

Popis problema i prijedlog rješenja vezanih za integraciju velike količine vjetra

Zora Luburić, Ivan Pavičić, Vladimir Valentić

18. studenoga 2016.

Sažetak

Nesigurnosti u hrvatskom EES-u sve su veće integracijom dodatnih kapaciteta vjetroelektrana (VE). Prema tome, provodi se plan razvoja prijenosne mreže koji će elektroenergetski sustav održati u granicama stabilnosti. Istražuju se moguće mjere i troškovi pogona u takvim okolnostima sustava. Ovaj izvještaj predstavlja kratki pregled postojećeg stanja, donesenih odluka te moguće buduće akcije za slučaj nestabilnosti u EES-e u vidu ugradnje spremnika energije u kritičnim čvorištima.

1 Uvod

Prema Zakonu o tržištu električne energije Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) odgovoran je za vođenje EES-a i pogon prijenosnog sustava Hrvatske te razvoj prijenosne mreže kojim se osigurava dugoročna sposobnost kako bi se ispunili zahtjevi za prijenos električne energije na nediskriminirajući način [1]. U posljednja dva desetljeća EES-a dolazi do promjena u portfelju elektrana. Sve više raste instalirana snaga obnovljivih izvora energije (OIE) među kojima se najviše ističu vjetar i sunce. Njihovom penetracijom došlo je do porasta nesigurnosti u pogonu mreže zbog nemogućnosti točnog predviđanja proizvodnje. Između ostaloga, došlo je do povećanja raspona snaga regulacijskih rezervi u sustavu tj. sekundarne i tercijarne zbog znatnog odstupanja između predviđene i realizirane proizvodnje. Kako bi se pristupilo rješenju ovog problema globalno se razvijaju nove tehničke ideje. Neke od njih su i uvođenje različitih vrsta tehnologija spremnika energije (SE) u pogon EES-a. Hrvatski EES za ispunjenje ciljeva iz Tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz OIE ima obvezu integracije 744 MW vjetroelektrana do 2020. godine [2].

2 Integracija VE u hrvatski EES

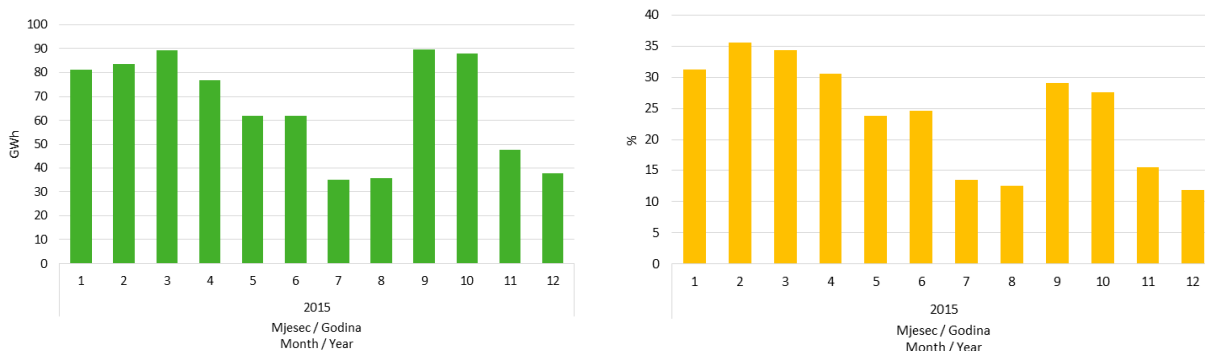
2.1 Trenutno stanje

Trenutno je u hrvatskom EES-u priključeno 366 MW VE na prijenosnu mrežu te 54,95 MW VE na distribucijsku mrežu [3]. Prostorno su raspoređene u primorskom dijelu Hrvatske što je prikazano na Slici 1. Njihova proizvodnja je dosta promjenjiva na dnevnoj razini u pokrivanju satnog opterećenja. Udio u ukupnoj proizvodnji VE u 2014. godini iznosio je 5,30 % [3], dok je proizvodnja VE u 2015. godini prikazana na Slici 2a.

Tijekom godine vide se znatne mjesečne razlike u proizvodnji. Uz tipično vjetrovite proljetne i jesenske mjesece te manje vjetrovite ljetne. U promatranom razdoblju netipično niska je bila proizvodnja u studenom i prosincu 2015. godine koja je usporediva s tipičnom proizvodnjom u ljetnim mjesecima što nije uobičajeno u našem vjetroklimatskom području. Proizvodnja svih VE na mjesečnoj razini prikaza je na Slici 2b pomoću mjesečnog faktora iskorištenja snage. To je postotak vremena pri kojem je ukupna proizvodnja VE svedena na ekvivalentnu proizvodnju pri angažmanu instalirane snage svih VE. U promatranom razdoblju faktor iskorištenja snage kreće se u rasponu od 11,84 % (prosinac)



Slika 1: Lokacije VE u Hrvatskoj



(a) Ukupna proizvodnja

(b) Faktor iskorištenja snage

Slika 2: Obilježja vjetroelektrana u 2015. godini na mjesečnoj razini [4]

do 35,62 % (veljača), a prosjek pojedinačnih mjesečnih vrijednosti iznosi 24,19 % [4]. Sve to otežava upravljanje prijenosnog sustava za operatora sustava. U tim okolnostima dolazi do povećanog opsega regulacijskih rezervi što povećava cjelokupni trošak pogona sustava. Regulacijske mogućnosti u trenutnim okolnostima hrvatskog EES-a su dosta ograničene. Razlozi tomu su hidrološke ovisnosti i starost strukture proizvodnih postrojenja. Potrebne rezerve primarne, sekundarne i tercijarne P-f regulacije određene su pravilima ENTSO-E te su njihovi iznosi redosljedom: $\pm 10MW$, $\pm 83MW$, $\pm 256MW / - 51MW$. Brza sekundarna ili minutna tercijarna rezerva angažira se unutar 15 min, a s tim karakteristikama moguć je pogon hidroelektrana i plinskih elektrana. Sposobnost hidroelektrana je mogućnost vrlo brzog puštanja u pogon od trenutka davanja naloga do maksimalne snage u rasponu od 4 - 30 minuta. Dvije plinske elektrane KTE Jertovec i PTE Osijek ulaze u pogon u slučaju neke intervencije u sustavu u vremenu od 20 minuta do svoje pune snage. Angažiranje ukupne snage tercijarne P-f regulacije ovisi o trenutnom pogonskom stanju sustava, hidrološkim uvjetima, opterećenju elektroenergetskog sustava te ukupnoj bilanci sustava. Ovi parametri uvelike utječu na regulacijske sposobnosti. Tako u slučaju nižih opterećenja sustava, a značajnog uvoza električne energije dolazi do manje snage elektrana u pogonu hrvatskog EES-a i smanjenih regulacijskih mogućnosti raspoloživih elektrana. Drugi slučaj je sušnije vremensko razdoblje u kojem se smanjuje raspoloživa snaga u hidroelektranama budući da trenutno samo one sudjeluju u pružanju usluga regulacije. Svakako da i vozni

red elektrana bitno utječe na regulacijske sposobnosti u vidu P-f regulacije. Tako rezervu primarne P-f regulacije nije moguće precizno odrediti jer ona ovisi u trenutnom pogonskom stanju i angažiranoj snazi u sustavu. Hidroelektrane koje su uključene u automatsku sekundarnu P-f regulaciju su redom HE Zakučac, HE Vindol i HE Senj te regulacijska rezerva iznosi $\pm 191 MW$ (ukupno 382 MW). Međutim, ovo je iznos koji je prihvatljiv u teoriji dok je u praksi teško ostvariv. U tom slučaju sve tri HE trebale bi biti u pogonu s radnim točkama na sredini regulacijskog opsega kao i sa dovoljnom količinom vode. Većinu vremena je HE Vinodol u pogon sustava tijekom noćnog režima rada što ograničava snagu sekundarne regulacije na $\pm 45 MW$. Jedna od još važnih stavki regulacije je i hidrologija tj. promatrano godišnje razdoblje. Tijekom zime zbog povećanih dotoka vode HE Senj ne sudjeluje u sekundarnoj regulaciji jer HE radi pri punoj snazi. Također ukoliko se pojave veliki dotoci rijeke Cetine HE Zakučac je angažirana s maksimalnom snagom na sva četiri agregata te zbog toga ne sudjeluje u sekundarnoj regulaciji. S druge strane, u slučaju sušnog razdoblja godine što se događa u ljetnom periodu raspoloživa snaga sekundarne regulacije se izrazito smanjuje [3].

2.2 Integracija dodatnog kapaciteta VE

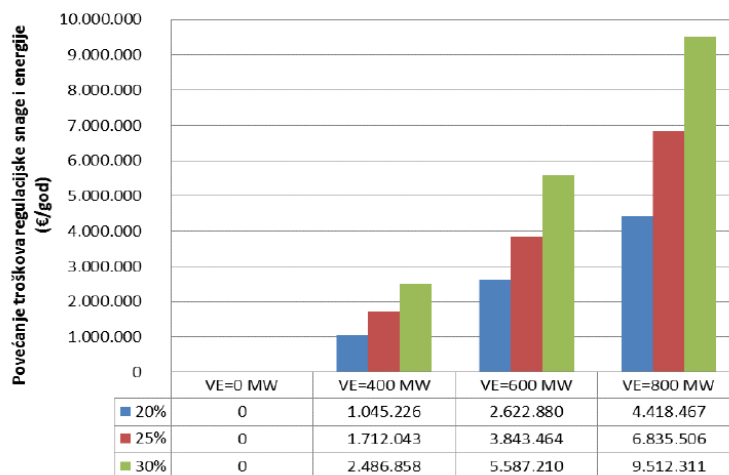
Budući da do 2020. godine u hrvatski elektroenergetski sustav ulazi dodatnih 308 MW, opseg regulacije se znatno mijenja. Provedbom određenih proračuna u mreži procijenjen je novi opseg P-f regulacija. Tako za povećanje integracije VE na 600 MW slijedi povećanje brze tercijarne rezerve na iznos od $\pm 200 MW$, dok za integraciju VE od 800 MW na iznos od $\pm 255 MW$. Iznos sekundarne P-f regulacije izračunava se prema formuli određenoj od strane ENTSO-E. Trenutni pružatelj pomoćnih usluga u Hrvatskoj je HEP - Proizvodnja. Veći opseg regulacije utječe i na povećane troškove u sustavu. To su pored investicijskih ulaganja u dodatna pojačanja prijenosne mreže i troškovi energije uravnoteženja te troškovi osiguranja dodatnih pomoćnih usluga. Najvažnije mjere uslijed integracije dodatnog kapaciteta VE su: **osiguranje potrebne P-f regulacijske rezerve, uključivanje OIE u mehanizam uravnoteženja, poboljšanje kvalitete prognoze proizvodnje VE i potrošnje, ograničavanje proizvodnje VE u slučaju ugrožavanja sigurnosti pogona sustava**. Povećanje troškova regulacijske snage i energije vidljivo je na Slici 3. Uočljiva je znatna razlika u troškovima između trenutnog stanja i budućeg stanja sustava kada sve planirane VE budu dio voznog reda. Ovisno o pogrešci u prognozi proizvodnje VE dodatni trošak regulacije sustava s obzirom na kapacitet integracije VE:

- 400 MW VE u sustavu donosi trošak u iznosu od 1,04-2,5 mil.Eur/god
- 600 MW VE u sustavu donosi trošak u iznosu od 2,6-5,6 mil.Eur/god
- 800 MW VE u sustavu donosi trošak u iznosu od 4,4-9,5 mil.Eur/god

3 Karakteristike spremnika energije

Uslijed nastalih okolnosti u EES-u postavljaju se moguća tehnička rješenja. Neka od njih su i spremnici energije. Spremnici energije imaju sposobnost spremanja energije u vremenu kada u sustavu postoji višak proizvedene te mogućnost pražnjenja kada u sustavu dolazi do manjka energije. Također mogu imati važnu ulogu i kod pružanja pomoćnih usluga u sustavu. Posljedica toga je mogućnost veće integracije OIE upravo zbog učinkovitije prijenosne mreže i optimizacije tokova snaga. Spremnici energije mogu se podijeliti u dvije skupine s obzirom na duljinu trajanja usluge koju pružaju [5]:

- SE ima brzi odziv i mogućnost pražnjenja u kratkom vremenu (do jednog sata)
- SE ima sporiji odziv i mogućnost pražnjenja kroz duže vremensko razdoblje (do nekoliko sati)



Slika 3: Povećanje troškova regulacijske snage i energije u ovisnosti o instaliranoj snazi VE i kvaliteti prognoze proizvodnje [3]

3.1 SE brzog odziva

U ovoj skupini spremnici energije dalje se dijele na one vrlo kratkog vremena pražnjenja - manje od jedne minute te na one dužeg vremena pražnjenja - stabiliziraju mrežu i kvalitetu pogona sustava unutar jednog sata. To se odnosi na kapacitete i superkondukcijske magnetske spremnike koji imaju brzi odziv i sposobni su pružanju usluga u ovoj skupini. U tijeku su istraživanja na povećanju njihove gustoće energije i smanjenju troškova pogona. Ostali SE s dužim vremenom pražnjenja ove skupine pružaju usluge regulacije frekvencije i rezerve pri zagušenjima u mreži. Također, jedna od mogućih usluga je pružanje rampe kao pomoć OIE pri razlici povećane proizvodnje od predviđene i smanjenja potrošnje. Rampe mogu biti značajne u sustavu koji ima velik iznos integracije OIE. Zamašnjaci i lithium-ion baterije dobivaju sve više na važnosti upravo zbog pada cijene ugradnje.

3.2 SE sporijeg odziva

Spremnici energije ove skupine omogućuju pražnjenje kroz duže vremensko razdoblje, a to uključuje izravnavanje dnevnih dijagrama. RHE imaju dominantnu ulogu u ovoj skupini SE, ukupno instalirane snage u svijetu 104 GW. [6]. Prednosti RHE su visoku pouzdanost, učinkovitost i dug životni vijek. Nedostaci su geografska ograničenost, dugo vrijeme integracije u sustav (do 10 godina) i visoki investicijski troškovi. Neke od usluga koje RHE može pružiti sustavu su frekvencijska stabilnost, pohrana viška energije u vršnim satima te kao rezerva za crni start ESS-a. Pokretanje elektrane iz hladnog stanja je unutar nekoliko minuta, a za vrijeme pogona u sustavu svega nekoliko sekundi. Dio ove skupine su i postrojenja za pohranu komprimiranog zraka. Izgradnja ovog tipa elektrane provodi se na već postojećim formacijama ispod tla kao što su spilje, procijepi i rudnici. Učinkovitost postrojenja iznosi do 75% [7], a njegove karakteristike su dug životni vijek i niski troškovi održavanja. Pokretanje elektrane iz hladnog stanja traje desetak minuta, a za vrijeme pripravnosti u sustavu petnaestak sekundi.

Zahvala

„Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost i Hrvatski operator prijenosnog sustava projektom Smart Integration of RENewables - SIREN (I-2583-2015).“

Literatura

- [1] HOPS - Hrvatski operator prijenosnog sustava. Preuzeto s: www.hops.hr
- [2] HROTE - Hrvatski operator tržišta energije, Narodne novine, br. 133/13, 151/14, 107/14, 100/15, Studeni 2016.
- [3] HOPS - Hrvatski operator prijenosnog sustava, *Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2016.- 2025., s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje*, Zagreb, Studeni 2015.
- [4] HOPS, *Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj*, Godišnje izvješće, Zagreb 2015.
- [5] Paul W. Parfomak, *Energy Storage for Power Grids and Electric Transportation: A Technology Assessment*, ožujak 2012.
- [6] Energy storage, Dostupno na poveznici: <http://energystorage.org>
- [7] K. Bradbury, *Energy storage technology review*, Technical report, 2010.