

mr. sc. Lahorko Wagmann  
Hrvatska energetska regulatorna agencija  
[lwagmann@hera.hr](mailto:lwagmann@hera.hr)

dr. sc. Srđan Žutobradić  
Hrvatska energetska regulatorna agencija  
[szutobradic@hera.hr](mailto:szutobradic@hera.hr)

## STOHAŠTIČKA ANALIZA HARMONIKA NA GRADSKIM TS 10(20)/0,4 KV

### SAŽETAK

Pojava harmonika u razdjelnim NN mrežama uzrokovana je nelinearnim trošilima u kućanstvima. U članku su prikazani valni oblici struja nelinearnih trošila kao i njihov utjecaj na pojavu harmonika u NN mreži DP Elektre Zagreb. U tu svrhu napravljen je niz mjerenja na niskonaponskim sabirnicama gradskih transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV, koje napajaju konzum kućanstava. Rezultati mjerenja i statistička obrada izmjerenih rezultata prikazani su u ovom članku.

**Ključne riječi:** harmonici, mjerenja, nelinearna trošila, NN mreža, statistička analiza,

## STOCHASTIC HARMONIC ANALYSIS AT URBAN SUBSTATIONS 10(20)/0,4 KV

### SUMMARY

A harmonic phenomenon in LV network is caused by nonlinear household appliances. In the article a wave shapes of the currents of the nonlinear loads is shown as well as their influence on the harmonic phenomenon in the LV network of DP Elektra Zagreb. For this purpose the series of measurement has been done at the low voltage bays of urban transformer substations 10(20)/0,4 kV, feeding the household consumers. The results of abovementioned measurements and corresponding statistic analysis are shown in this article.

**Key words:** harmonics, measurements, nonlinear loads, LV network, statistical analysis

### 1. UVOD

Pojava harmonika u razdjelnim mrežama uzrokovana je nelinearnim trošilima, čija značajka je da im struja nije linearno proporcionalna naponu napajanja. Na idealni sinusni napon narinut na nelinearni otpor, koji nadomješta nelinearno trošilo, struja napajanja odgovarat će U-I karakteristici nelinearnog otpora. U razdjelnim mrežama uobičajena nelinearna trošila su: zabavna elektronika, uredska tehnika, fluorescentna rasvjeta, elektromotorni pogoni s ispravljačkim mostovima. Iako pojedinačno nelinearno trošilo u razdjelnoj mreži zbog svoje male snage ne utječe na promjenu valnog oblika napona, uslijed velikog broja, njihov ukupni utjecaj može biti značajan.

Za kvalitetan obuhvat svih značajki promjenjivosti razine harmonika, vremenski period mjerenja mora biti dovoljno dug. Za vrlo stabilne i predvidive procese, kao što su struje velikih ispravljačkih mostova, koji napajaju neki veliki teret, dovoljna su mjerenja u trajanju od jednog dana. Češći je slučaj da se mora mjeriti tijekom najmanje jednog tjedna. U srednjonaponskim i niskonaponskim mrežama do sada napravljena mjerenja pokazuju da su napon i struja harmonika vremenski promjenjive veličine, zbog

stalne promjene konfiguracije distribucijske mreže te broja i vrste priključenih nelinearnih trošila. Promjene iznosa harmonika često se događaju iznenada i imaju nedeterministički ili stohastički karakter. Zbog navedenoga te zbog uvažavanja mogućih netočnosti koje mogu nastati prilikom mjerenja, za kvantifikaciju razine viših harmonika potrebno je koristiti statističke metode.

Uvažavajući činjenicu stohastičke promjenjivosti promatrane veličine, u posljednje vrijeme u normama koje obrađuju problematiku harmonika, razina elektromagnetske kompatibilnosti definirana je kao veličina koja se smije prelaziti, s određenom malom vjerojatnošću. Razina kompatibilnosti općenito se zasniva na 95% stohastičkoj razini promatrane veličine, uz poznavanje funkcije razdiobe amplituda harmoničkih napona. Funkcija razdiobe vjerojatnosti može se odrediti mjerenjem vrijednosti određene veličine i kasnijom statističkom obradom.

U svjetskoj literaturi postoji nekoliko primjera mjerenja harmoničkih veličina napona i struja u distribucijskim mrežama. Tako se u [1] i [2] prikazuju rezultati mjerenja strujnih i naponskih harmonika na niskonaponskim sabirnicama u sjeveroistočnom dijelu SAD-a, koje napajaju industrijske i poslovne potrošače te konzum kućanstava. Spomenuti radovi naglašavaju probabilistički pristup prikupljanju i prezentiranju podataka te naročito uporabu histograma pomoću kojih se dolazi do statističke razdiobe izmjerenih vrijednosti harmonika. Statističke razdiobe izmjerenih vrijednosti 5. i 7. harmonika struje u spomenutim radovima imaju dva vrha oko kojih se grupiraju. Takve se razdiobe nazivaju bimodalnim i pokazuju da mjerena veličina nije potpuno stohastička već da u njoj postoji i određena deterministička komponenta. Autori spomenutih radova zaključuju da ukupno harmoničko izobličenje napona tijekom 99% vremena ne prelazi 5% te da je u harmoničkom spektru dominantan peti harmonik napona. U [3] se daje pregled dvadeset i četiri mjerenja harmonika na dvanaest niskonaponskih sabirnica, od kojih su se na nekima već i prije deset godina mjerili harmonici, tako da je bilo moguće pratiti trend porasta harmoničkog izobličenja. Istraživanje je pokazalo da je srednja vrijednost ukupnog harmoničkog izobličenja napona na promatranim sabirnicama rasla po prosječnoj godišnjoj stopi od 0,1%. Rezultati mjerenja harmoničkih struja i napona diskretne su vrijednosti temeljem kojih je moguće pronaći zakonitost u obliku analitičke funkcije, pomoću koje će se opisati eksperimentalni podaci. Dobivena analitička funkcija može poslužiti za modeliranje pojave i predviđanje vrijednosti zavisne varijable u slučajevima kada ne postoje mjerenja. Općenito se javlja potreba za regresijskom analizom u slučaju analize trenda i testiranja hipoteza. Analiza trenda koristi se u svrhu predviđanja vrijednosti zavisne varijable izvan granica izmjerenih vrijednosti. Provjera hipoteza služi za provjeru slaganja matematičkog modela s eksperimentalnim podacima. Metoda regresijske analize za predviđanje trenda porasta harmoničke struje i napona iz izmjerenih podataka korištena je u [4].

Kako bi se istražio utjecaj nelinearnih trošila na pojavu harmonika u mreži HEP-Operatora distribucijskog sustava d.o.o., DP Elektra Zagreb, napravljen je niz mjerenja na niskonaponskim sabirnicama gradskih transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV, koje napajaju konzum kućanstava. U svrhu dobivanja potpune informacija o ponašanju konzuma, na svakom mjernom mjestu mjerenja su trajala po tjedan dana. Mjerene su deset-minutne prosječne veličine harmoničkih napona i struja u svim trima fazama. Rezultati mjerenja i statistička obrada izmjerenih rezultata prikazana je u ovom članku.

## 2. MJERE HARMONIČKOG IZOBLIČENJA

Kao mjera odstupanja struje i napona od sinusnog oblika najčešće se primjenjuju sljedeće veličine:

- efektivna vrijednost nesinusnog napona, odnosno struje,
- faktor izobličenja napona, odnosno struje za h-ti harmonik,
- faktor ukupnog izobličenja napona, odnosno struje.

Efektivne vrijednosti nesinusnog izmjeničnog napona, odnosno struje, određene su izrazima:

$$V = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} V_h^2}, \quad (V) \quad (1)$$

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h^2}, \quad (A) \quad (2)$$

gdje su:

$V_h$  - efektivne vrijednosti harmonika faznih napona

$I_h$  - efektivne vrijednosti harmonika struja

$h$  - red harmonika

$h_{maks}$  - najviši promatrani red harmonika

Faktor izobličenja napona, odnosno struje za h-ti harmonik je omjer efektivne vrijednosti pojedinog harmonika napona, odnosno struje i efektivne vrijednosti osnovnog harmonika napona, odnosno struje.

$$V_{h\%} = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100, \quad \% \quad (3)$$

$$I_{h\%} = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100, \quad \% \quad (4)$$

Faktor ukupnog izobličenja napona, odnosno struje, izražen u postocima je omjer efektivne vrijednosti harmonika višeg reda i efektivne vrijednosti osnovnog harmonika.

$$THD_{V\%} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{maks}} V_h^2}}{V_1} \cdot 100, \quad \% \quad (5)$$

$$THD_{I\%} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{maks}} I_h^2}}{I_1} \cdot 100, \quad \% \quad (6)$$

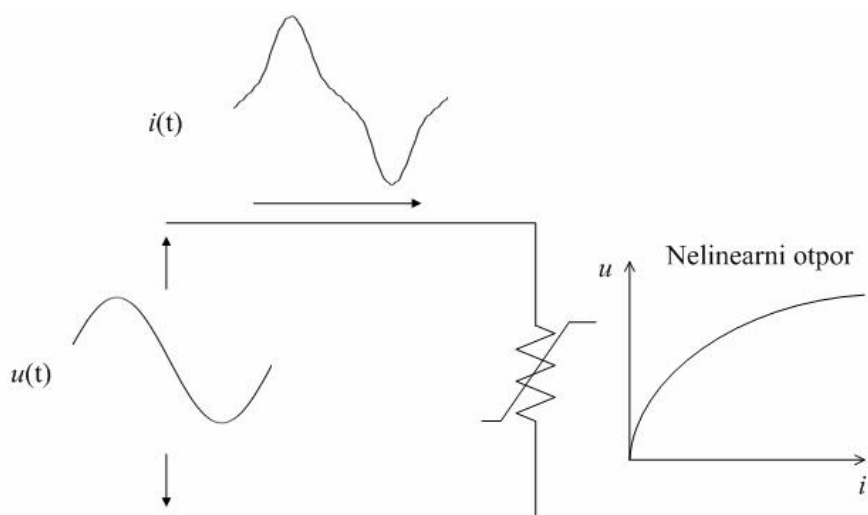
### 3. TIPIČNI VALNI OBLICI STRUJA NELINEARNIH TROŠILA U NN MREŽAMA

Izvori harmonika u razdjelnim mrežama uzrokovani su nelinearnim uređajima, odnosno trošilima. Značajka nelinearnih trošila je da im struja nije linearno proporcionalna naponu napajanja. Na idealni sinusni napon narinut na nelinearni otpor, struja napajanja odgovarat će U-I karakteristici nelinearnog otpora (Slika 1). Vidljivo je, da iako je valni oblik napona sinus, valni oblik struje odstupa od sinusa.

U razdjelnim mrežama uobičajena nelinearna trošila su:

- a) zabavna elektronika,
- b) uredska tehnika,
- c) rasvjeta,
- d) elektromotorni pogoni s ispravljačkim mostovima.

U zabavnu elektroniku spadaju uređaji kao što su: televizor, stereo uređaj, video rekorder, konzola za video igre, itd. U uredsku tehniku spadaju osobna računala, pisači, fotokopirni strojevi, itd. U grupi koja se odnosi na rasvjetu su fluorescentna rasvjeta, štedne žarulje i žarulje s regulatorom svjetla. U elektromotorne pogone spadaju elektromotori koji pri svojem pogonu koriste ispravljačke mostove. Uobičajene snage nelinearnih trošila prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica I).



Slika 1. Izobličenje struje uzrokovano nelinearnim otporom

Tablica I. Tipične snage nelinearnih trošila u niskonaponskoj mreži

Uređaj	Tipična snaga
Osobna računala	100 - 200, W
Televizori	40 - 120, W
Stereo uređaji	70 - 150, W
Videorekorderi	10 - 20, W
Fluorescentne cijevi sa ili bez predspojne naprave	50 - 70, W
Štedne žarulje	10 - 20, W
Žarulje s regulatorom svjetla	0 - 100, W
Motorni pogon s ispravljačem (dizala, elektromotori)	2 - 1500, kW

Najčešća nelinearna trošila u razdjelnim mrežama su uređaji napajani elektroničkim napajanjem. Kod manjih snaga to su jednofazni ispravljači, dok su kod većih snaga to trofazni pretvarači snage. Uz elektroniku postoje i trošila čija nelinearnost potječe iz zasićenja jezgre, odnosno nelinearne karakteristike magnetiziranja željeza, kao što su transformatori i elektromotori.

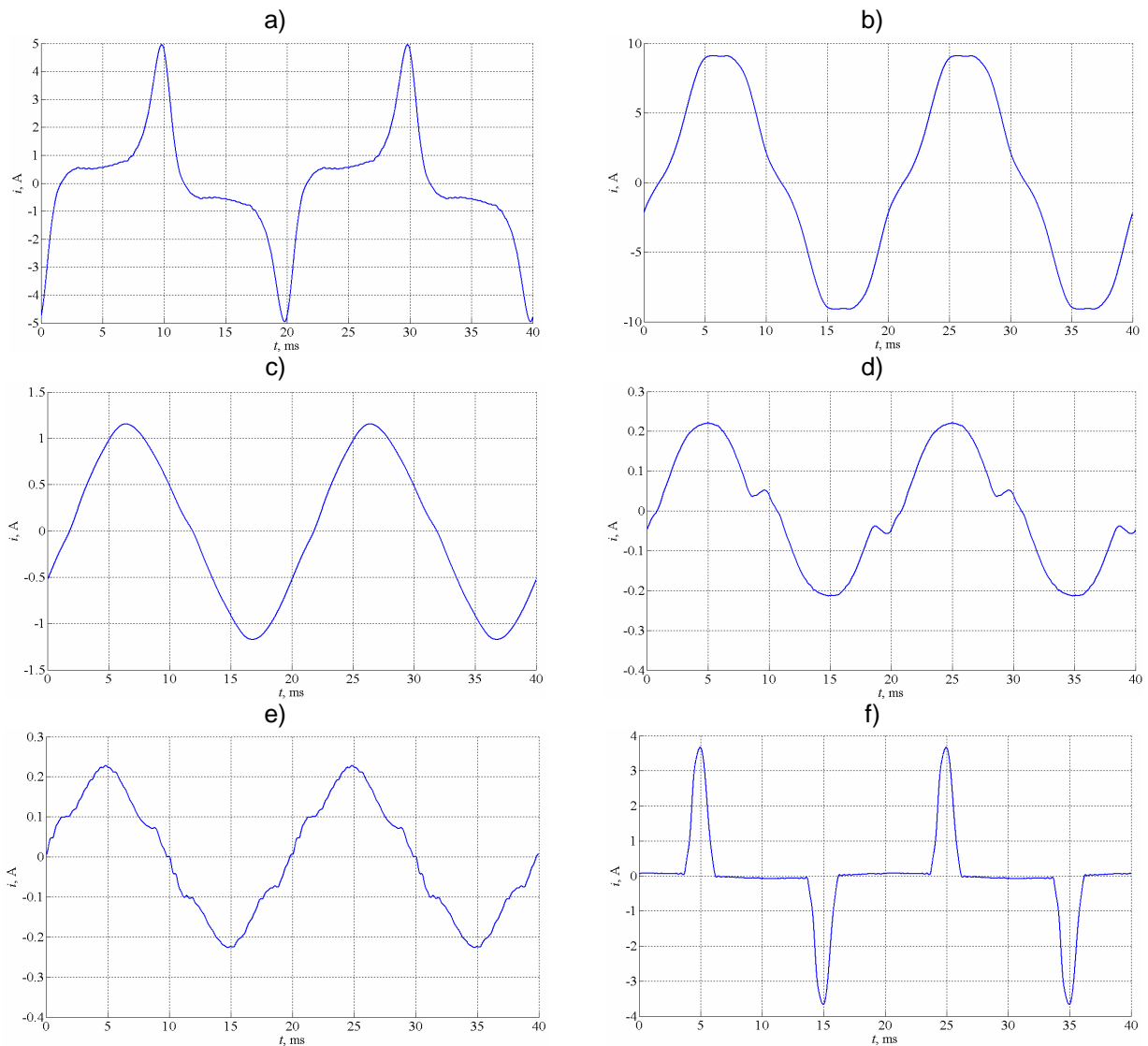
Glavni izvor harmonika kod transformatora predstavlja struja magnetiziranja, odnosno nelinearnost omjera struje magnetiziranja i magnetskog toka. Sinusni napon narinut na primarni namot traži sinusni tok, koji inducira sinusni protunapon i time stvara uravnoteženo stanje. Budući da prema krivulji magnetiziranja struja magnetiziranja nije proporcionalna indukciji, struja magnetiziranja nema sinusni oblik (Slika 2 a, [5]).

Kako kod transformatora tako i kod elektromotora postoji određen udio harmoničkih struja u valnom obliku struje trošila. Većina takvih trošila ima ukupno harmoničko izobličenje struje oko 10%, s dominantnim trećim harmonikom. Primjeri takvih trošila su hladnjak sa zamrzivačem (Slika 2 b, [5]) i klima uređaj (Slika 2 c, [5]).

Od nelinearnih trošila, koja nemaju elektroničko napajanje potrebno je spomenuti fluorescentne cijevi, kod kojih je omjer između napona i struje nelinearan uslijed značajki električnog luka kroz fluorescentnu cijev. Harmoničke struje stvorene fluorescentnom rasvjetom određene su tipom predspojne naprave, koja služi za ograničenje struje i stabilizaciju električnog luka kroz cijev. Valni oblik struje fluorescentne cijevi s elektromagnetskom predspojnom napravom ima ukupno harmoničko izobličenje struje reda veličine 20%, uz dominantni treći harmonik struje (Slika 2 d, [5]). Katkada se u sklopu predspojne naprave može nalaziti i jednofazni ispravljač, čime se dobiva povećana energetska učinkovitost, ali i veće izobličenje struje (Slika 2 f, [5]).

Postoje i elektroničke predspojne naprave s kojima je strujno izobličenje manje nego pri uporabi elektromagnetske predspojne naprave (Slika 2 e, [5]).

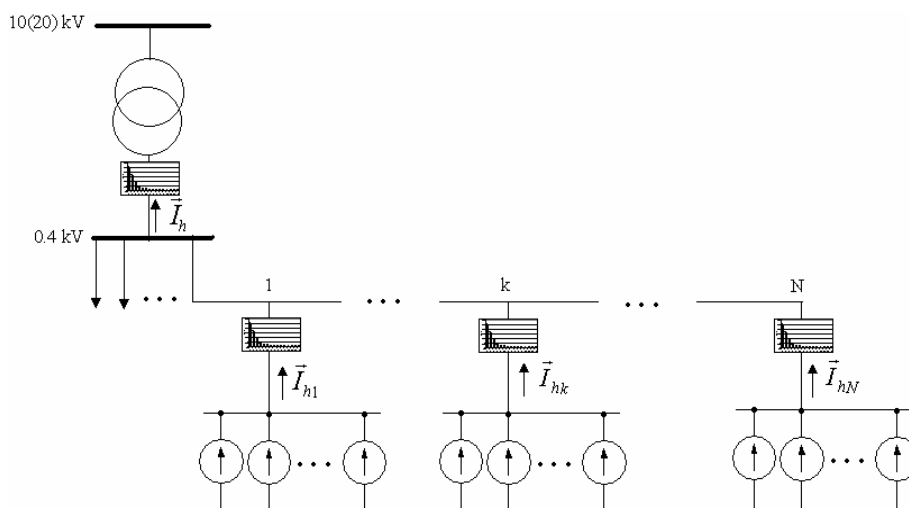
Istosmjerna struja za modernu elektroničku i mikroprocesorsku uredsku opremu obično se dobiva pomoću jednofaznog diodnog ispravljača u mosnom spoju. Starije tehnologije jednofaznih ispravljača koriste metodu transformiranja izmjeničnog napona na željeni iznos, koji onda ispravljaču na istosmjerni. Novije tehnologije pretvarača sa sklopnim načinom rada, koriste istosmjernu tehniku pretvaranja za dobivanje istosmjernog napona. Za valni oblik struje jednofaznog pretvarača sa sklopnim načinom rada (Slika 2 f, [5]), karakteristično je što sadrži vrlo visoku komponentu trećeg harmonika.



Slika 2 Valni oblik struje a) struje magnetiziranja transformatora, b) hladnjaka sa zamrzivačem, c) klima uređaja, d) jednofaznog pretvarača sa sklopnim načinom rada, e) fluorescentne cijevi s elektromagnetskom prigušnicom, d) fluorescentne cijevi s elektroničkom prigušnicom

#### 4. MJERENJA HARMONIKA NA TS 10(20)/0,4 KV

Mjerenjem harmoničkih struja u na niskonaponskim sabirnicama transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV moguće je doći do informacija o harmoničkom izobličenju u promatranoj niskonaponskoj mreži (Slika 3). Budući da broj priključenih nelinearnih trošila tijekom dana varira, problem određivanja razine viših harmonika treba promatrati na stohastički način, stoga je potrebno harmonike mjeriti kroz određeni dulji period vremena od najmanje tjedan dana.



Slika 3. Mjerenje harmonika uzrokovanih nelinearnim trošilima u niskonaponskoj mreži

Izmjerene značajke harmonika na samo jednoj TS 10(20)/0.4 kV ne garantiraju ponavljanje takve razine harmonika i distribucije vjerojatnosti na nekoj drugoj TS 10(20)/0.4 kV. Potrebno je stoga promatranje poopćiti te odrediti metodu pomoću koje bi se na osnovi poznate strukture potrošača na niskom naponu odredila razina harmonika na bilo kojoj TS 10(20)/0.4 kV koja napaja konzum kućanstava. Tako su na području HEP-ODS-a d.o.o., DP Elektra Zagreb, napravljena mjerenja na 25 transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV, koje napajaju konzum kućanstava (Tablica II).

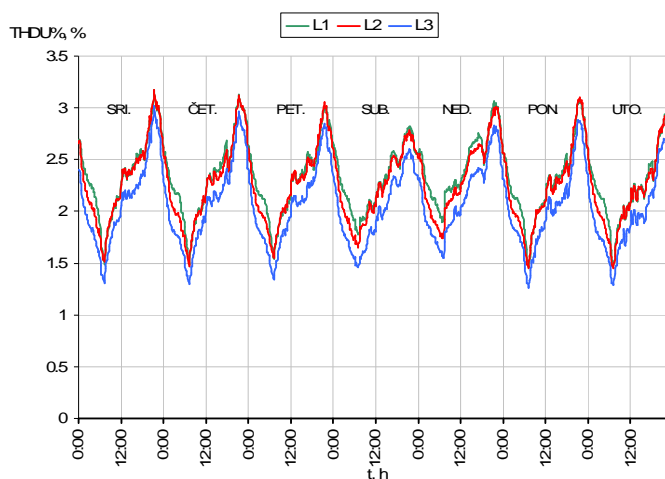
Tablica II. Popis TS 10(20)/0,4 kV na kojima su napravljena mjerenja harmonika

Naziv TS 10(20)/0,4 kV	Period	Naziv TS 10(20)/0,4 kV	Period
TS 1084 - Korčulanska 6	9.7.2002. 15.7.2002.	TS 1164 - Trnac 42	9.6.2004. 15.6.2004.
TS 330 - Štoosova 6	27.8.2002. 2.9.2002.	TS 630 – Hrvatskog proljeća	17.6.2004. 23.6.2004.
TS 974 - Horvatovac 54	4.9.2002. 10.9.2002.	TS 592 - B.Magovca 38	12.10.2004. 18.10.2004.
TS 1320 - Đurđevačka 32	12.9.2002. 18.9.2002.	TS 1034 - Kopernikova 7	20.10.2004. 26.10.2004.
TS 1401 - Bartolići 29	20.9.2002. 26.9.2002.	TS 1091 - Kopernikova 3	28.10.2004. 3.11.2004.
TS 1109 - B.Magovca 107	1.4.2004. 7.4.2004.	TS 1033 - Kopernikova 1	5.11.2004. 11.11.2004.
TS 146 - Rapska 2 (Škola)	9.4.2004. 15.4.2004.	TS 398 - Trnsko 41 e	15.11.2004. 21.11.2004.
TS 340 - Bogišićeva 24	19.4.2004. 25.4.2004.	TS 612 - Aleja Pomoraca 13	23.11.2004. 29.11.2004.
TS 711 - Heinzelova 32	28.4.2004. 4.5.2004.	TS 575 - Aleja Pomoraca 23	1.12.2004. 7.12.2004.
TS 1110 - B.Magovca 111	6.5.2004. 12.5.2004.	TS 382 - Lomnička 11	9.12.2004. 15.12.2004.
TS 1116 - B.Magovca 109	14.5.2004. 20.5.2004.	TS 1111 - B.Magovca 44	13.1.2005. 19.1.2005.
TS 800 – Trnjanska 57	24.5.2004. 30.5.2004.	TS 1112 - B.Magovca 48	21.1.2005. 27.1.2005.
TS 707 - Pavlinovićeva 2	1.6.2004. 7.6.2004.		

## 5. STATISTIČKA OBRADA MJERENJA

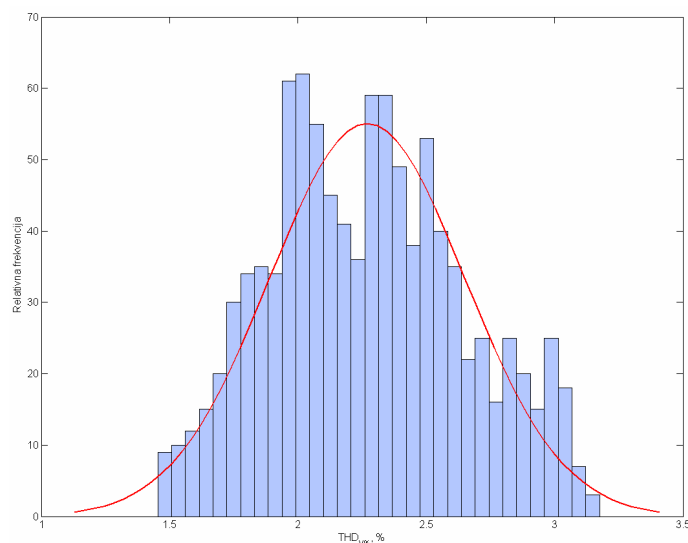
Da bi se odredila razina harmonika u distribucijskoj mreži, mnoga distributivna područja rade mjerenja, koja redovito pokazuju da su napon i struja harmonika vremenski promjenjive veličine, zbog stalne promjene konfiguracije distribucijske mreže i broja i vrste priključenih nelinearnih trošila. Promjene iznosa harmonika često se događaju iznenada i imaju nedeterministički ili stohastički karakter. Većina mjernih algoritama, koja se koriste u mjernim uređajima, koristi metodu FFT (Fast Fourier Transform), koja nije točna ukoliko nisu zadovoljeni neki uvjeti, tako da je, pri opisu i tumačenju rezultata, u obzir potrebno uzeti i netočnosti nastale prilikom mjerenja. Zbog toga je potrebno koristiti statističke tehnike da bi se kvantificirala razina harmonika.

Kao ilustracija vremenske promjenjivosti iznosa ukupne harmoničke distorzije napona, uz istodobnu pravilnost ponavljanja tijekom svakoga dana, može poslužiti tjedni dijagram  $THD_{U\%}$ , izmjeren na sve tri faze u transformatorskom polju TS 10/0,4 kV Korčulanska (Slika 4).



Slika 4 Tjedni dijagram THD napona u TS 1034 - Kopernikova 7, od 20.10.2004.-26.10.2004.

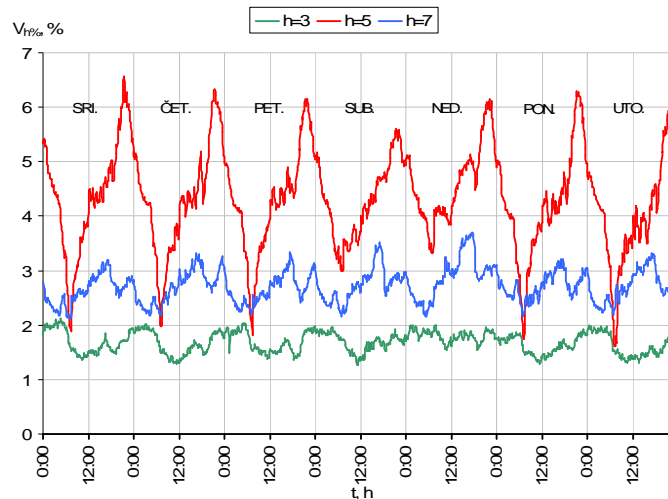
Iako se ukupno harmoničko izobličenje napona može smatrati slučajnom pojavom, izmjereni skup očito sadrži determinističku komponentu. Navedeno dokazuje i razdioba gustoće vjerojatnosti pojavljivanja izmjerenih vrijednosti, koja pokazuje grupiranje oko dvije vrijednosti (bimodalnost), što pokazuje da pojavu nije moguće opisati Gaussovom razdiobom (Slika 5).



Slika 5 Gustoća razdiobe ukupnog harmoničkog izobličenja napona na tjednoj razini u TS 1034 - Kopernikova 7, od 20.10.2004.-26.10.2004.

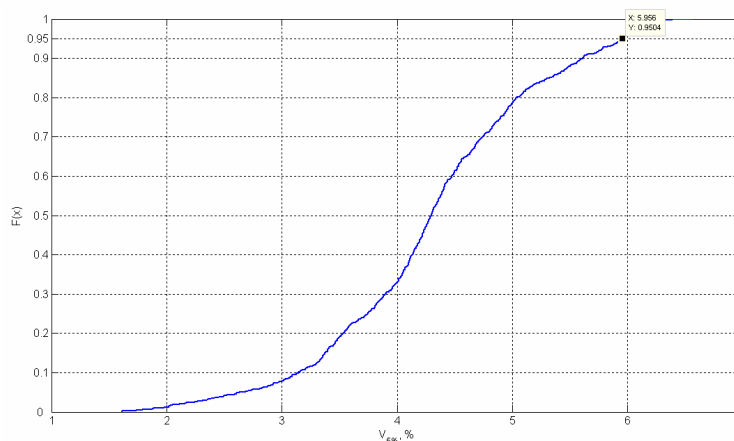
Zastupljenost naponskih harmonika moguće je ilustrirati tjednim dijagramom trećeg, petog i sedmog harmonika napona (Slika 6). Vidljivo je da je po iznosu najveći peti harmonik napona, čije

vrijednosti dosežu 6,5 %, nakon toga slijedi sedmi harmonik napona, s iznosima između 2,5 i 3,5 %. Najniže vrijednosti od spomenuta tri harmonika napona ima treći harmonik, s iznosima ispod 2%. Budući da su EN 50160 propisane vrijednosti petog harmonika 6%, sedmog harmonika 5% i trećeg harmonika 5%, proizlazi da na promatranoj transformatorskoj stanici jedino veličine petog harmonika povremeno prelaze iznos propisan EN 50160.



Slika 6 Tjedni dijagram 3., 5. i 7. harmonika napona u TS 1034 - Kopernikova 7, od 20.10.2004.-26.10.2004.

Ukoliko se, međutim, promotri kumulativna razdioba izmjerenih veličina petog harmonika napona na promatranoj transformatorskoj stanici (Slika 5) vidljivo je da je 95% tjednih vrijednosti bilo ispod 6%, čime je norma EN 50160 na ovom mjernom mjestu zadovoljena.

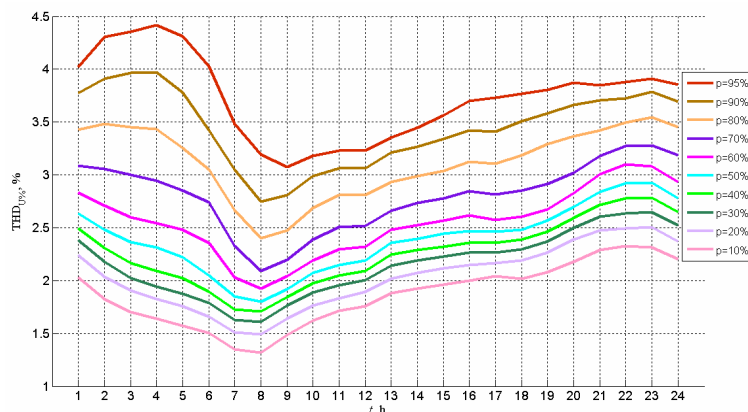


Slika 7 Kumulativna razdioba ukupnog harmoničkog izobličenja napona na tjednoj razini u TS 1034 - Kopernikova 7, od 20.10.2004.-26.10.2004.

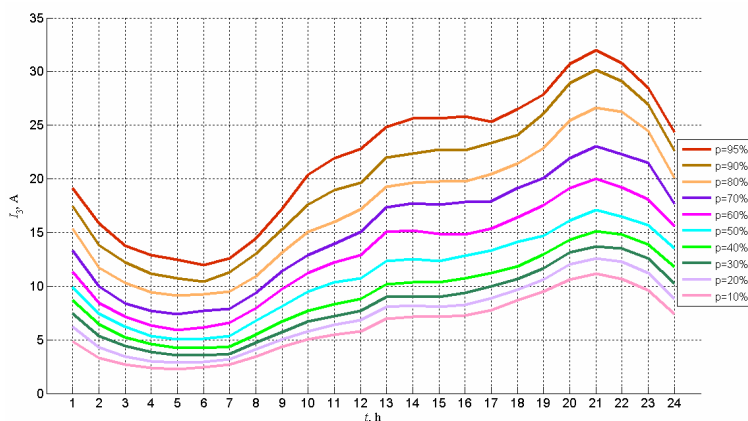
Na temelju izmjerenih vrijednosti harmonika napona moguće je dobiti kumulativnu razdiobu ukupnog harmoničkog izobličenja napona, tijekom svakog sata u tjednu, za sve transformatorske stanice (Slika 8). Na taj način dobivaju se iznosi očekivanih vrijednosti ukupnog harmoničkog izobličenja i vjerojatnost njihovog pojavljivanja, tijekom svakog sata u tjednu. Razmatrajući percentile razdiobe, vidljivo je da se najviše vrijednosti javljaju oko 4 sata ujutro. Pritom je 95% vrijednosti ukupnog harmoničkog izobličenja manje od 4,4%, što je osjetno niže od 8% ukupnog harmoničkog izobličenja, propisanog normom EN 50160. Najviše vrijednosti ukupne harmoničke distorzije javljaju se u noćnim satima zato jer je i ukupno opterećenje mreže najmanje, čime se povećava poprečna impedancija mreže, što dovodi do porasta iznosa napona harmonika, a time i ukupne harmoničke distorzije.

Ukoliko se sličan dijagram napravi i za peti harmonik struje (Slika 9), također razmatrajući percentile razdiobe struja trećeg harmonika tijekom dana na svim transformatorskim stanicama, vidljivo je da se najviše vrijednosti javljaju oko 21 sat. Pritom je 95% vrijednosti struja trećeg harmonika manje od 32 A. Slično je moguće napraviti i za ostale harmonike napona i struja.





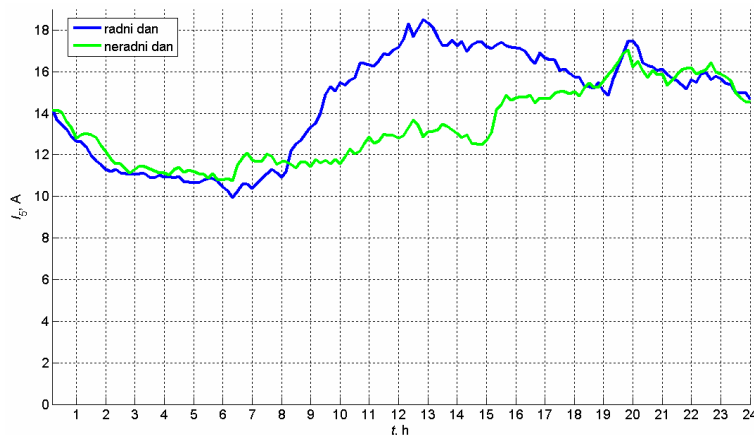
Slika 8 Percentile razdiobe ukupnog harmoničkog izobličenja napona po satima tijekom dana



Slika 9 Percentile razdiobe trećeg harmonika struja po satima tijekom dana

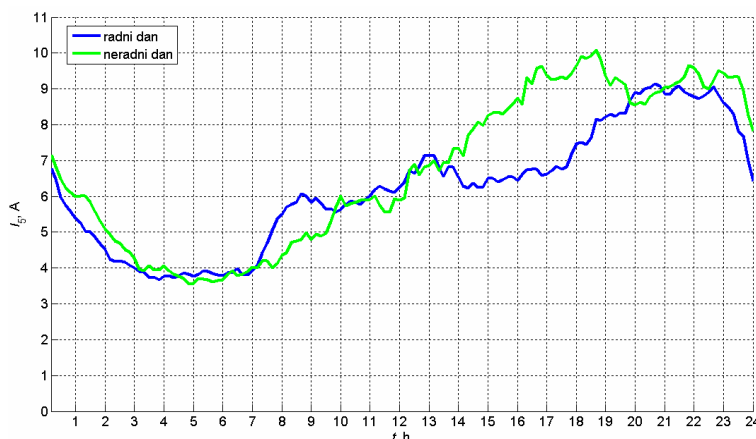
Iz izmjerenih vrijednosti harmonika struja i napona moguće je napraviti prosječan dnevni dijagram harmoničkog opterećenja za svaku transformatorsku stanicu, posebno za radne (od ponedjeljka do petka) i neradne dane (subota i nedjelja). Temeljem takvih dijagrama moguće je zaključiti o značajkama potrošnje na promatranoj transformatorskoj stanici.

Ukoliko su na primjer, na prosječnom dnevnom dijagramu petog harmonika, vrijednosti tijekom radnog dana značajno veće od prosječnog dijagrama neradnog dana, očito je da se radi o poslovnom konzumu (Slika 10).



Slika 10 Prosječni dnevni dijagram struja petog harmonika za radni i neradni dan, TS 330 - Štoosova 6, od 27.8.2002. do 2.9.2002.

Međutim, ukoliko su na prosječnom dnevnom dijagramu petog harmonika, vrijednosti tijekom neradnog dana, u doba povećane upotrebe TV prijemnika, veće od prosječnog dijagrama radnog dana, očito je da se radi o konzumu kućanstava (Slika 11).



Slika 11 Prosječni dnevni dijagram struja petog harmonika za radni i neradni dan, TS 1401 - Bartolići 29, od 20.9.2002. do 26.9.2002..

## 6. ZAKLJUČAK

U članku su prikazani neki važniji rezultati statističke obrade mjerenja harmonika na dvadeset i pet zagrebačkih niskonaponskih transformatorskih stanica, koje napajaju konzum kućanstava. Iz mjerenja je vidljivo da, iako su harmonici stohastičke veličine, postoji određeni deterministički obrazac, odnosno pravilnost ponavljanja tijekom svakoga dana, koja koincidira s upotrebom TV prijemnika, računala i ostale zabavne elektronike. U mreži su najprisutniji treći, peti i sedmi harmonici struja i napona, koji su posljedica velikog broja nelinearnih trošila u mreži. Razmatrajući percentile razdiobe ukupne harmoničke distorzije tijekom dana na svim transformatorskim stanicama, vidljivo je da se najviše vrijednosti javljaju oko 4 sata ujutro. Pritom je 95% vrijednosti ukupnog harmoničkog izobličenja manje od 4,4%, što je osjetno niže od 8%, ukupnog harmoničkog izobličenja, propisanog normom EN 50160. Također, razmatrajući percentile razdiobe struja trećeg harmonika tijekom dana na svim transformatorskim stanicama, vidljivo je da se najviše vrijednosti javljaju oko 21 sat. Pritom je 95% vrijednosti struja trećeg harmonika manje od 32 A. Prosječni dnevni dijagrami harmoničkih struja razlikuju se za radni i neradni dan.

## 7. LITERATURA

- [1] A.E.Emanuel, J.A.Orr, D.Cygansky, E.M.Gulachenski, "A Survey of Harmonic Voltages and Currents At Distribution Substations", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No.4, October 1991
- [2] A.E.Emanuel, J.A.Orr, D.Cygansky, E.M.Gulachenski, "A Survey of Harmonic Voltages and Currents At the Customer's Bus", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No.1, January 1993
- [3] I.M.Nejdawi, A.E.Emanuel, D.J.Pileggi, M.J.Corridori, R.D.Archambeault, "Harmonics Trend in NE USA: a Preliminary Survey", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.14, No.4, October 1999
- [4] Chi-Jui Wu, Chin-Chung Yin, Chin-Chuan Chiu, "Application of Regression Models to Predict Harmonic Voltage and Current Growth Trend From Measurement Data at Secondary Substations, IEEE Transactions on Power Delivery", Vol. 10, No.3, July 1995.
- [5] M.Grady, "Understanding Power System Harmonics", The University of Texas, 2000.
- [6] L.Wagmann, E.Mihalek, Metoda procjene viših harmonika u NN mreži zbog uporabe električnih nelinearnih trošila u kućanstvima, Energija br.6, prosinac, 1997