

Dr. sc. Sandra Hutter, dipl. ing.
HEP ODS d.o.o., Elektra Zagreb
sandra.hutter@hep.hr

Mr.sc. Irena Šagovac, dipl. ing.
HEP ODS d.o.o., Elektra Zagreb
irena.sagovac@hep.hr

OSVRT NA PROPISE O POV RATNOM DJELOVANJU KORISNIKA NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

SAŽETAK

U članku su opisani neki od problema koji se javljaju uslijed povratnog djelovanja korisnika na distribucijsku mrežu. Poremećaje i smetnje u distribucijskoj mreži koji se najčešće javljaju usred povratnog djelovanja su propadi napona uzrokovani naglim porastima opterećenja npr. pri startanju motora i treperenje. Također su česti problemi s loše projektiranom kompenzacijom.

Kako bi se svim kupcima mogla garantirati zadovoljavajuća kvaliteta električne energije prema normi HRN EN 50160, utjecaj pojedinog potrošača bi trebalo znatno ograničiti propisima.

Kod priključenja novih korisnika većih snaga na mrežu u probnom pogonu je potrebno mjerenjima dokazati da nisu narušene propisane granice kvalitete električne energije.

Cljučne riječi: kvaliteta električne energije, povratno djelovanje, propad napona.

REVIEW ON THE REGULATIONS REGARDING CUSTOMER IMPACT ON THE DISTRIBUTION GRID

SUMMARY

In the paper are described some problems concerning customer impact on the distribution grid. Most common disturbances and disorders in the distribution grid due to customer's impact on the grid are voltage dips caused by rapid load changes, e.g. motor starting (inrush currents) and flickers. Problems with poor compensation are also very common.

In order to guarantee satisfying level of power quality according to standard HRN EN 50160 to all customers, impact of a single customer should be considerably limited by regulations.

When connecting new users with larger loads on the grid, measurements during trial period should prove that the prescribed power quality limits are not surpassed.

Key words: power quality, customer impact, voltage dip.

1. UVOD

U „Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava“ [1] definirani su uvjeti za priključak potrošača na distribucijsku mrežu. Dozvoljena odstupanja napona na mjestu preuzimanja propisana su jednako kao i u normi HRN EN 50160 [2]. Kako bi se svim kupcima mogla garantirati zadovoljavajuća kvaliteta napona, koji prema normi iznosi $\pm 10\%$ za prosjek deset minutnih efektivnih vrijednosti kroz 95 % vremena, potrebno je da su odstupanja u stanici daleko manja, a utjecaj pojedinog potrošača bi se trebao znatno ograničiti propisima.

Neki od faktora koji utječu na pogonske uvjete u mreži su:

- odstupanja uslijed promjena tereta,
- nelinearni tereti koji uzrokuju više harmonike u struji,
- tereti koji naglo i učestalo variraju u vremenu i uzrokuju treperenje (flikere),
- razni kvarovi u mreži (npr. uslijed vremenskih nepogoda).

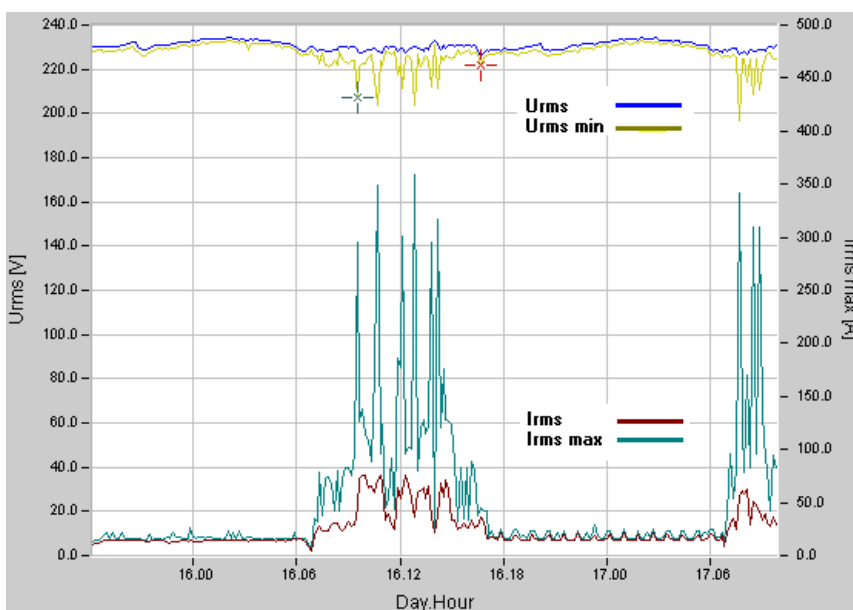
Zadnjih godina porastao je broj žalbi na kvalitetu električne energije, ali u velikom broju slučajeva korisnici mreže sami narušavaju naponske prilike i kvalitetu.

2. NARUŠAVANJE NAPONSKIH PRILIKA I KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Povratni utjecaj na mrežu je pogonsko stanje pri kojem događaji u elektroenergetskim objektima i instalacijama korisnika mreže uzrokuju poremećaje i smetnje u mreži operatora distribucijskog sustava.

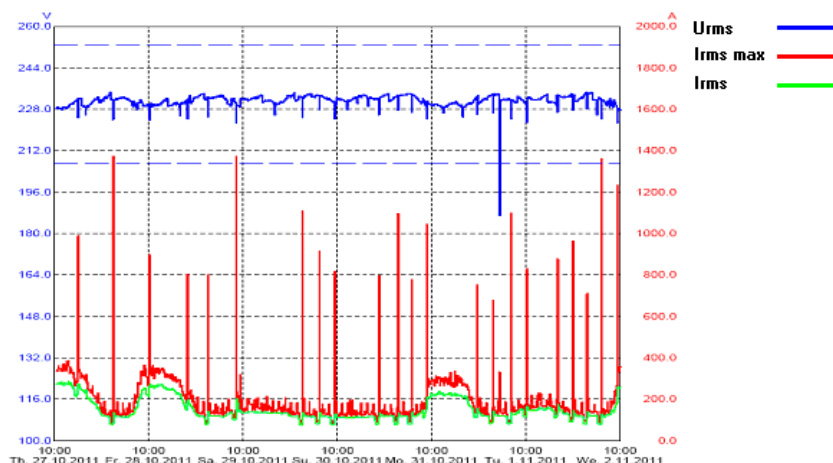
2.1. Propadi napona

Analizom žalbi korisnika vezanih uz kvalitetu napona uočeni su učestali problemi s malim obrtima (plastičari i pogoni s grijačima, pogoni sa mlinovima, asinkronim strojevima, ventilatorima), koji se često žale na propade napona. Provedenim mjerenjima kvalitete ustanovljeni su u većini slučajeva veliki omjeri između srednjih i najvećih vrijednosti opterećenja u pojedinim deset minutnim intervalima. U nekim slučajevima su najveće vrijednosti struja, koje se najčešće javljaju prilikom uklopa strojeva, četiri do osam puta veće od srednjih. Te velike struje uzrokuju propade napona u stanici. Ukoliko se pritom javljaju i velike razlike u opterećenju između radnih i neradnih dana, odnosno vremena u pogonu i izvan, tada nije uvijek moguće provesti jednostavnu regulaciju napona odgovarajućim podešavanjem prijenosnog omjera transformatora. Na slici 1. vidljiv je tipičan slučaj s uočljivim propadima napona od 10 do 14 % u trenutku maksimalnih strujnih opterećenja.



Slika 1. Srednje i najmanje vrijednosti napona i struja – primjer mjerenja

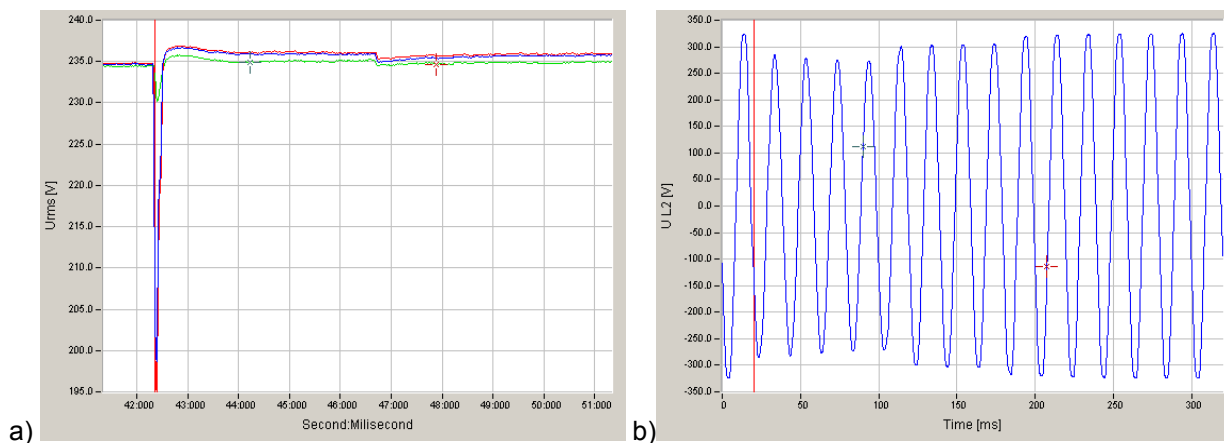
Na slici 2. dana je usporedba srednjih (zelena krivulja) i najvećih opterećenja (crvena krivulja) transformatora snage 1000 kVA koji napaja poslovnu zgradu. Najveći pojedinačni tereti su dva ventilatora snaga 196 kW i motori dizala snaga 112 kW, čije uključivanje uzrokuje strujne udarce vidljive na slici. Strujni udarci, koji u ovom slučaju imaju iznose do 1400 A, uzrokuju propade napona u stanici od 9 V do 10V, što je oko 4 % nazivne vrijednosti. Najveća zakupljena snaga za zajedničku potrošnju zgrade je 228,4 kW. Propadi vidljivi na slici ne mogu uzrokovati oštećenja električne opreme, ali mogu biti vidljivi u promijeni intenziteta svjetla. Brze promjene napona od 10 % (uzrokovana npr. startanjem motora) uzrokuju 34 % smanjenje intenziteta svjetla kod 60 W žarulje sa žarnom niti [3].



Slika 2. Usporedba srednjih i najvećih vrijednosti struja, te najmanjih vrijednosti napona u TS koja napaja poslovnu zgradu

Problemi u industrijskim mrežama mogu se pojaviti u normalnim pogonskim stanjima, kao što je upuštanje motora (potezne struja motora 4 do 8 In). Iako struja upuštanja motora traje kratko vrijeme, dolazi do velikog pada napona što dodatno otežava zalet motora, ali utječe i na ostala trošila. Promjena napona ovisi o snazi motora, ali i o snazi kratkog spoja na mjestu priključenja.

Na slici 3. je prikazan propad napona prilikom zaleta motora. Propad napona ispod dozvoljenih vrijednosti je trajao 90 ms, a efektivna vrijednost napona je pala na 195 V, što je 85% nazivne vrijednosti.



Slika 3. Propad napona prilikom zaleta motora: a) efektivne vrijednosti napona i b) oscilogrami napona.

Prema [3] propad napona od 5% u distribucijskog mreži, može značiti da je napon na priključcima motora ispod 80%.

Na tržištu postoje brojna rješenja za meko upuštanje asinkronih motora, tzv. soft starteri, kojima se mogu smanjiti potezne struje, te time postići i uštede u potrošnji električne energije. Namijenjeni su za upravljanje asinkronim motorima koji služe za pogon crpki, drobilica, ekstrudora, hidrauličnih sustava, kompresora, mlinova, linija za punjenje, preša, dizala, tekućih i transportnih traktova, pila i miješalica.

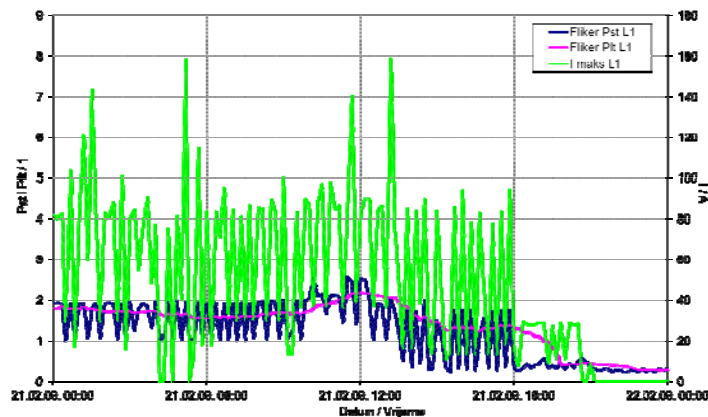
Uobičajena rješenja, kojima se može poboljšati naponske prilike kod potrošača su povećavanje snage transformatora odnosno presjeka priključnog kabela, rasterećenje strujnog kruga, prekapčanje na druge stanice ili interpolacija novih stanica. Sva ta rješenja zahtijevaju značajnije investicije.

2.2. Treperenje napona

Osim propada napona, učestale promjene opterećenja kod korisnika mreže u kratkim vremenskim periodima mogu uzrokovati treperenje napona. Te se promjene napona najviše zamjećuju u oscilacijama jačine osvijetljenosti rasvjetnih tijela, no mogu utjecati i na rad osjetljive elektronične opreme.

Na slici 4. prikazane su maksimalne vrijednosti opterećenja, te kratkotrajne i dugotrajne vrijednosti treperenja napona u jednom plastičarskom obrtu. Radi preglednosti prikazana je samo jedna faza.

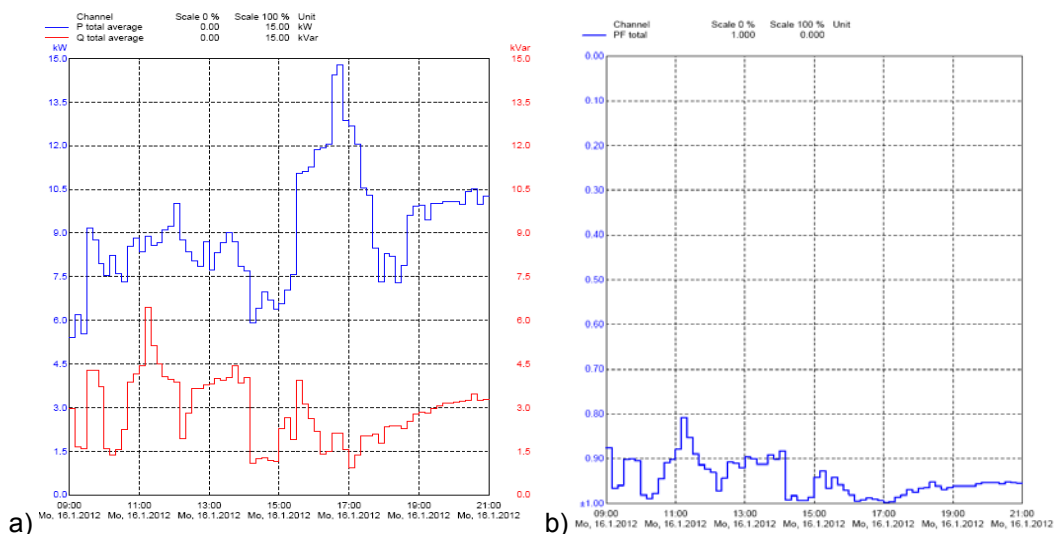
Prema HRN EN 50160 dugotrajna vrijednost treperenja napona je ograničena na 1. S grafa je vidljivo da su kratkotrajne vrijednosti treperenja iz kojih se preračunava dugotrajno treperenje u direktno vezi s maksimalnim vrijednostima opterećenja. Smetnje u naponu prouzrokovane pogonom ovog obrta zamjećivala su se i u instalacijama susjednih korisnika.



Slika 4. Maksimalne vrijednosti opterećenja i kratkotrajnog i dugotrajnog mjerenja opterećenja

2.3. Kompenzacija jalove snage kod potrošača

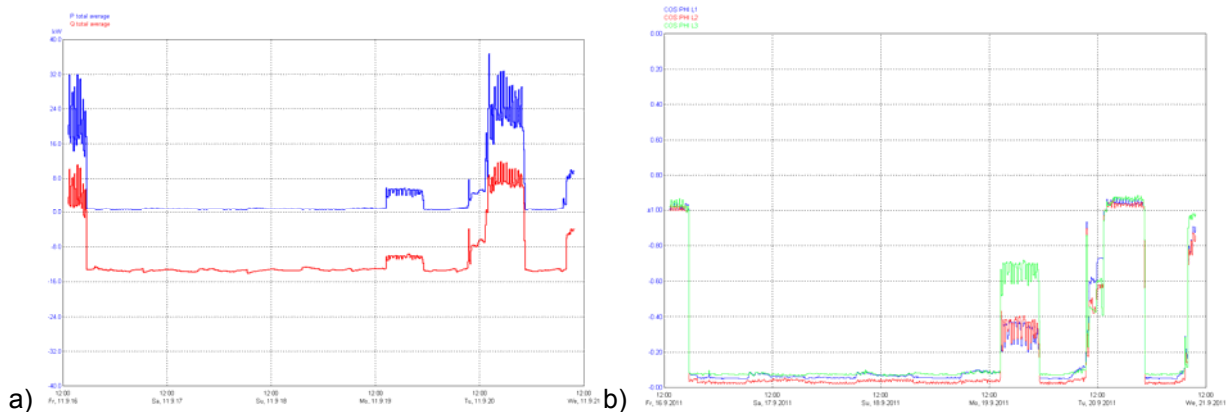
Na slikama 5. i 6. je vidljivo nekoliko primjera loše projektirane kompenzacije. Prema točki 5.3.2.9 Mrežnih pravila [1] dozvoljeni faktor snage mora biti od $\cos \varphi = 0,95$ do $\cos \varphi = 1$, ukoliko nije drugačije ugovoreno. Isporuka jalove energije se dogovara ugovorom između korisnika mreže i operatora distribucijskog sustava. U ovom slučaju korisnik je plaćao značajne iznose za jalovu energiju, koji su iznosili oko 15 % ukupnog računa za električnu energiju.



Slika 5. a) Srednje 10min vrijednosti radne snage P [kW] i jalove snage Q[kVar] i b) srednje 10min vrijednosti faktora snage $\cos \varphi$

U skladu s Tarifnim sustavom za distribuciju električne energije (NN 143/206 i 26/2010) naplaćuje se prekomjerno preuzeta jalova energija iz mreže. Prekomjerno preuzeta jalova energija (kVArh) je pozitivna razlika između stvarno preuzete jalove energije i jalove energije koja odgovara faktoru snage $\cos \varphi = 0,95$ odnosno to je preuzeta jalova energija koja prelazi 33% preuzete radne energije.

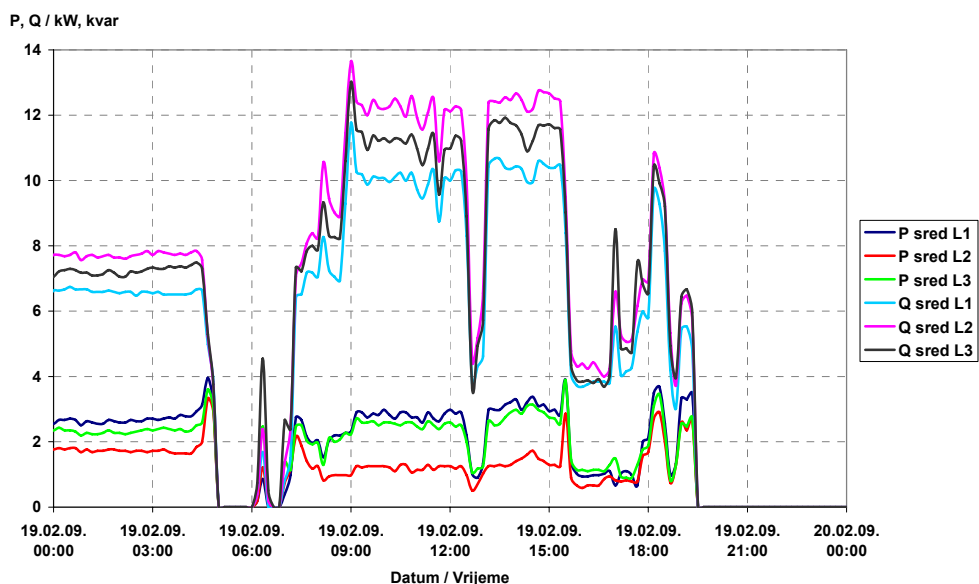
Na slici 6. je dan još jedan primjer loše projektirane kompenzacije. Tijekom neradnih dana dolazi do nadkompenzacije.



Na slici 7. prikazan je graf srednjih vrijednosti radne i jalove snage izmjeren kod korisnika mreže koji u svom stambeno-poslovnom objektu ima obrt za proizvodnju plastične ambalaže. Na temelju pritužbe na propade napona mjerena je kvaliteta električne energije prema normi HRN EN 50160 i opterećenje.

Rezultati mjerenja su pokazali da je angažirana jalova snaga bila nekoliko puta veća od radne snage, što je vidljivo s grafa. Radi preglednosti prikazan je samo jedan radni dan.

Priključni vod je dimenzioniran prema zatraženoj radnoj snazi priključka u [kW], ali je ukupna struja opterećenja u redovnom radu obrta (uključujući i jalovu komponentu) dosta premašivala struju proračunatu iz zakupljenje radne snage priključka, te je dolazilo do značajnog pada napona duž priključnog voda. Osim padova napona na priključku ovog kupca, kvaliteta električne energije je bila narušena i kod ostalih korisnika priključenih na isti strujni krug.



Slika 7. Srednje 10min vrijednosti radne snage P [kW] i jalove snage Q [kVAr] na mjestu priključka

U ovom slučaju ugrađeno je novo brojilo koje bilježi potrošenu jalovu energiju, te je kupcu je uvjetovano dovođenje potrošnje jalove energije u granice koja ne ruši faktor snage ispod 0,95.

3. PRILJUČENJE NOVIH KORISNIKA NA MREŽU

Postupak za izdavanje prethodne elektroenergetske suglasnosti i stvaranje uvjeta za priključenje na elektroenergetsku mrežu definiran je u "Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom" [6].

Prilikom izdavanja elektroenergetske suglasnosti uglavnom se razmatra samo potrebna priključna radna snaga novog objekta. Podnositelj zahtjeva za elektroenergetske suglasnost dužan je prema članku 7. Općih uvjeta [6] dostaviti podatke o karakteristikama značajnih trošila odnosno objekta za proizvodnju električne energije. Ovaj zahtjev je potrebno dodatno razraditi kako bi se točno definirali potrebni podaci koji u to ulaze. Npr. osim definiranja nazivne radne i jalove snage, bilo bi potrebno definirati i trenutne najveće vrijednosti opterećenja. Kod motora je potrebno dodatno definirati vrstu zaleta: direktno, preko upuštača, spoj zvijezda trokut, broj zaleta u satu/minuti, zalet pod teretom ili bez, pulsno (frekventno) upravljanje. Čak i ako se ne ide u detaljne proračune, navedene tehničke karakteristike pomogle bi u procijeni povratnog utjecaja korisnika na mrežu.

Kod priključenja novih korisnika na mrežu, procjena utjecaja na mrežu i kvalitetu napona može se provesti s obzirom na tropolnu snagu kratkog spoja na mjestu priključenja na mrežu. U slučaju manjih snaga ili ograničenog udjela nelinearnih trošila kod korisnika na niskom naponu je prema [1] taj uvjet definiran kao:

$$\frac{S_k}{S_p} \geq 150 \quad (1)$$

Za veće priključne snage potrebno je provesti proračune. Također u probnom pogonu je potrebno mjerenjima dokazati da nisu narušene propisane granice.

Na primjeru ćemo pokazati koliko bi iznosio pad napona uslijed startanja motora snage 180 kW priključenog na distribucijsku stanicu s transformatorom snage 630 kVA. Ukoliko zanemarimo reaktanciju mreže na koju je priključen transformator, možemo iz napona kratkog spoja transformator $u_k = 4\%$ i prijenosnog omjera 10/0,4 kV izračunati da je reaktancija transformatora 0,01 Ω i snaga kratkog spoja na sekundarnoj strani transformatora 15,75 MVA. Ako je na mrežu priključen motor snage 180 kW, nazivne struje 247 A i ako pretpostavimo da mu je potezna struja 6 In odnosno 1486 A, pad napona ne uzimajući u obzir pad napona uslijed impedancije vodova će iznositi:

$$\Delta U = \frac{S''}{S_{k3}} = 6,86\% \quad (2)$$

U [4] i [5] je dan prijedlog dovođenja u vezu zakupljene snage kupca s trenutnim promjenama snage, pomoću faktora K.

Tablica I. Vrijednosti faktora K u odnosu na zakupljene snage kupca na NN

S_{zak} (kVA)	K
100	2
250	1,6
400	1,5
630	1,43

Ako pretpostavimo da kupac sa zakupljenom snagom od 100 kVA ima kao najveći pojedinačni teret jedan asinkroni motor od 40 kVA. U slučaju upuštanja motora može se pretpostaviti da će taj motor povući 5 In, što bi dalo trenutni teret od 200 kVA, odnosno odgovaralo bi faktoru K=2. Ako bi se gornje relacije aproksimirale pomoću funkcije dobivamo, uz S_{zak} u MVA:

$$K = 1,3\sqrt{S_{zak}} \quad (3)$$

Provedbom većeg broja mjerenja u probnom pogonu, za što i postoji mogućnost prema Mrežnim pravilima, te statističkom usporedbom srednjih i najvećih vrijednosti kod većeg broja potrošača raspodijeljenih prema kategorijama, dobili bi se potrebni podaci o trenutnim promjenama snage.

Norma HRN EN 61000-3-2 i tehnički izvještaj IEC 61000-3-4 definiraju granične razine strujnih harmonika koje smiju emitirati trošila koja se priključuju na niskonaponsku distribucijsku mrežu.

U zadnje vrijeme porastao je broj zahtjeva za priključenje malih solarnih elektrana na distribucijsku mrežu, što bi moglo utjecati i na kvalitetu električne energije. Na mjestu priključenja male elektrane ili na području mreže u kojem postoji više izvora, dolazi do povišenja napona, te je stoga potrebno pratiti eventualnu pojavu prenapona ili narušavanje kvalitete (npr. uslijed isklopa invertera).

4. ZAKLJUČAK

Važeći propisi za operatora distribucijskog sustava vezani uz kvalitetu električne energije definirani su na temelju norme HRN EN 50160.

Prilikom izdavanja elektroenergetske suglasnosti potrebno je obratiti više pažnje na vrstu djelatnosti (npr. domaćinstva, uredi, računarski centri, medicinske djelatnosti, gradilišta) odnosno tipu i vrsti električnih uređaja (uređaji za zavarivanje, pumpe, miješalice betona, pile, elektrolučne peći, preše, solarne elektrane, klime, Roentgeni, kompjuterski tomografi CT) te instaliranoj snazi, kako bi se svim korisnicima mogla osigurati zadovoljavajuća kvaliteta električne energije.

Kod procjene utjecaja na mrežu pojedinog korisnika mreže potrebno je poznavati karakteristike tereta posebno kod velikih snaga, te uzeti u obzir tipične prijelazne pojave koje se primjerice javljaju pri startanju motora, elektroničkih tereta (in-rush struje) ili nabijanja kondenzatorskih baterija. Što je veća tropska snaga kratkog spoja na mjestu priključka na mrežu, u odnosu na priključnu snagu korisnika mreže, to će i kvaliteta električne energije biti manje narušena. Propad napona je proporcionalan omjeru trenutne snage potrošača i tropske snage kratkog spoja. Bilo bi potrebno provesti procjenu odnosa između prosječnih zakupljenih snaga i najvećih trenutnih snaga, odnosno odrediti faktore trenutnih promjena snage. Pojedini korisnik mreže ne bi smio uzrokovati pad napona u stanici veći od 4%.

Uobičajena rješenja, kojima se mogu poboljšati naponske prilike kod potrošača su povećavanje snage transformatora odnosno presjeka priključnog kabela, rasterećenje strujnog kruga, prekapčanje na druge stanice ili interpolacija novih stanica. Sva ta rješenja zahtijevaju značajnije investicije.

Na danom primjeru potrošnje jalove energije vidljivo je da je potrebno uvesti bolju kontrolu postojećih priključaka. Zasad nije uvedena penalizacija u slučaju loše kvalitete električne energije niti u slučaju narušavanja od strane operatora distribucijskog sustava niti korisnika mreže.

LITERATURA

- [1] „Mrežna pravila elektroenergetskog sustava“, Narodne novine br. 36/2006.
- [2] HRN EN 50160:2008 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems"
- [3] Brekke K, Seljeseth H., Mogstad O., „Rapid voltage changes - definition and minimum requirements“, CIGRE, Zbornik radova, Prag, Češka, lipanj 2009.
- [4] V. Allegranza, A. Ardito, E. De Berardinis, M. Delfanti, and L. LoSchiavo, "Assessment of short circuit power levels in HV and MV networks with respect to power quality“, CIGRE, Zbornik radova, Beč, Austrija, lipanj 2007.
- [5] M. Delfanti, M. Merlo, M.S. Pasquadibisceglie, M. Pozzi, L. Lo Schiavo: "Assessing Italian MV network performance: a detailed analysis of short circuit power levels“, CIGRE, Zbornik radova, Beč, Austrija, lipanj 2007.
- [6] "Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom", NN 14/2006