

Doc.dr.sc. Ranko Goić, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
rgoic@fesb.hr

Jakov Krstulović, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
jakov.krstulovic-opara@fesb.hr

Damir Jakus, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
damir.jakus@fesb.hr

Josip Vasilj, student
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
josip.vasilj@fesb.hr

ANALIZA NAPONSKIH PRILIKA U MREŽI 30 kV NAKON PRIKLJUČKA VE ORLICE

SAŽETAK

Među najbitnijim faktorima koji utječu na kvalitetu opskrbe električne energije i uredan rad EES-a je održavanje napona u dozvoljenim granicama. Integracijom izrazito varijabilnih izvora električne energije poput vjetroelektrana, problem održavanja napona u dozvoljenim granicama postaje sve značajniji.

U radu se obrađuje utjecaj priključka vjetroelektrane Orlice na naponske prilike u distribucijskoj mreži 30 kV na potezu Bilice-Primošten-Rogoznica. U radu je dan sažeti opis provedenih analiza naponskih prilika u razmatranom dijelu distribucijske mreže nakon priključka vjetroelektrane Orlice na osnovu pogonskih mjerenja te odgovarajućih računalnih simulacija.

Ključne riječi: distribucijska mreža, vjetroelektrana, naponske prilike u stacionarnom stanju

VOLTAGE PROFILE ANALYSIS IN 30 kV NETWORK AFTER CONNECTION OF WPP ORLICE

SUMMARY

One of the most important factor influencing power quality as well as normal system operations is problem of voltage regulation in prescribed manner. With integration of highly variable power sources such as wind power plants, voltage regulation problem becomes more and more significant.

This paper addresses the influence of wind power plant Orlice connection on distribution network voltages, precisely the section Bilice-Primošten-Rogoznica. Based on available system measurements as well as on results of conducted simulations, brief summary of distribution network voltage analysis after wind power plant Orlice connection is given.

Key words: distribution network, wind power plant, steady state voltage

1. UVOD

Priključak vjetroelektrane na distribucijsku mrežu bez obzira na snagu elektrane i naponsku razinu odnosno mjesto priključka, dovodi do značajnih promjena pogonskih značajki distribucijske mreže, pri čemu priključak vjetroelektrane može imati pozitivne i negativne reperkusije, ovisno o tipu i režimu rada distribuiranog izvora s jedne strane, te tehničkih karakteristika distribucijske mreže s druge strane.

Promjene pogonskih karakteristika distribucijske mreže koje se javljaju priključkom vjetroelektrane, mogu se grupirati u stacionarne i dinamičke značajke. Promatrajući samo stacionarne značajke, za istaknuti je dva osnovna aspekta [1]: naponske prilike duž izvoda distribucijske mreže na koji je priključena elektrana, te utjecaj na gubitke snage i energije u distribucijskoj mreži.

U tzv. „pasivnoj“ distribucijskoj mreži tokovi radne i jalove snage u granama mreže rezultat su isključivo tehničkih parametara mreže i opterećenja mreže s obzirom na potrošnju. Na radijalnom izvodu distribucijske mreže, naponi u čvorovima se smanjuju od pojne točke prema kraju izvoda.

Međutim, ako se u nekom čvoru mreže priključi elektrana, ona će proizvoditi radnu snagu, te ovisno o svojim tehničkim mogućnostima proizvoditi ili uzimati jalovu snagu, pa se takva mreža naziva „aktivna“ distribucijska mreža. U slučaju da nema potrošnje na izvodu, radna i jalova snaga koju proizvede elektrana ima tijekom prema pojnoj točki i to u jednakom iznosu preko svih grana (uz zanemarene gubitke). Superpozicijom tokova snaga u granama koje su rezultat potrošnje i tokova koji su rezultat proizvodnje elektrane, dobije se situacija u realnoj distribucijskoj mreži na koju je priključena elektrana.

Promjena napona u stacionarnom stanju funkcija je injektiranja snage u određeni čvor mreže te tehničkih parametara mreže. Aproksimativni izraz za porast napona na mjestu priključka elektrane (ΔU) u funkciji injektirane radne snage (+) i preuzete jalove snage (-) te parametara mreže (R/X – radni/induktivni otpor mreže) dan je slijedećim izrazom [2].

$$\Delta U(t) = R \frac{P_G(t)}{U_n} - X \frac{Q_G(t)}{U_n} \quad (1)$$

U slučaju da elektrana injektira i jalovu snagu u mrežu, obje komponente su pozitivnog predznaka, što rezultira dodatnim povećanjem napona. Dakle, utjecaj rada vjetroelektrane na naponske prilike u distribucijskoj mreži, pod pretpostavkom da rade s faktorom snage $\cos\varphi=1$, očituje se uglavnom u vidu podizanja naponskog profila duž radijalnog distribucijskog izvoda, ali i povećava učestalost promjene napona u mreži. Smanjenje napona u točki priključka vjetroelektrane moguće je jedino značajnim preuzimanje jalove snage vjetroelektrane iz mreže u slučaju da je to moguće s obzirom na tip vjetrogeneratora [3]. Varijacije napona u distribucijskoj mreži u manjem opsegu mogu biti i posljedica načina regulacije napona na granici prijenosne mreže (transformatori 110/x kV). Redovito se radi o regulaciji „po naponu“, tj. održavanje zadanog napona na SN strani TS 110/x kV, ali je moguća i dodatna regulacija „po snazi“ na način da postavna vrijednost za regulaciju napona mijenja ovisno o opterećenju.

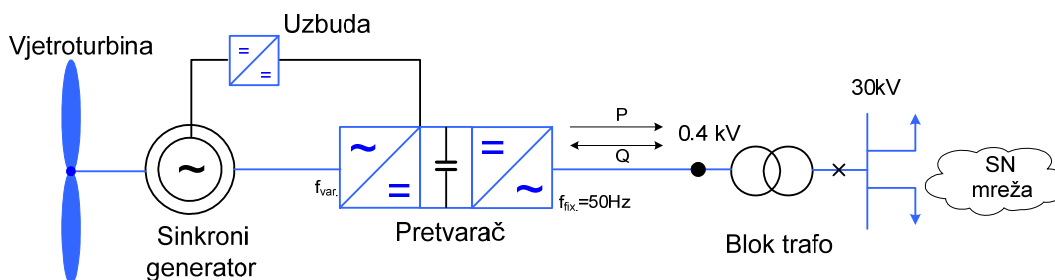
2. PRIKLJUČAK VJETROELEKTRANE ORLICE NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

2.1. Tehnički opis vjetroatregata

Vjetroelektrana Orlice smještena je na lokaciji brda Orlice u blizini Luke Grebaštica, iznad naselja Brnjača kod Grebašnice, a sastoji se od 11 vjetrogeneratorskih jedinica opremljenim sa sinkronim generatorima ENERCON od kojih je osam nazivne snage 900 kW (ENERCON E-44) te tri nazivne snage 800 kW (ENERCON E-48), što čini ukupno 9,6 MW instalirane radne snage. Generatori su na mrežu priključeni indirektno preko invertera (slika 1), tako da je omogućena kontinuirana regulacija jalove snage u rasponu koji definira pogonska karta. Dva su osnovna moguća režima rada:

- Održavanje konstantnog faktora snage (u načelu $\cos\varphi=1$) na stezaljkama vjetrogeneratora.
- Režim regulacije napona ($\cos\varphi=f(U)$), u cilju reguliranja željenog napona ili faktora snage.

Svaka jedinica ima vlastiti blok transformator 0.4/30 kV za transformaciju generatorskog napona na napon interne kabela mreže na lokaciji vjetroelektrane.

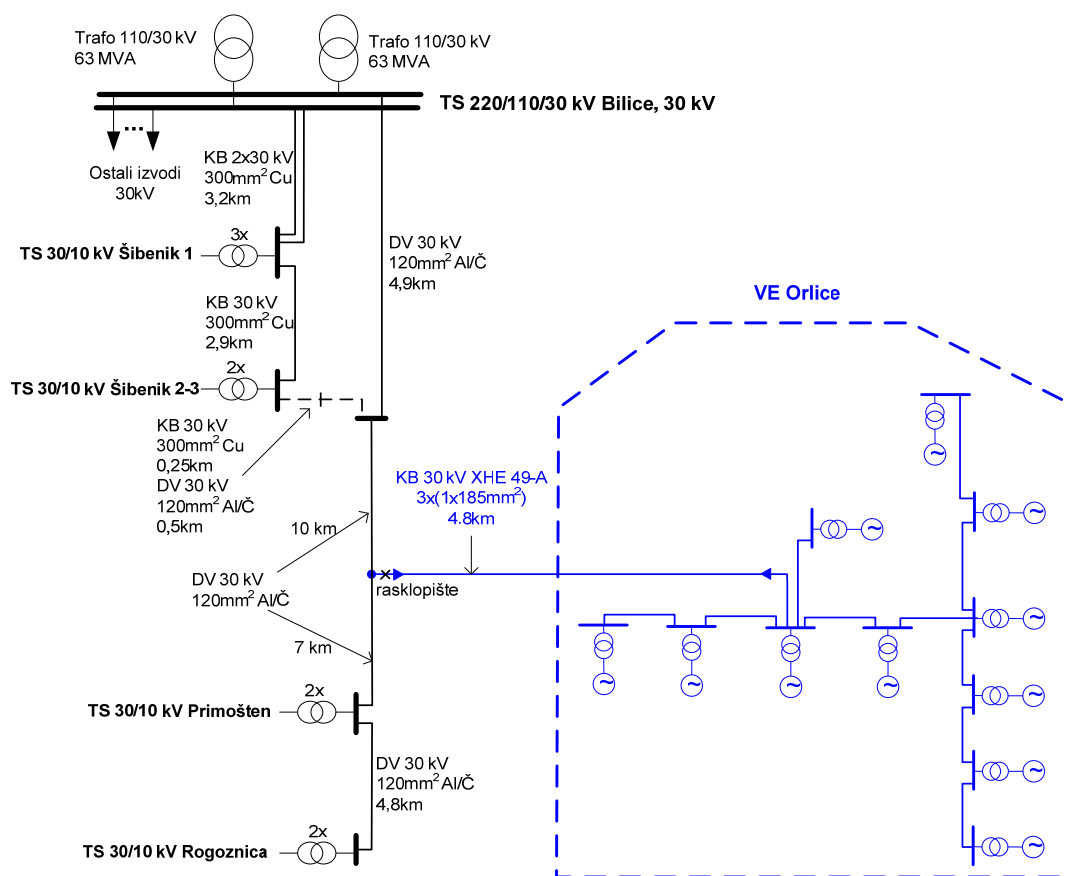


Slika 1. Sinkroni generator promjenjive brzine vrtnje s pretvaračem u glavnom strujnom krugu

2.2. Priključak VE Orlice na 30 kV mrežu i okolna distribucijska mreža

Priključak VE Orlice izvršen je na 30 kV mrežu, i to radijalnim kabelskim priključkom na DV 30 kV Bilice-Primošten-Rogoznica, na udaljenosti 15km od TS 110/30 kV Bilice [4]. Mjerenje preuzete odnosno isporučene električne energije izvedeno je na rasklopištu u mjestu priključka, gdje se nalazi i prekidač koji omogućava uključivanje/isključivanje vjetroelektrane od strane operatora mreže.

U blizini VE Orlice od značajnih elektroenergetskih objekta možemo navesti TS 220/110/30 kV Bilice. 30 kV sabirnice napajane su preko dva regulacijska transformatora prijenosnog omjera 110/31.5/10.5 kV snage 2x63 MVA, s opsegom regulacije na 30 kV-tnoj strani $\pm 16\%$, koji ne rade u paraleli. Regulacija napona je pod opterećenjem, što osigurava održavanje stabilnih naponskih prilika na sabirnicama 30 kV u TS Bilice. Sa dvostrukih 30 kV-tnih sabirnica u TS 220/110/30 kV Bilice napaja se 30 kV-tna mreža u okolni Šibenika (7 izvoda). Shema distribucijske mreže 30 kV i priključka VE Orlice na mrežu 30 kV prikazana je na slici 2.



Slika 2. Priključak VE Orlice na mrežu 30 kV i okolna mreža 30 kV

Pojedinačno istovremeno vršno opterećenje TS 30/10 kV na navedenom radijalnom pravcu u 2008.g. je (pri faktoru snage cca. 0.96ind):

| | | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Ljetni period: | TS 30/10 kV Primošten: 4.8 MW | TS 30/10 kV Rogoznica: 4.3 MW |
| Zimski period: | TS 30/10 kV Primošten: 2.6 MW | TS 30/10 kV Rogoznica: 2.3 MW |

3. PRETHODNA ANALIZA UTJECAJA PRIKLJUČKA VE ORLICE NA NAPONSKE PRILIKE U 30 kV MREŽI

U fazi pripreme izgradnje VE Orlice i ishođenja Prethodne elektroenergetske suglasnosti izvršene su detaljne analize utjecaja rada VE Orlice na okolnu distribucijsku mrežu, primarno s aspekta naponskih prilika u mreži s obzirom na očekivani efekt u povišenju napona u okolnoj mreži pri radu VE Orlice, a za vrijeme minimalnih tereta u mreži. Naime, režim rada VE Orlice mora biti takav da ne utječe na nedopušteno povećanje napona u mreži 10 kV napajanoj iz TS 30/10 kV Vodolež (Primošten) i TS Rogoznica, tj. da ne prelazi iznos od 10.7 kV. Pri takvoj vrijednosti napona u mreži 10 kV naponi u niskonaponskim mrežama napajani iz navedenih TS ne prelaze maksimalno dozvoljene iznose definirane Pravilnikom o normiranim naponima za distribucijske mreže i električnu opremu (HRN.IEC.38).

Osim opterećenja sustava, proizvodnje VE Orlice, tehničkih karakteristika i konfiguracije razmatranog dijela mreže, bitan parametar koji značajno određuje naponske prilike u razmatranom dijelu distribucijske mreže je i način regulacije napona na 30 kV-tnim sabirnicama TS 220/110/30 kV Bilice. Transformatori 110/30 kV u sklopu TS 220/110/30 kV Bilice opremljeni su uređajem za automatsku regulaciju napona pod opterećenjem, kojim se 30 kV-tni napon u TS Bilice regulira na postavljeni iznos od 30.7-30.8 kV ljeti (zbog kompenzacije padova napona u mreži 30 kV od TS Bilice do TS Primošten i Rogoznica), odnosno 30.2-30.3 kV tijekom ostatka godine kada su opterećenja znatno niža.

Proračun tokova snaga i naponskih prilika napravljen je sa ciljem provjere utjecaja rada VE Orlice na naponske prilike u okolnoj elektroenergetskoj mreži 30 kV. Promatrana su dva ekstremna stanja u mreži s obzirom na pogonsko stanje VE Orlice, i to:

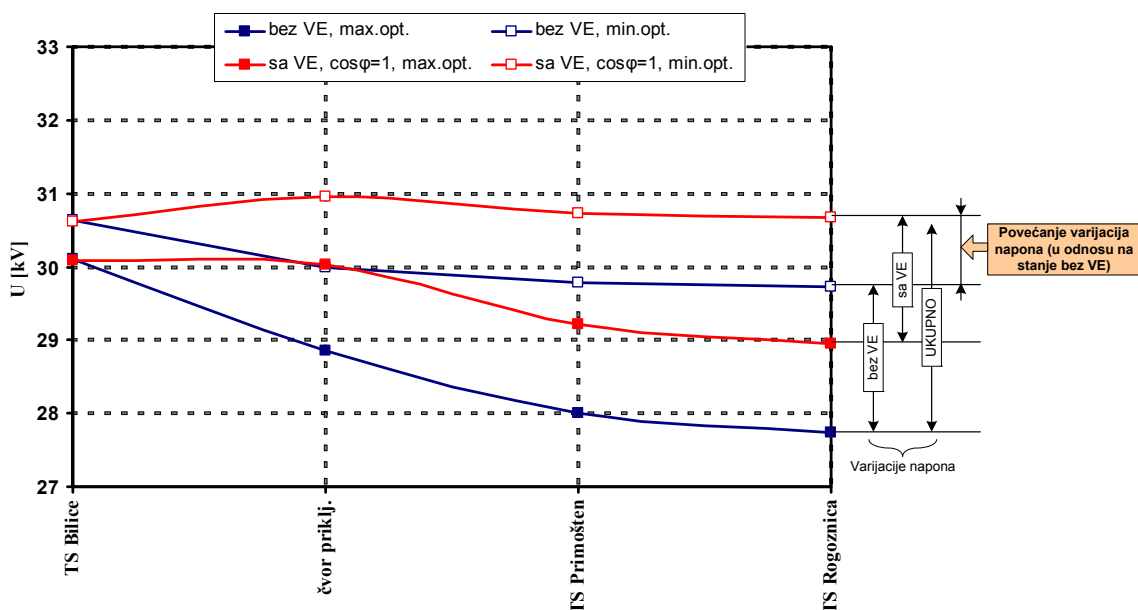
- VE Orlice ne radi: isključeni svi generatori
- VE Orlice radi s punom snagom: uključeni svi generatori

Razlika naponskih prilika u navedenim ekstremnim stanjima ujedno pokazuje teoretski najveće moguće varijacije napona u mreži prilikom prelaska iz jednog u drugo stanje. Dakako, u praksi se takav slučaj u redovnom pogonu ne može dogoditi u kratkom vremenu, takvom da regulacija napona na transformatorima 110/30 kV TS Bilice ne stigne reagirati promjenom regulacijskog položaja. Zbog toga su razlike u naponskim prilikama više teoretskog karaktera, a praktički slučaj kada se može očekivati promjena iz drugog u prvo ekstremno stanje je slučaj isključenja VE Orlice sa mreže u trenutku kad svi generatori rade punom snagom.

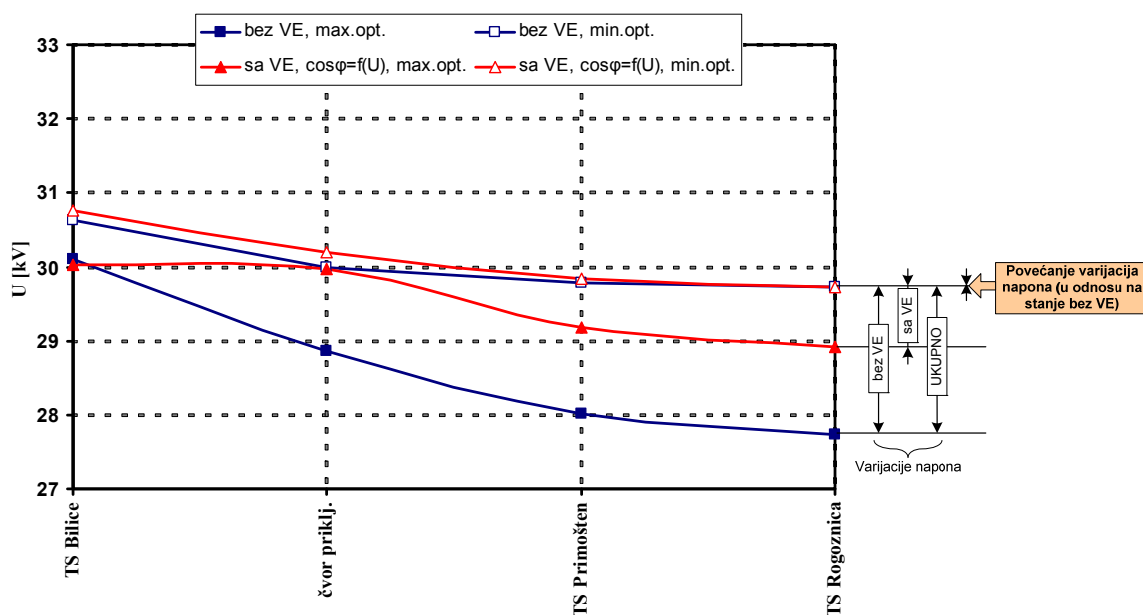
Obje varijante promatrane su ovisno o opterećenju okolne mreže u ljetnom i zimskom periodu. Računate su varijante s pretpostavljenom maksimalnom potrošnjom, te minimalnom potrošnjom u iznosu 45% od maksimalne pojedinog razdoblja. U proračunima je pretpostavljena automatska regulacija napona u TS Bilice, pri čemu je regulirani napon na 30 kV-tnoj strani, pretpostavljen na iznos od **30.7 kV** za analizu ljetnog perioda, odnosno **30.2 kV** za zimski period, što približno odgovara aktualnoj pogonskoj praksi. Režim rada VE Orlice analiziran je u varijantama:

- fiksnog faktora snage ($\cos\varphi=1$),
- aktivne regulacije napona ($\cos\varphi=f(U)$), na način da se jalovom snagom regulira napon u točki priključka što bliže postavnoj vrijednosti, vodeći računa o faktoru snage vjetroagregata.

Na slikama 3 i 4 prikazan je profil 30 kV-tnih napona te parcijalne i ukupne varijacije napona duž voda 30 kV koji napaja TS Primošten i TS Rogoznica u ekstremnim stanjima minimalnog i maksimalnog opterećenja mreže (bilo ljetnog ili zimskog perioda), ovisno o režimu rada VE Orlice.



Slika 3. Varijacije napona u mreži, režim rada VE Orlice $\cos\varphi=1$



Slika 4. Varijacije napona u mreži, režim rada VE Orlice $\cos\varphi=f(U)$

Rezultati proračuna naponskih prilika pokazuju da varijanta rada VE Orlice s konstantnim faktorom snage ($\cos\varphi=1$) rezultira s nedozvoljenim iznosima 10 kV-tnih napona u TS Primošten i TS Rogoznica pri minimalnom opterećenju u mreži i maksimalnoj proizvodnji VE Orlice. U istim pogonskim uvjetima, ali i svim ostalim uvjetima, rad vjetroelektrane u režimu regulacije napona u točki priključka ($\cos\varphi=f(U)$) ne narušava dozvoljene granice napona. Prethodno navedeni rezultati vrijede isključivo u slučaju ispravnog rada automatske regulacije napona 30 kV u TS Bilice s obzirom na referentni napon 30.7 / 30.2 kV. U slučaju da se u TS Bilice održava nešto viši napon, navedene TS neprihvatljivo visoke napone za vrijeme minimalnih opterećenja imali bi bez obzira na rad VE Orlice.

Također, analiza naponskih prilika u distribucijskoj mreži prije i nakon priključka VE Orlice, pokazuje da se ukupne varijacije napona u točki priključka vjetroelektrane pri režimu rada s konstantnim faktorom snage udvostručuju u odnosu na stanje bez vjetroelektrane, dok pri režimu rada s regulacijom napona u točki priključka varijacije napona ostaju praktički iste.

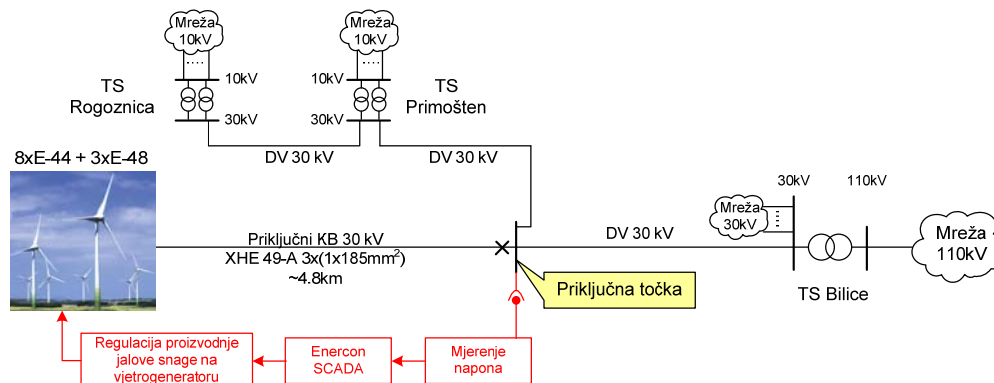
4. ANALIZA POKAZATELJA IZ POGONA NAKON PRIKLJUČENJA VE ORLICE NA MREŽU

4.1. Način upravljanja jalovom snagom vjetroelektrane Orlice

Vjetroelektrana Orlice opremljena je sa sinkronim generatorima koji su na mrežu priključeni indirektno preko invertera. Ovime je omogućena kontinuirana regulacija jalove snage, a samim time i regulacija napona, i to u rasponu koji definira pogonska karta. Režim rada VE Orlice po pitanju upravljanja jalovom snagom moguće je izvesti u:

- u režimu fiksno faktora snage ($\cos\varphi=1$),
- u varijanti regulacije napona ($\cos\varphi=f(U)$) u rasponu koji omogućava pogonski dijagram:
 - uz reguliranje generatorskog napona u određenom rasponu,
 - uz reguliranje napona u točki priključka vjetroelektrane u određenom rasponu.

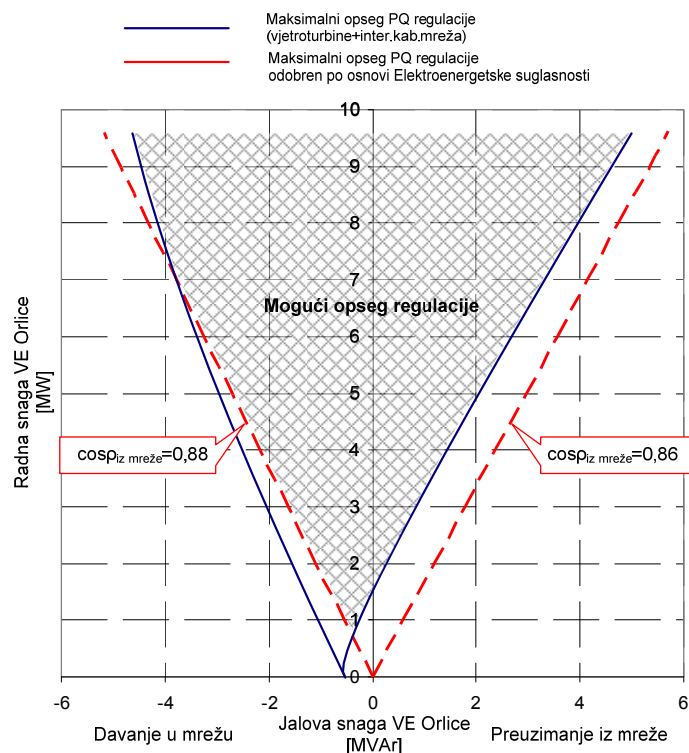
U slučaju VE Orlice, upravljanje jalovom snagom izvedeno je u varijanti regulacije napona u točki priključka vjetroelektrane na elektroenergetski sustav (slika 5), minimizirajući time utjecaj VE Orlice na naponske prilike u okolnoj distribucijskoj mreži te optimizirajući naponski profil srednjenaponskog izvoda na kojem je izvršen priključak. Iako neophodan za normalan rad ostatka okolne distribucijske mreže, ovakva pogonski režim u određenoj mjeri ima nepovoljne posljedice na rad VE Orlice zbog povećanja gubitaka snage u internoj mreži vjetroelektrane uslijed povećanih tokova jalove snage, što dijelom poništava pozitivni učinak rada VE Orlice u smanjenju gubitaka radne snage zbog ravnomjernijeg opterećenja DV 30 kV i manjeg opterećenja transformatora 110/30 kV.



Slika 5. VE Orlice – sustav regulacije napona

Na slici 6 prikazana je pogonska karta VE Orlice [5], tj. raspon mogućeg davanja/uzimanja jalove snage od strane VE Orlice u ovisnosti o radnoj snazi. Može se uočiti lagani pomak pogonske karte ulijevo (područje predaje jalove snage u mrežu) koji je rezultat kapacitivnog utjecaja interne kabela mreže vjetroparka. Osim tehničkih parametara vjetroturbina te izvedbe kabela mreže vjetroparka, za samu realizaciju regulacije jalove snage (napona) ključni su zahtjevi od strane Operatora distribucijskog sustava, što je definirano preko maksimalno dozvoljenog napona na mjestu priključka. Mogući raspon regulacije (slika 6-osjenčano područje) odnosi se na normalne uvjete rada koji između ostalog podrazumijevaju napon u granicama $\pm 10\% U_n$.

Temeljem Elektroenergetske suglasnosti, napon u točki priključka VE Orlice dozvoljen je maksimalno do iznosa 30.7kV, pri čemu u slučaju pojave napona većeg od navedenog, nadnaponski relej ugrađen u rasklopištu na mjestu priključka isključuje prekidač za odvajanje vjetroelektrane iz mreže. U probnom radu VE Orlice, postavna vrijednost je 30.6 kV, a s obzirom na pozitivna pogonska iskustva prvih pola godine rada VE Orlice, ograničenja je promijenjeno na 30.9 kV (korak je 0.3 kV). S obzirom na navedeno, sustav regulacije napona u VE Orlice podešen je na način da, ukoliko je to moguće s obzirom na proizvodnju radne snage odnosno pogonski dijagram, održava napon ispod maksimalno dozvoljenog praga radom u kapacitivnom području preuzimajući jalovu energiju iz mreže unutar mogućeg raspona regulacije.



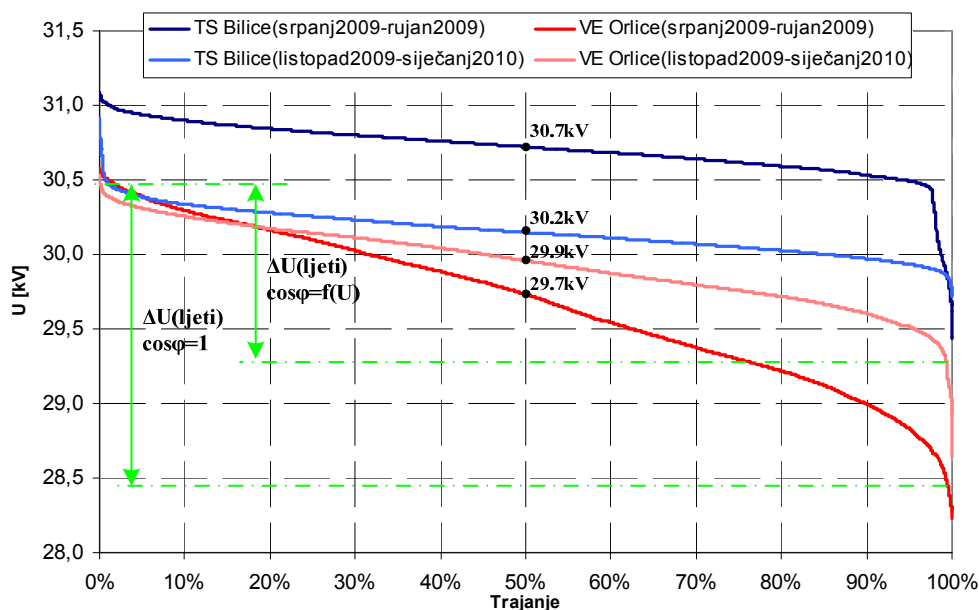
Slika 6. Mogućnosti upravljanja jalovom snagom VE Orlice (pogonska karta vjetroelektrane)

4.2. Analiza naponskih prilika u 30 kV mreži nakon priključka VE Orlice temeljem pogonskih mjerenja

U ovom dijelu rada analizirane su prilike u distribucijskoj mreži 30 kV Bilice-Primošten-Rogoznica nakon priključka VE Orlice (dovršetak izgradnje i puštanje u pogon u ljeto 2009.god.) temeljem raspoloživih pogonskih mjerenja. Pogonska mjerenja, dostavljena od strane HEP ODS-a, odnose se na mjerna mjesta u TS Bilice i u točki priključka VE Orlice, a sadržavaju prosječne 15-min vrijednosti radne/jalove snage te napona za period srpanj 2009 – siječanj 2010.

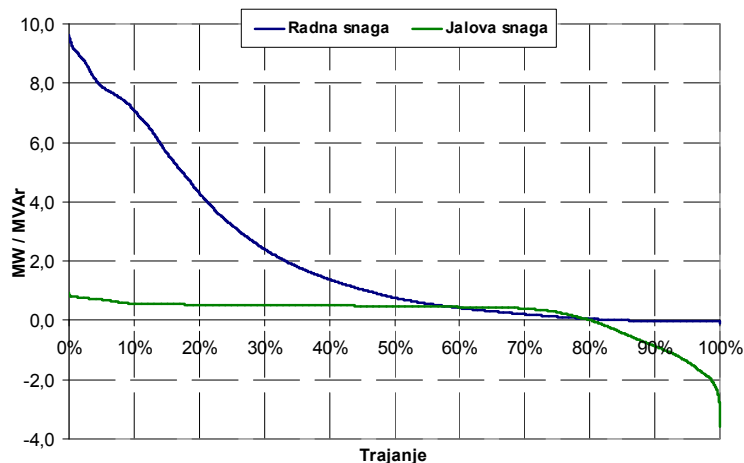
Na slici 7 prikazana je krivulja trajanja napona u TS Bilice i u točki priključka VE Orlice. Osnovni period razmatranja (srpanj 2009 – siječanj 2010) podijeljen je u dva podperioda (ljetno=srpanj 2009-rujan 2009, zima=listopad 2009-siječanj 2010) koja odgovaraju razdobljima različitog podešenja automatske regulacije napona u TS Bilice (ljeti 30.7 kV, zimi 30.2 kV) i VE Orlice. VE Orlice u periodu srpanj 2009-rujan 2009 radila je uglavnom u režimu fiksnog faktora snage ($\cos\varphi=1$) i sa znatno manjom proizvodnjom, dok je u periodu listopad 2009-siječanj 2010 radila u režimu regulacije napona ($\cos\varphi=f(U)$) i znatno većom proizvodnjom radne snage. Rezultati sa slike 7 upućuju na relativno male varijacije napona u TS Bilice u oba dva podperioda (± 0.25 kV u odnosu na iznos održavanog napona) budući da automatska regulacija napona u TS Bilice uspješno kompenzira varijacije napona koje se pojavljuju kao rezultat varijacije proizvodnje VE Orlice i potrošnje u mreži 30 kV. Ukoliko se promatra krivulja trajanja napona u točki priključka VE Orlice očito je da su varijacije napona nešto veće u odnosu na one u TS Bilice, i kreću se u rasponu ± 0.5 kV u odnosu na prosječnu vrijednost napona za zimski period, odnosno ± 1 kV za ljetni period. Rezultat znatno većeg raspona napona u ljetnim mjesecima je rad VE Orlice u režimu fiksnog faktora snage te većih varijacija potrošnje na izvodu Primošten. Također, budući da je opterećenje za ljetnih mjeseci znatno veće od onih za vrijeme zimskih, te uzevši u obzir da je u tom periodu VE Orlice radila u režimu fiksnog faktora snage, u tomu periodu javljaju se niži naponi u točki priključka VE Orlice unatoč postavkama regulacije napona u TS Bilice (ljeti 30.7kV – zimi 30.2 kV).

Iz prethodno navedenog, sa strane distribucijske mreže, rad VE Orlice u režimu regulacije napona rezultira znatno boljim naponskim karakteristikama u odnosu na režim fiksnog faktora snage, uz već navedeni (zanemarivi) negativni efekt povećanja tokova jalovih snaga u mreži.



Slika 7. Krivulja trajanja napona u TS Bilice i točki priključka VE Orlice (srpanj 2009–siječanj 2010)

Na slici 8 prikazana je krivulja trajanja radne/jalove snage VE Orlice isporučene/preuzete u distribucijsku mrežu. U ukupno razmatranom razdoblju prosječni faktor angažiranja VE Orlice bio je cca. 2,5 puta veći zimskom periodu. Krivulja trajanja jalove snage VE Orlice prikazana je za oba režima rada pri čemu desni dio krivulje odgovara režimu regulacije napona (preuzimanje/davanje jalove snage), dok lijevi dio odgovara režimu rada s konstantnim faktorom snage i razdobljima kad vjetroelektrana ne radi (uglavnom davanje jalove snage u mrežu zbog interne kabelske mreže).

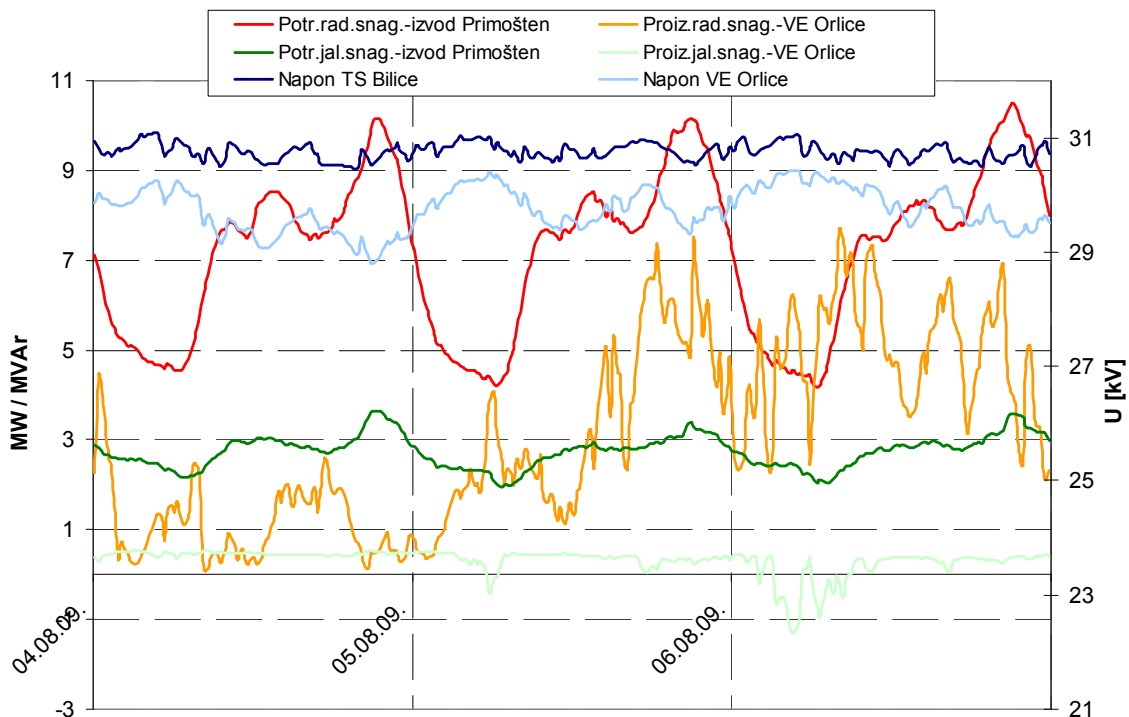


Slika 8. Krivulja trajanja radne i jalove snage iz VE Orlice (srpanj 2009–siječanj 2010)

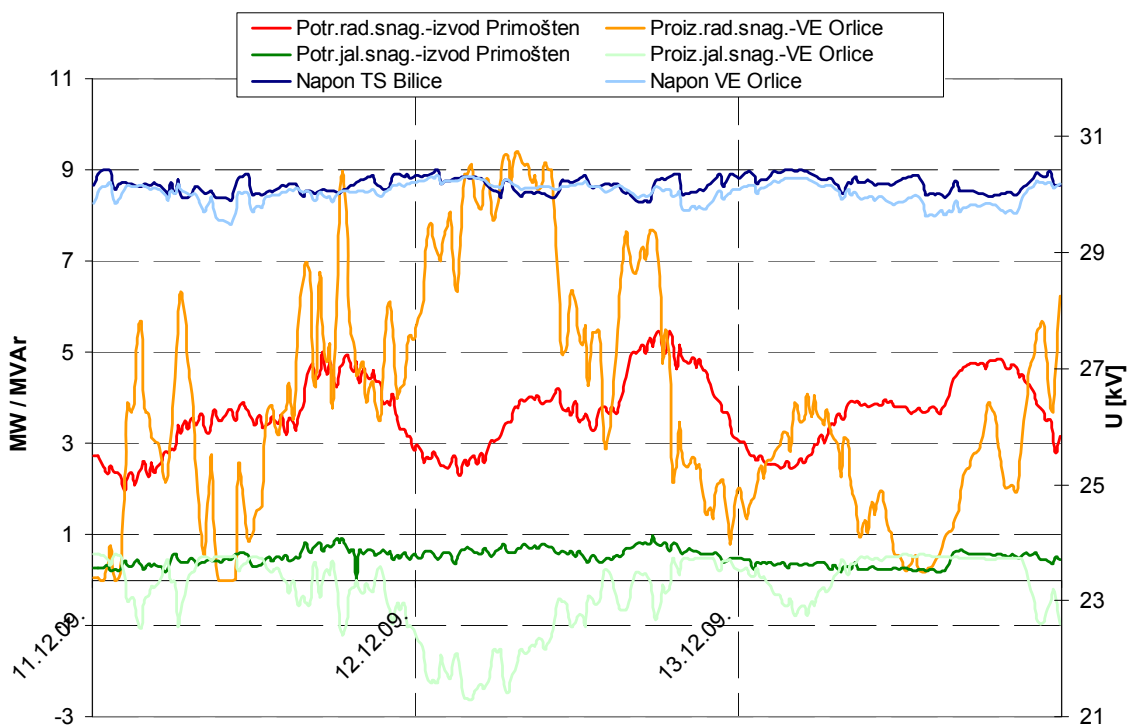
Na slikama 9 i 10 prikazane su karakteristične kronološke krivulje radne/jalove snage za izvod Primošten i VE Orlice te napon u TS Bilice i točki priključka VE Orlice i to za period:

- LJETO pet.04.08.09 – ned.06.08.09 (slika 9): naponi u TS Bilice kreću se u relativno malom rasponu oko regulirane vrijednosti od 30,7 kV. Naponi na mjestu priključka VE Orlice variraju u nešto većem rasponu, a promjena napona negativno korelira s potrošnjom izvoda Primošten. Utjecaj proizvodnje VE Orlice na promjenu napona očituje se kroz podizanje dnevnog dijagrama napona za vrijeme visoke proizvodnje. VE Orlice veći dio vremena daje jalovu snagu u mrežu u iznosu cca. 0,5 MVar (uglavnom kapacitivni doprinos kabelske mreže).
- ZIMA pet.11.12.09 – ned.13.12.09 (slika 10): naponi u TS Bilice kreću se u relativno malom rasponu oko regulirane vrijednosti od 30,2 kV. U odnosu na ljetni period, naponi na mjestu

priključka VE Orlice variraju u znatno manjem rasponu, dijelom zbog manjih varijacija potrošnje izvoda Primošten, a primarno zbog rada VE Orlice u režimu regulacije napona (može se uočiti injektiranje jalove snage od strane VE Orlice za vrijeme visoke proizvodnje).

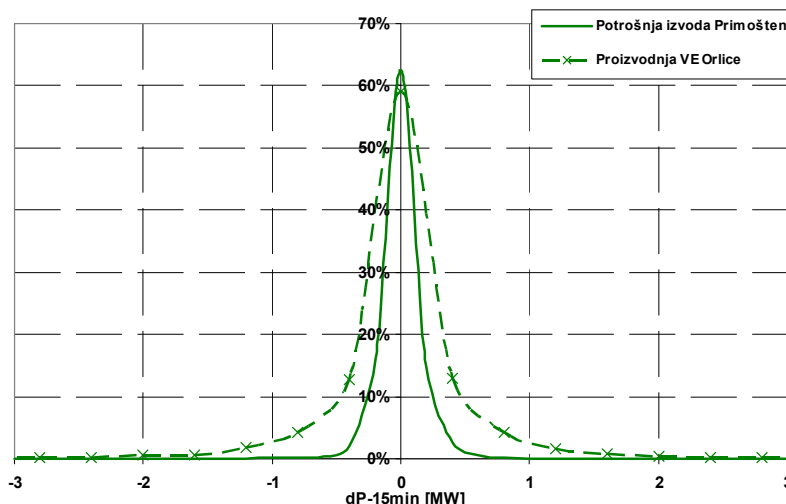


Slika 9. Kronološke krivulje snaga i napona za period 04.08.09-06.08.09: radna/jalova snaga za izvod Primošten i VE Orlice te napon u TS Bilice i u točki priključka VE Orlice ($\cos\varphi=1$)



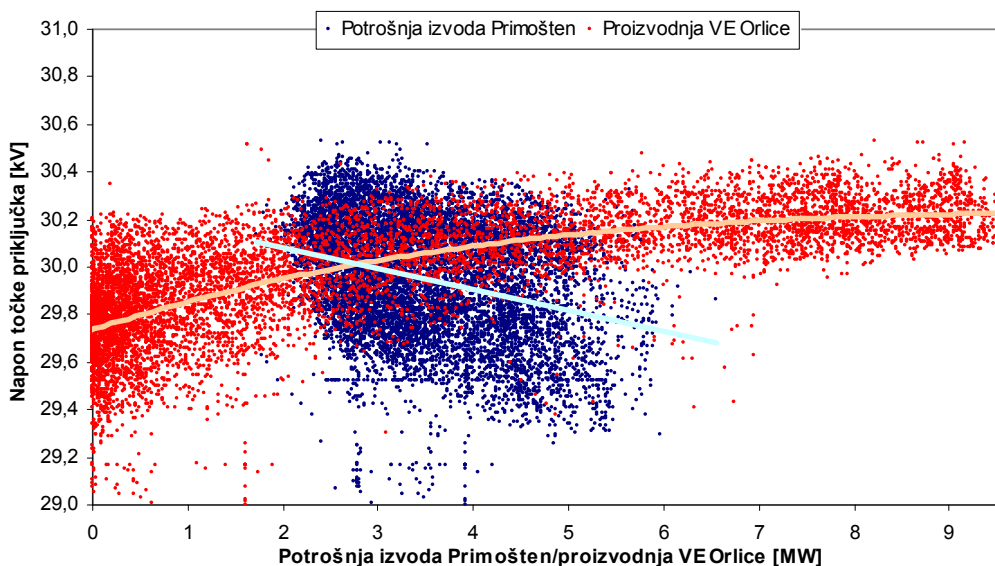
Slika 10. Kronološke krivulje snaga i napona za period 11.12.09-13.12.09: radna/jalova snaga za izvod Primošten i VE Orlice te napon u TS Bilice i u točki priključka VE Orlice ($\cos\varphi=f(U)$)

Na slici 11 je prikazan graf učestalosti 15 minutnih varijacija proizvodnje VE Orlice i potrošnje izvoda Primošten za razdoblje listopad 2009 – siječanj 2010. Uočavaju se bitno veće varijacije proizvodnje VE Orlice u odnosu na varijacije potrošnje izvoda Primošten. Unatoč značajnim varijacijama proizvodnje VE Orlice, pokazuje se (vidljivo na prethodnim slikama) da režim rada vjetroelektrane u regulaciji napona ne utječe na varijacije napona u točki priključka (a time i u ostatku okolne distribucijske mreže), već naprotiv, poboljšava naponske prilike u mreži s obzirom na statičke varijacije napona.



Slika 11. 15-min varijacije proizvodnje VE Orlice i potrošnje izvoda Primošten (listopad 2009 - siječanj 2010)

Na slici 12 prikazan je „scatterplot“ dijagram napona u točki priključka u odnosu na proizvodnju VE Orlice i u odnosu na potrošnju na izvodu Primošten za razdoblje listopad 2009 – siječanj 2010. Uočava se pozitivan trend (povećanje) napona u točki priključka s porastom proizvodnje VE Orlice, te negativan trend (smanjenje) napona s povećanjem potrošnje izvoda Primošten. Kronološki podaci proizvodnje VE Orlice i potrošnje izvoda Primošten u navedenom razdoblju ne pokazuju nikakvu korelaciju koja bi imala pozitivan i/ili negativan efekt na naponske prilike u mreži. Uočava se i značajniji utjecaj proizvodnje VE Orlice na napon u točki priključka u odnosu na utjecaj potrošnje izvoda Primošten, što je i očekivano s obzirom na veći raspon snage VE Orlice (0-9.6 MW) u odnosu na raspon potrošnje (2-6 MW).



Slika 12. „Scatterplot“ dijagram napona u točki priključka u ovisnosti o proizvodnji VE Orlice i potrošnji na izvodu Primošten (listopad 2009 - siječanj 2010)

5. ZAKLJUČAK

Paralelni rad vjetroelektrane s distribucijskom mrežom može rezultirati značajnim promjenama naponskih prilika u distribucijskoj mreži. U ovom radu analiziran je takav slučaj, na način da su ukratko prezentirane prethodne analize, opisano konkretno rješenje priključka i regulacije napona za VE Orlice, te obrađeni i analizirani raspoloživi pogonski podaci nakon priključka VE Orlice na mrežu.

Utvrđeno je da utjecaj VE Orlice na naponske prilike u distribucijskoj mreži uvelike ovisi o načinu reguliranja jalove snage vjetroagregata. Posebno u režimu fiksnog faktora snage, rad vjetroelektrane može značajno negativno utjecati na povećanje varijacija napona u mreži. Međutim, režimom rada u regulaciji napona u točki priključka vjetroelektrane, što omogućavaju praktički sve novije izvedbe vjetroagregata, mogu se u potpunosti anulirati takvi negativni efekti, pa čak i aktivno doprinijeti u poboljšavanju naponskog profila distribucijske mreže odnosno poboljšanju naponskih prilika u mreži.

LITERATURA

- [1] R. Goić, D. Jakus, E. Mudnić: „Proračun godišnjih gubitaka radne energije u distribucijskoj mreži s priključenom vjetroelektranom“, Energija, Hrvatska elektroprivreda d.d., prosinac 2007.
- [2] M. Lasić, A. Tomasović i dr.: „Utjecaj vjetroagregata s promjenjivom brzinom vrtnje na kvalitetu napona“, 1. savjetovanje Hrvatskog ogranka Međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Šibenik, svibanj 2008.
- [3] R. Goić: „Utjecaj vjetrogeneratora na varijacije napona i gubitke snage u razdjelnoj mreži“, V simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti HO Cigre, Zadar, travanj 2004.
- [4] Priključak vjetroelektrane Orlice na elektroenergetsku mrežu, elaborat, Fractal d.o.o., veljača 2007.
- [5] E. Quitmann: Enercon wind farms and its integration into power systems, prezentacija, 2009.g.