebama sustava ili unutarnjim potrebama mikromreže, može brzo mijenjati snage razmjene s glavnom mrežom.

Mikroizvori koji čine mikromrežu obično su kapaciteta manjeg od 100 kW, a naponi na koje se spajaju su 400 V ili manje. Cjelokupni kapacitet mikromreže trebao bi biti ograničen na otprilike 10 MVA. Mikroizvori su obično mikroturbine, fotonaponski moduli, gorivni članci te sustavi za pohranu energije, a na mrežu su spojeni preko sučelja energetske elektronike. Upravo elektronika pruža mogućnost upravljanja i fleksibilnost. Na slici 1. prikazana je tipična shema mikromreže gdje se mogu vidjeti lokalna trošila, mikroizvori i prekidači koji služe isklapanju određenog dijela ili cijele mikromreže s glavnog napajanja. Vrlo važan element u mikromrežama je sposobnost brzog uključivanja i prorade novih proizvodnih kapaciteta (eng. plug and play), koju je vrlo teško ostvariti ukoliko su izvori upravljani iz jednog centralnog mjesta za upravljanje [2].

Načini upravljanja preko centralnog mjesta za upravljanje postižu vrlo dobru regulaciju napona i jednoliku podjelu struje među jedinicama koja ograničava vrijednost ukupne, potencijalno opasne kružne struje koja može oštetiti osjetljivu opremu jedinica distribuirane proizvodnje. Nedostatak je u neophodnoj potrebi za brzim komunikacijskim vodovima koji moraju biti povezani sa svakom jedinicom i centralnim mjestom za upravljanje. Greška na centralnoj upravljačkoj jedinici tada znači pad cijelog sustava, a uklapanje novih jedinica otežano je zbog potrebe za novom konfiguracijom kompletne logike upravljanja, što takav sustav čini izuzetno neprikladnim za daljnja proširenja.

Druga vrsta upravljanja je decentralizirana statička (eng. droop) metoda u kojoj su dovoljna samo lokalna mjerenja sa mjesta gdje je spojen elektronički pretvarač kako bi odredio svoju radnu točku. Amplituda i frekvencija izlaznog napona funkcija su radne i jalove snage koju pretvarač isporučuje. Ovakva metoda postiže veću pouzdanost i fleksibilnost od centralne, iako i ona ima određene nedostatke poput sporog tranzijentnog odziva, ovisnosti točnosti postavljenih radnih točki o faznom kutu impedancije koja povezuje pretvarač s ostatkom mreže, te odstupanja u naponu i frekvenciji.



Slika 1. Tipična topologija mikromreže

Predviđanja pokazuju da će udio proizvodnje iz obnovljivih izvora rasti, a bez mogućnosti masovne regulacije kombinacije izvora distribuirane proizvodnje, takvi scenariji neće biti mogući. Iz ovih se razloga uloga sustava za pohranu energije smatra vrlo bitnom, a statička će metoda vjerojatno biti buduće rješenje u distribuiranoj proizvodnji i mikromrežama.

2.2. Virtualne elektrane

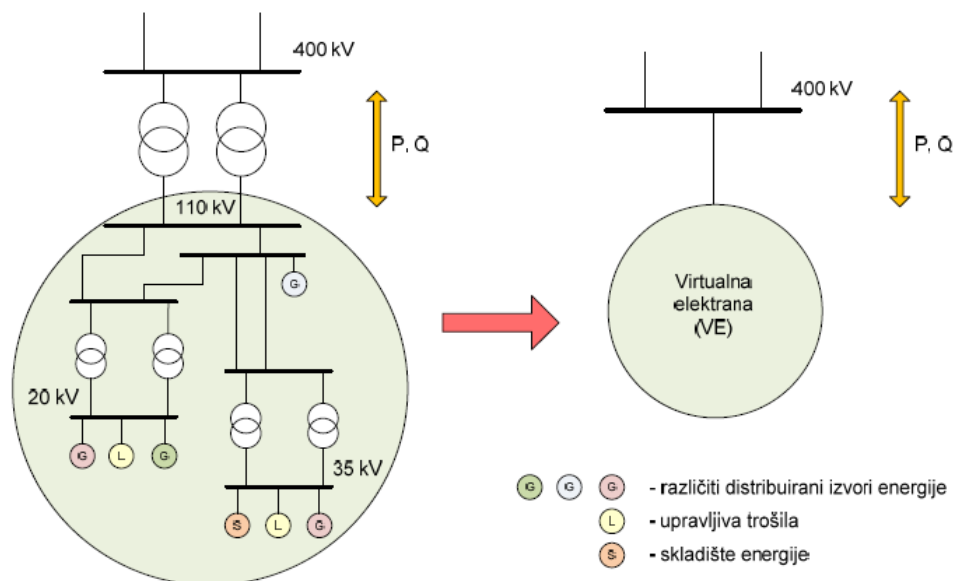
Virtualna elektrana predstavlja kombinaciju više decentraliziranih, obnovljivih i neobnovljivih izvora te sustava za pohranu energije koji se na tržištu kao cjelina mogu javljati u obliku jedne konvencionalne elektrane sa definiranom ukupnom vremenskom proizvodnjom kroz dan. Ukupna proizvodnja je raspoređena efikasno među samim sudionicima u elektrani. Virtualna elektrana nije predviđena za otočni rad te nije nužno slučaj da sve jedinice u sklopu virtualne elektrane budu smještene relativno blizu [3]. Osim proizvodnih jedinica subjekti virtualne elektrane mogu biti i upravljivi tereti [4]. Konvencionalne su elektrane definirane nizom parametara i ograničenja koji opisuju mogućnosti njenog rada kada su spojene na sustav. Ona aktivno sudjeluje na tržištu i nudi operateru sustava svoje usluge. Operater virtualne elektrane ima pristup tržištu prijenosnog sustava i svakom pojedinom distribuiranom izvoru, te kao takav ima zadatak optimirati s jedne strane zahtjeve prema prijenosnoj mreži, a s druge se pobrinuti da proizvođači budu efikasno iskorišteni. Na slici 2. prikazan je koncept virtualne elektrane [5].

Virtualne elektrane se općenito dijele na tehničke i komercijalne, a optimiranje njihovog rada se sukladno provodi prema danim kriterijima.

Neke od funkcija komercijalne virtualne elektrane su uvid u statičke karakteristike trošila, upravljanje planiranim ispadima, prognoza proizvodnje iz obnovljivih izvora, dnevno optimiranje kompletnog pogona, prognoza potrošnje, briga oko ponuda korisnicima i operateru sustava. Ostvarivanje ovakvog koncepta donosi subjektima koji sudjeluju u njemu (distribuirani proizvođači, upravljivi tereti i operatori) mogućnost dodatne zarade.

Tehnička virtualna elektrana brine se o poštivanju tehničkih parametara kod uključenja distribuirane proizvodnje poput stabilnosti napona, provjera rasporeda proizvodnje i provjera izvedivosti postavnih vrijednosti. Ukoliko postavne vrijednosti ugrožavaju dinamičku stabilnost sustava, provode se korektivne mjere koje mogu uključivati promjenu postavnih vrijednosti subjekata, naponskih uređaja a u krajnjem slučaju i redukciju potrošnje.

Ograničenja kapaciteta izvora dosta su veći nego kod mikroizvora u mikromrežama pa se mogu očekivati kapaciteti od po svega nekoliko kW do nekoliko stotina kW kod fotonaponskih elektrana, od nekoliko kW do više MW kod vjetroelektrana, pa do nekoliko desetaka ili čak stotina MW kod turbina s unutarnjim izgaranjem koje pogone sinkrone generatore.



Slika 2. Koncept virtualne elektrane

3. OPIS LABORATORIJA

Ključni dio u postizanju ciljeva za višim udjelom distribuiranih i obnovljivih izvora su, osim već prije navedene potrebe za njihovom integracijom u veće cjeline i spajanje sa sustavima za pohranu energije, terenska i laboratorijska ispitivanja njihovog rada.

KONČAR-Institut za elektrotehniku d.d. uključio se u razvoj tehnologija proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i distribuirane proizvodnje izgradnjom dva eksperimentalna postrojenja s različitim primarnim energentima. Jedan je fotonaponska elektrana koja se sastoji od ukupno 42 modula ukupne snage 10 kW_p, te postrojenje gorivih članaka na vodik ukupne snage 10 kW_e i 10 kW_t. Ovaj rad opisuje trenutnu infrastrukturu laboratorija, uz naglasak da postoje planovi za daljnja proširenja s ciljem povećanja upravljivosti.

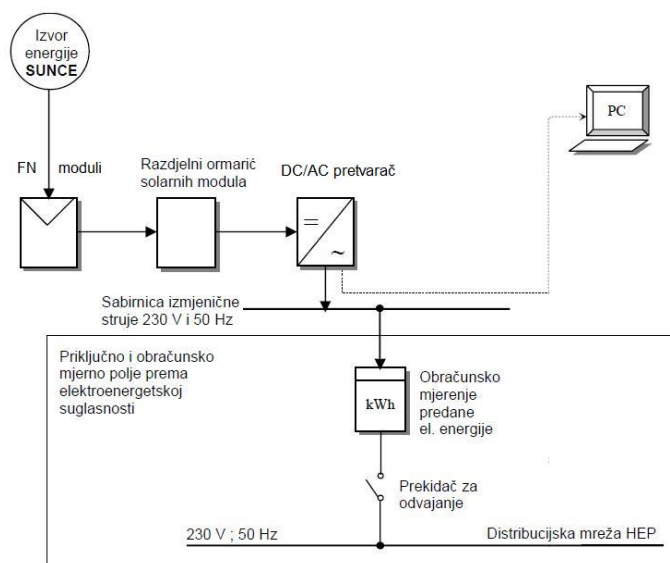
3.1. Fotonaponska elektrana

Fotonaponska elektrana se sastoji od fotonaponskih modula, pretvarača, te zaštitnih i mjernih uređaja. Na slici 3. je shematski prikaz postrojenja.

Fotonaponski moduli, koji svjetlosnu energiju sunčevog zračenja pomoću fotoelektričnog efekta neposredno pretvaraju u električnu energiju. Istosmjerni napon se dovodi do pretvarača. Mrežni pretvarač pretvara istosmjerni napon u izmjenični 230 V mrežni napon, te se sinkronizira s javnom niskonaponskom električnom mrežom. Proizvedena električna energija se predaje u mrežu preko brojila električne energije.

Pretvarač ima na izmjeničnoj strani ugrađenu zaštitu protiv otočnog rada, podnaponsku, prenaponsku, podfrekvencijsku, nadfrekvencijsku te impedantnu zaštitu. Za zaštitu od previsokog napona dodira ugrađena je diferencijalna sklopka. Na istosmjernoj strani je ugrađena prenaponska zaštita fotonaponskog izvora te zemljospojna zaštita.

Pretvarač je preko serijske komunikacije povezan sa nadzornom jedinicom koja omogućava i priključivanje senzora (temperatura, ozračenje, brzina vjetrova...). Nadzorna jedinica je priključena na lokalnu mrežu, preko koje se pregledavaju vrijednosti mjernih kanala te ostali parametri potrebni za nadzor i djelovanje sustava.



Slika 3. Shematski prikaz instalacije fotonaponske elektrane

Fotonaponski moduli su postavljeni na krovu jedne od zgrada KONČAR - Instituta. Elektrana se sastoji od 42 modula ukupne snage 10 kW_p i podijeljena je u 3 dijela:

- Fotonaponski sustav postavljen na nosač pod fiksnim kutom od 30° prema tlu
- Fotonaponski sustav postavljen na jednoosni sustav za praćenje prividnog kretanja Sunca po visini
- Fotonaponski sustav postavljen na dvoosni sustav za praćenje prividnog kretanja Sunca po visini i azimutu

Svaki od tri fotonaponska sustava je sastavljen od po 14 fotonaponskih modula istog tipa, koji su raspoređeni po površini nosača. Moduli su raspoređeni na način da su dva serijska spoja od po 7 modula spojeni paralelno, a zatim je čitavi sustav spojen na pretvarač nazivne snage 3 kW , preko 2 zasebna ulaza. Nazivna snaga svakog modula iznosi 225 W_p , a ukupna snaga jednog sustava 3150 W_p .

Orijentacija nosača prvog sustava je u smjeru juga, fiksno pod kutom od 30° prema tlu. Nosač drugog sustava također je postavljen u smjeru juga sa mogućnošću jednoosnog praćenja prividnog kretanja Sunca mjesečno. I nosač trećeg sustava ima orijentaciju prema jugu, ali je dvoosni, pa osim praćenja po visini, ima i mogućnost praćenja azimuta sunca. Na slici 4. prikazana su sva tri dijela elektrane, a na slici 5. upravljački ormar i pretvarači.



Slika 4. Fotografija fotonaponske elektrane



Slika 5. Upravljački ormar i pretvarači fotonaponske elektrane

3.2. Gorivi članci

U KONČAR–Institutu za elektrotehniku, d.d. izgrađeno je energetska postrojenje na prirodni plin s PEM (eng. proton exchange membrane) gorivim člancima i kogeneracijom, te priključcima na električnu i toplinsku mrežu nazivne snage od 10 kW_e i 10 kW_t [9],[10].

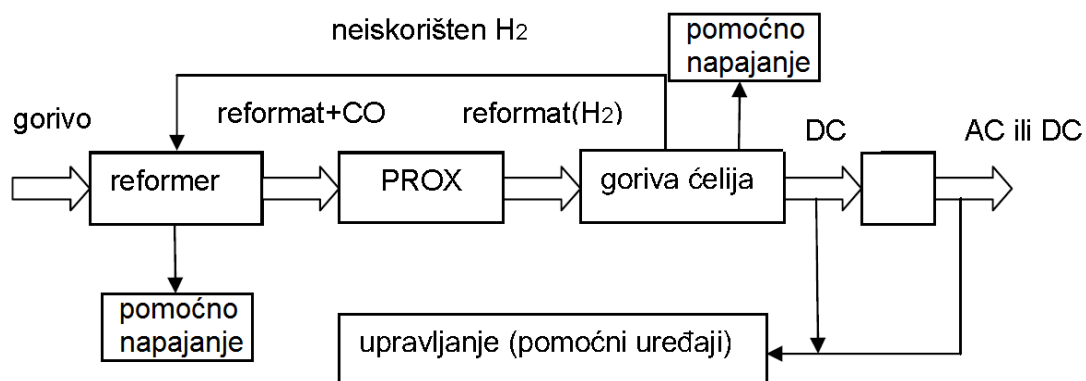
Proces pripreme reformata dio je sustava koji se sastoji od 4 dijela:

- modul za pripremu goriva u komori za odsumporavanje
- modul za proizvodnju vodika sa gorionikom i reformerom
- modul za čišćenje : sastoji se od dva dijela. U prvom dijelu (LTS) se provodi nisko temperaturna redukcija CO, a u drugom (PROX) naknadna oksidacija
- sustav za upravljanje, koji se nalazi u upravljačkom ormariću

Gorionik zagrijava reformer uz pomoć prirodnog plina i zraka ili anodnog plina iz gorivog svežnja i zraka. Kada se postigne temperatura od oko 700°C , prirodni plin ulazi u sustav kroz komoru za odsumporavanje gdje se odstranjuje sumpor, a prirodni plin preko ventilatora i tri izmjenjivača topline ulazi u reformer. U izmjenjivačima topline se voda pretvara u paru, a ona se dodaje protoku prirodnog plina, te počinje proces reformiranja u kojem se prirodni plin i para pretvaraju u ugljični monoksid, ugljični dioksid i vodik. Produkt dosadašnjeg dijela procesa, "sirovi reformat", ide u modul za čišćenje gdje prvo prolazi dvije faze u LTS-u. Tu se ugljični monoksid odstranjuje na temperaturi od oko 200°C . Nakon toga ulazi u PROX, gdje se kroz dvije faze reformat dodatno pročišćava daljnjom redukcijom udjela ugljikovog monoksida na temperaturi od oko 120°C . Na izlazu iz PROX na raspolaganju je čisti reformat sa otprilike 75 % H_2 , 17 do 19% CO_2 , do 2% netransformiranog metana te 10 ppm ugljičnog monoksida. Napajanje reformera je na 230V, 50 Hz uz dodatni silazni pretvarač, a ulaz prirodnog plina od 23 do 65 mbara (g).

Nakon proizvodnje reformata, on se prosljeđuje u gorivne svežnjeve, kojima je, kao i reformeru potrebno napajanje od 230 V, 50 Hz koje se dodatnim silaznim pretvaračem pretvara u 12, 24 ili 48 V. Pomoćno napajanje je potrebno kod pokretanja svežnja, i za potrebe dinamičkog upravljanja procesom. U postrojenju se nalaze dva goriva svežnja nazivne snage od po 8 kW_e . Svaki od svežnjeva je načinjen od po 68 serijski spojenih gorivih članaka. Uz stabilan rad, maksimum snage za ovo postrojenje bio bi oko 6.5 kW. Radna točka tada je na oko 150 A i 50 V.

Istosmjerni napon pretvara se u izmjenični putem 6 jednofaznih DC/AC pretvarača nazivne snage po 2.6 kW koji su smješteni u upravljačkom ormaru, a konfigurirani su kao dva trofazna priključka na mrežu.



Slika 6. Tok energije u gorivnoj ćeliji

Ukupna učinkovitost sustava može se definirati kao odnos između izlazne električne energije i zbroja energije goriva i energije utrošene u sustavima za pomoćno napajanje procesa. Na slici 6. prikazan je blok dijagram toka energije u postrojenju [11]. Izgrađeno postrojenje je u fazi ispitivanja, te je ukupnu učinkovitost zasada bilo moguće sagledavati tek kod djelomičnih opterećenja. Očekuje se da će ispitivanja tijekom ove godine dati uvide u realnu učinkovitost pri nazivnom opterećenju.

Na slikama 7. i 8. prikazane su fotografije postrojenja



Slika 7. Reformeri i gorivni svežnjevi



Slika 8. DC/AC pretvarači i upravljanje

4. PLANI ZA PROŠIRENJE POSTOJEĆEG SUSTAVA

Laboratorij za distribuiranu proizvodnju električne energije u KONČAR-Institutu izgrađen je s više ciljeva. Prvi cilj jest ovladavanje konkretnim tehnologijama dobivanja električne energije iz obnovljivih izvora (poput sunca) i energenata za pohranu poput vodika. Drugi cilj jest istraživanje vladanja sustava koji se sastoji od više obnovljivih izvora energije i sustava za pohranu. Takav hibridni sustav, koji predstavlja mikromrežu, može raditi autonomno (u otočnom radu) ili može biti spojen na mrežu. Oba aspekta rada vrlo su zanimljiva i predmet su intenzivnih istraživanja u svijetu. Preduvjet za realizaciju mikromreže jest upravljivost pojedinih izvora ili sustava za pohranu i adekvatan sustav upravljanja. Ukoliko hibridni sustav radi u spoju s mrežom može se ostvariti ekonomsko optimiranje takvog pogona.

Sunčevo je zračenje samo po sebi fluktuirajuće prirode, pa se na izlaznu snagu fotonaponskih panela može vrlo malo utjecati. Trenutno je raspoloživo mnogo tehnologija proizvodnje vodika. Može se dobiti iz procesa poput elektrolize vode, reformacije prirodnih plinova, ugljena i biomase, foto-elektrolize i drugim [6], [8]. Reformacija prirodnog plina je trenutno najčešće upotrebljavana metoda jer je najjeftinija i proizvodi najmanje CO₂ od svih procesa dobivanja vodika iz fosilnih goriva. Ideja o proizvodnji vodika iz obnovljivih izvora elektrolizom vode bez ostalih ulaznih fosilnih energenata je zasada ekonomski neisplativa, no takav način skladištenja viška energije predstavlja krajnji cilj u viziji zelene energije.

Sustav za pohranu energije čini bitni dio upravljanja mikromrežama i općenito sustavima besprekidnog napajanja. Ključni su problemi odrediti da li je isplativo ugraditi sustav, i ako da, koliki bi trebao biti kapacitet skladištenja. Kada se misli na kapacitet, tada treba precizirati koliko je energije moguće pohraniti, i kolika je maksimalna snaga koju sustav trenutno može primiti, odnosno vratiti natrag u mrežu. Npr., ukoliko se zgrada KONČAR-Instituta promatra kao zasebna mreža koja je preko točke priključka spojena na glavnu mrežu, tada ta mreža može predstavljati mikromrežu. Mikromreža prema svojoj definiciji može raditi u dva režima rada, otočnom, te u radu na mreži. Budući da je trenutno instalirani kapacitet nedostatan za pokrivanje kompletne potrošnje zgrade, razmatrat će se slučaj u radu na mreži. Kod takvog rada optimalan kapacitet sustava za pohranu energije može se odrediti funkcijom optimiranja troškova ukupnog pogona. Intuitivno je jasno da bi algoritam za optimiranje u tom slučaju, kroz dnevno optimiranje, trebao naći rješenje u kojem se sustav pohrane puni kada je cijena električne energije niska, a da vraća pohranjenu energiju kada cijena poraste. Kod optimiranja kapaciteta, mreža na

koju je kompletni hibridni sustav spojen može se smatrati dodatnim proizvođačem energije, a cijena proizvodnje električne energije iz njega odgovara općoj kupovnoj cijeni energije iz mreže. Bitni su što točniji podaci o dnevnim krivuljama potrošnje sustava jer rezultati postupka optimiranja dosta ovise o njima. Općenito je u ovakvim problemima potrebno minimizirati funkciju cilja koja predstavlja ukupne troškove opskrbe električnom energijom određenog područja prema unaprijed zadanim krivuljama potrošnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora, sve u određenim vremenskim intervalima [7]. Tada će se u optimalnom rješenju, osim traženog kapaciteta, dobiti i niz varijabli koje označavaju trenutnu proizvodnju svake od jedinica, i to za svaki interval. Funkcija optimiranja koju je potrebno minimizirati može se postaviti na sljedeći način:

$$f = t * \sum (C_m * P_{m,j} + C_{\text{vodik}} P_{\text{gorivi članak},j} - C_{\text{povlašteno}} * P_{PV,j}) + g * C_{\text{instE}} * E_{\text{maks}} + g * C_{\text{intP}} * P_{\text{maks}} \quad (1)$$

gdje su veličine koje se spominju u formuli sljedeće:

t –	dužina promatranog vremenskog intervala
C_m –	kupovna cijena električne energije iz mreže
P_{m-i} –	trenutna snaga koja dolazi iz mreže
C_{vodik} –	cijena proizvodnje vodika (ovisno o troškovima prirodnog plina i napajanja)
$P_{\text{gorivi članak}}$ –	trenutna snaga proizvodnje gorivog članka (funkcija ovisnosti o ulaznom vodik)
g –	bezdimenzionalni parametar skaliranja troškova instalacije na jedan vremenski interval
$C_{\text{int E, P}}$ –	troškovi instalacije kapaciteta sustava za pohranu energije
E, P_{maks} –	ukupni kapacitet
$C_{\text{povlašteno}}$ –	povlaštena cijena otkupa električne energije proizvedena iz fotonaponske elektrane
P_{PV-i} –	trenutna snaga proizvodnje fotonaponske elektrane

Također moraju biti definirana ograničenja koja će rješenju dati smisao. Ograničenja se odnose na limite maksimalne i minimalne moguće proizvodnje sustava za pohranu, ovisno o nazivnim snagama i tehničkim minimumima, na napunjenost sustava za pohranu koja mora u svakom trenutku biti u realnim granicama (između E_{min} i E_{maks}).

Rješenje ovako definiranog problema dati će optimalne veličine sustava za pohranu i optimalan vozni red svih izvora u hibridnom sustavu.

Poznavanje dnevnih karakteristika potrošnje kompleksa od bitne je važnosti u određivanju problemskih varijabli u ovako definiranoj funkciji cilja.

S druge strane, ako mikromreža radi u otočnom radu, dodatnu funkciju ograničenja predstavlja zadovoljavanje potrošnje, tj. prihvatljivo trajanje prekida u opskrbi potrošača. Ovakav rad rezultira drugačijim postupkom dimenzioniranja hibridnog sustava i projektiranja sustava upravljanja. Kako potreba za napajanjem trošila često ne slijedi razvoj električne mreže, autonomne mikromreže koje rade u otočnom radu postaju vrlo zanimljive. Stoga je istraživanje autonomnih hibridnih sustava napajanja iz obnovljivih izvora (mikromreža) jedno od žarišta istraživanja u KONČAR – Institutu za elektrotehniku d.d.

5. ZAKLJUČAK

U referatu su sistematski prikazani najrašireniji koncepti upravljanja skupom jedinica distribuirane proizvodnje, mikromreže i virtualne elektrane.

Prezentiran je konkretan projekt tvrtke KONČAR-Institut za elektrotehniku d.d. u sklopu kojega su izgrađeni kogeneracija pogonjena vodikom proizvedenim u reformeru na prirodni plin nazivne snage 10 kW_e i 10 kW_t, te fotonaponska elektrana s tri skupine od po 14 fotonaponskih modula ukupne nazivne snage 10 kW_p, i to statički, jednoosno i dvoosno pokretljivi sustavi. Cilj laboratorija je stjecanje iskustava u primjeni gorivih članaka i fotonaponskih sustava. Istraživanje u laboratoriju ide u smjeru ovladavanja tehnologijama proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, ali i u projektiranju i upravljanju autonomnim hibridnim sustavima napajanja sa skladištenjem energije i mikromrežama.

LITERATURA

- [1] R. Lasseter, "MicroGrids", Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, siječanj 2002, stranice 305-308
- [2] J.M. Guerrero, L. Garcia de Vicuna i J. Uceda, "Control of Uninterruptible power supply systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no.8, kolovoz 2008., stranice 2845-2859,
- [3] E.A. Setiawan, "Concept and Controllability of Virtual Power Plant," doktorska disertacija, 2007.
- [4] N. Ruiz, I. Cobelo, i J. Oyarzabal, "A Direct Load Control Model for Virtual Power Plant Management," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 2, svibanj 2009. stranice 959-966
- [5] B. Brestovec, M. Zečević i A. Previšić, "Osnovna načela upravljanja distribuiranom proizvodnjom u inteligentnim mrežama," 9. savjetovanje HRO CIGRÉ, studeni 2009.
- [6] M. Ball i M. Wietschel, "The future of hydrogen – opportunities and challenges," International Journal of Hydrogen Energy, Volume 34, Issue 2, siječanj 2009, stranice 615-627
- [7] P. D. Brown, J. A. Pecas-Lopes i M. A. Matos, "Optimization of pumped storage capacity in an isolated power system with large renewable penetration," IEEE Transactions on Power Systems 23(2), 2008, stranice 523-531.
- [8] S. Car, M. Firak, B. Donlagić, "Primjena vodika u elektroenergetici", 15. Forum – Dan energije u Hrvatskoj, Zagreb, 2006.
- [9] B. Donlagić, S. Car, D. Živko, F. Kršinić, A. Galjanic i Z. Ceralinac, "Stationary Facility For Generation of Electric and Thermal Energy Using Hydrogen and Fuel Cells," International Conference, Hydrogen on Islands, Bol, Brač, Hrvatska, listopada 2008.
- [10] B. Donlagić, S. Car, "Značaj vodika kao energetske nositelja i kogeneracija s primjenom PEM gorivnih članaka," 1. Kongres Dani inženjera strojarstva, Split, ožujak 2009.
- [11] M. Šinko, „Makroskopsko modeliranje Gorivih PEM ćelija“, Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2009.
- [12] K. Horvat, I. Cvrk, "Optimiranje aplikacija fotonaponskih sustava", 9. savjetovanje HRO CIGRÉ, studeni 2009.