

# Analiza zahtjeva prilikom priključenja i pogona vjetroelektrana u hrvatski elektroenergetski sustav

**Renata Rubeša (HOPS), Hrvoje Pandžić (FER)**

*Rezultat D3.2 istraživačkog projekta Smart Integration of Renewables – SIREN*

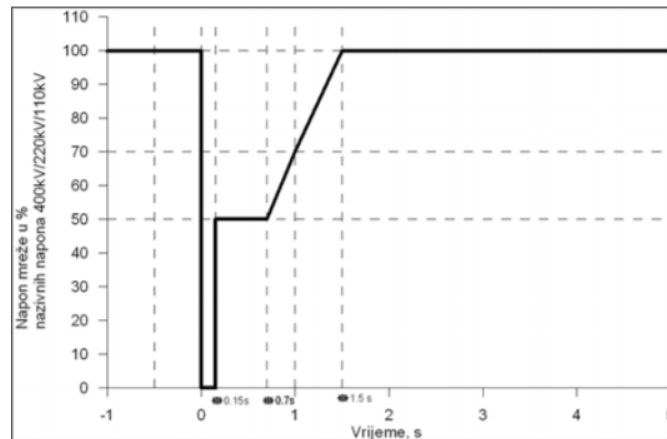
## 1. Uvod

Integracija vjetroelektrana (VE) u prijenosni elektroenergetski sustav (EES) predstavlja izazov koji se tiče usklađenja vrlo varijabilnog izvora električne energije u vođenje i pogon EES-a. Ovu problematiku potrebno je sagledati iz niza aspekata koji se odnose na lokalne značajke mreže u koju se VE priključuju (opterećenje okolne mreže, zaštita u mreži), planiranje i vođenje EES-a (nepredvidivost energije vjetra onemogućuje dugoročno planiranje proizvodnje iz VE, problematika uravnoteženja sustava za pokrivanje odstupanja planirane i realizirane proizvodnje, regulacija djelatne snage, mogućnost uključenja VE u regulaciju napona i jalove snage) te aspekt dinamičke stabilnosti elektroenergetskog sustava s velikim udjelom VE.

Koncepti i preporuke iznesene u nastavku ovog dokumenta isključivo su istraživačke prirode te ne predstavljaju stavove i planove Hrvatskog operatora prijenosnog sustava d.o.o. Stoga se predmetni dokument ne može koristiti ni u kakve službene potrebe niti je za bilo koga obvezujući.

## 2. Aspekt prijelazne stabilnosti (kratki spojevi u mreži)

Jedan od ključnih faktora prilikom priključenja VE u elektroenergetski sustav je međudjelovanje VE i EES-a u slučaju pojave kvara, odnosno kratkog spoja u mreži. Isključenje proizvodnih jedinica, uključujući i vjetroelektrane, u slučaju pojave kratkog spoja u mreži može dovesti do pogoršanja naponskih prilika. U današnje vrijeme svi operatori prijenosnih sustava, pa tako u i Hrvatskoj, nameću vjetroelektranama obvezu sposobnosti prolaza kroz stanje kvara bez isključenja na način što sličniji onom sinkronih generatora. Tako je, primjerice, za elektrane u Hrvatskoj definirano da u slučaju kvara u blizini elektrane, a pri ispravnom djelovanju zaštite odnosno ako se kvar otkloni u roku od 150 ms, ne smije doći do isključenja proizvodne jedinice od mreže. Zahtijevana sposobnost doprinosi bržem oporavku napona, odnosno zadovoljenju potražnje za jalovom snagom u stanju nakon kvara. Proizvodna jedinica (VE ili ostali tipovi proizvodnje) se ne smije odvojiti od prijenosne mreže dokle god je napon na visokonaponskoj strani blok transformatora iznad granične krivulje prikazane na slici 1.

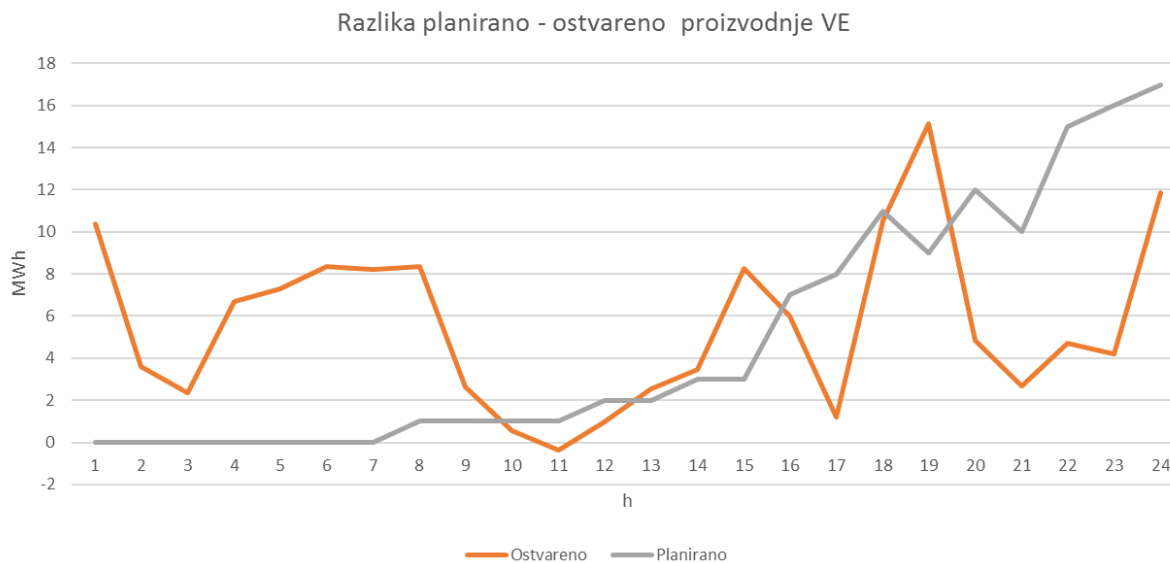


Slika 1. Granična krivulja dopuštenog napona prijenosne mreže na visokonaponskoj strani blok transformatora

### 3. Aspekt planiranja i vođenja EES-a

Vjetroelektrane ne sudjeluju u primarnoj i sekundarnoj regulaciji radne snage frekvencije, što znači da tu zadaću u cijelosti moraju obavljati konvencionalne elektrane (primarno hidroelektrane, a po potrebi i termoelektrane). Varijacije ukupne proizvodnje VE na minutnoj razini nisu značajne i ne predstavljaju veći izazov u vođenju EES-a.

Izazovi na sustavnoj razini u vidu planiranja i vođenja EES-a odnose se na utjecaj varijabilne proizvodnje VE na planirani pogon elektroenergetskog sustava. Tijekom pogona nužno je konvencionalnim elektranama osigurati dovoljne regulacijske pričuve u slučaju odstupanja proizvodnje VE od planirane vrijednosti u trajanju duljem od 15 min, uobičajeno 1 h. Proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana ovisi o brzini i smjeru vjetra te je izrazito nepredvidiva, čime je uvećan zahtjev da se prilagođava pogon klasičnih elektrana za osiguranje ravnoteže potražnje i proizvodnje električne energije u sustavu. Primjer nesrazmjera planirane i ostvarene vrijednosti proizvodnje VE dan je na slici 2 na primjeru VE u Hrvatskoj prijenosnoj mreži priključene na 110 kV naponsku razinu. Sivom linijom prikazane su dan unaprijed planirane vrijednosti proizvodnje VE po satima, dok su narančastom linijom prikazane ostvarene vrijednosti u MWh po satima. Energiju uravnoteženja u ovom slučaju osiguravaju elektrane koje imaju mogućnost brze regulacije i kojima se to isplati, no energija uravnoteženja se plaća, i to u oba smjera. Odstupanje stvarne proizvodnje VE od planirane na satnoj razini redovito je veliko.



Slika 2. Razlika dan unaprijed planirane proizvodnje VE po satima i ostvarene

#### 4. Aspekt regulacije napona i jalove snage

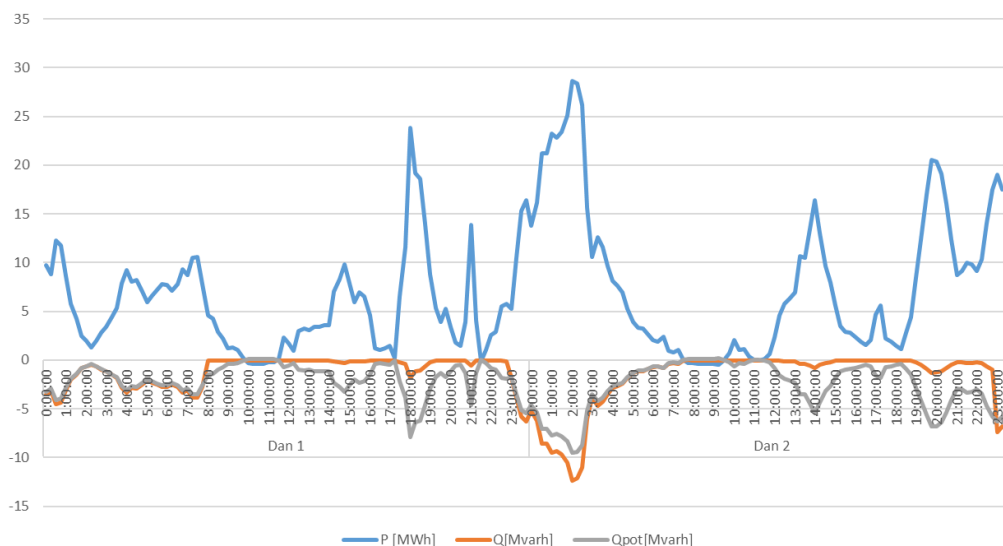
Prema mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava elektrane, uz proizvodnju i isporuku djelatne snage, moraju u mrežu isporučivati i dovoljno jalove snage. Vjetroelektrana treba biti sposobna regulirati napon na mjestu priključenja na prijenosnu mrežu te postići njegov iznos prema postavnoj vrijednosti koju definira operator prijenosnog sustava, a unutar raspona faktora snage od 0.95ind i 0.95kap. Funkcije regulacije jalove snage koje zahtijeva operator prijenosnog sustava su:

- Regulacija jalove snage/faktora snage kojom se od VE zahtijeva proizvodnja ili korištenje konstantnog iznosa jalove snage (reguliranje zadanog faktora snage);
- Automatska regulacija napona kojom se regulira napon VE na mjestu priključenja (VE se može naložiti proizvodnja ili korištenje određenog iznosa jalove snage u odnosu na mrežu u cilju optimiranja iznosa napona mreže).

Vjetroelektrane s gledišta operatora prijenosnog sustava često se smatraju negativnim teretima (negativnom potrošnjom) jer im je ponašanje zbog slučajne prirode vjetra vrlo slično. Međutim, distribuiranost VE po prijenosnoj mreži može utjecati na poboljšanje lokalnih naponskih prilika u točkama priključenja s obzirom na mogućnost regulacije jalove snage.

Problem povišenih napona u mreži, posebice u vrijeme noćnih sati, moguće je djelomično riješiti uključanjem regulacije jalove snage na mjestu priključka što je i iskorišteno u Hrvatskom operatoru prijenosnog sustava upućivanjem pisanog naloga vjetroelektranama o podešavanju  $\cos \phi = 0.95$  kapacitivno u vremenu od 23 h navečer do 08 h ujutro. U ostale sate režim rada je  $\cos \phi = 1$ .

Primjer takvog režima rada dan je na slici 3, na kojoj je prikazana proizvodnja djelatne i jalove električne energije vjetroelektrane na prijenosnoj razini. Potencijalna jalova energija  $Q_{pot}$  je energija koju bi elektrana mogla davati u mrežu s obzirom na pogonski dijagram u ovisnosti o proizvodnji djelatne energije. Vidljivo je da se krivulje stvarno i potencijalno moguće proizvedene jalove energije poklapaju u noćnim satima.



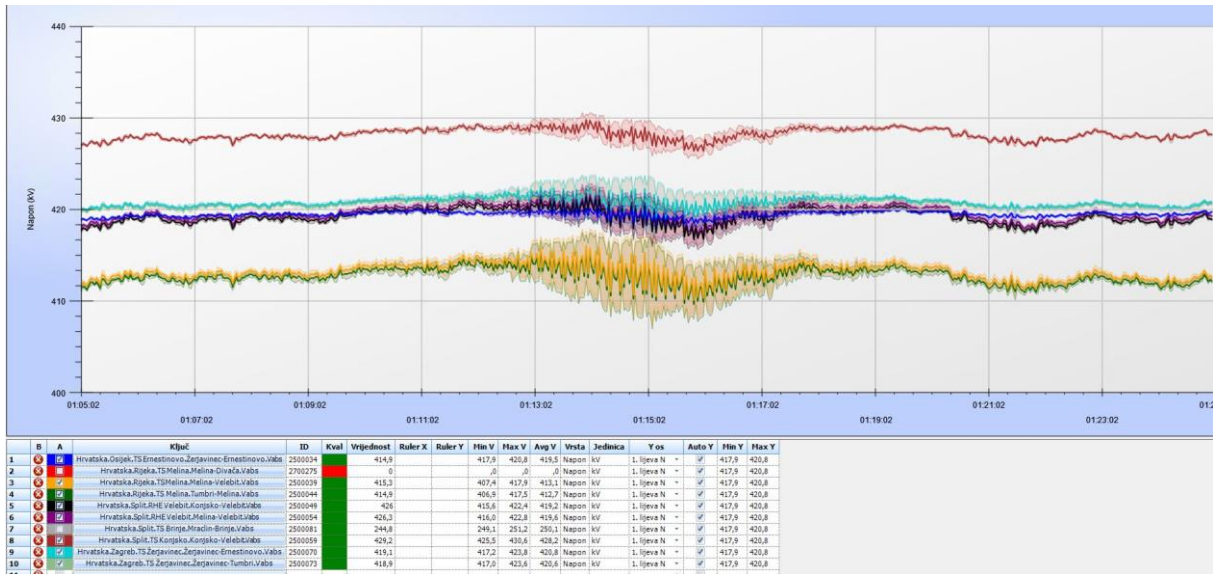
Slika 3. Primjer proizvodnje djelatne i jalove energije vjetroelektrane

## 5. Aspekt dinamičke stabilnosti EES-a

Obnovljivi izvori energije, vjetar i sunce, iz udjela proizvodnje sve više istiskuju konvencionalne izvore energije, ugljen, plin i nuklearnu energiju. Elektroenergetski sustav sa smanjenim udjelom sinkronih strojeva u konvencionalnim elektranama, čija je rotacijska masa omogućavala održavanje stabilnosti napona i frekvencije mreže za vrijeme poremećaja u sustavu, suočava se s novim izazovom održavanja stabilnosti. S velikim udjelom vjetroelektrana smanjuje se inercija cjelokupnog EES-a, čime se pogoršavaju njegove dinamičke i regulacijske karakteristike. Inercija sinkronih generatora konvencionalnih proizvodnih jedinica ima izuzetno značajan utjecaj u EES-u na stabilnost frekvencije sustava tijekom poremećaja.

Varijacije u promjeni ukupne inercije sustava kontinentalne Europe prate se analizom gradijenta frekvencije nakon planiranih isključenja značajnih potrošača u različitim pogonskim prilikama. Analize pokazuju da isključenje proizvodnih jedinica ili većih potrošača iznosa 500-600 MW za vrijeme niskog opterećenja sustava dovode do istog odziva u brzini promjene frekvencije od 9 mHz/s kao i isključenje od 1000-1200 MW za vrijeme vršnog opterećenja. Iznos promjene i brzina promjene frekvencije u izravnoj je vezi s iznosom inercije u sustavu dobivene iz kinetičke energije pohranjene u turbogeneratorima sinkroniziranim na mrežu. Međutim, većina današnjih vjetroagregata koristi uređaje energetske elektronike, čime su praktički odvojeni od EES-a i utjecaja na frekvenciju sustava, odnosno ne doprinose u povećanju inercije sustava.

Za vrijeme većeg poremećaja u sustavu, frekvencija i prigušenje međupodručnih elektromehaničkih oscilacija također su definirani iznosom inercije. Smanjenjem inercije frekvencija oscilacija se povećava. Time se izravno dovodi u pitanje održavanje stabilnosti sustava u uvjetima u kojima je značajan udio proizvodnje iz obnovljivih izvora energije. Na slici 4 prikazane su oscilacije napona u čvorištima 400 kV hrvatske prijenosne mreže za vrijeme poremećaja u južnoj Italiji zabilježene 3.12.2017. godine.



Slika 4. Oscilacije napona u čvorištima 400 kV prijenosne mreže Hrvatske za vrijeme poremećaja u južnoj Italiji zabilježene 3.12.2017. godine