

Dr.sc.Srđan Žutobradić
Hrvatska energetska regulatorna agencija, Zagreb
szutobradic@hera.hr

Dr.sc.Luciano Delbianco
Politehnika, Pula
delbianco@politehnika-pula.hr

Dr.sc.Lahorko Wagmann
Hrvatska energetska regulatorna agencija, Zagreb
lwagmann@hera.hr

Dr.sc.Milan Puharić
ENEDIS d.o.o., Zagreb
edenedis@yahoo.com

ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIKLJUČENJA DISTRIBUIRANIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

SAŽETAK

Srednjonaponska distribucijska mreža u Republici Hrvatskoj obuhvaća naponske razine 10, 20 i 35 kV, uz vrlo različite vrste vodova. Već zbog toga je teško unaprijed odrediti maksimalne moguće snage distribuiranih izvora koje se mogu priključiti na tu mrežu. U ovom referatu prikazat će se pojednostavljena metoda za određivanje navedene snage sa stanovišta naponskih okolnosti u razmatranoj mreži. Iako je to samo jedan od kriterija, u mnogim slučajevima je odlučujući. Prikazat će se formule za proračun relevantnih energetskih parametara, te će se dati ilustrativni primjeri proračuna za tipične mreže.

Ključne riječi: distribuirani izvori, srednjonaponska mreža, naponske okolnosti

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF DISTRIBUTED GENERATION CONNECTION TO DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

Medium voltage distribution network in the Republic of Croatia includes voltage levels of 10, 20 and 35 kV, with very various kinds of lines. For that reason it is difficult to determine in advance the maximum possible power that can be connected to the network. This article will show a simplified method for the determination of this power with respect to network voltage conditions. Although this is just one among criteria, in many cases it is decisive. In this article the formulas for calculating relevant energy parameters, and illustrative examples of the calculation for a typical network will be presented.

Key words: distributed generation, medium voltage network, voltage conditions

1. UVOD

1.1. Općenito

Zbog izrazito velikog interesa za izgradnjom distribuiranih izvora električne energije koji se u najvećoj mjeri priključuju na distribucijsku mrežu, dosadašnje konvencionalne mreže poprimaju aktivni karakter. Radi se pretežito o obnovljivim izvorima ili kogeneracijskim postrojenjima čija se izgradnja potiče jer je od općeg interesa. No, mogućnosti distribucijske mreže za priključenje distribuiranih izvora veće snage ograničene su tehničkim značajkama mreže.

Prema važećoj tehničkoj regulativi u Republici Hrvatskoj na mrežu srednjeg napona moguće je priključiti distribuirane izvore snage do 10 MW. No, u stvarnosti to nije uvijek moguće ostvariti.

U referatu će se ilustrativnim primjerima izložiti relevantni kriteriji temeljem kojih se određuje maksimalna snaga distribuiranog izvora koji se može priključiti na distribucijsku mrežu, s naglaskom na kriterij naponskih okolnosti. Referat se prvenstveno odnosi na mreže srednjeg napona

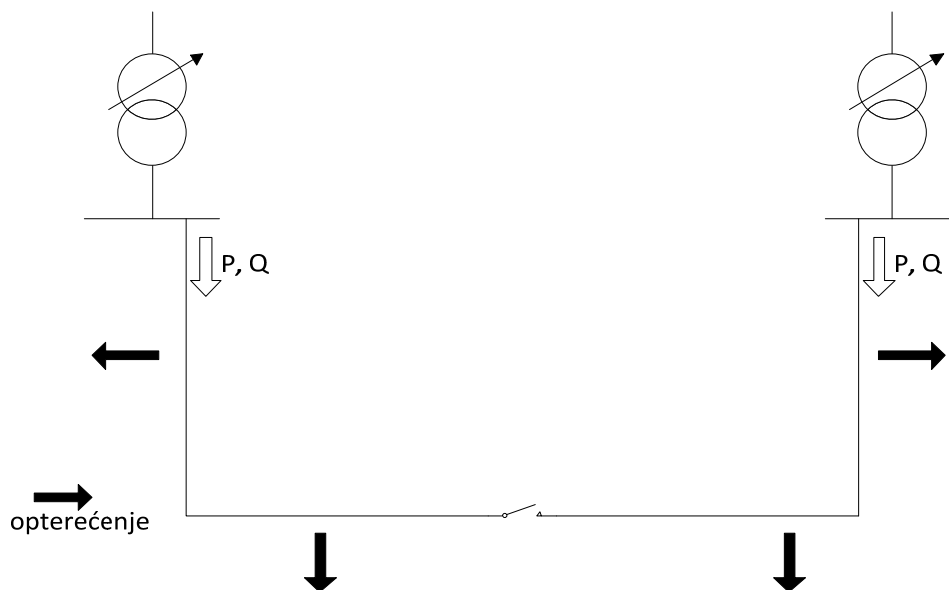
1.2. Mogući utjecaji distribuiranih izvora na mrežu

Konvencionalna distribucijska mreža je koncipirana za prijenos električne energije u jednom smjeru – od prijenosne mreže do krajnjih kupaca. Izgradnjom distribuiranih izvora koji se priključuju na distribucijsku mrežu situacija se u potpunosti mijenja. Pred stručnjacima operatora distribucijske mreže javlja se novi izazov – integracija distribuiranih izvora, uz ispunjavanje svih tehničkih uvjeta koji proizlaze iz hrvatske i međunarodne regulative.

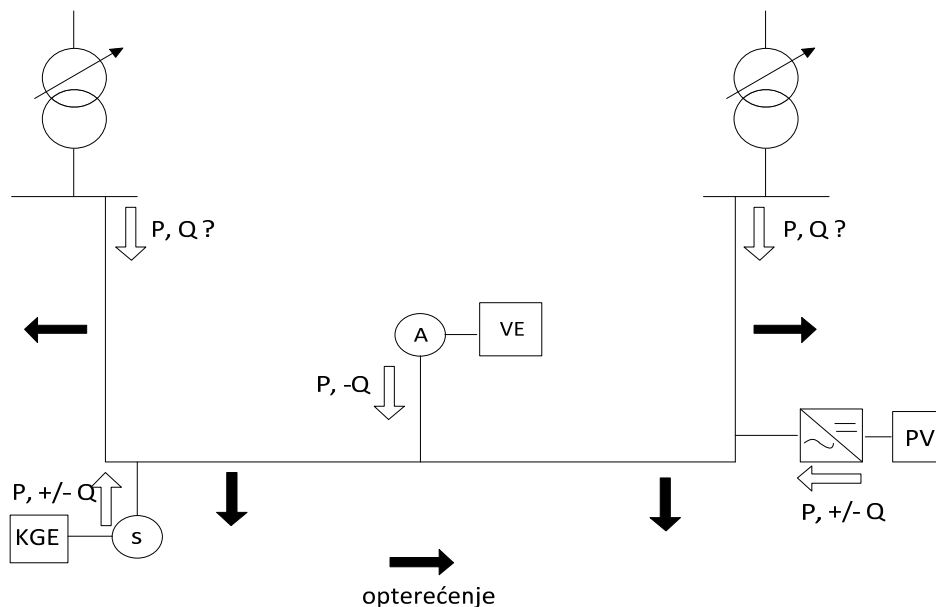
Početni pristup integraciji distribuirane proizvodnje temeljio se na rješavanju pojedinačnog priključka, uz naglasak na održanju parametara kvalitete električne energije. Distribucijska mreža se koncipirala tako da zadovolji sve kombinacije proizvodnje i potrošnje električne energije; no ta koncepcija postupno dovodi do sve većih investicijskih potreba za prilagodbu mreže ugradnji proizvodnih jedinica. Ovakav pristup ne predviđa aktivni nadzor i upravljanje mrežom koji je npr. uobičajen u prijenosnoj mreži.

Sve veća penetracija distribuirane proizvodnje čini sve veći broj distribucijskih mreža aktivnim, i to u sve većem stupnju. Promjena tokova radnih i jalovih snaga uslijed distribuirane proizvodnje ima velike tehničke i ekonomske posljedice na distribucijsku a donekle i prijenosnu mrežu. Zbog toga će trebati sve više mijenjati početni pristup prema aktivnim mrežama, koji se obično naziva „ugradi i zaboravi“ (engl. *fit-and-forget*), a koji je bio prihvatljiv za mali udjel distribuirane proizvodnje, ali nikako za preuzimanje velikih količina tako proizvedene električne energije.

Na slikama 1 i 2 dani su ilustrativni primjeri tradicionalne (pasivne) i aktivne distribucijske mreže.



Slika1 Tradicionalna (pasivna) distribucijska mreža



PV – solarna (fotonaponska) elektrana A – asinkroni generator
 KGE – kogeneracijska elektrana S – sinkroni generator
 VE – vjetroelektrana

Slika 2 Aktivna distribucijska mreža

Mogući štetni utjecaji distribuiranih izvora na rad distribucijske mreže su slijedeći:

- Preopterećenje elemenata distribucijske mreže uslijed preuzimanja električne energije iz elektrana tijekom razdoblja male potrošnje
- Rizik od pojave trajno povišenih napona uslijed rada distribuiranih izvora, naročito na lokacijama udaljenim od pojnih stanica mreže.
- Narušavanje kvalitete električne energije, čime se izravno čini šteta kupcima priključenim na razmatranu mrežu.
- Neselektivan rad zaštitnih uređaja u mreži.

Kao što je rečeno, ovaj referat je usmjeren na drugi navedeni štetni utjecaj, tj. problem pojave povišenih napona. U praksi, to je često najveći problem.

2. Odstupanja napona u normalnom pogonskom stanju

2.1. Dopuštena odstupanja napona

Odstupanja naponskih okolnosti od nazivnih vrijednosti su neminovna. No, ta odstupanja moraju biti u dopuštenim granicama, tako da se definiraju najviši i najniži dopušteni naponi u mreži. Poznato je da su tradicionalni planeri distribucijskih mreža obično definirali dopuštena odstupanja napona u granicama 5 – 8 % u odnosu na nazivne vrijednosti. Danas se u većini država ta odstupanja uvjetuju primjenom europske norme EN 50160, po kojoj se dopuštaju odstupanja napona u granicama $\pm 10\%$, tijekom 95 % vremenskog razdoblja.

U stvarnosti treba planirati razvoj mreže te voditi pogon uvažavajući činjenicu da je situacija u stvarnosti složenija. I bez pojave distribuiranih izvora potrebno je provoditi koordinaciju naponskih okolnosti, razmatrajući naponske okolnosti od transformatorske stanice 110/10(20) kV pa do krajnjih kupaca u mreži niskog napona. U TS 110/10(20) kV koristi se automatska regulacija napona pa se napon na sabirnicama 10(20) kV može smatrati fiksnim. Nakon toga dolazi do gubitka napona po elementima mreže (pad napona). Pri tome je najvažnije da napon kod krajnjih kupaca bude u propisanim granicama po EN 50160. Prema tome, ne može se bez detaljnije analize prihvatiti da naponi u mreži 10(20) kV budu na samoj granici vrijednosti iz navedene norme.

Problematične naponske okolnosti u mreži 10(20) kV mogu se sanirati promjenom prijenosnih omjera transformatora 10(20)/0,4 kV, što se radi ručno. No, to je mjera koja zahtijeva veliki oprez, jer se opterećenje mreže mijenja kako tijekom dana, tako i sezonski, što naravno utječe na rezultate ove mjere. S pojavom distribuiranih izvora situacija postaje još složenija.

U svakom slučaju, očividno je da je nužno u srednjonaponskoj mreži definirati razinu najvećih očekivanih napona u normalnom pogonu, koji će biti niži od dopuštenih granica po normi EN 50160. Ta veličina se često naziva "naponskom granicom". Treba uočiti da situacija nije ista u mreži bez distribuiranih izvora u odnosu na mrežu s distribuiranim izvorima. U klasičnoj (pasivnoj mreži) najčešći problem su padovi napona na niskom naponu. Zbog toga padovi napona u srednjonaponskoj mreži moraju biti niži od maksimalnih dopuštenih vrijednosti iz norme EN 50160, odnosno mora se ostaviti određena "rezerva". Pojava distribuiranih izvora u mreži srednjeg napona može pomoći sanaciji naponskih prilika na niskom naponu, tamo gdje su loše. No, zato su mogući problemi u mrežama gdje nema loših naponskih prilika, posebno u uvjetima niskih opterećenja kada distribuirani izvori mogu dovesti do nastanka previsokih napona.

2.2. Porast napona uslijed pojave distribuiranih izvora

Priključak distribuiranog izvora na distribucijsku mrežu rezultirat će porastom napona na mjestu priključenja. Relativni porast napona može se procijeniti aproksimativnom formulom:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R \cdot P_{DI}}{U^2} \quad (1)$$

gdje su:

- U – nazivni napon mreže (kV)
- ΔU - povećanje napona uslijed priključka distribuiranog izvora (kV)
- R - djelatni otpor mreže na mjestu priključka distribuiranog izvora (Ω)
- P_{DI} - djelatna snaga koju distribuirani izvor predaje u mrežu (MW)

Kao što se vidi, radi se o najjednostavnijem slučaju, kada generator radi s faktorom snage $\cos \varphi = 1$. No, iz tog primjera se vide najvažniji utjecajni čimbenici koji određuju porast napona uslijed priključka distribuiranog izvora, a to su nazivni napon mreže te djelatni otpor sveden na priključno mjesto distribuiranog izvora. U pravilu on je određen djelatnim otporom srednjonaponskog voda, do pojne transformatorske stanice mreže srednjeg napona.

Iz prethodne formule može se procijeniti snaga distribuiranog izvora koji se priključuje na distribucijsku mrežu, na način da ne uzrokuje pojavu previsokih napona u normalnom pogonu. Pri tome je nužno u konkretnim uvjetima definirati naponsku granicu, tj. najveće dopuštene napone u mreži koji neće dovesti do pojave nedopuštenih napona kod krajnjih potrošača.

Naredna formula omogućava jednostavnu procjenu maksimalne snage koju je moguće preuzeti iz distribuiranog izvora a da se ne naruši dopuštena naponska granica na mjestu priključenja:

$$P_{max} = \frac{U^2}{R} \delta_{max} \quad (2)$$

gdje je veličina δ_{max} definirana kao maksimalni dopušteni relativni porast napona uslijed rada distribuiranog izvora:

$$\delta_{max} = \frac{\Delta U_{max}}{U} \quad (3)$$

Izraz (2) može se napisati i u obliku:

$$P_{max} = \frac{U^2 \cdot A}{\rho \cdot l} \cdot \delta_{max} \quad (4)$$

Značenja pojedini veličina su ista kao i u prethodnim izrazima, s time što su:

- A – površina vodiča priključnog pojnog voda (mm^2)
- ρ – specifični otpor vodiča pojnog voda ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$)
- l – dužina pojnog voda (km)

Iz prikazane formule vide se svi utjecajni parametri koji djeluju na snagu P_{max} :

- Nazivni napon mreže; snaga P_{max} je proporcionalna kvadratu napona. To znači da se u mreži 20 kV može preuzeti 4 puta veća snaga distribuiranog izvora uz zadržavanje porasta napona u dopuštenim granicama.
- Presjek vodiča pojnog voda; radi se o linearnoj ovisnosti uz isti materijal
- Dužina pojnog voda koja djeluje inverzno na snagu P_{max} ; zbog toga je problematičan priključak daleko od pojne transformatorske stanice.
- Dopušteni relativni porast napona, koji djeluje linearno na snagu P_{max} .

U tablicama I i II dani su primjeri proračuna snage P_{max} za slučaj priključka na tipične 10 i 20 kV vodove.

Tablica I Maksimalne snage distribuiranih izvora P_{max} na mreži 10 kV (MW)

Vrsta voda	δ (%)	Lokacija (km)		
		5	10	15
DV 3x50 Ač	5	1,68	0,84	0,56
DV 3x50 Ač	10	3,36	1,68	1,12
DV 3x95 Ač	5	3,33	1,67	1,11
DV 3x95 Ač	10	6,67 (5,66)	3,33	2,22
XHE 49-A, 3x1x150	5	4,85	2,43	1,62
XHE 49-A, 3x1x150	10	9,71 (5,97)	4,85	3,24

Tablica II Maksimalne snage distribuiranih izvora P_{max} na mreži 20 kV (MW)

Vrsta voda	δ (%)	Lokacija (km)				
		5	10	15	20	25
DV 3x50 Ač	5	6,72	3,36	2,24	1,68	1,34
DV 3x50 Ač	10	13,45 (7,34)	6,72	4,48	3,36	2,69
DV 3x95 Ač	5	13,33 (11,31)	6,67	4,44	3,33	2,67
DV 3x95 Ač	10	26,67 (11,31)	13,33 (11,31)	8,89	6,67	5,33
XHE 49-A, 3x1x150	5	19,42 (11,94)	9,71	6,47	4,85	3,88
XHE 49-A, 3x1x150	10	38,83 (11,94)	19,42 (11,94)	12,94 (11,94)	9,71	7,77

Vrijednosti u zagradama odnose se na dopuštena termička opterećenja pojnih vodova. Te veličine dane su u slučajevima kada je izračunata maksimalna snaga distribuiranog izvora prema kriteriju naponskih prilika veća od dopuštenog termičkog opterećenja voda. Dakako, kriterij dopuštenog termičkog opterećenja je u tom slučaju presudan.

Iz prikazanih tablica vidi se utjecaj pojedinih parametara na dopuštenu snagu distribuiranog izvora, uslijed naponskih ograničenja. U mreži 10 kV teško je priključiti proizvodne objekte veće snage, dok je situacija u mreži 20 kV bitno bolja.

2.3. Utjecaj jalove energije

U slučaju da distribuirani izvor koristi asinkroni generator on će iz mreže konzumirati jalovu energiju. Iznos jalove energije koju generator preuzima iz mreže može se smanjiti provedbom kompenzacije jalove energije. S druge strane, distribuirani izvori često koriste sinkrone generatore koji pored radne energije proizvode i predaju u mrežu i jalovu energiju. Proizvodnja/potrošnja jalove energije numerički se karakterizira faktorom snage ($\cos \varphi$).

Jalova snaga generatora u trenutku kada se ostvaruje maksimalna radna snaga može se izraziti u slijedećem obliku:

$$Q_{max} = \alpha \cdot P_{max} \quad (5)$$

Porast napona uz maksimalnu snagu distribuiranog izvora određuje se pomoću slijedeće formule:

$$\Delta U_{gen,max} = R \cdot P_{max} - X \cdot Q_{max} = R \cdot \left(1 - \alpha \frac{X}{R}\right) \quad (6)$$

Faktor $\alpha \cdot X/R$ ne ovisi o nazivnoj snazi generatora. Zbog toga je moguće definirati tzv. "ekvivalentni generator" čija je nazivna snaga jednaka stvarnoj snazi pomnoženoj faktorom $(1 - \alpha \cdot X/R)$.

Procjena maksimalne snage koju je moguće preuzeti iz distribuiranog izvora a da se ne naruši dopuštena naponska granica na mjestu priključenja sada se određuje kao:

$$P_{max} = \frac{1}{1 - \alpha \frac{X}{R}} \cdot \frac{U^2}{R} \cdot \delta_{max} \quad (7)$$

U tablici 3 dan je pregled omjera X/R za tipične srednjonaponske vodove 10(20) kV koji se koriste u distribucijskoj mreži Republike Hrvatske. Faktor α odnosi se na generatore kod kojih $\cos \varphi$ iznosi 0,95. Faktor K je definiran kao:

$$K = \frac{1}{1 - \alpha \frac{X}{R}} \quad (8)$$

Tablica 3 Omjeri X/R , faktor α i faktor K

Vrsta voda	X/R	α	$1 - \alpha \cdot X/R$	K
DV 3x50 Ač	0,59	0,33	0,81	1,23
DV 3x95 Ač	1,09	0,33	0,64	1,56
XHE 49-A, 3x1x150	0,52	0,33	0,83	1,20

Faktor K izravno pokazuje koliko je moguće povećati maksimalnu snagu distribuiranog izvora zbog utjecaja jalove snage (sa stanovišta naponskih okolnosti). U tipičnim situacijama radi se o povećanju između 20 i 56 %. Očito je da kod pojnih vodova s velikim odnosom X/R , te uz veliki faktor α (što znači niži faktor snage $\cos \varphi$) može doći do bitne redukcije porasta napona, što znači povećanje maksimalne snage distribuiranog izvora koja se može preuzeti u mrežu. Takav primjer je kod pojnog voda 3x95 Ač.

Ako je faktor snage takav da rezultira s *faktorom* $\alpha = R/X$, porast napona uslijed rada distribuiranog izvora je sveden na nulu. U realnim uvjetima to se može postići kada je distribuirani izvor na sučelju opremljen energetskom elektronikom (inverterom). No, to rješenje treba pažljivo analizirati jer ono može dovesti do porasta rizika od preopterećenja te povećanih gubitaka. Nužno je dimenzionirati inverter na nešto veću snagu da bi se omogućilo preuzimanje jalove snage.

3. PRORAČUNI U REALNIM MREŽAMA

3.1 Određivanje maksimalne snage u slučaju priključenja više distribuiranih izvora na vod

U ranijim točkama je izložen pristup koji se odnosi na priključenje jednog distribuiranog izvora na vod srednjeg napona. Ako je na vod priključeno više distribuiranih izvora, na različitim lokacijama situacija je nešto složenija.

Iz formule (2) proizlazi da je maksimalna snaga distribuiranog izvora koja se može preuzeti uz zadržavanje napona u dopuštenim vrijednostima obrnuto proporcionalna električnoj udaljenosti distribuiranog izvora od pojne transformatorske stanice. Temeljem te činjenice moguće je definirati slijedeći odnos:

$$\sum_i \lambda_{gen,i} \cdot P_i \leq P_{max,kr} \quad (9)$$

gdje je $P_{max,kr}$ maksimalna snaga koja se može preuzeti iz distribuiranog izvora lociranog na kraju voda. Uz N priključenih distribuiranih izvora može se utvrditi slijedeća relacija:

$$P_i \leq \frac{1}{\lambda_i} \frac{P_{max,kr}}{N} \quad (10)$$

Veličina λ predstavlja relativnu udaljenost distribuiranog izvora od sabirnica pojne transformatorske stanice, te varira između $\lambda = 0$ i $\lambda = 1$ (tj. 100 %).

Korištenje formule (10) može se prikazati na ilustrativnom primjeru. Pretpostavit će se slijedeće ulazne veličine:

- maksimalna moguća snaga distribuiranog izvora na kraju SN voda iznosi 800 kW;
- prvi distribuirani izvor je lociran na 25 % dužine voda srednjeg napona;
- drugi distribuirani izvor je lociran na 60 % dužine voda srednjeg napona.

Maksimalne snage koje se mogu preuzeti iz distribuiranih izvora, uz pretpostavku istodobnog rada oba generatora određuju se kao:

$$P_1 = \frac{1}{0,25} \frac{800}{2} = 1.600 \text{ kW} \quad (11)$$

$$P_2 = \frac{1}{0,60} \frac{800}{2} = 667 \text{ kW} \quad (12)$$

3.2 Određivanje maksimalne snage uz prisutno opterećenje voda

Ovaj proračun se temelji na pretpostavci da vod ima ukupni radni otpor R , te reaktanciju X , te da se radi o vodu homogenih karakteristika. Vod je opterećen radnom snagom P , te reaktivnom snagom Q . Pretpostavlja se da je opterećenje ravnomjerno raspoređeno duž voda.

Distribuirani izvor proizvodi radnu snagu P_{DI} uz $\cos \varphi = 1$, a priključen je na udaljenosti $\lambda = \lambda_{DI}$, gdje je $\lambda = 0$ na sabirnicama pojne transformatorske stanice, odnosno $\lambda = 1$ na kraju voda.

Pad napona uslijed opterećenja voda računa se kao:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_n^2} \left(\lambda - \frac{1}{2} \lambda^2 \right) \quad (13)$$

Porast napona uslijed rada distribuiranog izvora je proporcionalan električnoj udaljenosti od pojne transformatorske stanice, te je konstantan nakon lokacije distribuiranog izvora. Za izračun se koriste slijedeće formule:

$$\Delta u_{DI} = \lambda \frac{R \cdot P_{DI}}{U_n^2}, \quad (\lambda \leq \lambda_{DI}) \quad (14)$$

$$\Delta u_{DI} = \lambda_{DI} \frac{R \cdot P_{DI}}{U_n^2}, \quad (\lambda > \lambda_{DI}) \quad (15)$$

Kao što se vidi iz izloženog, prilikom određivanja moguće snage koja se može preuzeti iz distribuiranog izvora s obzirom na naponske okolnosti treba uzeti u obzir kako povišenje napona zbog utjecaja distribuiranog izvora, tako i pad napona zbog opterećenja. Očigledno je da najteža situacija nastupa kada su prisutna minimalna opterećenja mreže. Proračun će biti na strani sigurnosti ako se pretpostavi da je vod u praznom hodu.

Prilikom proračuna nužno je utvrditi napon na sabirnicama pojne TS 110/10(20) koji ima konstantnu vrijednost zbog djelovanja automatske regulacije napona u pojnoj transformatorskoj stanici. Također je potrebno provjeriti položaj regulacijskih preklopki na transformatorima 10(20)/0,4 kV jer je potrebno sagledati i naponske okolnosti u mreži niskog napona.

4. ZAKLJUČAK

Nedvojbeno je da će prilagodba Hrvatske energetske politici Europske unije rezultirati sve većom zastupljenošću obnovljivih izvora električne energije te visokoučinkovitih kogeneracijskih postrojenja u hrvatskom elektroenergetskom sustavu. U najvećem broju slučajeva, ti izvori će se priključivati na distribucijsku mrežu. Sasvim je realno očekivati da će rasti pritisak za povećanom penetracijom obnovljivih izvora, kako brojčano tako i sa stanovišta njihove snage. Takav razvoj događaja predstavljat će veliki tehnički, ali i ekonomski izazov za operatora distribucijskog sustava, jer veći udio distribuiranih izvora na mreži može uzrokovati dodatne probleme različitih vrsta.

U ovom referatu je prikazana problematika priključenja distribuiranih izvora električne energije sa stanovišta naponskih okolnosti u normalnom pogonskom stanju. Izložene su formule koje omogućavaju jednostavne proračune utjecaja distribuiranih izvora na naponske okolnosti u mreži. Pomoću tih formula moguće je analizirati utjecaj različitih parametara distribuiranih izvora te distribucijske mreže na naponske okolnosti. Očito je da intenzitet utjecaja distribuiranog izvora ovisi o velikom broju različitih čimbenika kao što su: snaga izvora, faktor snage, vrsta priključnog voda, električna udaljenost izvora od pojne transformatorske stanice, opterećenje mreže te posebno, naponska razina na koju se distribuirani izvor priključuje. Zbog toga je teško izvoditi opće zaključke o maksimalnoj snazi koja se može priključiti na distribucijsku mrežu, pogotovo zato što se u Hrvatskoj koriste tri naponske razine – 35, 20 i 10 kV. U konkretnim slučajevima preporuča se provedba svih potrebnih proračuna, primjenom odgovarajućih računalnih programa, uz uvažavanje očekivanih pogonskih situacija.

Što se tiče izloženih formula u ovom referatu, one mogu poslužiti za brzu procjenu utjecaja distribuiranih izvora na naponske okolnosti, ali i za provedbu općih (teoretskih) analiza tih utjecaja.

Na kraju, treba ukazati na činjenicu da naponska razina mreže značajno utječe na iznos moguće snage distribuiranih izvora koji se na nju mogu priključiti. Prednosti prijelaza mreže s napona 10 kV na napon 20 kV vidi se i po tome što je, sa stanovišta naponskih okolnosti, na mrežu 20 kV moguće priključiti 4 puta veću snagu distribuiranih izvora nego na mrežu 10 kV.

LITERATURA

- [1] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, Narodne novine, 36/2006.
- [2] S. Žutobradić, L. Wagmann, „Integracija distribuiranih izvora električne energije u distribucijsku mrežu“, 4. Dani ovlaštenih inženjera elektrotehnike, Zadar, 2011.
- [3] M. Bollen, F. Hassan, „Integration of Distributed Generation in the Power System“, IEEE press & Wiley, 2011.
- [4] L. Wagmann, „Proračuni u distribucijskoj mreži“, seminar Integracija obnovljivih izvora energije u distribucijsku mrežu, Elektrotehničko društvo Zagreb, 2011.