

RAZMATRANJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

SAŽETAK

Uz pouzdanost i kontinuitet opskrbe, komponenta koja kod nas tek poprima sve veću važnost pri distribuciji električne energije je njena kvaliteta. U svijetu je taj pojam toliko uvriježen da neka distribucijska poduzeća imaju i službe koje se bave samo tim aspektom distribucijske djelatnosti.

Na dereguliranom tržištu, gdje se električna energija tretira kao roba, u svrhu konkurentnosti nužno je ponuditi i osigurati kako kvalitetnu opskrbu, tako i kvalitetan proizvod koji se distribuira. Kako je budućnost hrvatskog tržišta električnom energijom također deregulacija, poželjno je što prije poduzeti određene korake da nas taj trenutak ne dočeka nespremne.

Ovim se referatom pokušava na jednostavan način objasniti pojam kvalitete električne energije, opisati parametre koji na nju utječu, posljedice koje nezadovoljavajuća kvaliteta električne energije može uzrokovati, te dati određene smjernice na koje treba paziti prilikom planiranja razvoja elektroenergetske distribucijske mreže.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, deregulacija tržišta

STUDY OF POWER QUALITY IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

SUMMARY

Along with reliability and continuity of supply, component which is here becoming more important in distribution of electrical energy is power quality. In rest of the world this component is so normal that some utilities have departments dealing only with that particular part of distribution role.

On deregulated market where electrical energy is considered a product, to be concurrent it is necessary to offer and assure quality of supply, as well as the quality of the product which is being distributed. Considering the fact that future of Croatian electricity market lies in deregulation, it is necessary to take some steps to be prepared for that moment.

This paper in simple manner is trying to explain the term "power quality", to describe parameters which affect it and consequences which can be caused by insufficient power quality, as well as to provide some guidelines which should be looked after while planning development of electricity distribution networks.

Key words: power quality, deregulated market

1. UVOD

Opskrba električnom energijom predstavlja jednu od osnovnih usluga koje podupiru temelje industrijskog društva. Sa stajališta potrošača električne energije ova usluga mora biti stalno dostupna, te omogućiti svim električnim trošilima potrošača siguran i kvalitetan rad. Drugim riječima, zahtijevaju se visoke razine kontinuiteta opskrbe i kvalitete električne energije.

Pojmovi kojima se može pobliže opisati električna energija su njena raspoloživost i kvaliteta, te pouzdanost opskrbe.

Pouzdanost se definira kao sposobnost neke jedinice, u ovom slučaju opskrbe električnom energijom, da izvršava svoju funkciju uz dane uvjete u danom vremenskom razdoblju.

Raspoloživost je pojam koji vežemo uz dostupnost električne energije. Ona se definira kao sposobnost elementa, dakle električne energije, da bude u stanju vršiti traženu funkciju pod danim uvjetima u danom vremenu ili tijekom danog vremenskog intervala [1].

Kvaliteta električne energije je složen pojam koji se može definirati kao obilježje električne energije u određenoj točki elektroenergetskog sustava promatrano u usporedbi s referentnim tehničkim parametrima [2]. Tehnički se parametri određuju preporukama koje se donose na međunarodnoj razini i mogu, ali ne moraju, biti zakonski obvezujuće.

Električna energija je 1985. g. europskom direktivom [3] definirana kao roba. Shvaćanje električne energije kao robe kod nas još nije saživjelo, no na dereguliranom tržištu to je činjenica. Svaka roba na konkurentnom tržištu mora zadovoljavati određene kriterije da bi je kupci kupovali i bili zadovoljni njome. U ovom se radu razmatra najsloženiji kriterij, a to je kvaliteta električne energije.

2. DEFINICIJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Definirajmo, dakle, kvalitetu električne energije kao obilježje električne energije u određenoj točki elektroenergetskog sustava promatrano u usporedbi s referentnim tehničkim parametrima.

Referentne vrijednosti tehničkih parametara se određuju na temelju višegodišnjih iskustava stečenih analizama stanja u elektroenergetskim mrežama i to dogovorima na međunarodnoj razini. Primjer jednog takvog dogovornog tehničkog parametra je frekvencija napona koja u Europi iznosi 50 Hz.

Neke od međunarodnih organizacija koje definiraju vrijednosti tehničkih parametara su IEC (International Electrotechnical Commission), CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy), CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques - International Council On Large Electric Systems), ANSI (American National Standards Institute) i dr.

U preporukama, koje ove organizacije daju, definiraju se referentne (nazivne) vrijednosti tehničkih parametara, kao i njihova preporučena odstupanja od tih vrijednosti. Ukoliko pojedini parametar varira unutar preporučenih granica, to ne bi trebalo uzrokovati poteškoće u elektroenergetskom sustavu, tj. smetnje u radu trošila i opreme, jer se trošila i oprema izrađuju s određenom tolerancijom što se tiče napajanja.

Bitno je reći da se međunarodne preporuke vezane za kvalitetu električne energije stalno usavršavaju i nadopunjuju, te da se provode stalne analize i mjerenja kvalitete električne energije u elektroenergetskim mrežama širom svijeta.

3. ELEMENTI KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Važnost pojedinih elemenata kvalitete električne energije se mijenjala s gospodarskim razvojem. U početku, kada je većina trošila bila radnog karaktera, osnovna je bila dostupnost električne energije, te da napon i frekvencija, ukoliko odstupaju od nazivnih vrijednosti, budu u razumnim granicama. Kada je glavni problem dostupnost električne energije, tada propadi, tranzijenti i slične smetnje nemaju veliki utjecaj na pojam kvalitete električne energije.

S naprednijim ekonomskim razvojem kontinuitet opskrbe, vrijednost napona te frekvencija i dalje ostaju bitni parametri, no uzimaju se zdravo za gotovo, pa se naglasak pomiče na skupinu karakteristika koje danas podrazumjevamo pod pojmom kvalitete električne energije.

Tehničke karakteristike električne energije isporučene potrošaču se promatraju preko opskrbnog napona, tj. njegove veličine, valnog oblika i frekvencije, te mogućih smetnji.

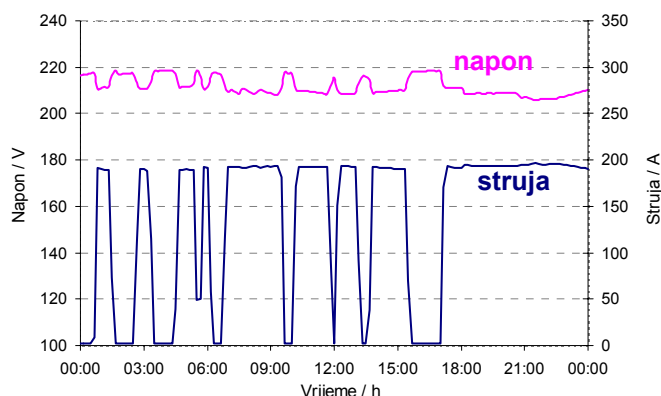
Tehnički parametri električne energije, tj. napona, koji se promatraju su:

- mrežna frekvencija
- veličina napona
- promjene napona
- treperenje napona
- propadi napona
- kratkotrajni prekidi napona
- duži prekidi napona
- privremeni mrežni prenaponi između faznih vodiča i zemlje
- impulсни prenaponi između faznih vodiča i zemlje
- nesimetrija napona
- naponi viših harmonika
- naponi međuharmonika
- signalni naponi

Mrežna frekvencija je broj titraja naponskog vala u sekundi. U europskim elektroenergetskim mrežama ona iznosi 50 Hz.

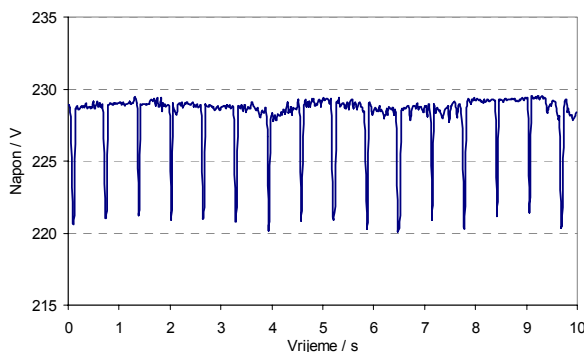
Veličina napona je definirana kao efektivna vrijednost napona na mjestu predaje električne energije u određenom trenutku, mjerena u određenom vremenskom periodu. Referentna vrijednost određena je nazivnim naponom mreže.

Promjene napona su odstupanja napona od nazivne vrijednosti. Uzrokovane su promjenama opterećenja, tj. uključivanjem i isključivanjem velikog broja trošila ili kvarovima u elektroenergetskom sustavu. Primjer promjena napona prikazan je na slici 1.



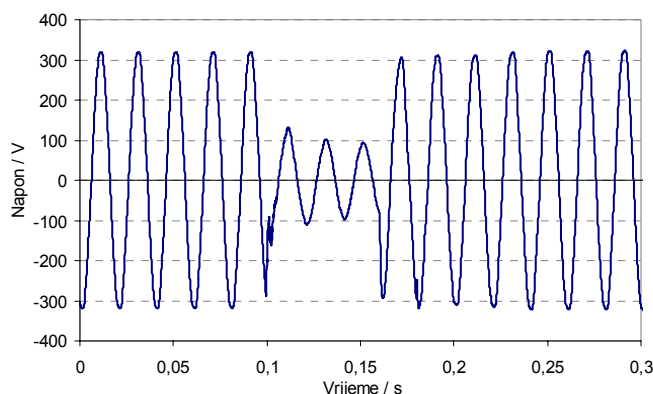
Slika 1. Primjer promjene napona uzrokovane promjenom opterećenja

Treperenje napona su oscilacije vrijednosti napona koje se ponavljaju. Flickeri su definirani kao vidom zamjetljivo treperenje, izazvano svjetlosnim podražajem uz vremensko kolebanje svjetlosne gustoće ili spektralne razdiobe. Jednostavnije rečeno, to je titranje svjetlosti žarulje. Uzroci treperenja su nagle učestale promjene opterećenja uzrokovane radom npr. elektrolučnih peći, fotokopirnih strojevi, aparatima za zavarivanje i sl. Uočavanje treperenja ovisi od osobe do osobe, tj. o senzibilnosti oka. Jakost treperenja se definira putem uočavanja: svjetlosno treperenje se pojačava do trenutka kada od 100 osoba njih 50 uoči treperenje, tada se kaže da treperenje ima vrijednost 1. Ljudskom oku najviše smetaju flickeri frekvencije od 7 do 10 Hz. Primjer treperenja napona prikazan je na slici 2.



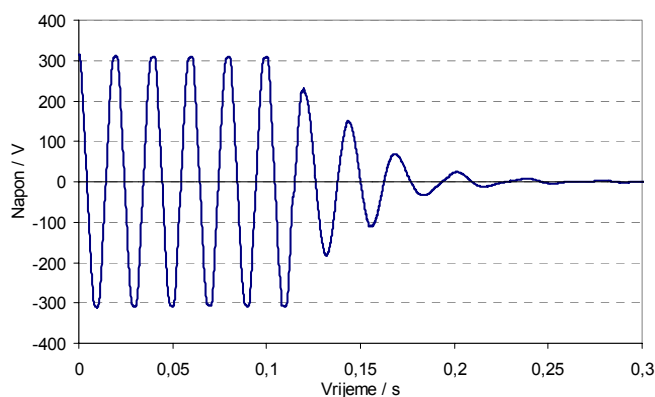
Slika 2. Primjer treperenja napona

Propad napona se definira kao privremeno smanjenje vrijednosti napona ispod unaprijed određene granice. Te su granice najčešće u opsegu od 90 % do 1 % nazivne vrijednosti. Propadi su najčešće uzrokovani kvarom u sustavu ili naglim povećanjem opterećenja. Uobičajeno se klasificiraju po dubini i trajanju. Primjer propada napona prikazan je slikom 3.



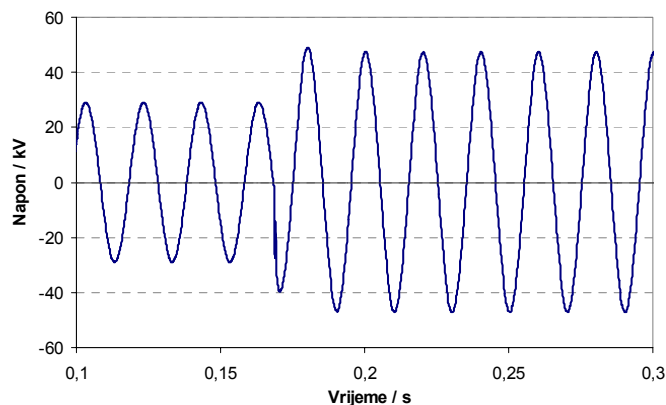
Slika 3. Primjer propada napona

Prekid napona je stanje pri kojem napon nestane. U većini preporuka se smatra da je nastupio prekid kada napon padne ispod 1 % svoje nazivne vrijednosti. Prekidi se dijele na duge i kratke, pri čemu se u većini preporuka kao dugi prekid definira onaj trajanja dužeg od 3 minute. Bitno je naglasiti da se u ove prekide napona, dakle one vezane uz kvalitetu električne energije, ne ubrajaju i ona isključenja napajanja unaprijed najavljena i planirana. Primjer prekida napona prikazan je slikom 4.



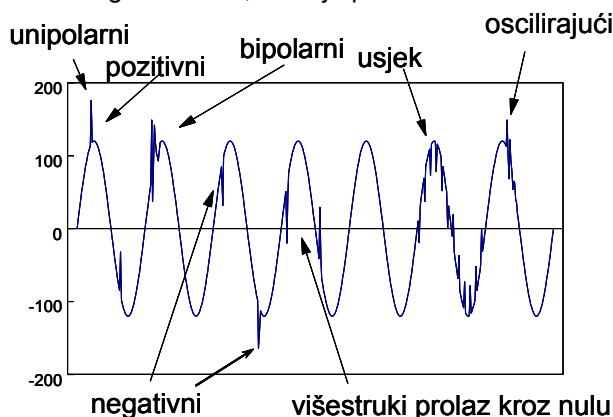
Slika 4. Primjer prekida napona

Prenapon je stanje pri kojem napon poraste preko neke unaprijed određene granice. Kratkotrajni se prenaponi u mreži javljaju u slučaju kvara ili su uzrokovani sklopnim manipulacijama, udarima groma i sl. Njihova vrijednost uglavnom ovisi o načinu uzemljenja mreže. Primjer prenapona prikazan je na slici 5.



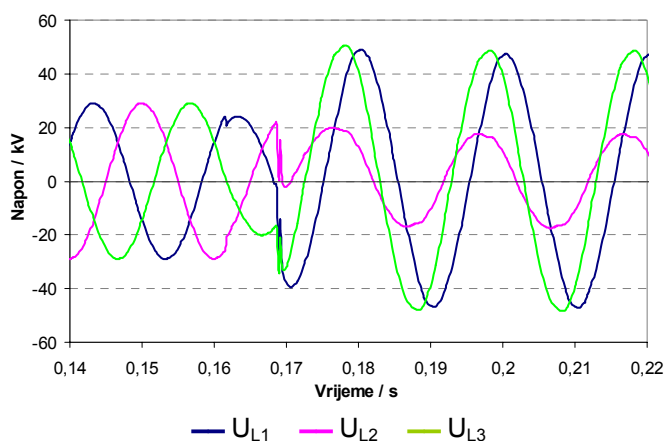
Slika 5. Primjer prenapona

Impulsni prenapon (tranzijent) je visokofrekvencijska promjena napona u trajanju kraćem od jedne periode. Mogu biti uzrokovani sklopnim operacijama u mreži, udarima groma, uklapanjima kapacitivnih tereta i td. Oblici im mogu biti razni, kako je prikazano na slici 6.



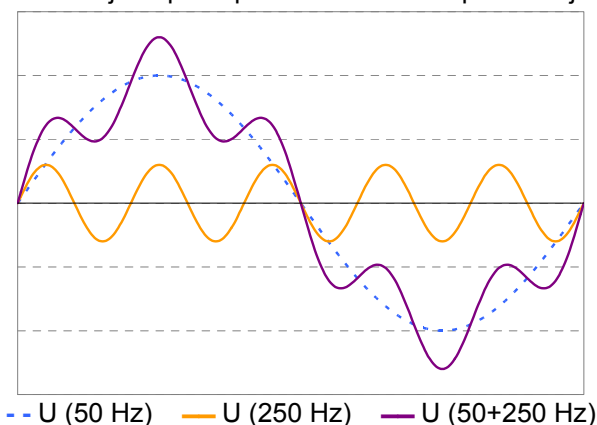
Slika 6. Primjer vrsta tranzijenata

Nesimetrija napona je stanje pri kojem se naponi u tofaznom sustavu međusobno razlikuju po iznosu ili ukoliko kut između pojedine dvije faze nije 120° . Mjerilo nesimetričnosti napona je definirano kao omjer inverzne i direktne komponente. Nesimetrija u distribucijskim mrežama je uzrokovana neravnomjernom raspodjelom tereta po fazama ili kvarom. Primjer nesimetrije uzrokovane kvarom prikazan je na slici 7.



Slika 7. Primjer nesimetrije uzrokovane kvarom

Naponi viših harmonika su sinusoidalni naponi frekvencija koje su cjelobrojni višekratnici osnovne frekvencije. Viši su harmonici nepoželjni u mrežama jer se zbrajaju na osnovni val i izobličuju ga, što uzrokuje probleme u napajanju osjetljivih trošila, npr. medicinske opreme, koja zahtjeva čisto sinusoidalni napon. Primjer izobličenja napona petim harmonikom prikazan je na slici 8.



Slika 8. Primjer harmonički izbličenog naponskog vala

Naponi međuharmonika su sinusoidalni naponi frekvencija koje nisu višekratnici osnovne frekvencije. Danas se razina međuharmonika u elektroenergetskim mrežama povećava zbog sve učestalije upotrebe pretvarača frekvencija i sličnih uređaja. Međuharmonici su opasni jer mogu ometati MTU signal.

Signalni naponi su naponi superponirani na osnovni naponski val, a koriste se za upravljanje trošilima i opremom (primjerice MTU signal). Njih je potrebno kontrolirati kako ne bi imali nepoželjan utjecaj na ostala trošila u sustavu.

Jasnija slika stanja kvalitete električne energije dobije se ukoliko se u razmatranje uključe i karakteristike opterećenja, jer je upravo ono u najvećoj mjeri uzrokom pogoršanja kvalitete električne energije.

Osim loše kvalitete napajanja, smetnje u radu trošila mogu biti uzrokovane i elektromagnetskim djelovanjem drugih elemenata elektroenergetske mreže.

Na području elektromagnetskog međudjelovanja elektroenergetskog sustava te trošila i opreme priključenih na njega postoje dvije razine podudaranja. Jedna je razina definirana kao emisija smetnji koju trošilo smije emitirati pri svom radu, a da pri tome ne uzrokuje smetnje u radu drugih trošila. Druga je razina elektromagnetskog djelovanja koje pojedino trošilo može podnijeti, a da ga te smetnje ne ometaju u radu. Obje se razine definiraju preporukama koje koriste proizvođači opreme/trošila pri njihovoj proizvodnji. Te se preporuke mogu koristiti kasnije za kontrolu emisije strujnih harmonika koje trošilo daje u mrežu pri svom normalnom pogonu.

4. PREPORUKE KOJE DEFINIRAJU ELEMENTE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Preporuke s područja kvalitete električne energije su dokumenti koje izdaju međunarodne organizacije, a u kojima se daju preporučena odstupanja pojedinih tehničkih parametara električne energije.

Na području Europske zajednice se kvaliteta napona osigurava u skladu s postavkama preporuke EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems" [4].

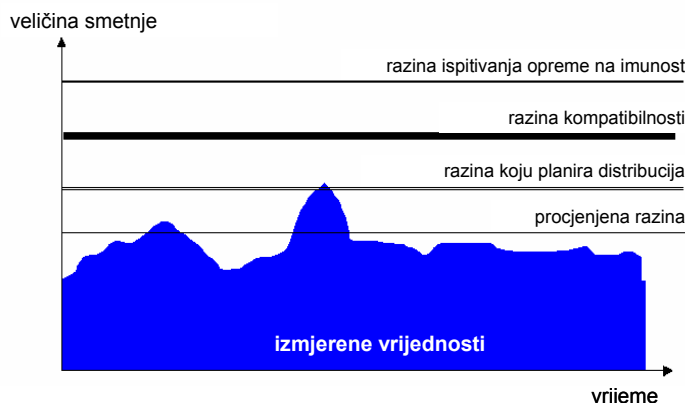
Osim napona, za kvalitetu električne energije bitan je i karakter opterećenja.

Najviše smetnji kvaliteti električne energije uzrokovano je radom trošila. Većina trošila koja se danas koriste nelinearnih je karakteristika, što znači da pad napona na njima nije linearno razmjern struji. Ona iz elektroenergetske mreže uzimaju nesinusoidalnu struju, koja zatim stvara nesinusoidalne padove napona na ostalim elementima sustava. Ti se padovi napona zatim zbrajaju na osnovni sinusoidalni val opskrbnog napona frekvencije 50 Hz uzrokujući njegovo izobličenje čime se narušava kvaliteta napajanja ostalim potrošačima priključenima na istu elektroenergetsku mrežu.

Preporuke koje promatraju karakter opterećenja u distribucijskim mrežama su one s područja elektromagnetske kompatibilnosti. To su primjerice preporuke IEC 61000-3-2 "Limits for harmonic current emissions equipment input current ≤ 16 A per phase" [5], IEC 61000-3-4 "Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A" [6], te IEC 61000-3-6 "Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems" [7].

Američka preporuka za kvalitetu električne energije, tj. točnije ona koja daje preporučene razine harmoničkih viših frekvencija u struji i naponu jest IEEE 519-1992 "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems" [8].

Na slici 9. je prikazan princip prema kojem se preporukama određuju dopuštene granice smetnji (razina kompatibilnosti). Prilikom planiranja distribucijskih mreža treba pretpostaviti strožije kriterije nego one koje daju preporuke, tako da bi se u slučaju prelaska planiranih razina, još uvijek smetnje nalazile ispod preporučenih razina. Proizvođači opreme pak moraju izrađivati opremu tako da podnosi razine smetnji veće od onih danih preporukama, kako bi, i u slučaju prelaska preporučenih razina, oprema još uvijek bila imuna na te smetnje.



Slika 9. Razine kompatibilnosti

4.1. Preporuka EN 50160

U većini europskih zemalja na snazi je preporuka EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems" koju je 1994. godine donio Europski odbor za standardizaciju u elektrotehnici CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Ona definira tehničke karakteristike napona u javnim elektrodistribucijskim mrežama naponskih nivoa do 35 kV. Ta je preporuka službeno u upotrebi od srpnja 1995. godine.

U Republici Hrvatskoj ta preporuka još nije uvažena, no kako odgovarajuća hrvatska preporuka s tog područja ne postoji, pri mjerenju kvalitete električne energije u DP Elektri Zagreb se koristimo njome. Za pretpostaviti je da će preporuka EN 50160 u skorije vrijeme biti prihvaćena kao službena norma i u Republici Hrvatskoj. Napomenimo da je u Republici Sloveniji ta preporuka prihvaćena 1999 g. pod nazivom SIST EN 50160.

Preporuka EN 50160 daje kvantitativne odlike kvalitete napona u slučaju normalnog pogonskog stanja. Svrha joj je opisati i utvrditi obilježja distributivnog napona, pri čemu se ne opisuju prosječne vrijednosti promatranih parametara, već se definiraju najveća odstupanja pojedinih parametara, koja se mogu očekivati u distribucijskoj elektroenergetskoj mreži.

Period mjerenja određen preporukom EN 50160 je sedam dana bez prestanka. Mjerni isječki, u kojima se promatra pojedini parametar, su desetminutni intervali, osim za frekvenciju, koja se promatra u vremenskim isječcima od deset sekundi.

Preporuka EN 50160 propisuje granice parametara koje moraju biti zadovoljene unutar 95 % perioda mjerenja, dok su u ostalih 5 % slučajeva granice parametara šire ili čak nisu propisane.

Primjer preporučanih odstupanja veličine napona prema EN 50160 je $\pm 10\%$ od nazivne vrijednosti u 95 % promatranog vremenskog intervala, dok je u 5 % preostalog perioda preporučeno odstupanje $+10/-15\%$.

4.2. Preporuke IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4, IEC 61000-3-6

Preporuke IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4 i IEC 61000-3-6 su preporuke elektromagnetske kompatibilnosti i definiraju granice viših harmonika u struji koje oprema smije emitirati u mrežu, a da oni ne izazovu smetnje u radu drugih elemenata elektroenergetskog sustava.

Preporuka IEC 61000-3-2 (Limits for harmonic current emissions equipment input current ≤ 16 A per phase) definira granice harmoničkih struja koje oprema emitira u javnu distribucijsku mrežu, a odnose se na električnu ili elektroničku opremu priključenu na niskonaponsku javnu distribucijsku mrežu nazivne struje do 16 A po fazi. To su primjerice rasvjetna tijela, prijenosni uređaji, sva elektronička oprema, uređaji koji se koriste u domaćinstvima i sl.

Preporuka IEC 61000-3-4 (Limitation of emission of harmonic currents in low voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A) definira granice harmoničkih struja koje oprema priključena na javnu niskonaponsku distribucijsku mrežu smije emitirati, a odnose se na električnu ili elektroničku opremu priključenu jednofazno s nazivnom strujom većom od 16 A.

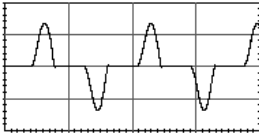
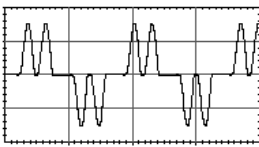
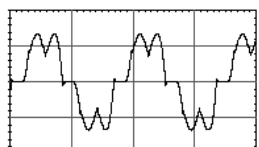
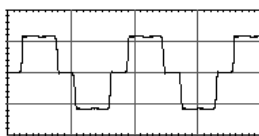
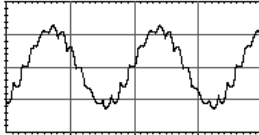
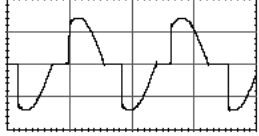
Kako takvi tereti mogu imati značajan utjecaj na distribucijsku mrežu na koju su priključeni, često distribucijsko poduzeće zahtijeva posebne uvjete prilikom izvođenja priključka takvog potrošača na mrežu.

Ova preporuka daje informaciju koja distribucijskom poduzeću pomaže da procijeni opremu, te da odredi da li se i kako takva oprema smije priključiti na javnu distribucijsku mrežu.

Preporuka IEC 61000-3-6 (Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems) daje smjernice distribucijskom poduzeću kako da uvjetuje priključak potrošačkog postojenja s teretima koji bi mogli izazvati harmonička i međuharmonička izobličenja u srednje i visokonaponskoj elektroenergetskoj mreži na koju se priključuju. Ova se preporuka uglavnom bavi harmoničkim izobličenjem napona, no daju se i neke indikativne vrijednosti za granice strujnih harmonika koje se mogu upotrijebiti.

Primjer nekih potrošača koji generiraju više harmoničke članove u struji prikazan je u tablici I.

Tablica I. Primjeri nekih trošila koja proizvode više harmonike

Tipično trošilo priključeno na nn, SN ili VN mrežu	Tipičan valni oblik struje	Tipično ukupno harmoničko izobličenje (THD)
jednofazni napajajući sklop (ispravljač i kondanzator)		80 % (visok udio 3. harmonika)
6-pulsni ispravljač s kondenzatorom bez induktiviteta		80 %
6-pulsni ispravljač s kondenzatorom i induktivitetom > 3% ili DC pogon		40%
6-pulsni ispravljač s velikim induktivitetom za izgladivanje struje		28 %
12-pulsni ispravljač		15 %
AC naponski regulator		ovisi o kutu paljenja

4.3. Preporuka IEEE 519

Preporuka IEEE 519 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems) je američki standard po pitanju viših harmonika i kvalitete električne energije općenito na svim naponskim nivoima, od niskog napona pa sve do napona većih od 161 kV.

Ova preporuka u točki priključka potrošača na elektroenergetski sustav određuje granice strujnih viših harmonika koje trošila ili potrošačko postrojenje smiju emitirati u distribucijsku elektroenergetsku mrežu na koju su priključeni. Dozvoljene granice strujnih harmonika koje potrošač smije emitirati u mrežu ovise o naponskom nivou te snazi kratkog spoja na mjestu priključka, a iznosi su im dani relativno u odnosu na prosječnu maksimalnu struju tereta.

Propisane su i granice naponskih viših harmonika u točki priključenja.

4.4. Usporedbe preporuka

U tablici II. dana je usporedba propisanih vrijednosti tehničkih parametara koje donose neke od preporuka s područja kvalitete električne energije i elektromagnetske kompatibilnosti (EMC).

Tablica II. Usporedba propisanih graničnih vrijednosti tehničkih parametara prema preporukama [9]

područje	Kvaliteta električne energije			EMC	
organizacija	CENELEC	EDF	Eskom	IEEE	CENELEC
preporuka	EN 50160	Contract émeraude	ESKASAA 18	IEEE 519	IEC 61000-2-2
područje primjene	nn i SN	SN	-	SN i VN	nn
promjene napona	$\pm 10\%$ ³	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	-	$\pm 10\%$
nesimetrija	2 % (3 %)	2 %	2 %	-	2 %
viši harmonici	0,5 – 6,0 % (tablica)	0,5 – 6,0 % (tablica)	EPCC	< 69 kV 3 % ²	0,2 – 6,0 % (tablica)
				< 161 kV 1,5 % ²	
				> 161 kV 1,0 % ²	
THD	8 %	8 %	6 %	< 69 kV 5 %	8 %
				< 161 kV 2,5 %	
				> 161 kV 1,5 %	
međuharmonici	-	-	EPCC	-	0,2 %
signalni naponi	ograničenje krivuljom	-	-	-	-
flicker	$P_{lt}=1$	$P_{lt}=1$	$P_{st}=1$	granična krivulja	UIE-krivulja
prekidi (kratki)	10 - 100 godišnje	2 - 36 godišnje ¹	-	-	-
prekidi (dugi)	10 - 50 godišnje	2 – 6 godišnje ¹	-	-	-
propadi	10 - 1000 godišnje	-	tablica	-	1 – 4 mjesečno
frekvencija u povezanim mrežama	$\pm 1\%$ (+ 4 / - 6 %)	$\pm 1\%$	$\pm 2,5\%$	-	$\pm 1\text{ Hz}$
frekvencija pri otočnom pogonu	$\pm 2\%$ ($\pm 15\%$)	+ 4 / - 6 %	-	-	-
mrežni prenaponi	nn: < 1,5 kV SN: < 2 U _n	-	-	-	-
tranzijentni prenaponi	nn: < 6 kV SN: -	-	-	-	-

¹ Ovisno o tipu potrošača (gradsko područje, seoska mreža...)

² IEEE 519 definira preporučene granice viših harmonika relativno u odnosu na maksimalnu struju tereta, te u ovisnosti o struji kratkog spoja na mjestu priključka potrošača

³ + 6 / - 10% u nn mrežama do 2003. g.

EDF – Electricite de France

Eskom – Elektroenergetsko poduzeće Republike Južne Afrike

5. MJERENJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Mjerenje kvalitete električne energije se provodi prikupljanjem mjernih veličina (vrijednosti struja, napona i frekvencije) unutar određenog vremenskog intervala. Kasnije se ti podaci obrađuju u skladu s preporukama za kvalitetu električne energije programskom podrškom na računalu. Rezultat takvih mjerenja je tvrdnja da li kvaliteta električne energije na promatranom mjestu u mreži zadovoljava ili ne zadovoljava preporuke.

Danas većina instrumenata, koja se koristi na području mjerenja kvalitete električne energije, ima u svojoj programskoj podršci ugrađene postavke preporuka za kvalitetu električne energije (najčešće

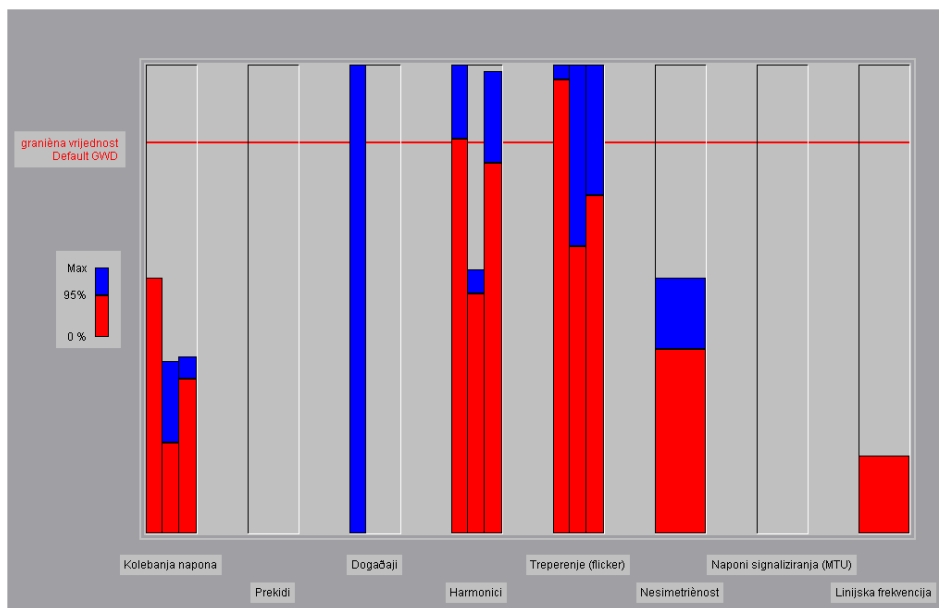
EN 50160), pa se izvještaji o kvaliteti napona u promatranoj točki unutar preporukom propisanog vremenskog intervala mogu automatski izraditi.

Ukoliko nas interesira samo neki od parametara kvalitete električne energije, a ne cjelokupna slika kvalitete, npr. samo harmonička analiza stanja u nekoj točki elektrodistributivne mreže, postoje instrumenti, kojima se podešenja mogu prilagoditi za takve namjene, pri čemu se granice parametara mogu preuzeti iz preporuke. Tako primjerice neki registratori napona iz preporuke EN 50160 preuzimaju dopuštene granice naponskih varijacija (veličinu napona, granice za propade i prenapone) i mjerni period od 10 minuta, dok druge veličine zanemaruju (npr. titranje napona).

Svi ovi instrumenti uglavnom služe za mjerenje kvalitete napona na zahtjev, pa im je izvedba prijenosna, a podešavanje parametara instrumenta i očitavanje izmjerenih podataka se vrši izravnim spajanjem računala na mjerni uređaj komunikacijskim kabelom.

Osim mjerenja kvalitete električne energije na zahtjev ili periodičkih mjerenja, postoje i sustavi za trajno praćenje kvalitete električne energije u sustavu. Takav se sustav sastoji od mjernih uređaja trajno priključenih na npr. 10 kV stranu transformatora u TS 110/10 kV, komunikacijske veze putem koje se podaci daljinski prikupljaju, te od centralnog računala na kojem se prikupljeni podaci spremaju i obrađuju, te se na temelju njih izrađuju izvještaji.

Primjer jednog dijela izvještaja o sukladnosti napona s postavkama preporuke EN 50160 prikazan je na slici 10. Crvena linija predstavlja graničnu vrijednost parametra prema EN 50160 koja mora biti zadovoljena u 95 % promatranog mjernog perioda. Crveni stupci prikazuju vrijednosti koje su bile postignute tijekom 95 % promatranog vremena relativno u odnosu na preporučenu vrijednost. Plavi stupci prikazuju vrijednosti koje su bile zabilježene u ostalih 5% promatranog vremenskog intervala, koji za preporuku EN 50160 iznosi 7 dana.



Slika 10. Grafički prikaz kvalitete napona mjerenog prema EN 50160

Da bi izmjereni rezultati kvalitete električne energije bili važeći za javnu prezentaciju, prema IEC 61000-4-30 [2] trebaju biti izmjereni instrumentom klase A. Za sve druge potrebe ili interne potrebe dovoljno je upotrebljavati instrumente klase B.

6. POTROŠAČI I DISTRIBUCIJA

Bitni pokazatelj narušavanja kvalitete električne energije su žalbe potrošača koji primjećuju poremećaje u radu svojih električnih trošila. Na temelju tih pritužbi pristupa se mjerenju na dijelu elektroenergetske mreže na kojoj je potrošač uočio smetnje. Mjerenjima se ustanovljuje moguća greška ili smetnja, a rezultat mjerenja je uklanjanje mogućih nedostataka i povećanje kvalitete električne energije.

Osim mjerenja iniciranih pritužbama, mjerenja se provode i periodički u svrhu provjere i potvrđivanja zadanih parametara kvalitete električne energije.

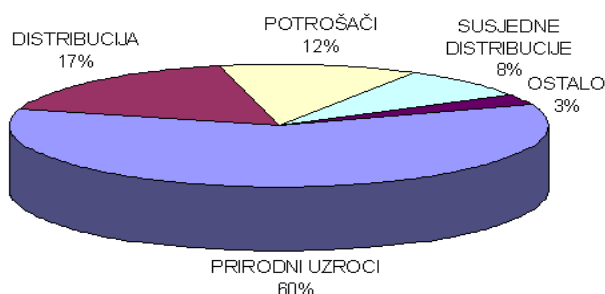
Jedan od razloga za stalno ili povremeno praćenje kvalitete električne energije jest upravo otklanjanje mogućih uzroka tužbi potrošača radi loše kvalitete napajanja. Svaka takva pravovaljana tužba može biti uzrokom financijskih gubitaka distribucijskog poduzeća.

Često potrošači ne znaju svoje probleme pretočiti u riječi, pa tako postoje zahtjevi potrošača da im se izmjeri "napon struje" ili uzrok svojih problema opisuju kao "padanje struje i napona". No to nas ne smije spriječiti da potrošaču pomognemo u otkrivanju i, ukoliko je u našoj nadležnosti, otklanjanju smetnje.

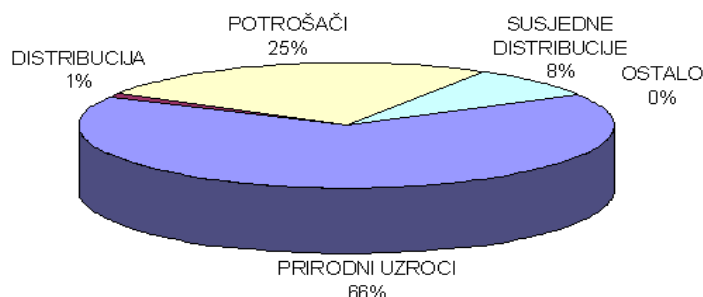
No, potrebno je biti svjestan činjenice da su u najvećoj mjeri upravo potrošači ti koji narušavaju kvalitetu električne energije radom svojih trošila.

Na temelju rezultata mjerenja provedenog u skladu s preporukom za kvalitetu električne energije, najčešće prema EN 50160, utvrđuje se opravdanost pritužbe potrošača, te mogući uzrok smetnje. Pri tome je važno utvrditi tko je odgovoran za stvaranje smetnje: da li ona dolazi iz distribucijske mreže ili ju je potrošač sam uzrokovao. Posljedica ustanovljavanja smetnje mora biti njeno otklanjanje, bez obzira na to tko joj je uzročnik.

Na slikama 11. i 12. koje se temelje na istraživanju Georgia Power Survey provedenom u SAD moguće je vidjeti kolika su preklapanja i razilaženja u mišljenjima distribucijskog poduzeća i potrošača o tome koji su uzročnici problema s opskrbom električne energije.



Slika 11. Uzročnik problema – stav korisnika



Slika 12. Uzročnik problema - stav distribucije

Ako se pogledaju gornja dva prikaza onda se vidi da svaka strana zastupa stav "manje" krivice za probleme s opskrbom. Istina je vjerojatno negdje na sredini. Kada tržište električnom energijom postane deregulirano, postotak krivice će se bitno promijeniti: i distributer (opskrba) i potrošač će imati manji postotak krivice.

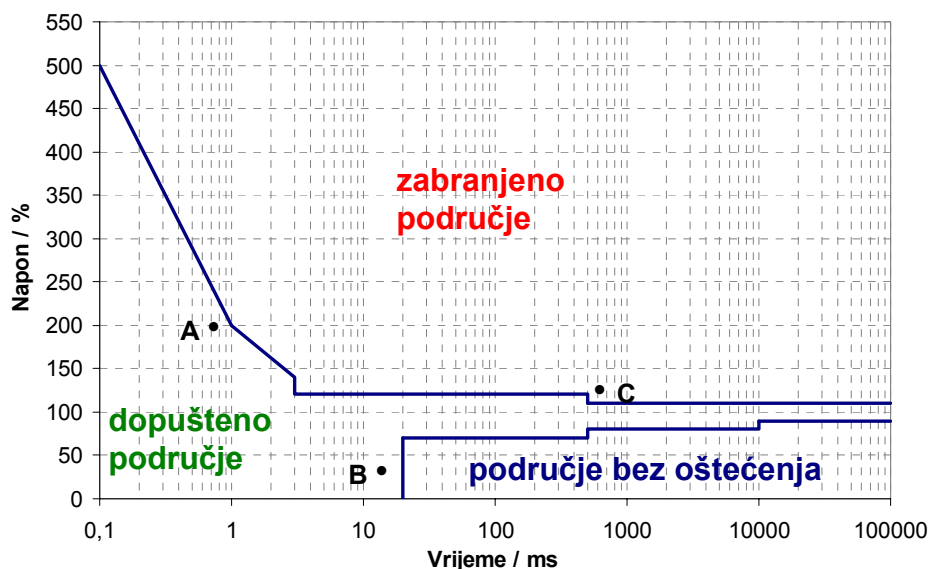
Odgovornosti sudionika u radu elektroenergetskog sustava se mogu podijeliti na sljedeći način: potrošači su dužni kontrolirati emisije harmoničkih struja uzrokovane radom svojih trošila u javnu distribucijsku mrežu, dok je distribucijsko poduzeće obavezno održavati kvalitetno napajanje potrošača.

Udruge proizvođača elektroničke opreme su objavile preporuke koje definiraju vrijednosti nekih parametara kvalitete električne energije pri kojima, ukoliko su zadovoljeni, proizvođači garantiraju da će njihova oprema zadovoljavajuće raditi. Primjer je organizacija ITIC (Information Technology Industry Council, nekadašnja CBEMA - Computer & Business Equipment Manufacturers Association) koja je klasificirala promjene napona prema trajanju i dubini, što je prikazano na slici 13. Ukoliko se neka naponska promjena nalazi unutar preporučenih granica, to neće nepovoljno utjecati na rad trošila/opreme.

Osim ove karakteristike sa slike 13. koja prikazuje dozvoljenu dužinu trajanja naponskog odstupanja od nazivne vrijednosti za informatičku opremu, postoje i karakteristike koje su dali proizvođači drugačijih tipova opreme npr. avio-industrija, vojna industrija i sl. Dakle, ovakvim krivuljama dozvoljenih

naponskih karakteristika dane su kvalitativne granice. Ne bi bilo loše ove krivulje imati na umu kada se projektira ili planira mreža koja će napajati potrošače čiji rad zahtjeva poštivanje takvih krivulja dopuštenih izobličenja napona.

Interesantno je uočiti da će prema karakteristici sa slike 13. informatička oprema raditi korektno ukoliko se "dogode" točke A i B, ali neće raditi korektno ukoliko se "dogodi" točka C.



Slika 13. Preporučena odstupanja napona prema ITIC za opremu $U_n=120\text{ V}$, 60 Hz

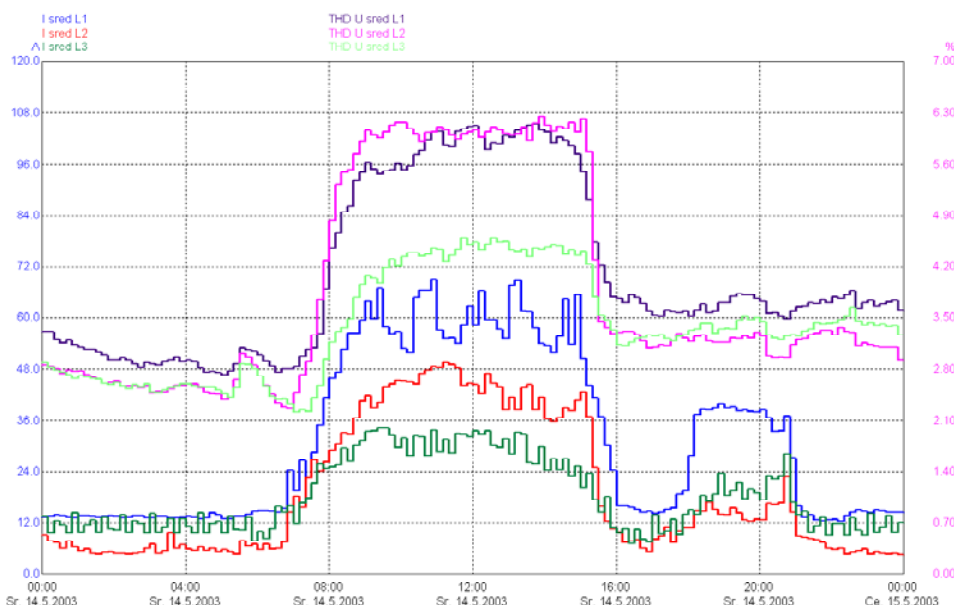
7. IZVORI SMETNJI

Većina propada i prekida napona nastaje u distribucijskim i prijenosnim mrežama pa odgovornost za njih leži kod distributera ili elektroprivrednog poduzeća. No za probleme uzrokovane višim harmonicima u sustavu su gotovo uvijek odgovorni potrošači.

Velik dio smetnji kvaliteti električne energije uzrokovan je radom trošila i to onih nelinearnih karakteristika. Kako se u zadnjih nekoliko godina broj nelinearnih trošila znatno povećao, tako je i njihov utjecaj na elektroenergetsku mrežu, gledano sa stajališta kvalitete električne energije, sve veći. Istovremeno, takva su trošila osjetljiva na promjene sinusoidalnog napona i zahtjevaju njegovu stabilnost za svoj rad.

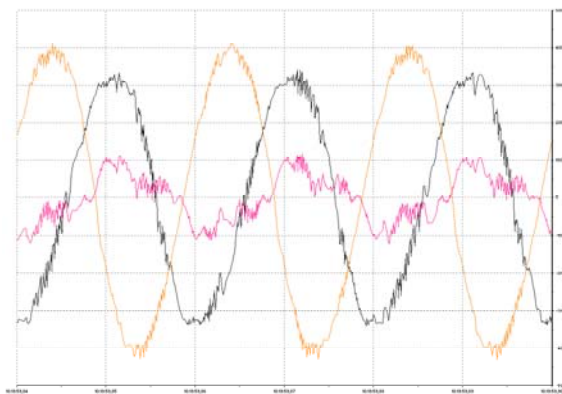
Iako neko trošilo samo nije uzrok velikog izobličenja napona, više istih i/ili sličnih trošila, koja rade istovremeno, mogu biti uzrokom značajnih izobličenja valnog oblika opskrbnog napona. To se naziva sumacijski efekt. Takva su trošila TV uređaji, osobna računala, štampači, štedne žarulje, uređaji za klimatizaciju i sl. Na slici 14. prikazan primjer harmoničkog izobličenja napona u jednoj uredskoj zgradi koji je uzrokovan teretom (vidljivo je iz korelacije porasta tereta i harmoničkog izobličenja).

Velik dio harmoničkog izobličenja u elektroenergetskoj mreži su i industrijski tereti. To su uređaji koji sadrže sklopove energetske elektronike, pogoni s motorima promjenjivih brzina, indukcijske peći, lučne peći itd.

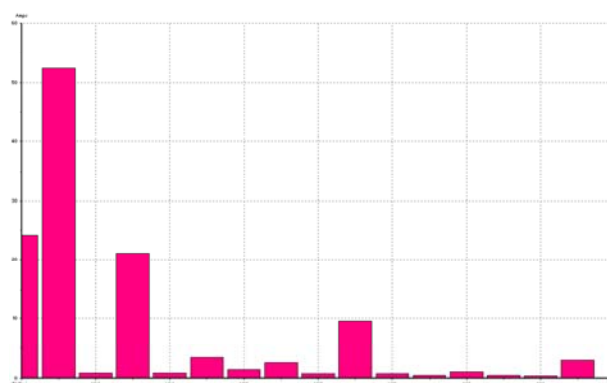


Slika 14. Primjer naponskog harmoničkog izobličenja (THD) uzrokovanog nelinearnim teretom

Nelinearna trošila generiraju više harmonike u struji. Posebno je problematičan treći viši harmonički član (150 Hz) koji se zbog svog karaktera u nultom vodiču trofaznog sustava zbraja, što taj vodič dodatno opterećuje i uzrokuje njegovo zagrijavanje. Na sici 15.a prikazan je valni oblik struje tereta u fazama L1 i L2, te u nultom vodiču jedne uredske zgrade. Vidljivo je da je fazna struja daleko od čiste sinusoide, te da struja kroz fazni vodič iznosi otprilike 1/3 struje faznih vodiča. Frekvencijskom analizom valnih oblika faznih struja dobiven je udio 3. harmonika od otprilike 7 A po fazi. Frekvencijska analiza struje nultog vodiča (prkazana na slici 15.b) pokazuje nam vrijednost 3. harmonika od 21 A, što je upravo zbroj vrijednosti 3. harmonika iz faznih vodiča.

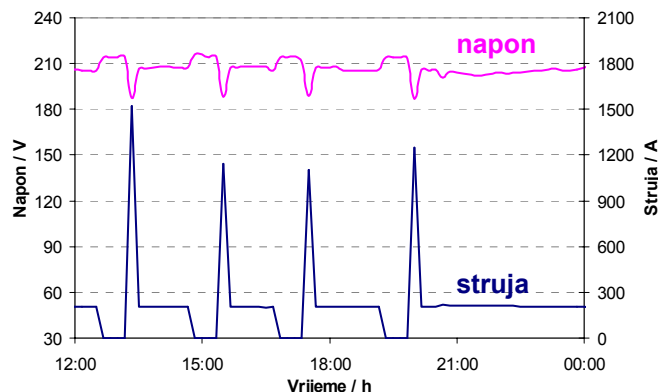


Slika 15.a Valni oblik struje tereta i struje nultog vodiča jedne uredske zgrade



Slika 15.b Frekvencijska analiza struje nultog vodiča sa slike 15.a

Propadi napona su u niskonaponskim mrežama najčešće uzrokovani naglim povećanjem opterećenja, primjer čega je prikazan na slici 16.



Slika 16. Primjer propada napona uzrokovan naglim porastom opterećenja

Osim oscilacijama tereta, promjene napona, te prekidi i propadi su uzrokovani kvarovima u elektroenergetskom sustavu. Kvar, bez obzira na kojem se naponskom nivou dogodio, uzrokuje smetnje na svim naponskim nivoima, i višim i nižim od onog na kojem se dogodio. Zato je kvar potrebno što brže otkloniti, kako bi se trajanje smetnje svelo na najmanju moguću mjeru.

Najčešći primjer kvara jest jednopolni kratki spoj. U zračnim mrežama on je uzrokovan padom stabla, preskokom izolatora, malim životinjama ili pticama. Takav se kvar u distribucijskim stanicama uklanja proradom relejne zaštite s ciklusom automatskog pononovnog uklopa (APU). Pri jednopolnom kratkom spoju napon faze na kojoj je nastao kvar pada na nulu, a napon preostale dvije faze raste s faznog na linijski napon. Tako u jednoj fazi imamo pad napona ili čak prekid, a u druge dvije se javlja prenapon. Proradom relejne zaštite prekidač voda na kojem je nastao kvar se isklapa, što potrošačima napajanima putem tog voda uzrokuje prekid napajanja u sve tri faze, dok se na ostalom djelu mreže priključenom na iste sabirnice uspostavlja normalno pogonsko stanje. Uz aktiviran ciklus APU prekidač voda na kojem je nastao kvar će se nakon određenog vremena (najčešće 300 ms) ponovno uklopiti. Ukoliko je kvar bio prolaznog karaktera, npr. preskok iskre preko izolatora, tada se i na tom vodu uspostavlja normalno pogonsko stanje, pa je prekid napajanja za potrošače na tom vodu bio u dužini trajanja ciklusa APU-a. Ukoliko kvar na vodu i dalje egzistira, relejna će zaštita isključiti prekidač na vodu i opet izazvati prekid napajanja za potrošače na tom vodu, i to će trajati dok se kvar ne locira, pa se izvrši preklapanje dijela potrošača, ili do otklanjanja kvara.

8. POSLJEDICE SMETNJI

Jasno je da nekvalitetno napajanje uzrokuje poteškoće u radu trošila koja nisu projektirana za takve uvjete rada. Posljedice su kvarovi, smetnje te neispravan rad trošila.

Za procesnu industriju najveće štete su uzrokovane naponskim propadima ili prekidima napajanja kada se računalna oprema (mikroprocesori) koja upravlja procesima i trošilima "zamrzne". Pri tim se događajima očituje najveća razlika u shvaćanju kvalitete električne energije od strane distribucijskog poduzeća i potrošača. Ti su događaji kratkotrajni, pa ih je teško dokazati ukoliko ne postoji trajno praćenje stanja u elektroenergetskoj mreži.

Još je teže odrediti gubitke uzrokovane propadima ili prekidima. Distribucijsko poduzeće prekid napajanja promatra samo kroz cijenu energije neisporučene potrošačima, dok potrošač gubitak električne energije promatra kroz gubitke u proizvodnom procesu. Električna energija je relativno jeftina, a i prekidi napajanja su relativno kratki, dok gubitak u proizvodnom procesu može biti vrlo skup. Potrošaču je često nakon takvog prekida u proizvodnom procesu potrebno neko vrijeme da ga ponovo pokrene i sanira štetu koja je tim prekidom bila uzrokovana.

Sljedeći parametar koji uzrokuje najviše štete su viši harmonički članovi. Utjecaji harmoničkog izobličenja u elektroenergetskim mrežama ne moraju biti odmah vidljivi, no dugoročno mogu imati ozbiljne posljedice. Neki od najbitnijih su:

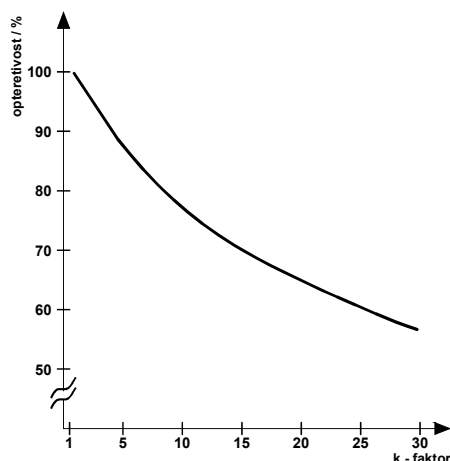
- opterećivanje potrošačkih instalacija i elemenata elektroenergetskog sustava naponima i strujama frekvencija za koje nisu projektirani;
- povećano zagrijavanje transformatora i neutralnih vodiča uzrokovano strujama viših harmonika čiji je red višekratnik broja 3, a posebno 3. harmonika koji se u neutralnom vodiču trofaznog sustava ne poništava, nego zbraja. Radi povećane razine 3. harmonika u

neutralnom vodiču može doći i do požara, zato što se neutralni vodič ne štiti od preopterećenja;

- pojačano zagrijavanje transformatora uzrokovano višim harmoničkim članovima, kao i efekti zasićenja u jezgri, uzrokuju smanjenje opteretivosti transformatora ispod nazivne snage u potrošačkim i postrojenjima elektrodistribucijskih poduzeća;
- pojava viših harmoničkih struja koje teku po elektroenergetskom sustavu mogu izazvati smetnje na telekomunikacijskim linijama;
- loš faktor snage povezan s nelinearnim teretima je odgovoran za značajan porast struja koje teku kroz elektroenergetski sustav i instalacije potrošača, a time i za značajan porast troškova uzrokovanih gubicima;
- smanjivanje životnog vijeka opreme i trošila radi npr. pojačanog opterećenja izolacije uzrokovano dodatnim zagrijavanjem.

Naponi viših harmonika razina viših od preporučenih granica, mogu biti uzrokom zamjene transformatora, sklopne opreme i vodova od strane distribucijskog poduzeća, uz jako velike troškove, iz razloga što je postojeća mreža preopterećena, jer harmoničko izobličenje uzrokuje dodatne tokove snage.

Na niskonaponskom nivou distribucijskih mreža ima smisla govoriti o još jednom parametru koji se u Europi ne razmatra, dok je u SAD poprilično bitan. Riječ je o k-faktoru transformatora. K-faktor je mjera za utjecaj viših harmoničkih članova u struji na transformator, a definiran je prema ANSI/IEEE preporuci C57.110-1986. K-faktor transformatora opisuje kako transformator podnosi dodatno zagrijavanje (gubitke) izazvane višim harmoničkim članovima u struji. Na temelju k-faktora se računa smanjenje raspoložive snage transformatora zbog dodatnih gubitaka. K-faktor se računa iz struje tereta i prema njemu se određuje potreban k-faktor transformatora. Ovisnost smanjenja opteretivosti transformatora o porastu k-faktora tereta, tj. harmoničkog izobličenja tereta, prikazana je na slici 17.



Slika 17. Ovisnost opteretivosti transformatora o k-faktoru tereta

Znači, transformator s većim k-faktorom može podnijeti veći nelinearni teret, tj. veće opterećenje snagama viših harmoničkih članova, a da mu se radi toga ne smanji opteretivost snagom na nazivnoj frekvenciji. Jasno je da su takvi transformatori zbog svoje konstrukcije skuplji, no s obzirom da su građeni za specijalne uvjete rada, imat će duži životni vijek od običnog distribucijskog transformatora ukoliko ih opteretimo istim harmonički izobličenim teretom.

9. EKONOMSKE POSLJEDICE

Kako je u prošlom poglavlju spomenuto, potrošači i distribucijsko poduzeće različito procjenjuju troškove gubitka električne energije.

Distribucijsko poduzeće posljedice loše kvalitete električne energije, koja u konačnici može uzrokovati kvar u sustavu, promatra kroz cijenu neisporučene električne energije i cijenu saniranja nastalog stanja. Potrošači lošu kvalitetu električne energije promatraju kroz gubitke u proizvodnom procesu i oštećenja opreme, koji mogu višestruko premašiti cijenu neisporučene im električne energije.

Distribucijsko poduzeće može doživjeti velike financijske gubitke putem odšteta temeljenih na pravovaljanim tužbama potrošača na nezadovoljavajuću kvalitetu isporučene električne energije.

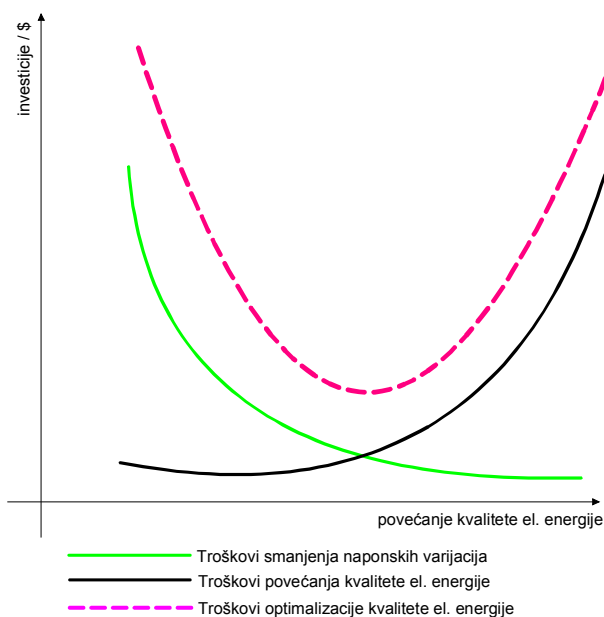
Distribucijsko poduzeće je dužno osigurati kvalitetno napajanje svim svojim potrošačima. Kako nije ponekad moguće odrediti jednog uzročnika (potrošača) loše kvalitete napona u nekom djelu mreže (sumacijski efekt), trošak mjera za saniranje takvog stanja pada na teret distribucijskog poduzeća. Primjer za to je ugradnja filterskih prigušnica za filtriranje viših harmonika ili povećanje presjeka nultog vodiča.

Analiza [10] mjera za saniranje pogoršanja kvalitete električne energije uzrokovano višim harmonicima (ugradnja aktivnih filtera u VN/SN transformatorske stanice i povećanje presjeka u nultog vodiča u niskonaponskim mrežama) provedena u Francuskoj (bruto nacionalni proizvod: 1400 bilijuna €, ukupna potrošnja el. energije godišnje: 450 GWh, stanovništvo: 60 milijuna) dovelo je do procijenjenih ukupnih dodatnih troškova u iznosu od 25 bilijuna €.

Harmoničke struje uzrokovane trošilima potrošača koje teku u elektroenergetskoj mreži dodatno opterećuju opremu i uređaje nužne za ispravno funkcioniranje sustava opskrbe električno energijom (transformatore, prekidače, vodove...). Osim što smanjuju prijenosnu moć elemenata elektroenergetskog sustava, uzrokuju i dodatne gubitke uzrokovane povećanim zagrijavanjem opreme čime joj se smanjuje životna dob.

Viši harmonički članova imaju velik utjecaj na transformatore. Osim što uzrokuju pojačano zagrijavanje transformatora i smanjenje životne dobi, oni stvaraju i efekt zasićenja u jezgri, čime uzrokuju smanjenje opteretivosti transformatora ispod nazivne. Proizvođači transformatora preporučuju transformatore snage 10 % veće, nego što je potrebno, ukoliko će transformator opskrbljivati energijom nelinearne terete snage veće od 30 % njegove nazivne snage. Isto se preporuča i za postrojenja za proizvodnju električne energije. [10] Kako bi se produžio životni vijek transformatora, poželjno je obratiti pažnju i na k-faktor transformatora prilikom planiranja razdjelnih mreža.

Troškovi održavanja, rekonstrukcije i zamjene opreme uzrokovani lošim stanjem kvalitete električne energije mogu biti veliki, no to je neophodno ulaganje kako bi se uspostavilo stanje stabilne opskrbe potrošača uz zadovoljavajuću kvalitetu električne energije. Za ta ulaganja važi prikaz sa slike 18. koji prikazuje optimizaciju troškova za rješavanje problema vezanih uz kvalitetu električne energije.



Slika 18. Krivulja optimalnih troškova za održavanje kvalitete električne energije

Problemi s napajanjem su izuzetno važni te o njima ovisi cijelo poslovanje tvrtke, grupacije, pa i države. Procjenjuje se da su troškovi nastali kao posljedica problema s napajanjem u SAD oko 26 milijardi \$ godišnje (izvor: InTech, rujan 1995. g.).

Velike štete se bilježe na sustavima informatičkih mreža, tvornicama papira, javnom prijevozu napajanom električnom energijom, tvornicama stakla itd. Troškovi "black out"-a u Kaliforniji, Italiji i Engleskoj su nezamislivi!

Dakle, problemi s kvalitetom električne energije nisu samo problemi "filozofskog" karaktera, već i vrlo opipljivog karaktera koji se očituje gubitkom velikog iznosa € i \$ kapitala.

10. SVJETSKI TRENDovi I MJERE ZA SMANJENJE SMETNJI

Svjetski trend je ulaganje u mrežu radi povećanja kvalitete električne energije, a uvjetovano je ugovorima o isporuci električne energije, u kojima je propisana kvaliteta robe koja se isporučuje kao i kazne za nepoštivanje tih uvjeta.

Najveći dio smetnji kvaliteti električne energije se može izbjeći prilikom planiranja distribucijskih mreža i prilikom priključivanja potencijalno problematičnih potrošača na elektroenergetsku mrežu.

Konkretno, prilikom planiranja treba uzeti u obzir karakteristike konzuma koji će taj dio mreže napajati, pa prema tome odabrati opremu (ukoliko većinu konzuma čine nelinearni tereti, treba predvidjeti ugradnju filterskih prigušnica, transformatora određenog k-faktora, nulte vodiče odgovarajućeg presjeka...). Također, ukoliko je za područje za koje se planira ili rekonstruira distribucijska mreža poznato da postoji velik broj prolaznih kvarova, moguće je razmotriti promjenu načina uzemljenja neutralne točke transformatora, tj. izvesti rezonantno uzemljenje, čime se znatno smanjuje broj prekida napajanja, koji su inače uzrokovani proradom uređaja relejne zaštite (APU).

Prilikom izdavanja elektroenergetskih suglasnosti za priključak potencijalno problematičnih tereta, tj. onih koji bi svojim radom mogli narušiti kvalitetu električne energije u mreži na kojoj su priključeni, potrebno je uzeti u obzir karakter tereta. Tako bi primjerice trebalo uvjetovati ugradnju filterskih prigušnica za kontrolu viših harmonika struje ukoliko potrošač ima velik broj nelinearnih tereta. Ukoliko potrošačko postrojenje ima motore velikih snaga, koji prilikom pokretanja mogu uzrokovati propade napona, potrebno je uvjetovati upuštače motora.

Također, ukoliko je moguće, poželjno je razdvojiti sabirnice i na taj način razdvojiti potrošače koji generiraju smetnje od vrlo osjetljivih potrošača.

Smanjenje broja prekida napajanja uzrokovanih proradama relejne zaštite, tj. kvarovima, se može smanjiti kvalitetnim održavanjem mreže, te kvalitetnom i pouzdanom opremom koja se u mrežu ugrađuje. Primjer je ugradnja dobre relejne zaštite, kvalitetnih naponskih regulatora koji će napone na transformatoru održavati u dozvoljenom opsegu, kvalitetnih izolatora u zračnoj mreži i sl. Prilikom rekonstrukcija, ukoliko je moguće, u svrhu smanjenja broja kvarova poželjno je zračnu mrežu zamijeniti kabelskom.

Pojavu prenapona u mreži moguće je smanjiti ugradnjom odvodnika prenapona.

Sve gore navedeno je rezultat iskustava koja su prikupljena što vlastitim radom, a što razmjenom. Veću snagu i efikasnost ima organizacijska forma koja stalno radi na poslovima koji se tiču kvalitete električne energije i njenog poboljšanja. Primjer za to je Elektro Ljubljana koja pri Sektoru za upravljanje ima formiranu Službu za kakovost električne energije. Smatramo da je to ispravan put, te da bi takva organizacijska forma trebala saživjeti i u nas.

11. ZAKLJUČAK

U DP Elektra Zagreb se vodi briga o kvaliteti električne energije praktički od njezina osnivanja. Radi unapređenja opskrbe potrošača stalno se izgrađuje i obnavlja mreža kao i pogon elektroenergetskog podsustava Elektro Zagreb. Kako se u elektroenergetskom podsustavu Zagreb ostvaruje gotovo 25% potrošnje cijele države, za očekivati je da se posvećuje naročita pažnja svakom segmentu opskrbe kako po kvantiteti tako i po kvaliteti.

Pri rješavanju problema s kvalitetom električne energije u domeni mjerenja koristimo najsuvremeniju opremu i pripadajuće programske pakete. Preporuka koje se pridržavamo pri evaluaciji mjerenja je EN 50160. Prema našim iskustvima mislimo da nema bitnih prepreka da se ta norma ne prihvati kao HR norma. To je jedna od glavnih polaznica za definiranje startne pozicije električne energije kao robe, a kao glavni atribut te robe biti će njena kvaliteta.

Jedan od bitnih čimbenika infrastrukturnih elemenata za potencijalne ulagače je električna energija sa svojom kvantitetom, a naročito kvalitetom. Dobar primjer za to je slovenski "Revoz". Slovenski distributer je imao, i još uvijek ima, ogromne probleme da osigura primjerenu kvalitetu Renaultovoj tvornici u Novom Mestu.

Kako povećati kvalitetu uz optimalna ulaganja je glavno pitanje na koje se treba odgovoriti. Odgovor, između ostalog ovisi i o pokazateljima kvalitete koje imamo. Pokazatelje kvalitete dobivamo stalnim praćenjem kvalitete električne energije. Da bi se to ostvarilo potrebno je mjeriti kvalitetu na svim izvorišnim točkama. Naravno to su periodička mjerenja koja nam daju podloge za glavne energetske aktivnosti. Izgradnja sustava za praćenje kvalitete električne energije na svim SN sabirnicama je jedan iskorak naprijed na polju praćenja kvalitete te daje mogućnost pravovremene intervencije na postrojenju. Takav sustav se gradi na nivou DP Elektro Zagreb.

Rezultati pojedinačnih mjerenja te mjerenja obrađenih sustavom za praćenje kvalitete, kao i prihvaćanje novih tehničkih rješenja za smanjenje naponskih varijacija, daju odlične podloge za buduće planiranje i izgradnju elektroenergetskog podsustava DP Elektre Zagreb.

Na kraju treba reći da su zaposlenici u Elektri Zagreb i drugim DP-ima oduvijek radili na mjerenjima električnih veličina, a u cilju poboljšanja kvalitete, samo što je definiranje kvalitete evaluiralo sukladno tehničko-tehnološkim razvojem potrošača. Stoga treba nastaviti posao koji se, u principu, kontinuirano obavlja.

12. LITERATURA

- [1] HRN EN 13306:2001 "Nazivlje u održavanju"
- [2] IEC IS 61000-4-30 Ed 1.0 (2003): "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods"
- [3] Council Directive 85/374/EEC of 25 July 1985 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States concerning liability for defective products, Official Journal L 210 , 07/08/1985 p. 0029 - 0033
- [4] EN 50160:1999, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", CENELEC, 1999.
- [5] IEC 61000-3-2 Ed 2.0 (2000) "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions equipment input current ≤ 16 A per phase"
- [6] IEC 61000-3-4 Ed 1.0 (1998) "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A"
- [7] IEC 61000-3-6 Ed 1.0 (1996) "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication",
- [8] IEEE 519-1992: "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems "
- [9] Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik, <http://www.cis.tugraz.at/ifea/welcome.html>
- [10] "Power Quality in European Electricity Supply Networks – 1st edition", Network of Experts for Standardization, Eurelectric, veljača 2002.
- [11] "Power Quality in European Electricity Supply Networks – 2nd edition", Network of Experts for Standardization, Eurelectric, studeni 2003.