



Zora Luburić
Fakultet elektrotehnike i računarstva
zora.luburic@fer.hr

Hrvoje Pandžić
Fakultet elektrotehnike i računarstva
hrvoje.pandzic@fer.hr

Hrvoje Bašić
Fakultet elektrotehnike i računarstva
hrvoje.basic@fer.hr

Tomislav Plavšić
Hrvatski operator sustava – HOPS
tomislav.plavsic@hops.hr

ULOGA SPREMNIKA ENERGIJE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

SAŽETAK

Povećanje udjela obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sustavu utječe na način njegovog vođenja. Promjenjivost i predvidivost proizvodnje vjetroelektrana i solarnih panela stvaraju potrebu za dodatnom regulacijskom energijom. Tu je energiju teško osigurati jer povećanjem proizvodnje iz obnovljivih izvora energije smanjuje se količina upravljivih agregata u pogonu, što izravno narušava regulacijske sposobnosti. Kao jedno od rješenja nameće se upotreba spremnika energije velikog kapaciteta kao što je baterija. U radu će se analizirati tehnologije i uloga spremnika energije u prijenosnoj mreži. Dodatno će se istražiti mogućnosti primjene spremnika energije u hrvatskom elektroenergetskom sustavu.

Ključne riječi: Spremnici energije, prijenosni sustav, obnovljivi izvori energije

THE ROLE OF ENERGY STORAGE IN ENERGY POWER SYSTEMS

SUMMARY

Large-scale integration of renewable energy in the electric power system affects the system operation. Additional need for control reserves is the result of uncertainty and intermittency of wind power plants and solar panels. It is difficult to ensure those reserves due the fact that increasing the renewables decreases the amount of dispatchable resources in system, which violates the sufficient control capabilities of the system. The use of high – capacity energy storage imposes as one of the solutions. This paper describes the technologies and the role of energy storage in transmission system. Additionally, the potential for utilization of energy storage in Croatian electric power is explored.

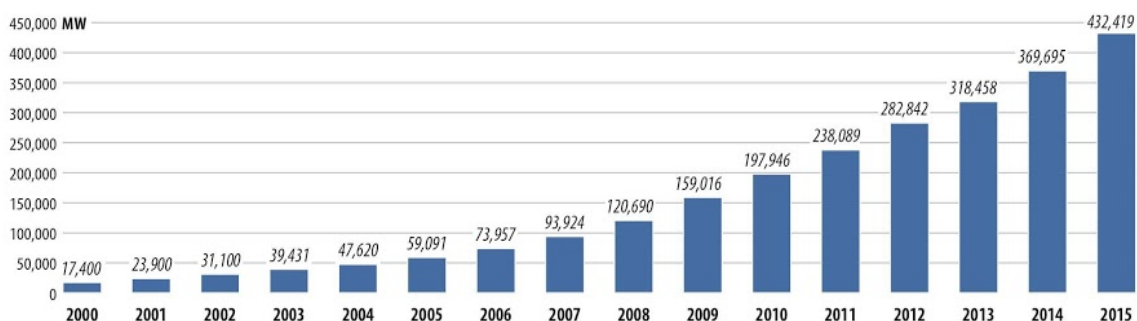
Key words: Energy storage, transmission system, renewable energy sources

1. UVOD

Pitanje klimatskih promjena u svijetu izazvalo je raspravu o prednostima ograničenja industrijske emisije stakleničkih plinova. Između ostaloga, u energetskom sektoru predložene su mnoge mjere u cilju smanjenja emisije CO₂, te dolazi do napuštanja konvencionalnih načina proizvodnje električne energije kao što su termoelektrane na ugljen i mazut. U vidu poticanja uporabe ekološki prihvatljivijih oblika energije, u elektroenergetski sustav (EES) ulaze obnovljivi izvori energije (OIE). Najzastupljeniji obnovljivi izvori energije su vjetroelektrane (VE) s ukupnom instaliranom snagom u svijetu 433 GW krajem 2015. godine [1]. Prema podacima sa slike 1, tijekom 2015. godine instalirano je skoro 63 MW novih vjetroelektrana, što predstavlja porast od 17 %. Vodeće države u svijetu prema instaliranoj snazi VE su Kina, SAD, te Njemačka.

Proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana donosi čisti oblik energije bez emisija CO₂ jer ne koristi pogonsko gorivo na bazi ugljika. Tehnički, za izgradnju vjetroagregata potreban je relativno kratak vremenski period, što omogućuje brzu izgradnju novih kapaciteta VE. No postoje i neki nedostaci koje VE unose u rad EES-a, kao što su promjenjivost i neizvjesnost proizvodnje, prostorna ograničenost, a to često znači udaljenost od velikih centara potrošnje što zahtjeva dodatni prijenosni kapacitet vodova. Navedene okolnosti donose nove izazove u vođenju EES za operatore sustava (OS) diljem svijeta. Međutim, upravljanje neizvjesnostima nije novi pojam za OS. Predviđanje potrošnje u sustavu funkcija je koja se odvija od samih početaka rada EES-a. Uvođenjem VE u EES, nesigurnost se javlja i na strani proizvodnje. Stoga se javlja potreba za angažiranjem dodatne rezerve, upravo zbog nemogućnosti točnog predviđanja proizvodnje. Navedene neizvjesnosti u proizvodnji VE najviše se odražavaju na raspon angažirane sekundarne i tercijarne rezerve u sustavu jer zasigurno 1 MW proizvodnje iz VE ne može u svakom trenutku pokriti 1 MW potrošnje u sustavu. Iz godine u godinu povećava se broj zahtjeva za povećanjem instalirane snage u sustavima što mijenja baznu proizvodnju u voznom redu elektrana. Iz sustava izlaze termoelektrane sporijeg odziva, a dolazi do instalacije termoelektrana na plin koje imaju brzi odziv na promjene u sustavu, te drugih elektrana sličnih karakteristika. Prema tome, naglasak je na što većoj fleksibilnosti sustava [2].

Cilj ovog rada je prijedlog za ublažavanje posljedica promjenjivosti proizvodnje VE i solarnih elektrana integracijom velikih spremnika energije snage desetak i više MW. U poglavlju 2 predstavljeni su svi postojeći oblici spremnika primjenjivih u EES. Njihov ukupni instalirani kapacitet u svijetu 2015. g. iznosi 190 TW [3]. Između ostalih, instaliranih velikih baterijskih spremnika u svijetu već postoji oko 1100 MW, pretežno u SAD-u, premda se taj broj povećava i u Europi. U poglavlju 3 opisana je uloga spremnika energije u EES-u, a u završnom poglavlju 4 mogućnost primjene u hrvatskom elektroenergetskom sustavu. Temeljno razmatranje će biti u sklopu pomoćnog reguliranja proizvodnje iz vjetroelektrana, kao i područja koja bi bila pogodna za ugradnju ove vrste spremnika.



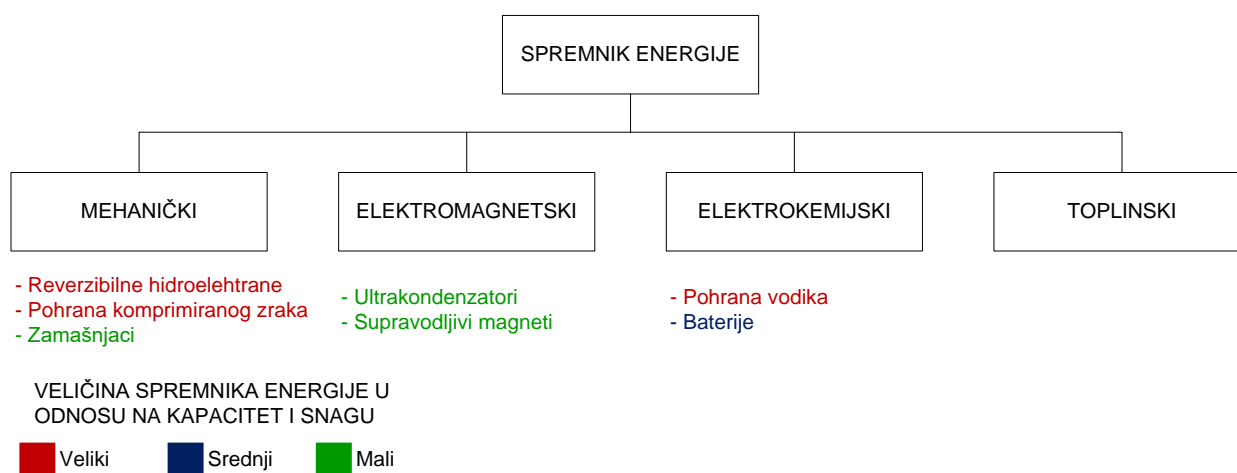
Slika 1. Ukupno instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu u razdoblju od 2000. do 2015. godine [1]

2. TEHNOLOGIJE SPREMNIKA ENERGIJE

Električna energija definira se kao prijelazna energija dobivena transformacijom nekog od oblika primarne energije koji se nalaze u prirodi. Kako električnu energiju kao prijelaznu energiju nije moguće gomilati, za njeno spremanje potrebno ju je pretvoriti u oblik energije koji ima sposobnost nagomilavanja, tzv. spremnik energije (SE).

Energija se može skladištiti u sljedećim oblicima: mehanička, elektromagnetska, elektrokemijska, toplinska. Svaki od navedenih oblika skladištenja energije može se primijeniti u procesu transformacije i skladištenja električne energije, ali sukladno karakteristikama transformacije i kapacitetima skladištenja samo neki od oblika smatraju se podobnim za primjenu u elektroenergetskom sustavu.

Na slici 2. prikazane su osnovne značajke primjene navedenih SE u EES [4].



Slika 2. Klasifikacija tehnologija spremnika energije

Osnovna podjela SE prema potrebama EES-a odnosi se na kapacitet i snagu spremnika. Tako SE dijelimo na spremnike velikih, srednjih i malih kapaciteta i snaga. Bitno je napomenuti da je kapacitet spremnika definiran kao umnožak struje pražnjenja i vremena pražnjenja spremnika, a snaga kao umnožak struje pražnjenja spremnika i napona na stezaljkama spremnika. SE velikih kapaciteta i snaga koji nalaze svoju primjenu u EES-u su konvencionalne reverzibilne hidroelektrane, postrojenja za pohranu komprimiranog zraka kao mehanički spremnici i postrojenja za proizvodnju vodika kao elektrokemijski spremnici, te toplinski spremnici. Nadalje, spremnici srednjih kapaciteta i snaga su baterije kao elektromagnetski, a spremnici malih kapaciteta i snaga su ultrakondenzatori i supravodljivi magneti kao elektromagnetski spremnici potencijalne električne energije.

2.1. Reverzibilne hidroelektrane

Reverzibilne hidroelektrane nalaze svoju primjenu već više od jednog stoljeća, stoga su tehnološki najrazvijeniji i najrasprostranjeniji sustav pohrane. U svijetu je ugrađeno ukupno oko 104 GW instalirane snage reverzibilnih hidroelektrana [3]. U Hrvatskoj postoji jedna reverzibilna hidroelektrana RHE Velebit ukupne instalirane snage 276 MW u generatorskom režimu rada, odnosno 240 MW u pumpnom režimu rada, a u pogonu je od 1984. g. Pojednostavljeni princip rada je spremanje energije pumpanjem vode na višu nadmorsku visinu u gornje akumulacijsko jezero čime se povećava uskladištena potencijalna energija vode u vremenu kada EES-u odgovara povećanje potrošnje, odnosno pokretanje generatorskog načina rada u vremenu kada EES-u odgovara povećanje proizvodnje električne energije. Veliku prednost reverzibilnim hidroelektranama pred ostalim spremnicima daju stabilnost u uporabi i dugi životni vijek. Najveće mane u primjeni su ovisnost izgradnje o geološkoj formaciji okoliša i vrlo visoki investicijski troškovi. Kako je za pokretanje iz hladnog stanja potrebno svega nekoliko minuta, a iz stanja pripravnosti nekoliko desetaka sekundi moguća je široka primjena u pomoćnim uslugama prijenosne mreže EES kao što su

frekvencijska stabilnost, pohrana viška energije u vršnim satima i kao rezerva za crni start EES. Primjenu u mikromrežama ograničava prvenstveno ovisnost o geološkoj formaciji okoliša, iako prema [5] umjetno izgrađene jedinice pumpnih hidroelektrana reda veličine oko 10 MW moguće je isplativo koristiti u izdvojenim mikromrežama kao što su udaljeni otoci.

2.2. Postrojenja za pohranu komprimiranog zraka

Postrojenja za pohranu komprimiranog zraka u primjeni su više od 50 godina, pa su stoga također tehnološki razvijen sustav pohrane. U svijetu je izgrađeno svega nekoliko postrojenja zbog velikih investicijskih troškova i izrazite ovisnosti o geološkoj formaciji okoliša. Naime, kako bi se smanjili investicijski troškovi, spremanje komprimiranog zraka izvodi se u postojećim formacijama ispod tla kao što su spilje, stari rudnici, procijepi i sl. Ukupna procijenjena učinkovitost sustava uz korištenje električne energije i prirodnog plina iznosi do 75 % [6]. Snaga postojećih ugrađenih sustava iznosi do 300 MW s mogućnošću rada na velikom rasponu snaga. Životni je vijek procijenjen na više od 30 godina i niski troškovi održavanja bitno utječu na cijenu proizvedene energije.

Fleksibilnost sustava u smislu pokretanja iz hladnog stanja u desetak minuta i reakcije od svega petnaestak sekundi iz stanja pripravnosti omogućuje korištenje sustava u pomoćnim uslugama prijenosne mreže EES, kao što su frekvencijska stabilnost, upravljanje tokovima snage, naponska stabilnost. Mogućnost kombinirane primjene pohranjene energije u proizvodnji električne energije i u drugim tehnologijama omogućuje isplativu primjenu sustava i u mikromrežama.

2.3. Postrojenja za proizvodnju i pohranu vodika

Postrojenja za proizvodnju vodika smatraju se najmlađim sustavom za pohranu energije. Kako bi obrada i primjena vodika bila jasnija bitno je poznavati osnovna svojstva vodika. Dakle, vodik je plin bez boje, okusa i mirisa, neotrovan, lakši je od zraka, izrazito zapaljiv i eksplozivan, najrasprostranjeniji je element u svemiru, na Zemlji je prisutan samo u različitim spojevima. Postoje tri osnovna načina za proizvodnju čistog vodika: izvlačenje iz fosilnih goriva, proizvodnja iz rafinerijskih plinova i metana te elektroliza. Elektroliza nalazi svoju primjenu u elektroenergetskom sustavu jer je učinkovitost takvog sustava veća u odnosu na ostale, ekološki se smatra čistom proizvodnjom jer su nusprodukti proizvodnje, odnosno potrošnje vodik i kisik, odnosno voda. Spremanje vodika moguće je izvesti kompresijom vodika u spremnike ili podzemne rezervoare, pretvaranjem vodika u tekuće stanje hlađenjem pod pritiskom i vezanjem vodika za metale. Za proizvodnju električne energije iz vodika mogu se koristiti gorivne ćelije kojima se izravno pretvara elektrokemijska energija u električnu energiju ili posredno motori s unutrašnjim izgaranjem. Prosječna učinkovitost takvog sustava procjenjuje se na oko 50 % [7] što nije prihvatljivo u odnosu na ostale sustave pohrane energije. Iako je danas tehnologija nekonkurentna očekuje se korištenje vodika u energetici zbog velike gustoće energije koju vodik ima kao gorivo, ekološke prihvatljivosti i mogućnosti brzih prihvata i otpuštanja velikih kapaciteta energije.

Primjena postrojenja za proizvodnju i pohranu vodika u mikromrežama ima prednost u odnosu na ostale spremnike jer se proizvedena i pohranjena energija u vodik u ne mora nužno iskoristiti za transformaciju u električnu energiju, nego se može koristiti kao pogonsko gorivo u vremenu kada proizvodnja električne energije nije potrebna. Primjena postrojenja u prijenosnoj mreži EES izgledna je u pod opterećenim područjima, sa slabo razvedenom mrežom i s velikom integriranom proizvodnjom iz VE. U navedenim uvjetima elektrolizom se preuzima energija u vremenu kada proizvodnja premašuje sumu potrošnje i prijenosne moći tog dijela mreže. Mana takvog sustava je rijetka uporaba spremnika čime se smanjuje isplativost investicije i održavanja sustava [8].

2.4. Toplinski spremnici energije

Toplinski spremnici podrazumijevaju spremanje energije u materijalima koji imaju značajke zadržavanja određene temperature u izoliranim uvjetima, te iskorištavanje toplinske energije po potrebi. Toplinska energija može biti spremljena na temperaturama od -40 °C do više od 400 °C kao osjetna, latentna ili termokemijska energija.

Toplinski spremnici prvenstveno se koriste u mikromrežama kao što su industrijska postrojenja i zgradarstvo za iskorištavanje otpadne topline. U zadnje vrijeme pojavom OIE sve više nalaze primjenu u spremanju električne energije. Kako je učinkovitost samostalnog sustava niska, primjenu nalaze prvenstveno u kombinaciji sa sustavima za iskorištavanje njihove otpadne topline kao npr. preuzimanje energije hlađenja u postrojenju za pohranu komprimiranog zraka čime se podiže učinkovitost cijelog sustava [9]. Mogućnost spremanja velikih količina energije na period do nekoliko dana [10] omogućuje primjenu toplinskih SE i u prijenosnoj mreži EES.

2.5. Baterije

Baterija, odnosno serijsko - paralelna kombinacija elektrokemijskih članaka je SE koji je i danas u primjeni. Otkriven je još 1800 g. kao kombinacija metala i elektrolita (Alesandro Volta) [11] i kao takva ima najdužu povijest u primjeni za pohranu električne energije. Elektrokemijski članak se sastoji od elektroda, elektrolita, separatora, oklopa i priključka. Osnovna podjela baterija prema načinu uporabe odnosi se na mogućnost punjenja baterije. Tako postoje primarne koje se ne mogu puniti i sekundarne baterije koje su punjive. Bitno je napomenuti da postoje protočne ili rezervne baterije gdje je tekući elektrolit izdvojen u vanjske spremnike i rezervne baterije koje je potrebno aktivirati prije korištenja jer je elektrolit izoliran kako bi se onemogućilo samopražnjenje baterije prije uporabe. Primjenu u elektroenergetskom sustavu nalaze sekundarne baterije zbog mogućnosti punjenja i pražnjenja, odnosno preuzimanje uloge izvora i tereta u elektroenergetskom sustavu. Od nekoliko vrsta baterija u komercijalnoj uporabi kao što su olovne, VRLA (engl. Valve-Regulated Lead-acid Battery) i alkalne baterije bitno je istaknuti da alkalne Li-ionske baterije preuzimaju čelnu poziciju u pohrani električne energije u elektroenergetskom sustavu, što je zaključeno u doktorskoj disertaciji [4].

Karakteristike navedenih baterija kao što su visoka učinkovitost, brzo vrijeme reakcije, dugo vrijeme života i mogućnost izgradnje baterija velike snage i kapaciteta nameću primjenu baterija kao izglednu opciju za primjenu spremnika u prijenosnoj mreži EES. Međutim, visoki investicijski troškovi zahtijevaju primjenu baterija za što više usluga u EES, kao što su upravljanje zagušenjima u mreži, frekvencijska stabilnost, naponska stabilnost i sl. Jasno je da baterije imaju nezamjenjivu ulogu u primjeni u mikromrežama zbog jednostavnosti ugradnje i mogućnosti ugradnje spremnika velikog raspona snaga i kapaciteta.

2.6. Zamašnjaci

Zamašnjaci su mehanički uređaji koji spremaju mehaničku rotacijsku energiju preuzetu od vanjskog momenta. Pri preuzimanju energije iz mreže zamašnjak se ponaša kao motor, a kada predaje energiju mreži ima ulogu generatora. Prednosti sustava su vrlo velika brzina odziva velike gustoće energije [12], nema utjecaja na okoliš i vrlo dug životni vijek.

Zbog moguće primjene sustava velikih snaga i malih kapaciteta sa značajnim koeficijentom samopražnjenja, zamašnjaci mogu naći svoju ulogu samo u kombinaciji s drugim izvorima energije u funkciji pokrivanja njihovih eventualnih nedostataka. Tako je moguća primjena u sustavima mikromreža u hibridnoj kombinaciji s konvencionalnim izvorima električne energije gdje zamašnjak preuzima ulogu uglađivanja naglih prijelaznih pojava u sustavu. Moguća je primjena i sustava snaga od desetak MW u prijenosnoj mreži gdje zamašnjaci nalaze svoju ulogu u pomoćnim uslugama kao što su rotirajuće rezerve, te frekvencijska i naponska stabilnost.

2.7. Ultrakondenzatori

Ultrakondenzatori su razvijeni iz tehnologije kondenzatora, te rade na principu spremanja elektrostatske energije u električnom polju. Razlika u odnosu na konvencionalne kondenzatore je u tome što su elektrode ultrakondenzatora uronjene u elektrolit s otopljenim ionima čime se znatno povećava njihov kapacitet.

Iako je, kao i kod zamašnjaka, kapacitet ultrakondenzatora puno manji od ostalih SE, mogućnost izrazito brze reakcije, jako brzog punjenja i pražnjenja uz male gubitke i dug životni vijek osiguravaju uporabljivost ultrakondenzatora u nekoliko pomoćnih uslugama u prijenosnoj mreži EES, obično u kombinaciji

s drugim spremnicima. Uobičajena je primjena i u mikromrežama gdje ultrakondenzator preuzima ulogu kompenziranja naglih promjena u sustavu.

2.8. Supravodljivi magneti

Supravodljivi magneti spremaju energiju u magnetnom polju induciranom istosmjernom strujom u supravodljivoj zavojnici hlađenoj u vakuumu. To je jedina tehnologija koja električnu energiju pretvara izravno u struju i time postiže efikasnost i do 97 % [13]. Iako takvo postrojenje ima visoku cijenu spremanja energije i visok stupanj samopražnjenja, velika efikasnost sustava, visoka gustoća energije te velika brzina odziva u milisekundama i velika brzina punjenja i pražnjenja, uz dug životni vijek, osiguravaju budućnost primjene SE sa supravodljivim magnetima u energetici.

Karakteristika kapaciteta postojećih spremnika reda veličine 1 – 10 MW [13] i navedenih efikasnosti i brzina odziva sustava izražavaju korisnost primjene spremnika u održavanju kvalitete i stabilnosti prijenosne mreže. Visoka cijena investicije i male mogućnosti pohrane kapaciteta SE ne ostavljaju prostora u primjeni sustava u mikromrežama, gdje je veličina kapaciteta spremnika osnovni kriterij za odabir spremnika.

3. ULOGA SPREMNIKA ENERGIJE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

Spremnici energije su sposobni odgovoriti na velik broj mrežnih zahtjeva odnosno pomoćnih usluga, a to su: upravljanje zagušenjima, dnevno uravnoteženje, frekvencijska stabilnost (sekundarna i tercijarna rezerva), naponska stabilnost (prijenosna i distribucijska stabilizacija), pomoć kod izvanrednih okolnosti kao što je crni start te upravljanje potrošnjom [6].

Prema vlasništvu mogu se podijeliti u dvije skupine: oni koji su u vlasništvu operatora sustava i oni koji su u vlasništvu privatnih investitora. U nastavku su ukratko opisana glavna područja primjene spremnika energije u EES-u.

3.1. Upravljanje zagušenjima u mreži

Zagušenje u mreži je stanje u kojem se pogon u prijenosnom sustavu odvija na granici jednog ili više ograničenja. U takvim pogonskim stanjima operator prijenosnog sustava provodi mjere fizičkog upravljanja zagušenjima. Pri tome koristi elemente vlastite mreže koji su mu na raspolaganju (promjene uklopnog stanja elemenata mreže, promjene preklopke transformatora s mogućnošću zakreta kuta napona) ili daje naloge elektranama za promjenom proizvodnje, tzv. redispečing ili preraspodjela proizvodnje. Obje navedene mjere imaju za posljedicu promjenu tokova snaga u mreži, pri čemu dolazi do rasterećenja ugroženih dijelova mreže. SE mogu se koristiti na način da se u dijelu mreže u kojem je zagušenje nastalo dio energije pohrani u spremnicima, čime se rasterećuje ugroženi element ili dio mreže, a zatim se energija predaje u mrežu kada je opasnost od zagušenja smanjena.

3.2. Dnevno uravnoteženje – izravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja

Baterijski spremnici energije mogu se koristiti za dnevno uravnoteženje elektroenergetskog sustava, odnosno izravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja: u vrijeme niskog opterećenja električna energija se pohranjuje u spremnicima, a zatim u periodu vršnog opterećenja dolazi do njihovog pražnjenja i predaje energije u mrežu. SE sudjeluju na tržištu električne energije kako bi maksimizirali svoju dobit prema funkciji cilja (1):

$$\text{Maximize } \sum_{t=1}^T \alpha(t) (q^{\text{dis}}(t) - q^{\text{ch}}(t)) \quad (1)$$

gdje $\alpha(t)$ predstavlja tržišnu cijenu, a $q^{\text{ch}}(t)$ i $q^{\text{dis}}(t)$ količine električne energije kojom se puni i prazni spremnik [14]. Na ovaj način dolazi do smanjenja troškova pogona elektroenergetskog sustava jer se

izbjegava proizvodnja električne energije iz skupih vršnih elektrana. Također se povećanjem minimalne potrošnje u sustavu smanjuje broj gašenja termoelektrana koje imaju visoki tehnički minimum.

3.3. Frekvencijska stabilnost –primarna, sekundarna i tercijarna rezerva

Spremnici energije mogu doprinijeti frekvencijskoj stabilnosti ukoliko postoji neravnoteža između proizvodnje i potrošnje, a u sustavu postoje agregati koji imaju sporiji odziv. U sustavima u kojima postoji velik iznos instaliranog kapaciteta VE, ukoliko dođe do nagle promjene u njihovoj proizvodnji dolazi do pada ili rasta frekvencije sustava. Operator sustava nadzire rad EES-a i daje zahtjev za aktiviranje tercijarne rezerve, dok sekundarna rezerva automatski ispravlja nepravilnosti u sustavu prema stanju na razmjeni tj. na granicama sustava sa ostalim graničnim elektroenergetskim sustavima. U tim slučajevima, SE mogu znatno pomoći zbog svog brzog odziva. Za ovu vrstu pomoćne usluge u svijetu već se dugo koriste reverzibilne hidroelektrane, te u zadnjih nekoliko godina raste njihova instalirana snaga upravo kako bi omogućile stabilnost fleksibilnijeg sustava. Prema [13], SE kapaciteta od 10 MW do 400 MW mogu biti korišteni od 20 do 50 puta na godinu za usluge sekundarne rezerve.

3.4. Naponska stabilnost – prijenosna i distribucijska stabilnost

Naponska stabilnost sustava je stanje sustava u kojem se prilikom normalnog pogona ili poslije poremećaja napon održava u normalnim granicama. Dakle, pojava poremećaja u sustavu uvjetovana je nemogućnošću isporuke dostatne količine jalove energije u EES. Posljedica toga je propad napona odnosno u krajnjem slučaju slom napona sustava.

Zbog lokacijske fleksibilnosti, baterijski SE mogu pomoći EES-u prilikom narušene naponske stabilnosti injektiranjem snage odnosno njenom apsorpcijom. Potreban je vrlo brzi odziv spremnika.

3.5. Crni start

Proizvodne jedinice mogu pružati pomoćnu uslugu crnog starta ukoliko za njihovo pokretanje nije potrebno vanjsko napajanje. Te proizvodne jedinice pomažu ostalima kako bi podigle proizvodnju i uključile se na mrežu. SE mogu biti pružatelji ove pomoćne usluge jer u dovoljno kratkom vremenu mogu dati veliki postotak svoje instalirane snage.

4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE SPREMNIKA ENERGIJE U HRVATSKOM ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

Visoka integracija OIE u hrvatski EES, poglavito VE, značajno je otežala vođenje pogona EES-a. Trenutno je u hrvatskom EES-u instalirano 428,15 MW, od čega je prosječna korištena snaga u 2015. godini iznosila 89,95 MW, a ukupna godišnja proizvodnja u 2015. godini iznosila je 787,93 GWh. Pri tome je satna proizvodnja veća od 300 MWh / h ostvarena tijekom 29 sati. Udio proizvodnje vjetroelektrana u pokrivanju satnog opterećenja sustava kretao se u 2015. godini u rasponu od 0 % do najviše 23,8 % (ostvareno na 14. 10. 2015 u 4 satu), a bio je veći od 15 % tijekom 274 sata. U prva tri mjeseca 2016. godine najveća ostvarena satna proizvodnja VE iznosila je 380,5 MWh / h (9.2.2016 godine u 4 satu). Prostorni smještaj VE u Hrvatskoj prikazan je slikom 3.

Pogon VE u okviru hrvatskog EES-a karakteriziran je izuzetno visokom promjenjivošću proizvodnje električne energije, čemu su glavni uzroci nestalnost vjetrova u priobalnom području, gdje je smještena većina VE, a također i geografskom koncentriranošću vjetroparkova, što je primjetno iz slike njihovog prostornog smještaja. Sve navedeno čini ukupnu proizvodnju električne energije iz VE vrlo osjetljivu na promjene jačine i smjera vjetra, te zahtjeva povećani opseg regulacijskih rezervi, kako bi operator prijenosnog sustava bio u stanju uravnotežiti sustav u trenucima pojave velikih viškova ili manjkova proizvodnje električne energije iz VE. Dodatni problem u pogonu EES-a stvara povećana proizvodnja električne energije iz VE u razdoblju noćnog minimuma, kada postoje problemi s evakuacijom viškova energije. Upravo tu se očituje jedna od glavnih mogućnosti primjene SE u hrvatskom EES-u, dakle za

izravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja, odnosno pohranu električne energije u razdobljima noćnih minimuma, i predaju električne energije u mrežu tijekom pojave vršnih opterećenja.

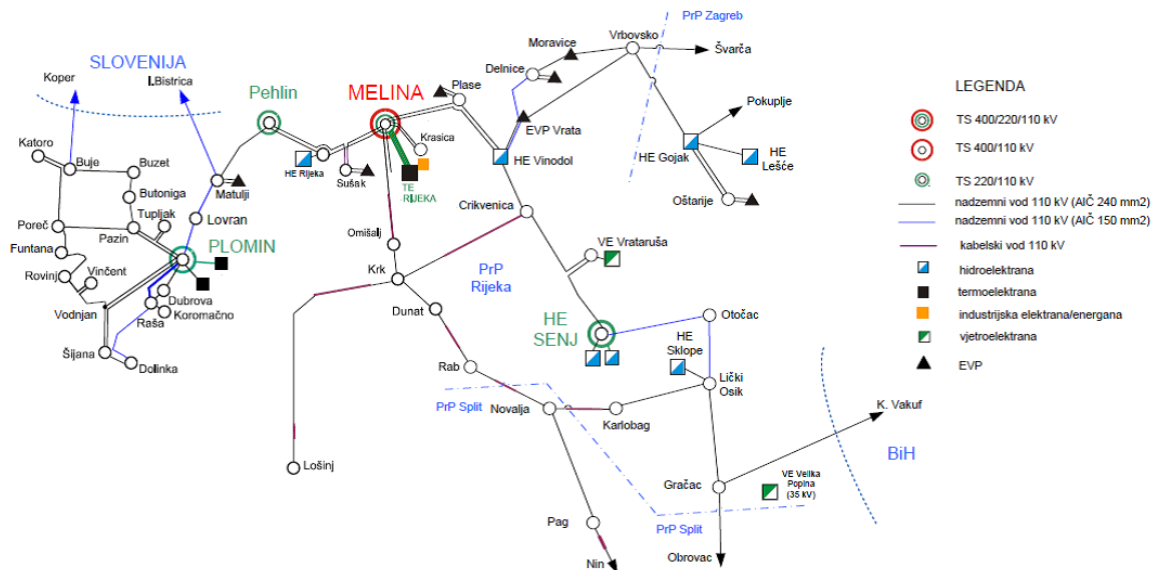


Slika 3. Lokacije VE u Hrvatskoj

Hrvatski EES ograničenih je regulacijskih mogućnosti, posebno u uvjetima pojačane ili smanjene hidrologije, obzirom da se pričuva regulacijske snage nalazi isključivo u hidroelektranama. Usprkos značajnom rastu integracije VE posljednjih godina, nije došlo do ulaganja u opremanje dodatnih elektrana za potrebe sudjelovanja u sekundarnoj P-f regulaciji. Novih proizvodnih objekata, a time i dodatnih mogućnosti u osiguranju regulacijske snage, nema na vidiku, što podiže razinu nesigurnosti budućeg pogona hrvatskog EES-a, posebno zbog očekivanog ulaska dodatnih 344 MW VE u pogon tijekom slijedećih nekoliko godina. Stoga bi SE svoju primjenu u okviru pogona hrvatskog EES-a našli i u regulaciji frekvencije, i to posebno u primarnoj i sekundarnoj regulaciji.

Spremnicima bi se u hrvatskom EES-u mogli koristiti i za upravljanje zagušenjima, a također i za odgodu investicija u prijenosnu mrežu, u područjima koja su sezonski pojačano opterećena, poput priobalne i otočne mreže. Tipičan takav primjer je otok Lošinj, koji je jednim prijenosnim vodom 110 kV i jednim distribucijskim vodom 35 kV spojen na kopnenu mrežu, slika 4. U razdobljima ljetnih vršnih opterećenja otočna je veza na granici sigurnosti te se razmišlja o njenom pojačanju, odnosno dodatnom spoju s kopnom mrežom. Korištenjem naprednih tehnologija, poput SE i drugih, ovu bi se investiciju moglo odgoditi, a moguće je i u potpunosti izbjeći. Prema analizi radova (navesti Hrvojev rad) primjena baterijskih tehnologija danas nije konkurentna tehnologija SE u odnosu na ostale opcije unapređenja prijenosnog sustava (npr. izgradnja novih ili rekonstrukcija postojećih vodova). No, budući da se nastavlja trend razvoja tehnologije baterija te snižavanja cijena baterija, u skoroj budućnosti očekuje se ekonomska isplativost investicija u njihovu ugradnju u EES.

Povremena zagušenja javljaju se u okolici 110 kV priključka VE Vrataruša na prijenosnu mrežu, slika 2., posebno u uvjetima značajnog prijenosa energije s juga Hrvatske u smjeru zapada. Tada se opterećuju 400 kV i 220 kV vodovi prema TS Melina. Ispad 400 kV ili 220 kV voda dodatno opterećuje 110 kV potez od HE Senj prema HE Vinodol, i dalje, te je potrebno poduzimati određene topološke mjere ili preraspodjelu proizvodnje, kako bi se nastalo zagušenje otklonilo. Stoga bi se priključkom i korištenjem SE u ovom dijelu mreže moglo kratkotrajno izbjeći zagušenja, te omogućiti plasman ukupne proizvedene električne energije na tom području, kako iz VE Vrataruša, tako i iz HE Senj i HE Vinodol.



Slika 4. Prijenosna 110 kV mreža prijenosnog područja Rijeka

5. ZAKLJUČAK

Integracija OIE u EES bitno utječe na stabilnost i sigurnost sustava zbog ovisnosti njihove proizvodnje o nedovoljno predvidivim izvorima energije, vjetru i suncu. Predviđena povećana integracija OIE u EES u budućnosti zahtijeva velika ulaganja u unapređenje sigurnosti i fleksibilnosti sustava. Osim konvencionalnih metoda povećanjem prijenosne moći vodova, te izgradnje novih brzih konvencionalnih elektrana čija je funkcija isključivo osiguravanje rezerve za stabilnost sustava, predloženo je uvođenje SE u prijenosni sustav. Integracija SE sa sve nižom cijenom investicije, brzim rokovima izgradnje, te širokim spektrom mogućnosti primjene u EES-u ekonomski je i tehnički sve prihvatljivije rješenje za izravnavanje promjenjive proizvodnje električne energije iz OIE.

Hrvatski EES već danas je izrazito opterećen nepovoljnim utjecajem nestalnosti proizvodnje iz postojećih OIE, posebno u dijelovima hrvatske gdje su OIE najzastupljeniji. S obzirom da se očekuje značajan porast integracije OIE u hrvatski EES u narednim godinama, potrebno je provesti detaljnija istraživanja primjene odgovarajućih tehnologija, poput spremnika energije, kako bi se u budućnosti osigurala stabilnost i sigurnost sustava.

6. ZAHVALA

Rad autora sufinancirali su Hrvatska zaklada za znanost i Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o. kroz projekt Smart Integration of RENewables - SIREN (I-2583-2015).

7. LITERATURA

- [1] Dostupno na poveznici: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>
- [2] A.J. Conejo, M. Carrion, J.M Morales, "Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets", Springer New York Dordrecht Heidelberg London, New York, SAD, 2010.
- [3] Dostupno na poveznici: <http://energystorage.org>

- [4] M. Świerczyński, "Lithium ion battery energy storage system for augmented wind power plants", Dissertation submitted to Faculty of Engineering, Science, and Medicine at Aalborg University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Aalborg University, Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark, October, 2012
- [5] Papaefthimiou, S., Karamanou, E., Papathanassiou, S., Papadopoulos, M.: "Operating policies for wind - pumped storage hybrid power stations in island grids", IET Renew. Power Gener., 2009., 3, (3), pp. 293–307
- [6] K. Bradbury, Energy storage technology review, Technical report, 2010.
- [7] Dostupno na poveznici: <http://www.lares.fer.hr/>
- [8] Korpas, M., Greiner, C.J.: "Opportunities for hydrogen production in connection with wind power in weak grids", Renew. Energy, 2008, 33, pp. 1199–1208
- [9] Dostupno na poveznici: <https://www.irena.org/>
- [10] Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées, Service BEAMS groupe Energie "Energy storage technologies for wind power integration", March 2010.
- [11] D. Linden, Handbook of Batteries. McGraw-Hill, 1995.
- [12] T. Dragičević, S. Sučić, J. C. Vasquez, and J. Guerrero, "Flywheel-based distributed bus signalling strategy for the public fast charging station," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 6, pp. 2825–2835, 2014.
- [13] Haisheng, C., Thang, N.C., Wei, Y., Chunqing Tyongliang, L., Yulong, D.: "Process in electrical energy storage system: a critical review", Process Nat. Sci., 2009., 19, (3), pp. 291–312
- [14] H. Pandžić, I. Kuzle, "Energy Storage Operation in the Day-ahead Electricity Market," In proc. 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lisbon, Portugal, May 2015., pp. 1-6.