
Općenito o kvaliteti električne energije, zakonska regulativa i sustavi za nadzor

Irena Šagovac, dipl. ing.
HEP-ODS d.o.o. Elektra Zagreb

Električna energija je roba (proizvod)! - tržišni objekt sa svojim atributima i cijenom -

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:

“Čl. 1

Proizvođač će biti odgovoran za štetu uzrokovanu neispravnošću njegovog proizvoda.

Čl. 2

U svrhu ove Direktive ‘proizvod’ podrazumijeva sve pokretnine, s iznimkom primarnih poljoprivrednih proizvoda i divljači, čak i ako su dio druge pokretnine ili nekretnine. ‘Primarni poljoprivredni proizvod’ podrazumijeva proizvode s tla, stočnih farmi i ribnjaka, isključujući proizvode koji su prošli proces primarne obrade. **‘Proizvod’ uključuje električnu energiju.**”



Električna energija mora biti

- pouzdana - prisutna u svakom trenutku u kojem je potrebna
- raspoloživa - prisutna u količini u kojoj je potrebna
- kvalitetna - odgovarajućih značajki

Definicija kvalitete električne energije

- obilježje električne energije u određenoj točki elektroenergetskog sustava promatrano u usporedbi s referentnim tehničkim parametrima

Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06), čl.2.
Definicije osnovnih izraza:

Kvaliteta opskrbe električnom energijom

- kvaliteta napona, pouzdanost napajanja i kvaliteta usluga korisnicima mreže na mjestu preuzimanja odnosno predaje električne energije

Kvaliteta napona

- stalnost fizikalnih značajki napona u odnosu na normirane vrijednosti (efektivna vrijednost, frekvencija, valni oblik, simetričnost faznih vrijednosti napona i dr.)

Kvaliteta napona i kvaliteta električne energije

Napon - ono što se dovodi kupcu, tj. korisniku mreže

Električna energija - uključuje i karakteristike opterećenja, ne samo napona; za pravu ocjenu stanja u točki elektroenergetske mreže potrebno je promatrati i struju

- kvaliteta električne energije se u većini propisa promatra preko kvalitete napona (njegove veličine, valnog oblika i frekvencije) jer je za njega odgovoran distributer električne energije
- karakteristike opterećenja određuje korisnik mreže (kupac), koji je ujedno odgovoran za moguće smetnje u naponu uzrokovane njime, tj. narušavanje kvalitete el. energije

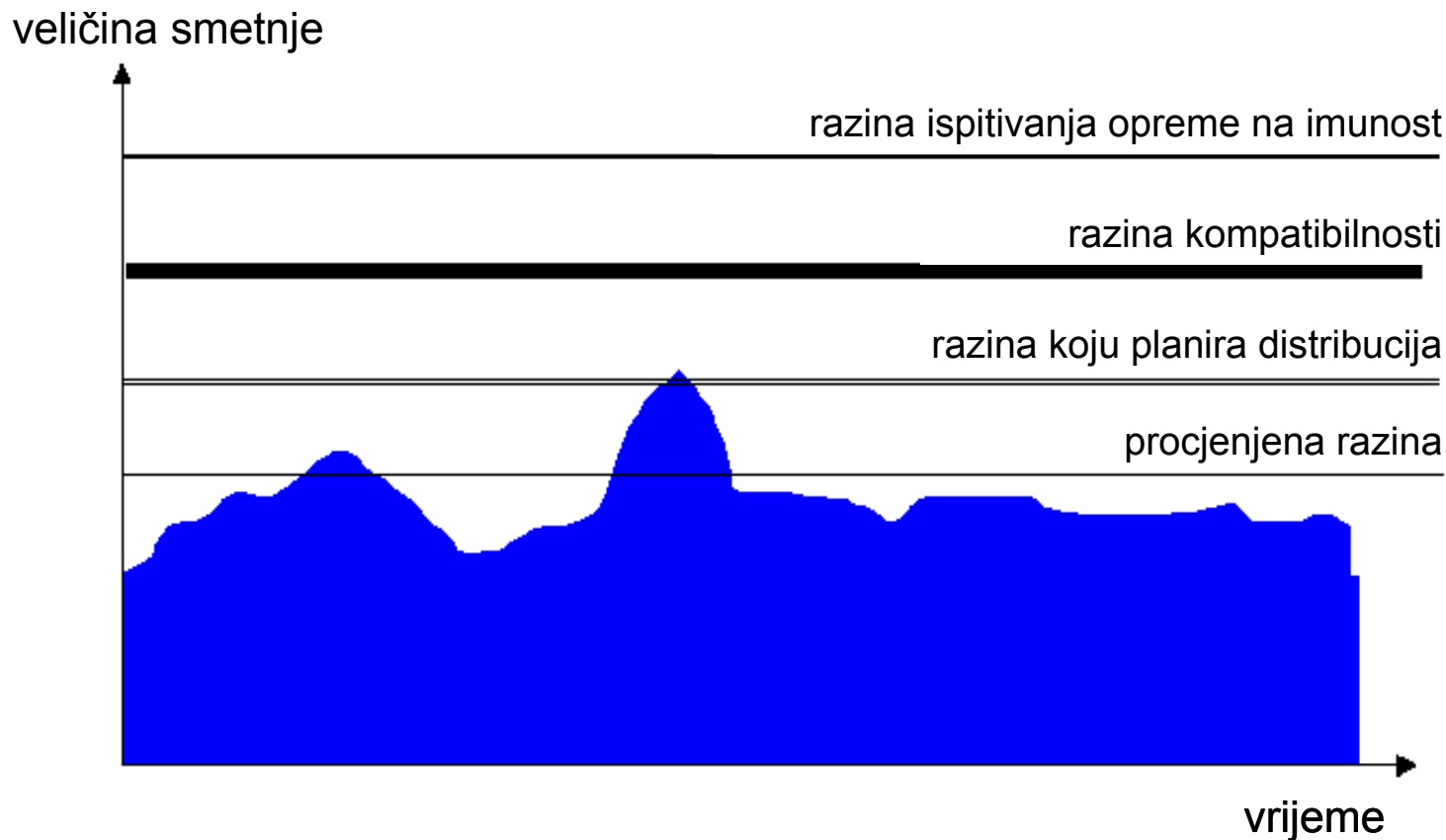
Zanimljivosti iz hrvatskih propisa

- *Zakon o energiji* (NN 68/01), *Zakon o tržištu električne energije* (NN177/2004) i *Mrežna pravila elektroenergetskog sustava* (NN 36/2006) isključivo spominju kvalitetu električne energije (ne kvalitetu napona)
- *Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom* (NN 14/06) spominju i definiraju isključivo kvalitetu napona, iako *Mrežna pravila elektroenergetskog sustava* sadrže sljedeći članak:

“3.2 Kvaliteta električne energije

(1) Kvaliteta električne energije definirana je Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom.”

Princip određivanja graničnih vrijednosti tehničkih parametara kvalitete električne energije



Međunarodni propisi za kvalitetu električne energije

- EN 50160:1999 “Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems”; CENELEC, 1999
- 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”
- 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”
- 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”
- IEEE 519-1992 “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”

Hrvatski propisi za kvalitetu električne energije

- Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06)
- Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/2006)
- koristi se EN 50160
- HRN EN 61000-3-2:2008 “Granice za harmoničke strujne emisije (za ulazne struje uređaja manje ili jednake 16 A po fazi)”
- budući hrvatski dokument koji će propisati standardne razine kvalitete opskrbe električnom energijom u distribucijskoj mreži (uključujući kvalitetu napona)

EN 50160

- definira tehničke karakteristike napona u javnim distribucijskim mrežama naponskih razina do 35 kV pri normalnom pogonskom stanju
- period mjerenja je sedam dana; mjerni isječak, u kojem se promatra pojedini parametar, je 10 min osim frekvencije koja se promatra u 10 s intervalima
- propisuje granice parametara koje moraju biti zadovoljene unutar 95 % perioda mjerenja, dok su u ostalih 5 % slučajeva granice parametara šire ili čak nisu propisane
- na snazi u većini europskih zemalja

Pregled tehničkih parametara napona i njihovih graničnih vrijednosti prema EN50160

- frekvencija
- veličina i kolebanje napona
- treperenje napona
- propadi
- prenaponi
- prekidi napona
- nesimetrija napona
- naponski harmonici
- signalni naponi

Frekvencija

- broj titraja naponskog vala u sekundi
- nazivna frekvencija napona je 50 Hz

EN 50160

- pri normalnim pogonskim uvjetima 10-sekundna srednja vrijednost frekvencije mora biti u opsegu $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) tijekom 95 % tjedna, a tijekom 100 % tjedna $50 \text{ Hz} -6/+4 \%$ (od 47 Hz do 52 Hz)

Veličina napona

- efektivna vrijednost napona na nekom mjestu u mreži u određenom trenutku mjerena tijekom određenog vremenskog perioda
- određena nazivnim naponom mreže

Promjene napona

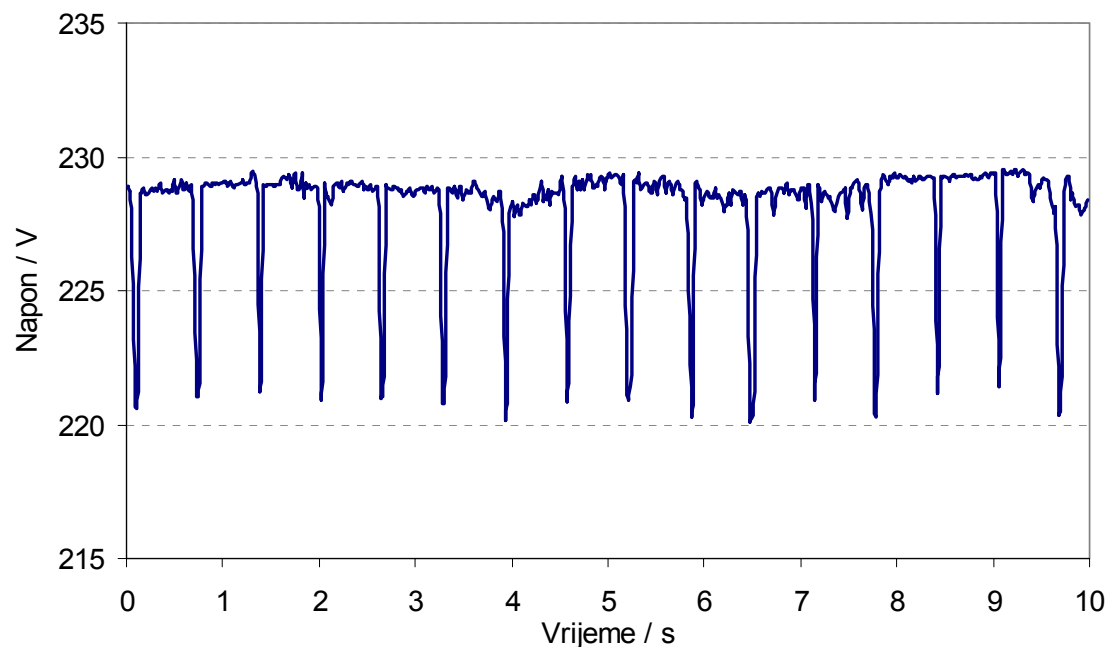
- odstupanja veličine napona od nazivne vrijednost

EN 50160

- pri normalnim pogonskim uvjetima, ne uzimajući u obzir prekide opskrbe, 95 % vrijednost 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala mora biti u opsegu $U_n \pm 10 \%$, a u preostalih 5 % promatranog tjedna mora biti unutar granica od $U_n -15 / +10 \%$
- prijelaznom periodu, tijekom prelaska s niskonaponske razine 220/380 V na 230/400 V, preporučene granice oscilacija su $+6 \%$ / -10%

Treperenje napona (1)

- oscilacije napona koje se ponavljaju, a očituju se treperenjem svjetlosti rasvjetnih tijela
- neugodni su oni frekvencija od 2 do 55 Hz



4 Hz

7 Hz

20 Hz

59 Hz

EN 50160

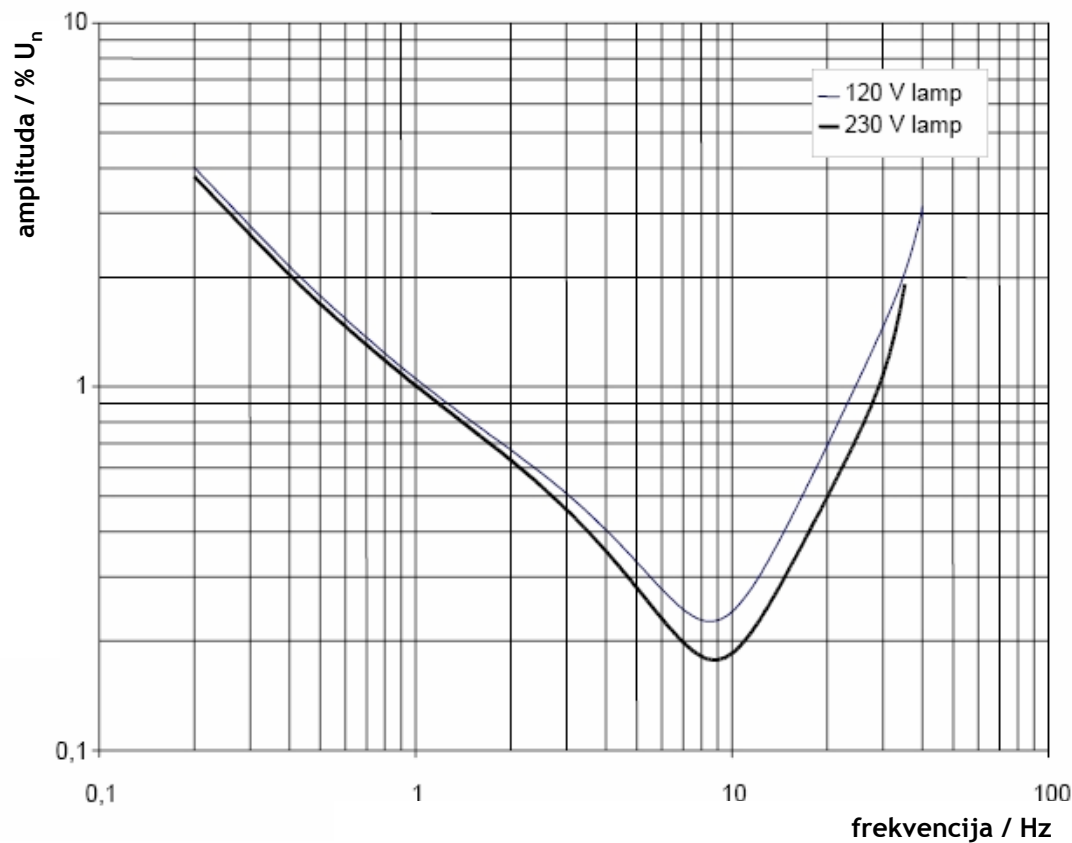
- tijekom 10-minutnog perioda se određuje kratkotrajna vrijednost treperenja P_{st} (st - short term)
- na temelju 12 uzastopnih vrijednosti P_{st} se računa dugotrajna jakost treperenja P_{lt} (lt - long term) koja se tijekom vremenskog odsječka od 2 sata računa prema jednadžbi

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

- pri normalnim pogonskim uvjetima dugotrajna jakost treperenja mora biti $P_{lt} \leq 1$ u 95 % promatranog tjedna

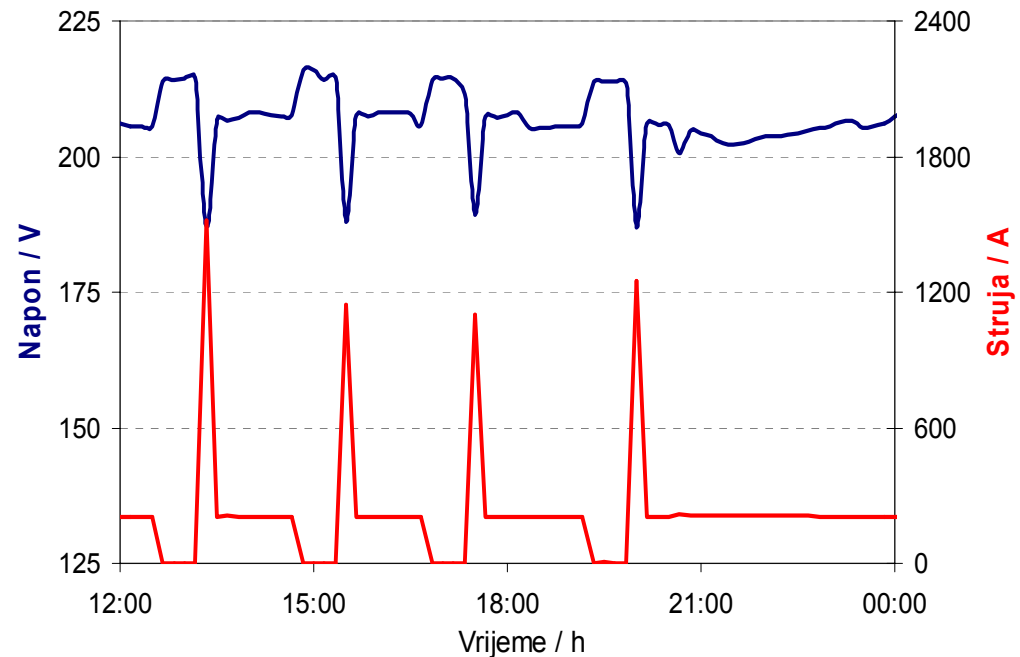
Treperenje napona (2)

- krivulja algoritma za flikermetar prema IEC 61000-4-15
- normirane vrijednosti za $P_{st}=1$ dobivene eksperimentalno



Propad napona

- smanjenje vrijednosti napona ispod unaprijed određene granice



EN 50160

- propadom smatra napon u granicama od 1 % do 90 % U_n
- u normalnim radnim uvjetima broj propada napona u godini dana može biti od nekoliko desetaka do tisuću; većina propada traje kraće od sekunde, a iznos je manji od 60 % U_n

Prenapon

- stanje pri kojem napon poraste iznad neke unaprijed određene granice

EN 50160

- prenaponi se registriraju čim vrijednost napona prijeđe gornju granicu od $U_n + 10\%$
- u SN mrežama zvjezdišta uzemljenima kruto ili preko impedancije prenaponi u pravilu ne prelaze $1,7 U_n$, dok u mrežama s neuzemljenim zvjezdištem prenaponi uglavnom ne prelaze $2 U_n$
- u nn mrežama nije za očekivati fazne prenapone veće od 1,5 kV

Prekid napona

- stanje pri kojem dolazi do nestanka napajanja
- uz pojam kvalitete se vežu samo nenajavljeni prekidi napona (npr. uzrokovani kvarom)

EN 50160

- smanjenje napona ispod 1 % nazivne vrijednosti
- pri normalnim pogonskim uvjetima kratki prekidi opskrbnog napona (trajanja kraćeg od 3 minute) se pojavljuju s učestalošću od nekoliko desetaka do više stotina godišnje
- trajanje oko 70 % kratkih prekida opskrbe trebalo bi biti kraće od 1 sekunde

Nesimetrija

- stanje u trofaznom sustavu u kojem naponi faza nisu isti po iznosu, a kut između faza nije 120°

EN 50106

- pri normalnim pogonskim uvjetima 95 % 10-minutnih prosjeka omjera efektivne vrijednosti inverzne i direktne komponente napona ne smije, unutar svakog tjednog intervala, prelaziti 2 %

Naponski harmonici

- sinusoidalni naponi frekvencija koje su višekratnici osnovne frekvencije
- uzrokovani nesinusoidalnim strujama tereta

EN 50160

- 95 % 10-minutnih prosjeka ukupnog harmoničkog izobličenja (THD) opskrbnog napona, koje se izračunava iz svih harmonika (do 40. višeg harmonika) prema donjoj jednadžbi ne smije prelaziti 8 %

$$\text{THD}_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} U_i^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

EN 50160

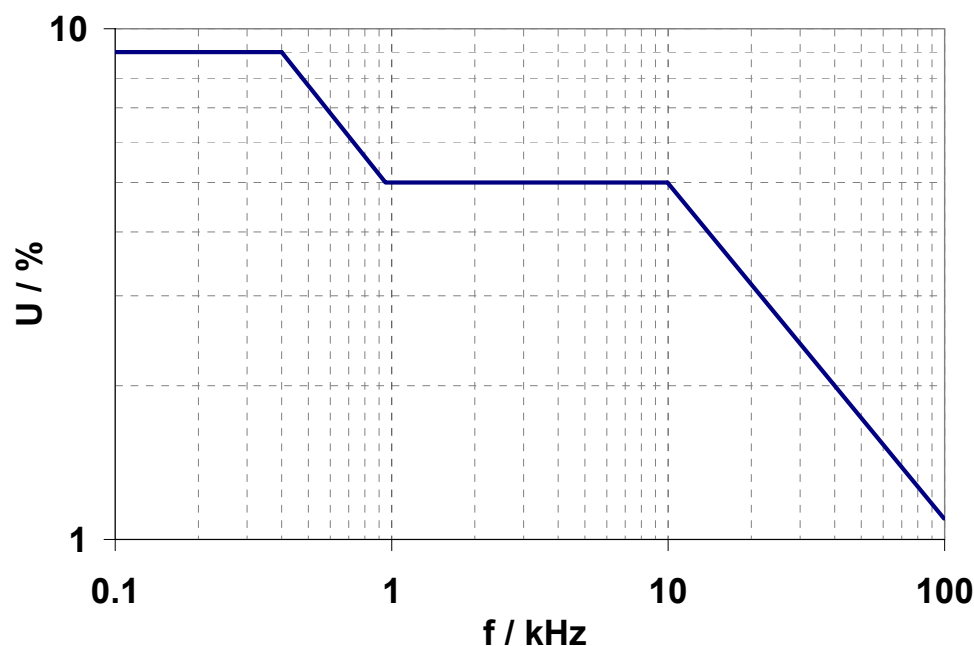
- pri normalnim pogonskim uvjetima 95 % 10-minutnih prosjeka efektivne vrijednosti napona svakog pojedinog višeg harmonika ne smije u promatranom periodu prelaziti vrijednosti koje su prikazane u sljedećoj tablici

NEPARNI HARMONICI				PARNI HARMONICI	
nisu djeljivi sa 3		djeljivi sa 3			
br. harmonika	granica u %	br. harmonika	granica u %	br. harmonika	granica u %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6-24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Signalni naponi

naponi superponirani na naponski val osnovne frekvencije;
koriste se za upravljanje trošilima i opremom

EN 50160



HRN IEC 61000-3-2

- 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
- trošila se dijele u 4 klase (A, B, C i D) i za svaku se klasu definiraju ograničenja:
 - A - simetrična trofazna i sva ostala trošila, osim onih klasa B, C i D
 - B - prijenosna trošila i aparati za varenje koji nisu profesionalna oprema
 - C - rasvjetna tijela uključujući startere
 - D - trošila struje "specijalnog valnog oblika" i radne snage $P \leq 600$ W

IEC 61000-3-4

- 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 jednofazno s nazivnom strujom većom od 16 A
- namijenjena distributeru da procijeni trošila što se tiče emisije viših harmonika, te da odluči da li su trošila, gledano s aspekta harmoničkog izobličenja, prikladna za priključak na elektroenergetsku mrežu

IEC 61000-3-6

- daje principe kojima se treba voditi prilikom određivanja uvjeta priključenja velikog potrošača s teretima koji bi mogli izazvati harmonička i međuharmonička izobličenja u srednje i visokonaponskoj elektroenergetskoj mreži na koju se priključuju

IEEE 519-1992

- 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
- 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
- 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

IEEE 519-1992 - granične vrijednosti strujnih harmonika

$U_n \leq 69 \text{ kV}$						
I_n/I_{ks}	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	<i>TDD</i>
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161 \text{ kV}$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≤ 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

- napomena: prikazane su vrijednosti neparnih harmonika; granice parnih harmonika iznose 25 % vrijednosti granica za neparne

Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06) (1)

- propisuju kvalitetu opskrbe električnom energijom, te prava i dužnosti energetske subjektata i korisnika mreže
- obavezuju distribucijsko poduzeće da definira standardne razine kvalitete opskrbe električnom energijom, te da ih se pridržava; izvještaje o tome distribucijsko poduzeće mora dati korisnicima mreže i regulatornoj agenciji
- obavezuje distribucijsko poduzeće da uspostavi sustav praćenja kvalitete napona, te na zahtjev korisnika mreže izvrši kontrolu istog
- na pismene prigovore vezane uz kvalitetu napona, operator sustava mora provesti mjerenja i pismeno odgovoriti na njih u roku od 30 dana

Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06) (2)

- čl. 65. st.2 : “Kupac ili proizvođač odgovoran je za štetu drugim kupcima ili proizvođačima i operatoru prijenosnog sustava ili operatoru distribucijskog sustava, a koja je nastala zbog poremećaja i smetnji tijekom pogona njegovih elektroenergetskih objekta i instalacija.”
- operator sustava može mjerenjem utvrditi smetnje koje stvara korisnik mreže, te od njega ima pravo zatražiti da svoj utjecaj dovede u propisane granice u razumnom roku
- ukoliko se korisnik mreže na to ogлуši, krajnja mjera je obustava isporuke električne energije

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/2006) (1)

- propisuju tehničke uvjete, te prava i obveze sudionika na tržištu električnom energijom u svrhu pouzdanog i učinkovitog rada EES-a
- propisuju iznos napona i njegova odstupanja u distribucijskoj mreži (čl. 5.1.6.4, st. 7):
 - 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona mora biti u rasponu od $U_n +6 \text{ %} / -10 \text{ %}$ (do 2010. g) i $U_n \pm 10 \text{ %}$ (od 2010. g.) za niski napon i $U_n \pm 10 \text{ %}$ za srednji napon
 - svi 10-minutni prosjeci napona moraju biti unutar $U_n +10 \text{ %} / -15 \text{ %}$ (vrijedi samo za niski napon)
- propisuju vrijednost frekvencije i njeno odstupanje od 50 Hz ± 50 mHz

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/2006) (2)

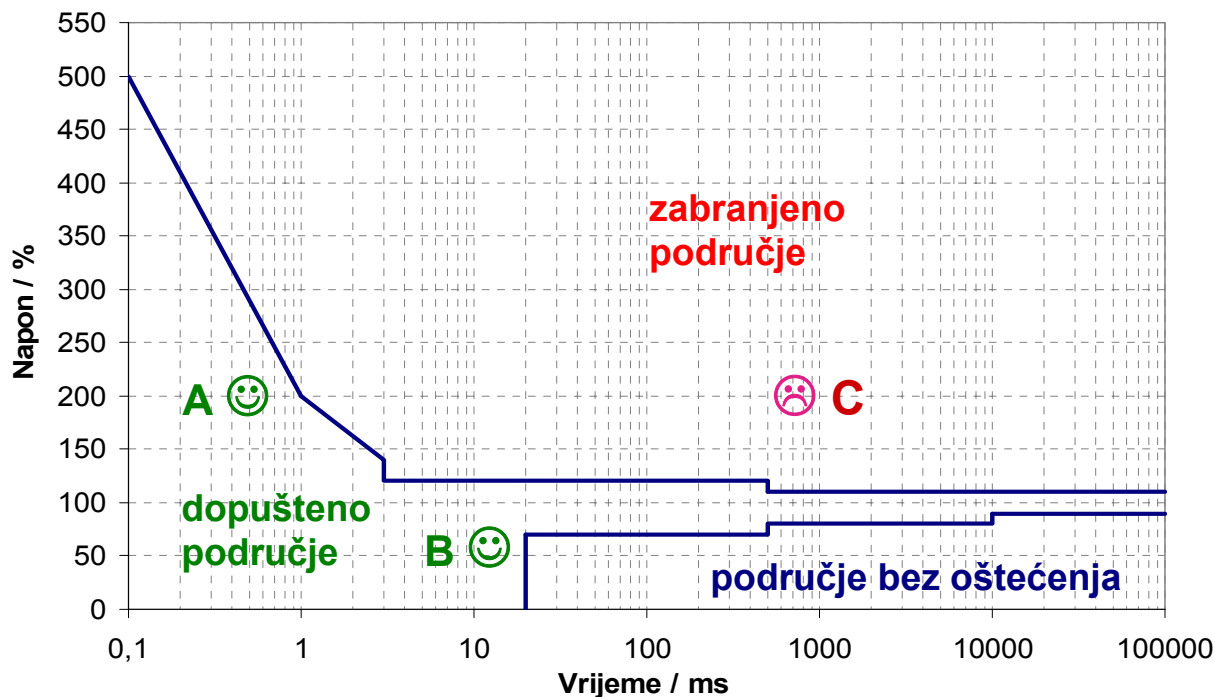
- za nove potrošače definiraju dozvoljena odstupanja valnog oblika i nesimetrije (čl. 5.3.2.1. - 5.3.2.4.)
- vrijednost THD napona (95 % vrijednosti 10-minutnih prosjeka tijekom tjedna):
 - na 0,4 kV razini: 2,5 %
 - na 10, i 20 kV razni: 2 %
 - na 30 i 35 kV razini: 1,5 %
- treperenje napona:
 - kratkotrajno (P_{st}): 0,7
 - dugotrajno (P_{lt}): 0,5
- nesimetrija napona (95 % vrijednosti 10-minutnih prosjeka tijekom tjedna) $< 1,3 \% U_n$
- **ovo su dozvoljena povećanja, a ne granične vrijednosti!**

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/2006) (3)

- definiraju uvjete priključka potrošača s mogućim povratnim djelovanjem na mrežu (čl. 5.3.4.)
- bez dodatnih provjera priključuju se potrošači kod kojih je omjer snage kratkog spoja S_K i S_P priključne snage
 - na srednjem naponu: $S_K/S_P \geq 1000$
 - na niskom naponu: $S_K/S_P \geq 150$
- ukoliko nije ispunjen gornji uvjet, potrebno je proračunima prije i mjerenjima prilikom probnog pogona dokazati da nema štetnog povratnog djelovanja

Krivulja ITIC (Information Technology Industry Council)

- krivulja proizvođača informatičke opreme
- daje trajanja propada i prenapona koji neće uzrokovati neispravno djelovanje opreme



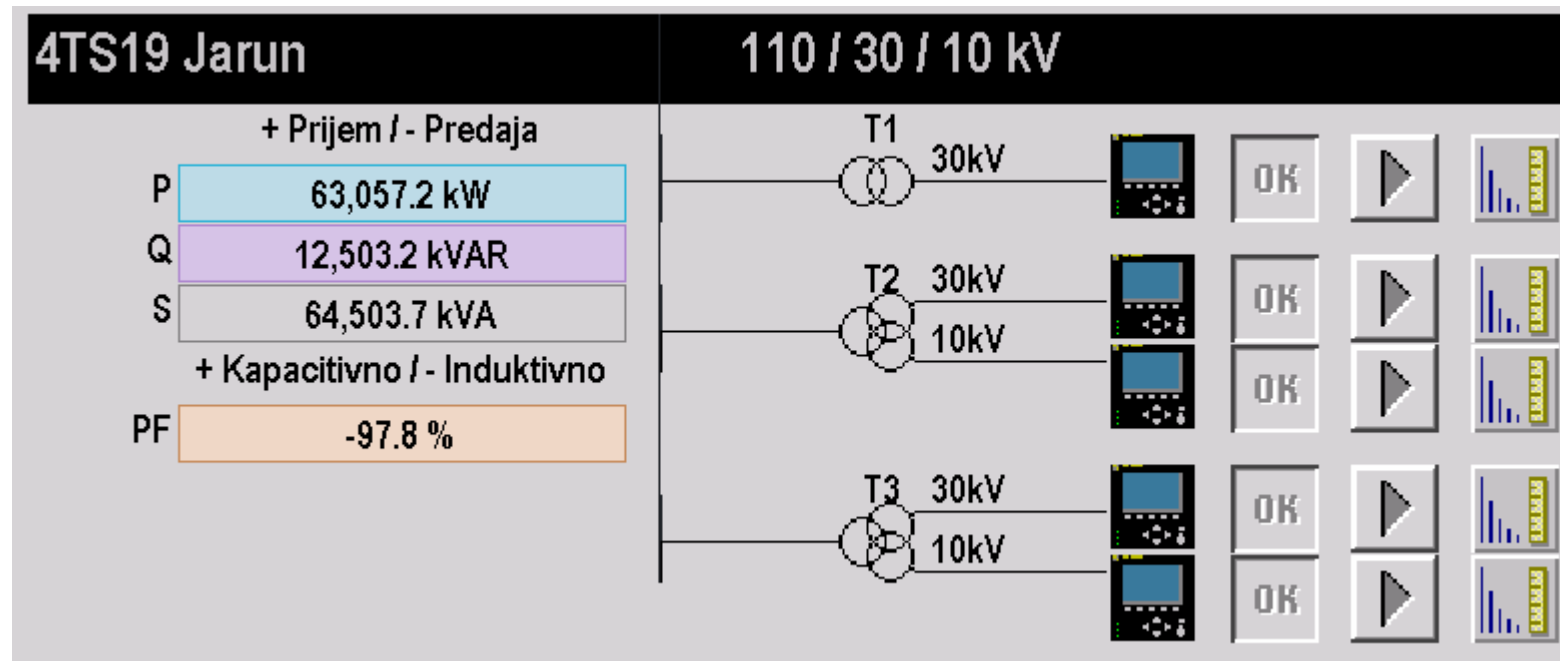
Sustavi za praćenje kvalitete električne energije

- sastoje se od mjerne opreme, komunikacijskih veza i računala za pohranu i obradu podataka
- mjerne veličine (struje i naponi) se prikupljaju i obrađuju u skladu s propisima za kvalitetu električne energije
- mjerenja mogu biti trajna, periodička ili interventna
- rezultat mjerenja je tvrdnja da li kvaliteta električne energije na promatranom mjestu u mreži zadovoljava ili ne zadovoljava propise (EN 50160)
- osim parametara kvalitete električne energije, mogu prikupljati i dodatne informacije: tokove snaga, oscilogramе događaja...

Trajno praćenje kvalitete električne energije

- smisleno na mjestu predaje el. energije potrošačima, no nepraktično radi velikog broja mjernih mjesta na niskom naponu
- u srednjenaponskoj mreži
 - na ulazu u distribucijsku mrežu - na sekundarnoj, može i primarnoj, strani transformatora u 110/x kV i 30/x kV transformatorskim stanicama
 - na priključku “važnih” potrošača i proizvođača (npr. vjetroelektrane)
- u niskonaponskoj mreži
 - na priključku “važnih” potrošača i onih koji to zahtijevaju
 - u sklopu brojila električne energije

Primjer ugradnje mjernih uređaja u transformatorskoj stanici



Periodičko i interventno mjerenje kvalitete električne energije

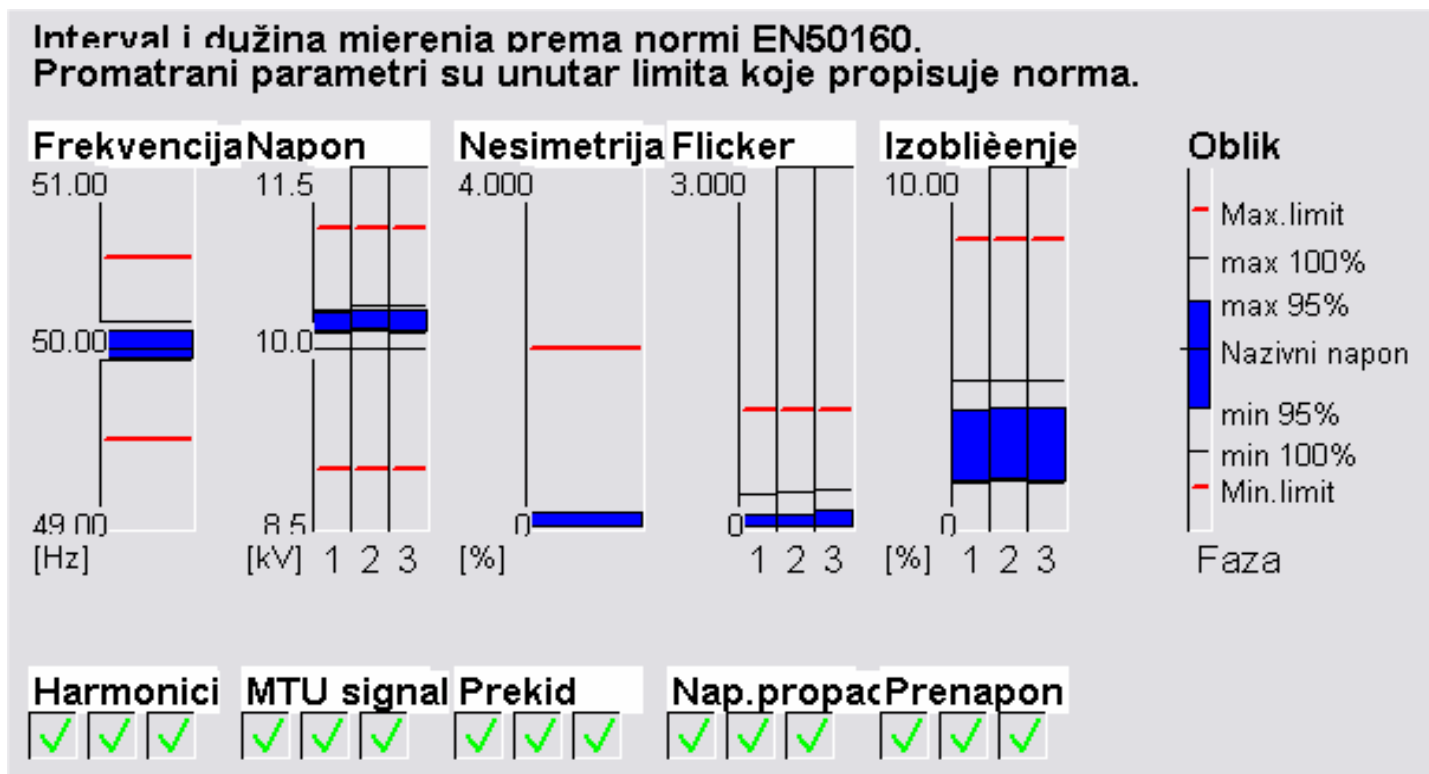
- povremena mjerenja kvalitete električne energije radi provjere stanja u srednje ili niskonaponskoj mreži
- interventna mjerenja se rade na temelju pritužbi ili zahtjeva potrošača
- tjedna mjerenja prema zahtjevima EN 50160
- za interventno mjerenje je ponekad dovoljno i jednodnevno mjerenje samo napona

Izvještaji o stanju kvalitete električne energije (2)

- izvještava se prema propisu u skladu s kojim se mjerilo
- razine izvještavanja:
 - za direktore - sukladno/nesukladno
 - za inženjere - kratki pregled po svim parametrima
 - specijalistički izvještaji - trendovi parametara, oscilogrami kvarova...

Izveštaji o stanju kvalitete električne energije (1)

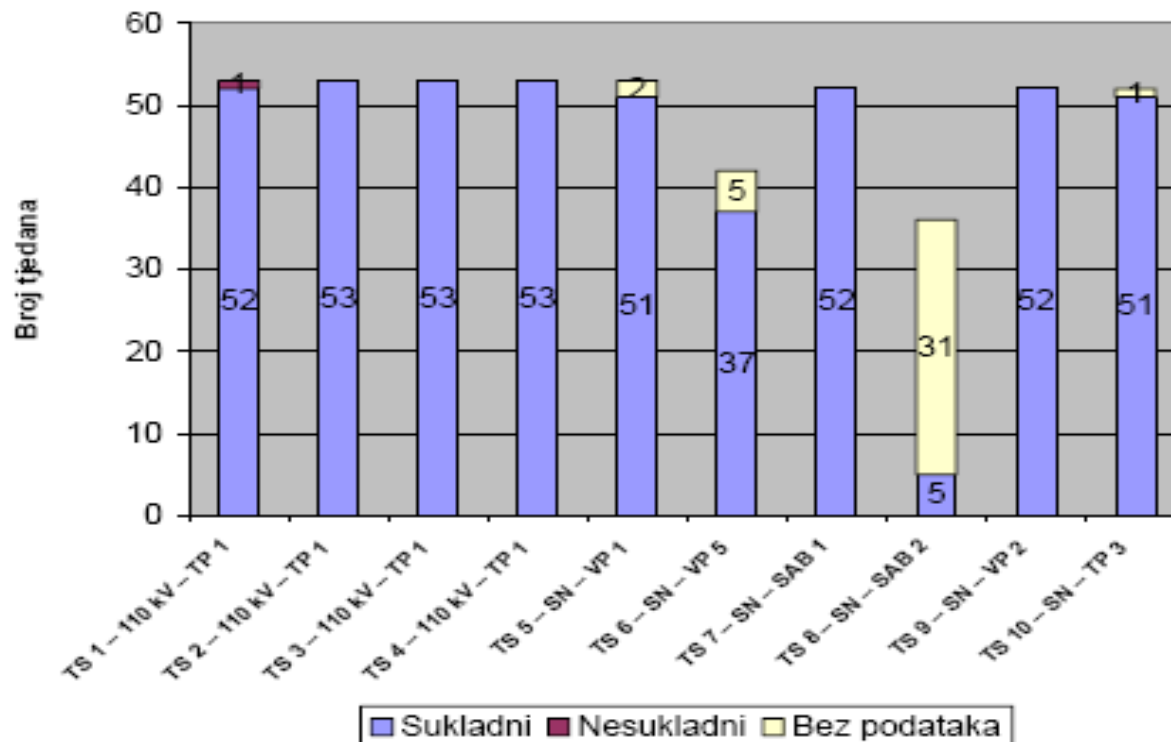
- izvještava se prema propisu u skladu s kojim se mjerilo
- primjer tjednog izvještaja - pregled po parametrima



Izvještaji o stanju kvalitete električne energije (2)

- primjer izgleda godišnjeg izvještaja

Broj sukladnih, nesukladnih i tjedana bez podataka u
200x. godini



Zaključak

- rokovi iz *Općih uvjeta za opskrbu električnom energijom (NN 14/06)* koji obavezuju operatore sustava:
 - do 01. siječnja 2007. g. - uspostaviti praćenje kvalitete napona
 - do 01. siječnja 2008. g. - predložiti nadležnom ministarstvu standardne razine kvalitete opskrbe električnom energijom
 - od 01. siječnja 2009. g. - obaveza pisanog izvještavanja o razini kvalitete opskrbe električnom energijom
- potrebno je što prije definirati standardnu razinu kvalitete opskrbe, koji uključuju kvalitetu napona, kako bi se olakšalo poslovanje operatoru distribucijskog sustava i njegovim korisnicima mreže

. . . pitanja i diskusija . . .