

Ivan Ramljak
J.P."Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
ivan.ramljak@ephzhh.ba

Marin Bakula
J.P."Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
marin.bakula@ephzhh.ba

Mijo Sesar
J.P."Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
mijo.sesar@ephzhh.ba

Ivan Bubalo
J.P."Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
ivan.bubalo@ephzhh.ba

Ljupko Galić
J.P."Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
ljupko.galic@ephzhh.ba

UTJECAJ SUSTAVA LED ULIČNE RASVJETE NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

SAŽETAK

LED tehnologija postaje ravnopravan konkurent natrijevim i fluo izvorima na tržištu rasvjete. Razvoj LED rasvjete je omogućio da se ona može koristiti osim za unutarnju rasvjetu, i za vanjsku rasvjetu. Svi postojeći (konvencionalni) izvori svjetlosti su već dosegli svoju točku maksimalne funkcionalnosti i uporabljivosti. Stoga, za očekivati je sve veću upotrebu sustava LED rasvjete u distribucijskoj mreži. Međutim, LED rasvjeta ima i određeni utjecaj na distribucijsku mrežu. Upravo se u ovom radu analizira utjecaj LED sustava ulične rasvjete na distribucijsku mrežu po pitanju kvalitete električne energije. Rezultati su dobiveni mjerenjem u transformatorskoj stanici na izvodu sa kojeg se napaja sustav ulične LED rasvjete instalirane snage 20 kW, prema EN 50160. Dobiveni rezultati su analizirani i uspoređeni sa sličnim mjerenjima u literaturi. Poseban osvrt je dan na problematiku generiranja viših harmonika te su predložena rješenja ovog problema u svrhu smanjenja gubitaka električne energije.

Ključne riječi: LED rasvjeta, distribucijska mreža, kvaliteta električne energije, THDi, THDu

INFLUENCE OF LED STREET LIGHTING SYSTEM ON DISTRIBUTION GRID

SUMMARY

LED technology becomes a full competitor to sodium and fluorescent sources on lighting market. The development of LED lighting allows that it can be used for outdoor lighting of public areas besides indoor lighting. All existing (conventional) light sources have already reached its point of maximum functionality and usability. Therefore, it is expected increasing of LED lighting systems in distribution grid. However, LED lighting has a certain impact on the distribution grid. In this paper is analyzed the impact of a LED street lighting system on distribution grid in term of power quality. The results are obtained by measuring in transformer station, on feeder which supplies system of LED street lighting installed power of 20 kW, according to EN 50160. The results were analyzed and compared with similar measurements in the literature. A special emphasis is given to the problem of higher harmonics generating and solutions are proposed of this problem in order to reduce energy losses.

Key words: LED lighting, distribution grid, power quality, THDi, THDu

1. UVOD

LED tehnologija uzima sve više udjela u tržištu i postaje ravnopravan konkurent natrijevim i fluo izvorima. Razvoj LED rasvjete je omogućio da se ona može koristiti osim za unutarnju rasvjetu i za vanjsku rasvjetu javnih površina [1]. Prisustvo LED-a i značaj na tržištu je u toj mjeri porastao da se sve više govori i o upotrebi LED-a u javnoj rasvjeti, što je ipak iznenađujući rezultat za ovakav kratak vremenski period [2]. Odnos LED rasvjete i usporedba sa natrijevim i fluo izvorima je detaljnije analizirana u [2]. Prema svim relevantnim istraživanjima i pravcima razvoja, vrijeme LED rasvjete definitivno dolazi. Trenutno ne postoji niti jedno tehnološki izvedivo rješenje koje u relativno kratkom roku (3-5 godina) može bitno pridonijeti uštedi električne energije na globalnom planu kao što to može LED rasvjeta. Već sada imaju najvišu učinkovitost (preko 200 lm/W). Svi postojeći (konvencionalni) izvori svjetlosti su već dosegli svoju točku maksimalne funkcionalnosti i uporabljivosti, te se u njihov razvoj prestalo ulagati. Prednost LED izvora svjetla je i u načinu njihove ugradnje u svjetiljke, gdje zbog karakteristike zračenja izvora svjetla postiže dvostruko veću iskoristivost, pa se postižu niži troškovi za električnu energiju. Druga prednost je bolja regulacija nivoa rasvijetljenosti čime se također postiže ušteda električne energije. Zbog mogućnosti regulacije ova tehnologija može proizvesti mnogo učinkovitiju rasvjetu, koja može udovoljiti ekološkim standardima. Treća prednost je duži životni vijek čime se također postiže ušteda [1]. Međutim, LED rasvjeta ima i određeni utjecaj na distribucijsku mrežu. Upravo je i cilj ovog rada da se analizira utjecaj LED sustava ulične rasvjete na distribucijsku mrežu po pitanju kvalitete električne energije. Da bi se dobili rezultati utjecaja – povratnog djelovanja sustava LED rasvjete na distribucijsku mrežu vršeno je u transformatorskoj stanici mjerenje na izvodu sa kojeg se napaja sustav ulične LED rasvjete instalirane snage oko 20 kW. Mjerenje je vršeno jednim komercijalnim analizatorom kvalitete električne energije tijekom jednog tjedna. Transformator koji napaja predmetni sustav rasvjete je snage 250 kVA sa ugrađenom kompenzacijom u vidu kondenzatorske baterije. U periodu mjerenja transformator je osim javne rasvjete napajao još samo jednu poslovnu zgradu vršne snage cca. 25 kW (slično kao javna rasvjeta). Praktično, vršna snaga je transformatora konstantna, oko 25 kW, jer po danu kada rasvjeta ne radi zgrada je u funkciji, i obratno.

2. UTJECAJ SUSTAVA LED RASVJETE NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU – PREGLED LITERATURE

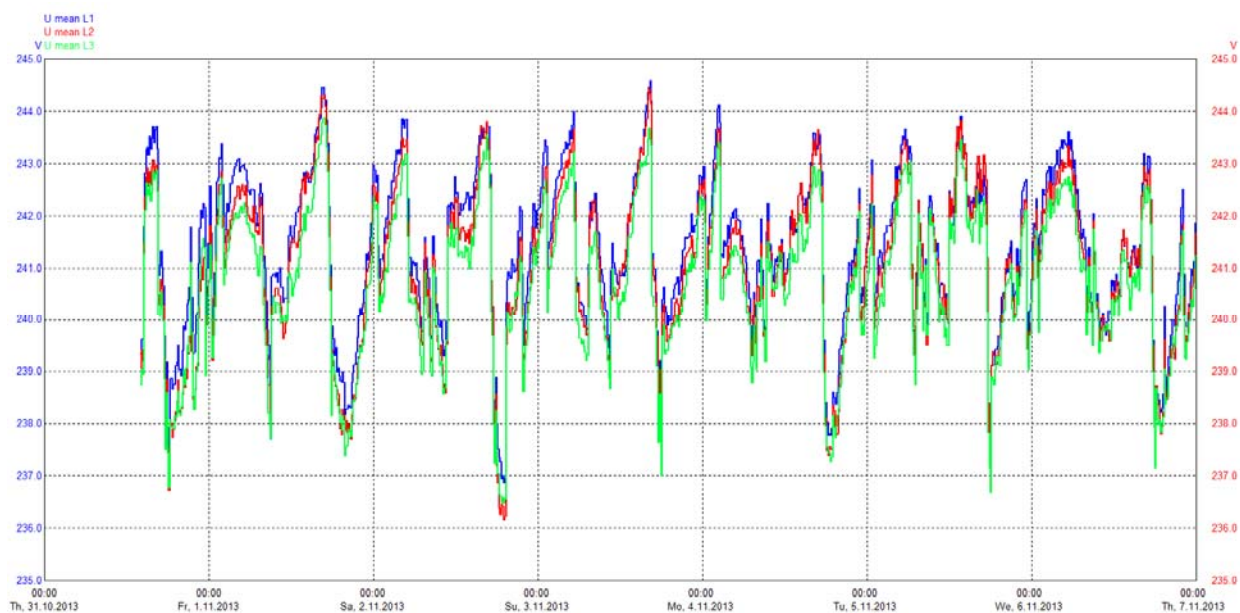
Kao digitalni uređaj LED rasvjeta unosi smetnje u distribucijsku mrežu. Iznos smetnji (harmoničko izobličenje struje – THDi) iznosi ovisno o tipu i proizvođaču svjetiljke do 10 ili do 20% [1]. LED upravljački uređaji rade na istosmjernom naponu. Dakle, izmjenični mrežni napon se prvo ispravi ispravljačima. Poluvodički elementi tih ispravljača su nelinearni elementi [3]. Nelinearni elementi su izvori (generatori) viših harmonika. Kvaliteta filtera viših harmonika tih poluvodičkih elemenata uvjetuje povratno djelovanje sustava LED rasvjete na napojnu električnu mrežu (uglavnom po pitanju viših harmonika). Dakle, prema literaturi, najveći problem koji LED sustav rasvjete može "donijeti" u distribucijsku mrežu su harmonici. Utjecaj viših harmonika se očituje u slijedećim efektima [1]:

- a) viši harmonici utječu na ostalu opremu (EMC),
- b) viši harmonici generiraju dodatne gubitke u kabelima, transformatorima i ostalim mrežnim komponentama,
- c) viši harmonici izazivaju povećane padove napona zbog porasta reaktancije,
- d) viši harmonici mogu izazvati preopterećenje nultog vodiča u TN sustavu zaštite,
- e) viši harmonici utječu na faktor snage budući su generatori (transformatori) preopterećeni.

Norme i pravilnici korišteni u ovom slučaju (relevantni za promatranje utjecaja - povratnog djelovanja potrošača (u ovom slučaju LED rasvjete) na distribucijsku mrežu) su: EN 50160, IEEE 1547, IEEE 519 i IEC 61000-4-xx.

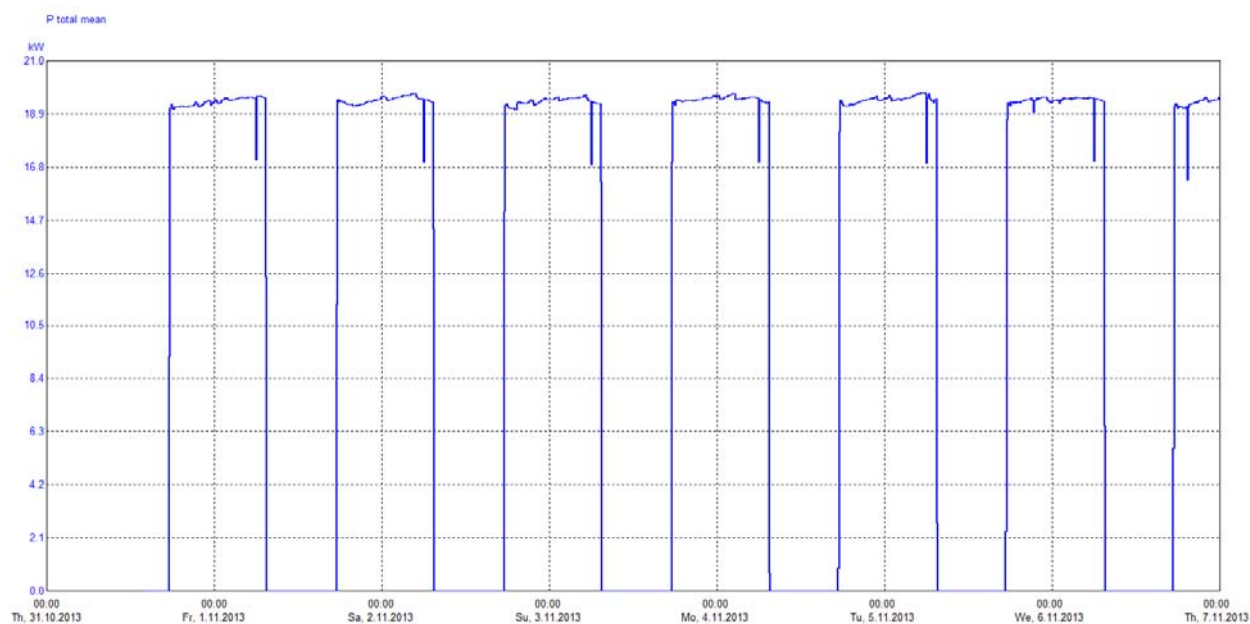
3. ANALIZA PARAMETARA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na slici 1 je prikazana krivulja faznih napona, gdje je vidljiva povećana vrijednost napona sa prosječnom vrjednošću od oko 240 V. Povećanje napona je prisutno zbog niskog opterećenja transformatorske stanice ali i, kako će se kasnije vidjeti, zbog toga što ovaj sustav LED rasvjete proizvodi jalovu snagu/energiju.



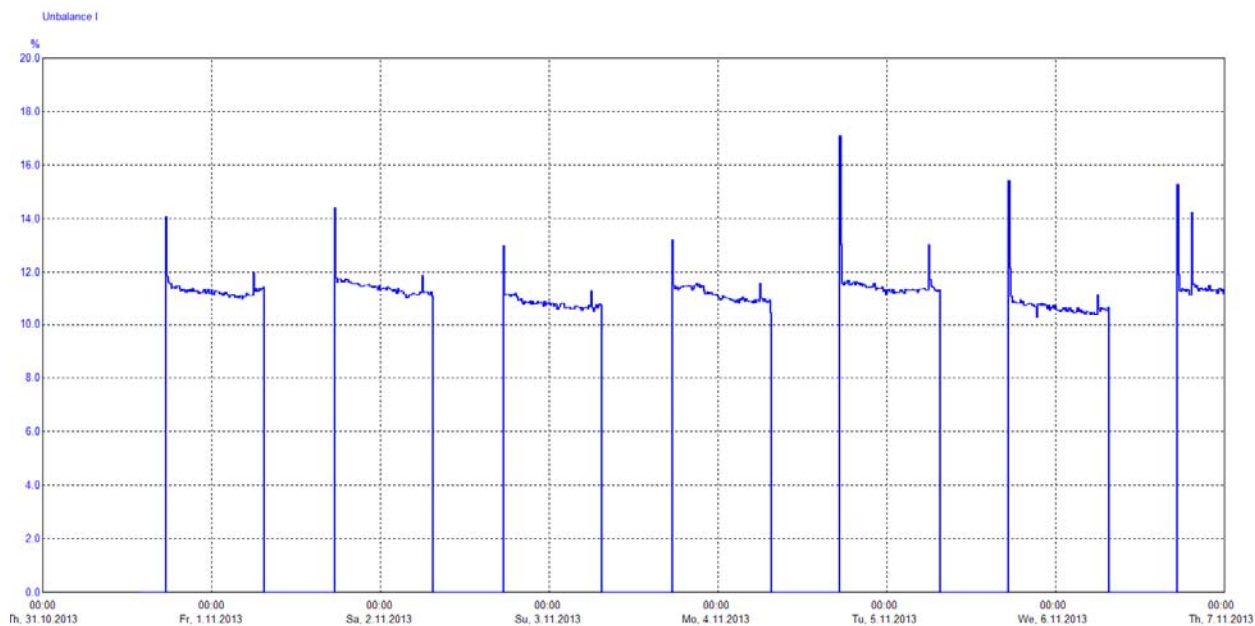
Slika 1. Krivulja faznih napona u mjernoj točki

Na slici 2 je prikazana krivulja radne snage sustava javne rasvjete gdje je vidljiva vršna snaga sustava od oko 20 kW.



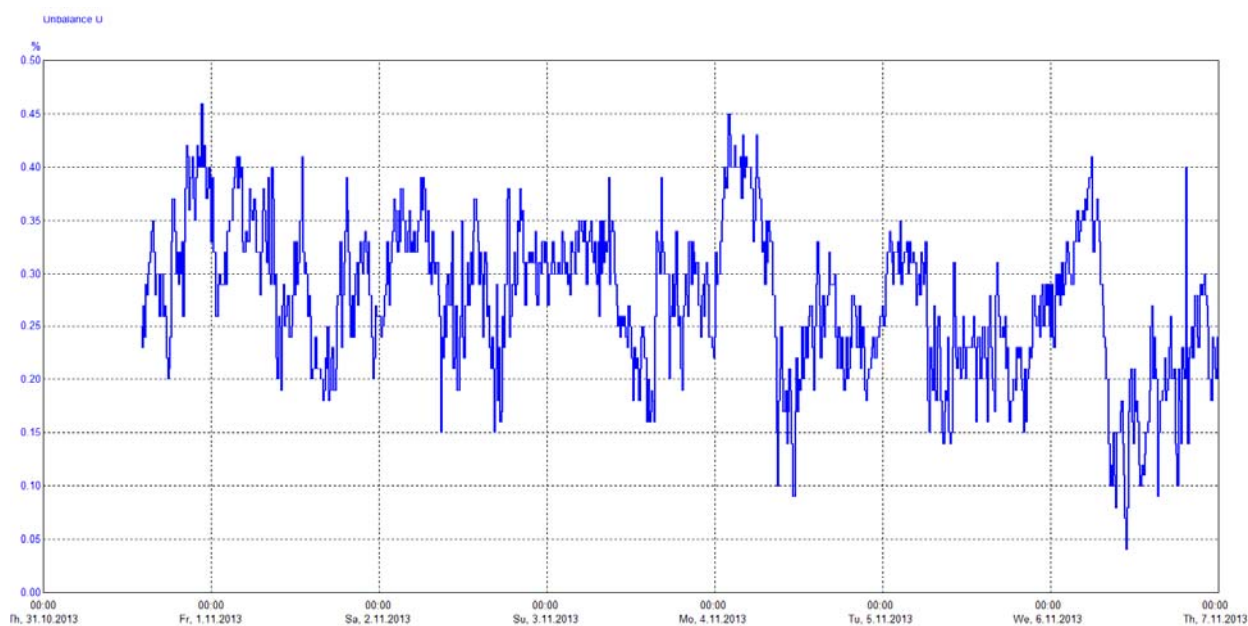
Slika 2. Krivulja radne snage sustava javne rasvjete

Na slici 3 je prikazana nesimetrija struje koja proizilazi iz nesimetričnog opterećenja svjetiljki po fazama.



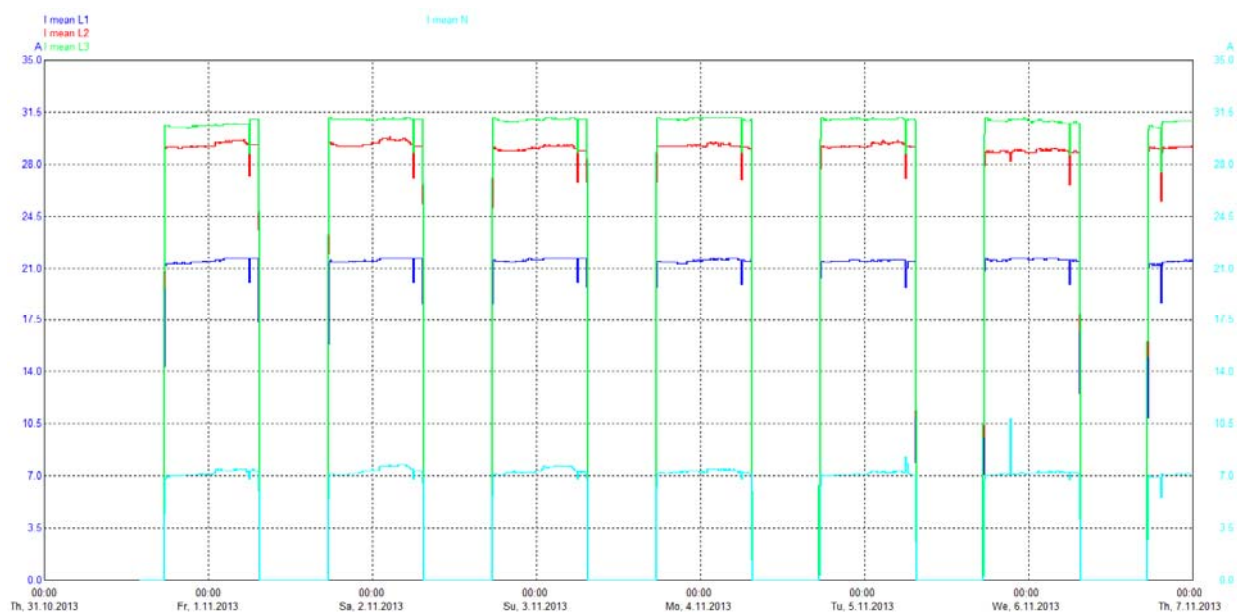
Slika 3. Nesimetrija struje u mjernoj točki

Na slici 4 je prikazana naponska nesimetrija koja je ispod granične vrijednosti od 2% prema EN 50160.



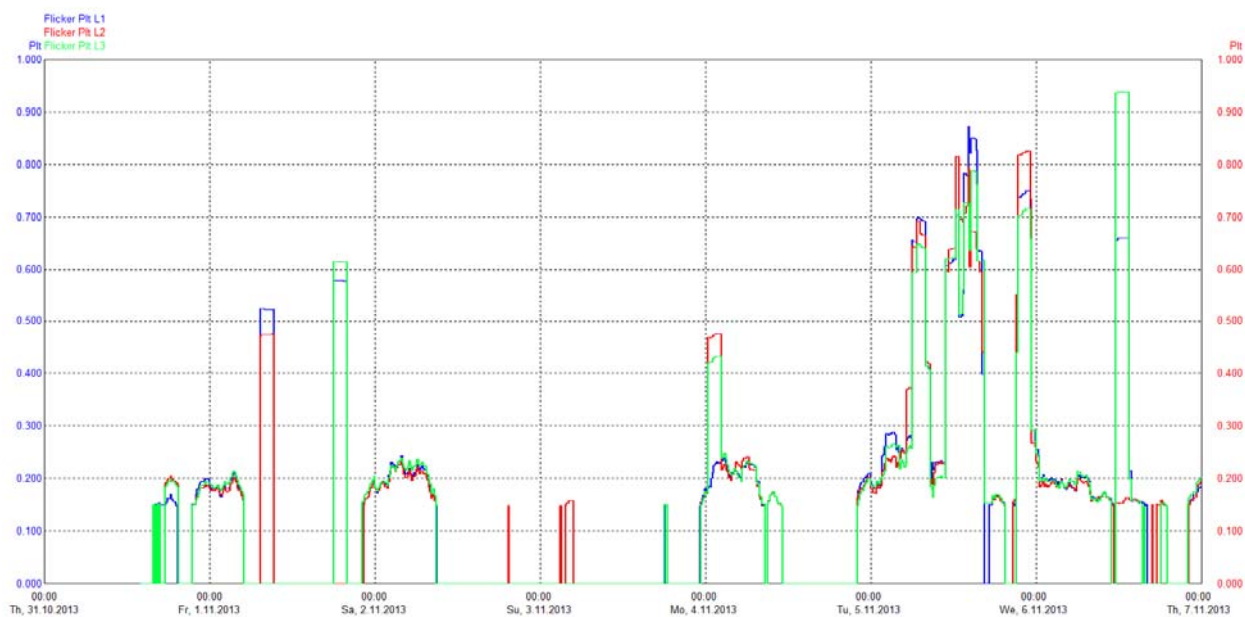
Slika 4. Nesimetrija napona u mjernoj točki

Na slici 5 su prikazane struje u faznim vodičima i nultom vodiču. Struje su nesimetrične po fazama što je vrlo vjerojatno posljedica konfiguracije (rasporeda) svjetiljki.



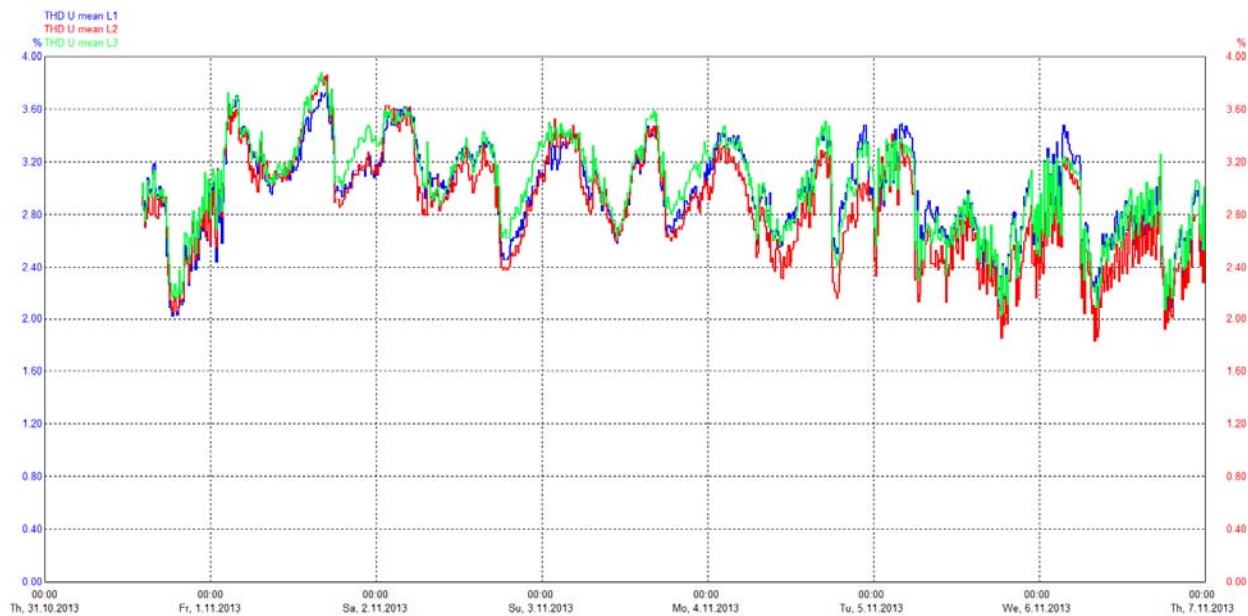
Slika 5. Iznosi struje u vodičima u mjernoj točki

Na slici 6 su prikazane vrijednosti flikera P_{It} koje moraju biti <1 prema EN 50160. Vidljivo je da je to u ovom slučaju ispoštovano i u skladu s EN 50160.



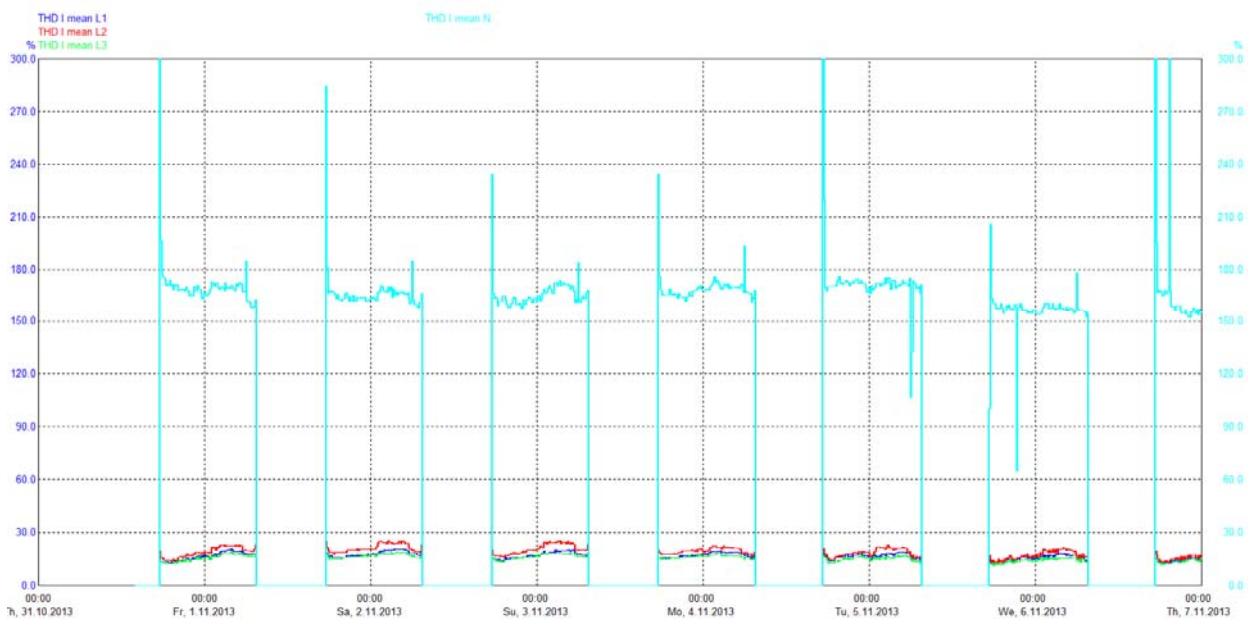
Slika 6. Vrijednosti flikera P_{It} po fazama

Na slici 7 je prikazan THD napona (ukupna harmonička distorzija, THDu) po fazama, gdje je vidljivo da je THDu po fazi do 3,8%, što je manje od graničnih vrijednosti, 5% prema IEEE 519-1992 i 8% prema EN 50160.



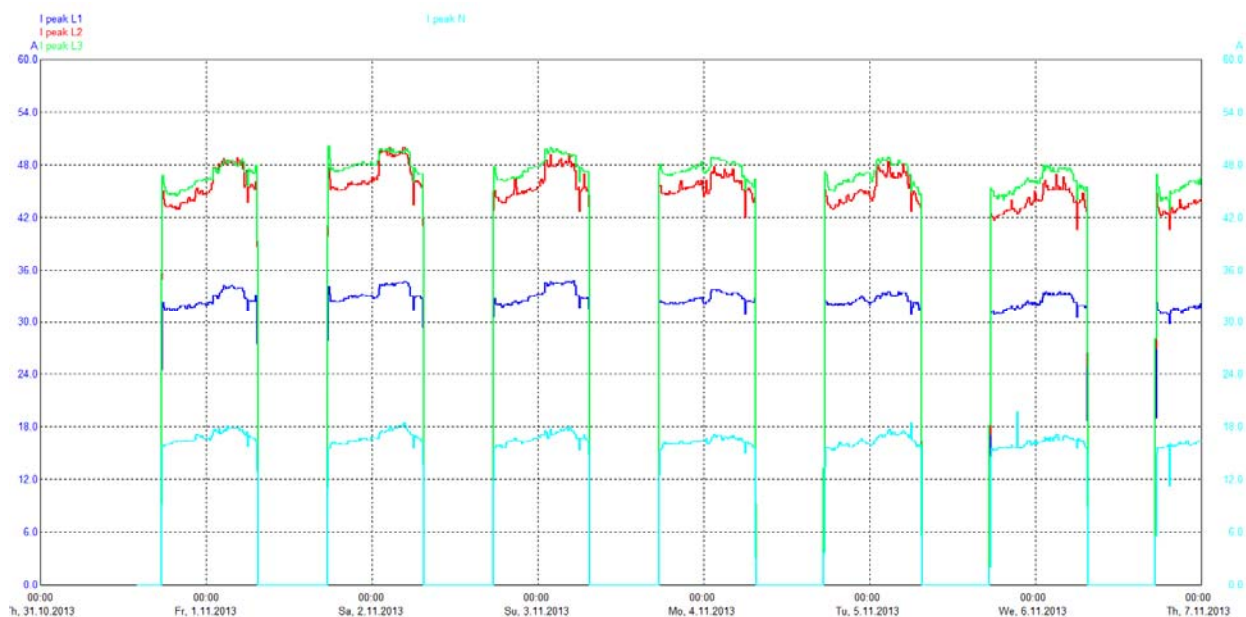
Slika 7. Vrijednosti THD napona po fazama

Na slici 8 je prikazan THD struje (ukupna harmonička distorzija, THDi) po fazama, gdje je vidljivo da je THD po fazi do 30%, a u nultom vodiču THD je do oko 300% prilikom paljenja LED rasvjete ("špicevi") a zatim je ta vrijednost oko 170-180% kontinuirano. Prema [4] THDi je prihvatljiv do 10% a od 10% do 50% dolazi do povećanja temperature što dovodi do povećanih Joulovih gubitaka i do potrebe za predimenzioniranjem kabela i izvora.



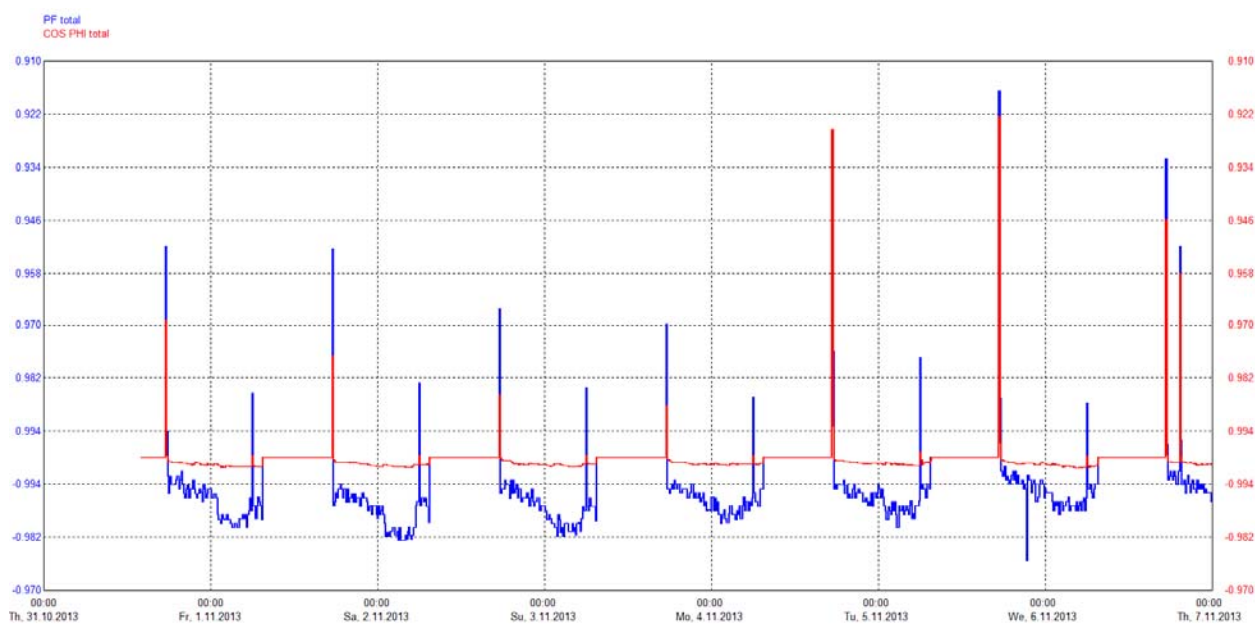
Slika 8. Vrijednosti THD struje po fazama

Na slici 9 je prikazan "špic" struje (peak) po fazama, gdje je vidljivo da je ta vrijednost veća od nazivne vrijednosti struje za oko 60%.



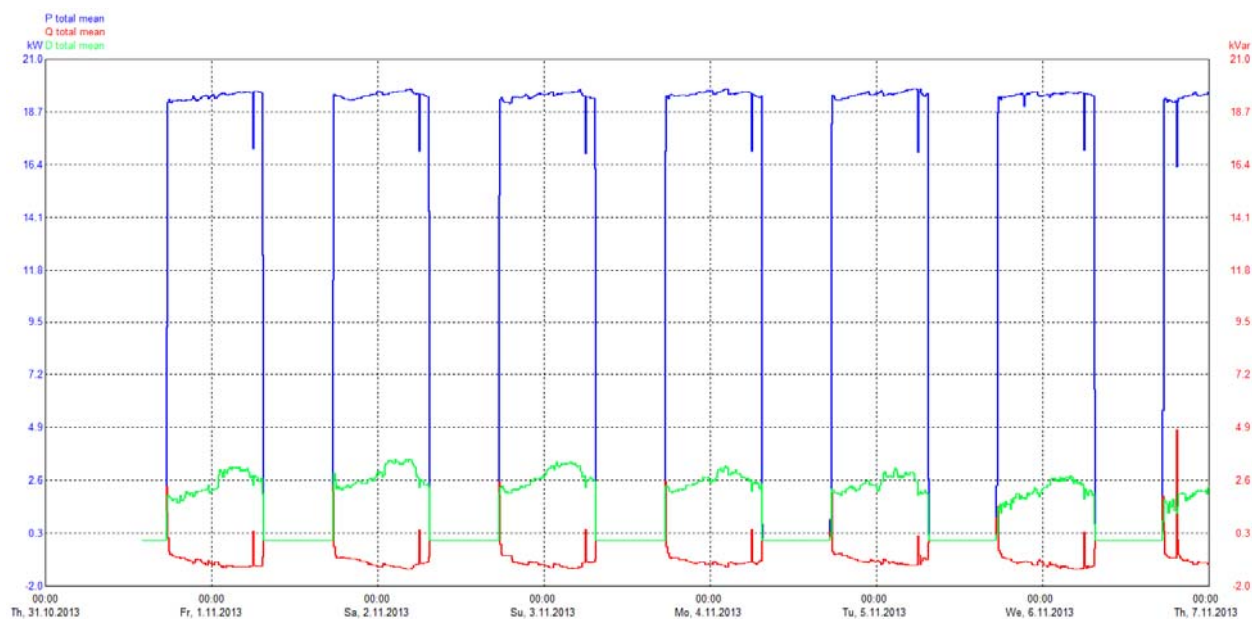
Slika 9. Vrijednosti "špic" struje (peak) po fazama

Na slici 10 su prikazani $\cos \phi$ i faktor snage (PF) za ovaj sustav LED rasvjete. Vidljivo je da postoji razlika između $\cos \phi$ i PF na način da je PF "nepovoljniji". To dalje znači da postoje viši harmonici koji pogoršavaju faktor snage i time stvaraju gubitke u sustavu! Međutim, u svakom slučaju je faktor snage u dozvoljenim granicama ($>0,95$). Zanimljivo je da je u startu sustava faktor snage pozitivan, dakle LED rasvjeta uzima iz mreže jalovu snagu dok u normalnom radu sustav proizvodi jalovu snagu. Upravo je i ta činjenica razlog potencijalnih povećanih vrijednosti napona na sabirnicama transformatorske stanice.



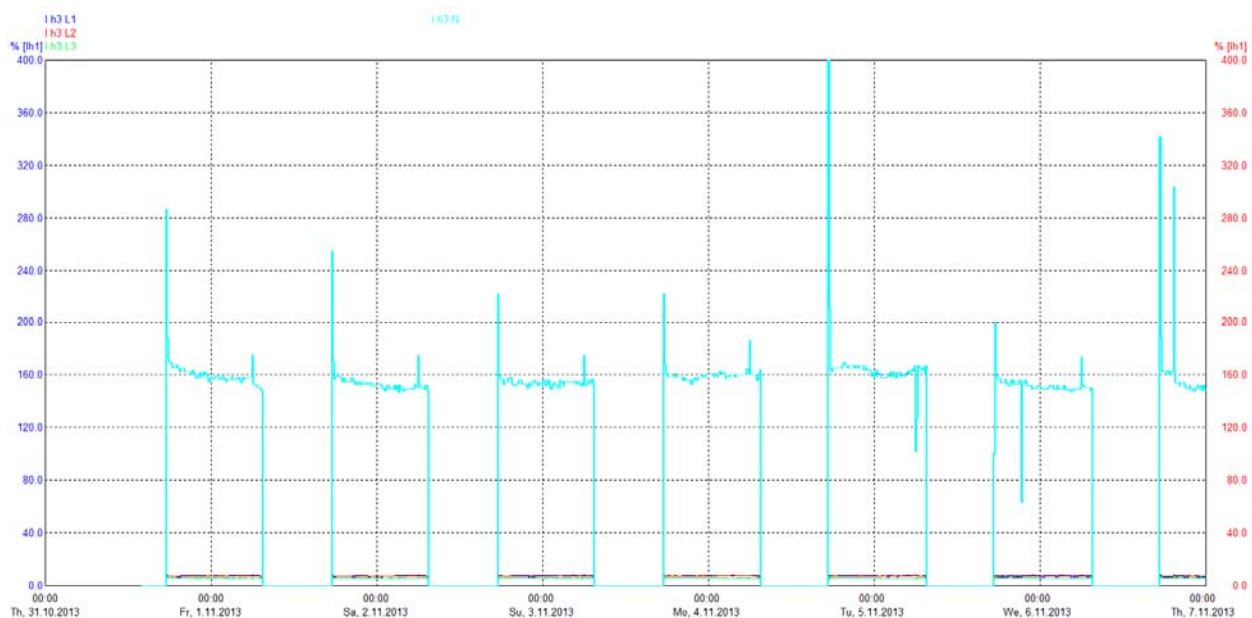
Slika 10. $\cos \phi$ i faktor snage (PF) sustava LED rasvjete

Na slici 11 su prikazne vrijednosti radne (P), jalove (Q) i snage distorzije (snage viših harmonika, D). Vidi se da je zbog postojanja viših harmonika izražena snaga distorzije D (12-15% radne snage) a jalova snaga se kako je i rečeno proizvodi i plasira u mrežu (do 10% radne snage).

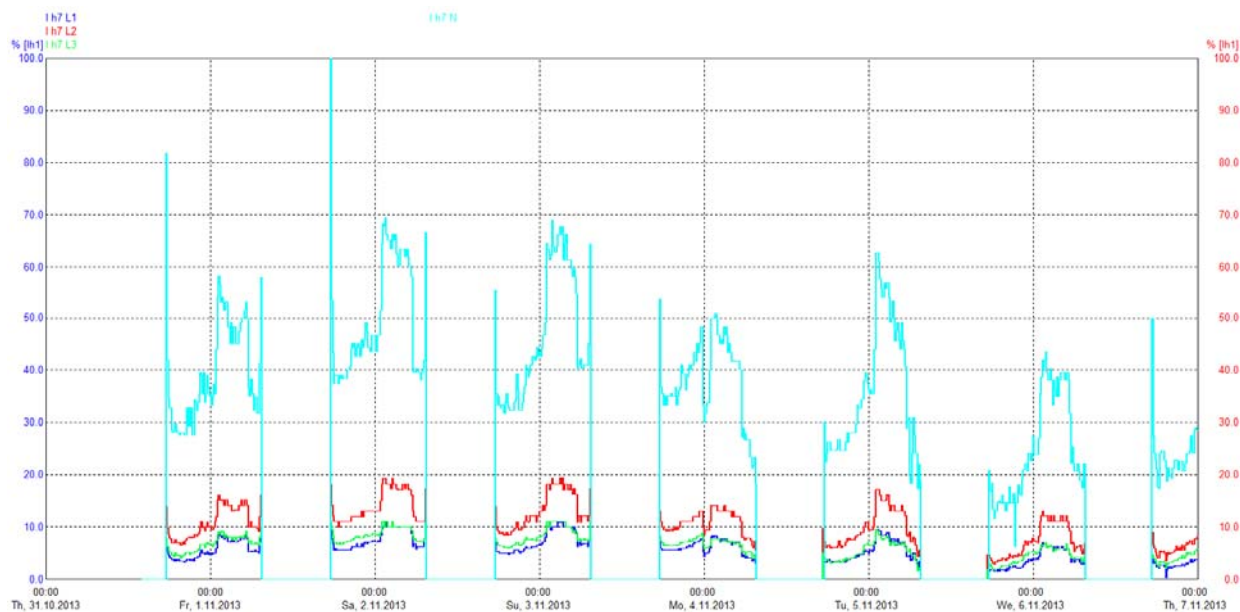


Slika 11. Vrijednosti radne (P), jalove (Q) i snage distorzije (snage viših harmonika, D)

Na slikama 12 i 13 prikazani su najizraženiji viši harmonici struje u faznim i nultom vodiču (3. i 7. harmonik). Vidljivo je da su vrijednosti viših harmonika u faznim vodičima izražene (od 5% do 20% I_{h1} , a najizraženiji je 7. harmonik). Posebno se ističu vrijednosti viših harmonika struje u nultom vodiču koje su postotno znatno izraženije nego u faznim vodičima. Najizraženiji je 3. harmonik u nultom vodiču što je u skladu sa teorijskim postavkama viših harmonika (čak 160% I_{h1}). Naime, treći harmonik struje i njegovi višekratnici (9., 15...) predstavljaju velik problem u niskonaponskim mrežama. Pored toga što stvaraju padove napona na impedancijama mreže i time kvare valni oblik napon napajanja, oni su istofazni u sve tri faze pa se aritmetički zbrajaju u nultom vodiču. Posljedica ove pojave je pregrijavanje nultog vodiča koji ponekad nije projektiran za ta strujna opterećenja.

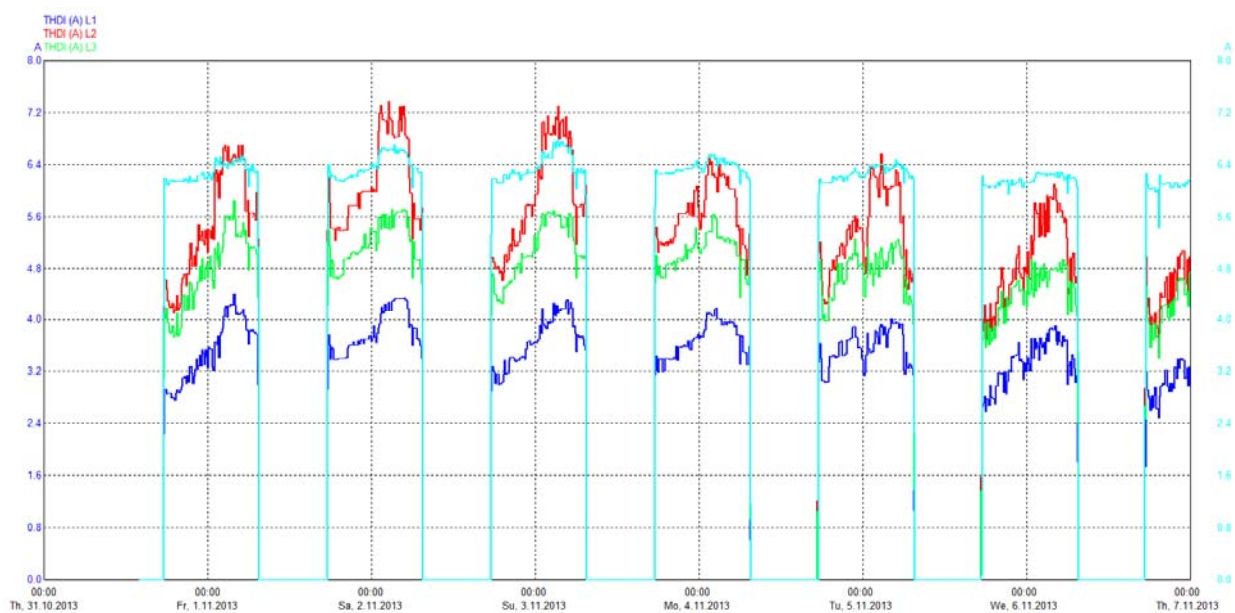


Slika 12. Vrijednosti 3. harmonika struje u faznim i nultom vodiču



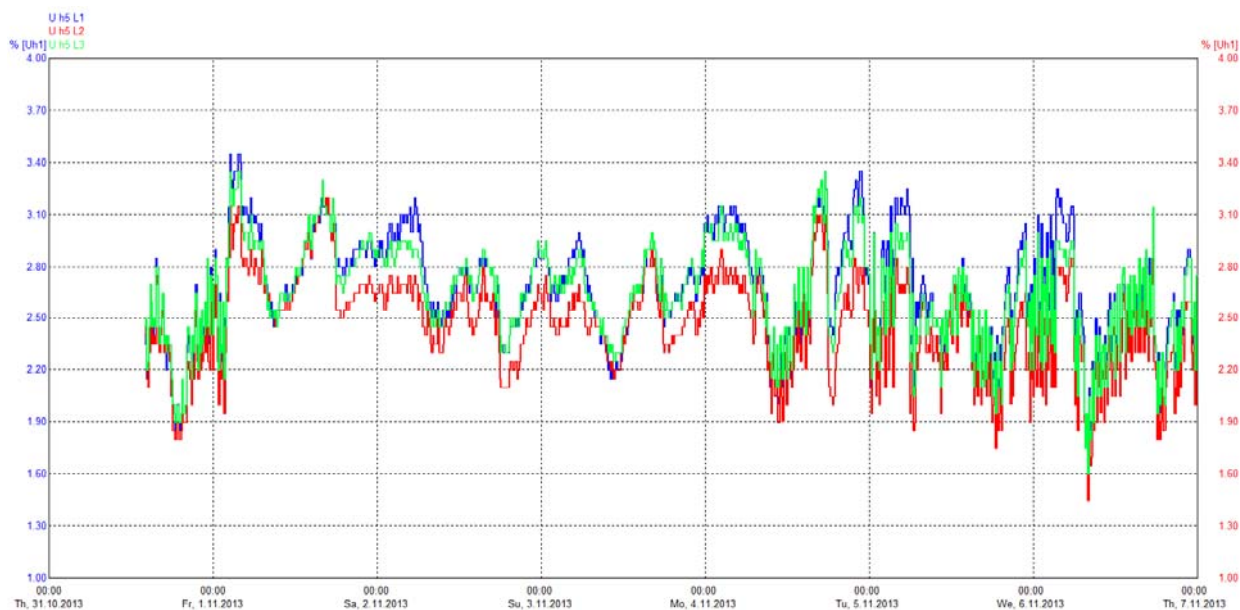
Slika 13. Vrijednosti 7. harmonika struje u faznim i nultom vodiču

Vrijednosti THD struje u A su dane na slici 14. Ove struje predstavljaju gubitke viših harmonika.



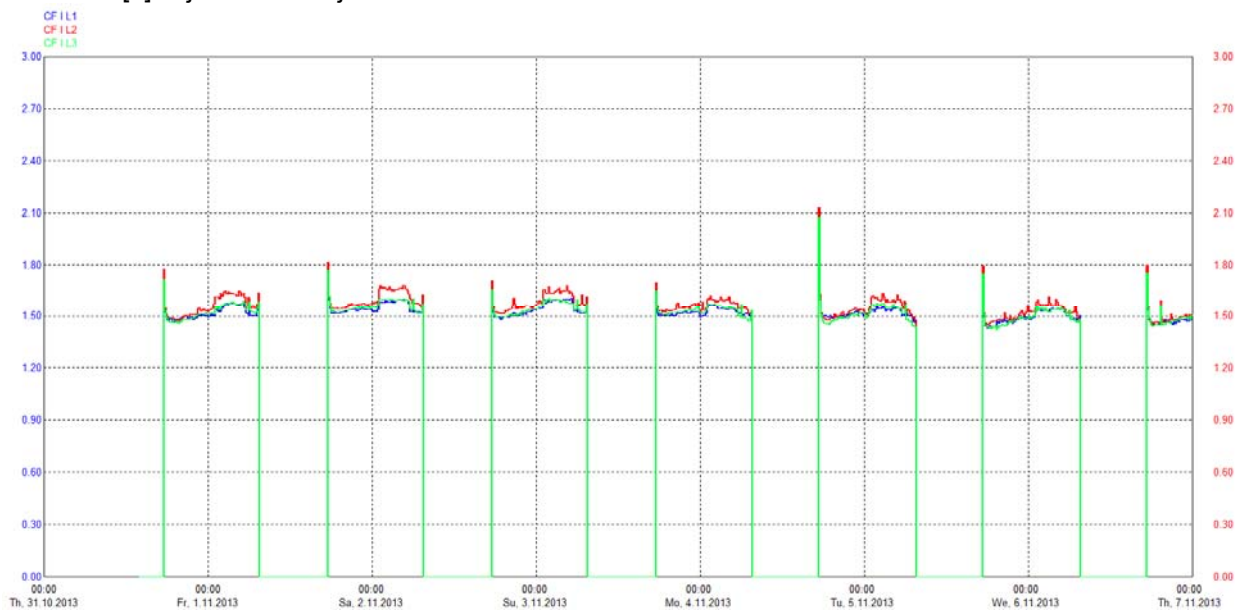
Slika 14. Vrijednosti THD struje u amperima

Na slici 15 su prikazane vrijednosti 5. harmonika napona, inače najizraženijeg od svih viših harmonika napona. Vidljivo je da su te vrijednosti u dopuštenim granicama ($<6\% U_{h1}$) što je u skladu s EN 50160.



Slika 15. Vrijednosti petog harmonika napona

Na slici 16 je prikazana vrijednosti CF (crest factor), omjer vršne struje i efektivne vrijednosti struje, koji za sinusnu funkciju iznosi 1.41. Vidljivo je da u ovom slučaju crest factor je u prosjeku oko 1.6. To je u skladu sa [4] koja navodi da je za nelinearna trošila CF između 1.5 i 2.



Slika 16. Vrijednosti CF faktora

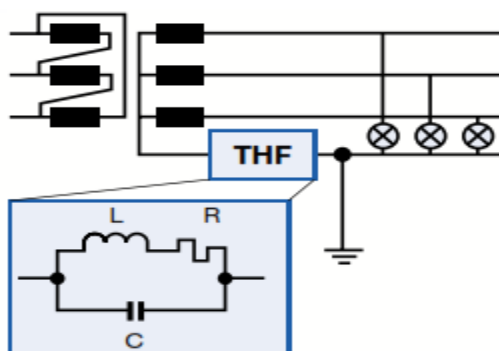
4. ISTAKNUTI PROBLEMI LED SUSTAVA ULIČNE RASVJETE U EKSPLOATACIJI I MJERE ZA SMANJENJE ISTIH

4.1. Povišeni THD struje

Viši harmonici struje predstavljaju generator dodatnih gubitaka (troškova) jer dolazi do dodatnog zagrijavanja elemenata elektroenergetskog sustava, povećanja gubitaka električne energije i ubrzanog starenja izolacije što dovodi do kraće eksploatacije elemenata (skuplji troškovi održavanja) [5]. Za ovaj slučaj je THDi oko 30% što je više od preporuke od 10%.

4.2. Treći harmonik u neutralnom vodiču

Za ovaj slučaj mjerenja posebno se ističu vrijednosti trećeg harmonika u neutralnom vodiču. Kako je već istaknuto, te velike vrijednosti dovode do povećanja gubitaka i zagrijavanja elemenata u sustavu. Prijedlog rješenja ovog problema je ugradnja filtera u neutralnom vodiču u blizini pojne točke (transformatora) koji služi da smanji vrijednosti trećeg harmonika u neutralnom vodiču a time se smanjuje pregrijavanje i gubici (slika 17). Također, za očekivati je i smanjenje ukupnog THD struje.



Slika 17. Filter trećeg harmonika struje

4.3. Snaga distorzije

Prisutnost viših harmonika dovodi do pojave i tzv. snage distorzije (D) koja je rezultat postojanja viših harmonika u sustavu. U ovom mjerenju je snaga distorzije izraženija od jalove snage. Snaga se ne mjeri klasičnim brojila (čak niti digitalnim) pošto je takvo brojilo skuplje zbog potrebe mjerenja viših harmonika napona i struje čiji je produkt upravo snaga distorzije. Zbog toga, dok se ne definira potreba za mjerenjem i analizom (naplatom) snage distorzije te granične vrijednosti te snage (kroz faktor snage), sustavi nelinearnih opterećenja će značajno doprinositi gubicima u distribucijskim mrežama.

5. ZAKLJUČAK

Svi postojeći (konvencionalni) izvori svjetlosti su već dosegli svoju točku maksimalne funkcionalnosti i uporabljivosti, te se u njihov razvoj prestalo ulagati. Stoga, za očekivati je sve veću upotrebu sustava LED rasvjete u distribucijskoj mreži. Međutim, LED rasvjeta ima i određeni utjecaj na distribucijsku mrežu. Upravo se u ovom radu analizirao utjecaj LED sustava ulične rasvjete na distribucijsku mrežu po pitanju kvalitete električne energije. Rezultati koji su dobijeni mjerenjem sustava ulične LED rasvjete instalirane snage 20 kW prema EN 50160 su uspoređeni sa sličnim mjerenjima u literaturi. Poseban osvrt je stavljen na problematiku generiranja viših harmonika struje. Viši harmonici struje predstavljaju generator dodatnih gubitaka (troškova) jer dolazi do dodatnog zagrijavanja elemenata elektroenergetskog sustava, povećanja gubitaka električne energije i ubrzanog starenja izolacije što dovodi do kraće eksploatacije elemenata (skuplji troškovi održavanja). Proizvod viših harmonika je zapravo snaga distorzije koja stvara već opisane dodatne gubitke na mrežnim elementima. Primjer rješenja ovog problema je ugradnja filtera viših harmonika što bi ujedno i smanjilo snagu distorzije a time i gubitke električne energije.

6. LITERATURA

- [1] Davor Petranović, "Utjecaj led javne rasvjete na distribucijsku mrežu", HO CIRED, 3.(9.) savjetovanje Sveti Martin na Muri, 13. – 16. svibnja 2012.
- [2] Andrej Đuretić, "Istine i zablude o led tehnologiji", osvetljenje 2010.

- [3] Peter Janiga, D. Gasparovsky, "Power quality in public lighting installations", Power quality, Mr. Andreas Eberhard (Ed.), book chapter, InTech, 2011.
- [4] Electrical instalation guide, Schneider Electric, grupa autora, 2008.
- [5] Nenad Stevanović, Daliborka Ilić, Aleksandar Dimitrijević "Harmonijski sastav struje neutralnog voda u niskonaponskoj napojnoj mreži Direkcije „Kolubara Površinskih kopova“ Energija Ekonomija Ekologija, broj 1-2, god (XI), 2009.