

Analiziranje strujnih valnih oblika različitih tipova rasvjetnih tijela na snižene, nominalne i povišene naponske prilike

Studentski rad

B. Adilović, E. Ahatović
Studenti drugog ciklusa studija
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
badilovic1@hotmail.com, ermin.ahatovic@gmail.com

Sažetak — Ovaj rad za cilj ima analizirati ponašanje raznih tipova rasvjetnih tijela na različite naponske prilike pomoću mjernog sistema koji je razvijen na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu. Danas, razvoj LED tehnologije napreduje nevjerojatnom brzinom. Razlog toga je sve veća efikasnost svijetlećih LED diode, čija cijena opada svakodnevno. Obzirom da se konvencionalna rasvjeta sve češće zamjenjuje LED rasvjetom, interesantno je napraviti analizu utjecaja LED rasvjete na kvalitet električne energije. Provedena analiza izvršena je mjerenjem valnih oblika napona i struje. Zaključci su doneseni na osnovu harmonijske analize valnog oblika struje.

Ključne riječi - sijalica; LED; CFL; harmonici, analiza; THD

I. UVOD

Razvijanjem civilizacije i napretkom tehnologije izvori umjetnog svjetla su znatno napredovali, tj. od konvencionalnih izvora svjetlosti, kao što su žarulje, dolazi se do tzv. moderne LED rasvjete. Danas, LED rasvjeta u odnosu na drugu rasvjetu (žarulje, štedne CFL sijalice,..) je jeftinija, te gledajući dugoročno, isplativija je u odnosu na ostale zbog dužeg vijeka trajanja. U ovom radu cilj je pokazati da je LED rasvjeta najefikasniji i najekonomičniji izvor umjetnog svjeta, te je cilj analizirati njen utjecaj na kvalitetu električne energije.

U radu su prezentirani valni oblici struja različitih rasvjetnih tijela korištenih u domaćinstvima (LED sijalica, CFL štedna sijalica i LED ugradbena plafonjera), te je provedena analiza za slučaj sniženih i povišenih naponskih prilika.

Da bi se uopšte pokazala isplativost provođenja jedne ovakve analize, bitno je navesti neke osnovne i najvažnije prednosti LED rasvjete u odnosu na drugu rasvjetu: potrošnja električne energije smanjena je od 80 do 95 procenata, radni vijek je do 50 000 radnih sati (što je 50 više u odnosu na žarulje), brzina reagovanja veća je čak i do deset puta, ne sadrže otrovne hemijske elemente (npr. živu), itd.

Međutim, pored svih prednosti LED rasvjete, lošiji proizvodi mogu dosta uticati na nelinearnost distributivne mreže, kao i ostalih potrošača. Zbog toga, snimljeni su

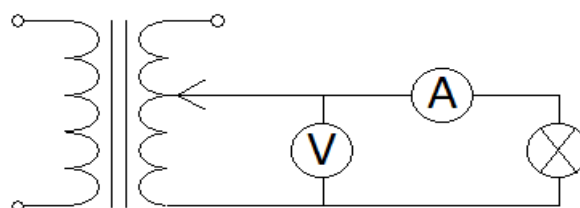
harmonici struje i napon, te spektar svjetlosti analiziranih tipova rasvjetnih tijela, te je donesen zaključak o njihovom uticaju na kvalitet električne energije.

II. OPIS EKSPERIMENTA

Cilj izvršenog eksperimenta bio je ispitivanje različitih tipova sijalica na snižene, nominalne i povišene naponske prilike. Prilikom vršenja eksperimenta korišten je mjerni sistem prikazan na Sl. 1, dok je shema spoja eksperimenta prikazana na Sl. 2. Pomoću mjernog sistema promatrani su valni oblici struje, aktivne i reaktivne snage, te faznog stava mjerenih veličina.



Slika 1. Mjerni sistem korišten za izradu eksperimenta



Slika 2. Shema spoja mjernog sistema

A. *Hardverske komponente korištene za rad*

Mjerni sistem se sastoji od:

- PC Mini-Box M300-LCD (Intel D945GCLF2, Dual Core 1.600GHz, 1GB DDR2, HDD 320GB, XP SP3);
- Akvizicijska kartica PCI-DAS6013: 16 analognih ulaza (8diff.), 16-bit rezolucija analognih ulaza, 200kS/s, mjerni opseg $\pm 5V$
- Mjerna kutija
- Kablovi za povezivanje mjernog sistema
- Senzori za mjerenje struje (dva strujna mjerna transformatora, prijenosnih odnosa 200 mV/A i 52 mV/A)
- Monofazni autotransformator HSN 0202: 220/0-280 V, 7 A, 1.89 kVA
- Analizator spektra svjetlosti CHROMA 2 Pocket Chroma Meter
- Laptop HP550 (Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU, T5270 @ 1.4 GHz, 1.4 GB of RAM, XP SP3)

Prema shemi spoja prikazanoj na Slici 2 pokazano je da su kao potrošači na ovaj mjerni sistem spojene sijalice. Prilikom izvođenja ovog rada korištena su tri tipa sijalica. Svi tipovi sijalica koje su korištene su detaljno prezentirani u odjeljku III.

Mjerna kutija koja je korištena u okviru eksperimenta je napravljena sa otporničkim dijeliteljem napona. Izabrani su otpornički djelitelji napona zbog širokog raspona frekvencija koje mogu mjeriti. Ova mjerna kutija je projektovana tako da može podnijeti napon efektivne vrijednosti do 600V. Pošto je opseg napona autotransformatora koji je korišten od 0 do 280V, naponski konektori su direktno prikopčani na mjernu kutiju. Za ovu mjernu kutiju, u slučaju efektivnih napona iznad 400V, potrebno je koristiti transformatore za snižavanje napona. Mjerna kutija je veza između akvizicijske kartice i senzora napona i struje. Koristi se za podešavanje ulaznih signala (napon i struja) na akvizicijsku karticu. Kratke upute o spajanju mjernog sistema date su na mjernog kutiji. Mjerna kutija prikazana je na slici 3. Moguće je napraviti različite veze sa mjernim sistemom. Veza koja će se koristiti ovisi o vrsti korištenog senzora mjerenja struje. Npr. ako se koristi konvencionalni strujni mjerni transformator jedan kraj treba biti uzemljen, dok se prilikom korištenja Hallove sonde obično zahtijeva diferencijalni ulaz bez neutralne tačke (GND ili referentna tačka).



Slika 3. Mjerna kutija korištena u eksperimentu

Korištena akvizicijska kartica je jedan od najvažnijih elemenata mjernog sistema i od nje ovise karakteristike mjernog sistema. Akvizicijska kartica je univerzalna kartica s analognim i digitalnim ulazima i izlazima. Analogni ulazi se koriste za analizu kvalitete električne energije. Neke od najvažnijih karakteristika akvizicijske kartice su:

- Sposobnost mjerenja u realnom vremenu (tokom mjerenja u jednom ciklusu može obraditi podatke mjerenja iz prethodnog ciklusa);
- Kartica je ugrađena u računar PC Mini-Box, a za obradu podataka koristi se RAM memorija računara;
- Mogućnost rada na temperaturama od 0 do 55 °C;
- Akvizicijska kartica je povezana sa mjernom kutijom pomoću kabla C100HD50;
- Važna značajka analognih ulaza je kašnjenje između dva susjedna kanala. Ova akvizicijska kartica ima kašnjenje između dva susjedna kanala od 10 ns do 50 ns. U razvijenom mjernom sistemu kanal 0 je ulazni napon faze A, dok je kanal 04 ulazni napon za mjerni transformator struje faze A. Mjerna greška koja se pravi za vrijeme mjerenja je nešto veća nego za slučaj da je kanal 0 ulazni napon faze A i ulazni napon kanala 1 za mjerenje strujnog transformatora faze A. To može biti jedan od nedostataka ovakvog mjernog sistema. Međutim, ova greška je zanemariva na mjerenje kvalitete električne energije jer je maksimalno kašnjenje reda 400 ns, odnosno fazni pomak od 0.0036 °.

PC Mini-Box računar nije najvažnija komponenta ovog sistema, ali je važna karika u lancu elemenata. Kao dodatak, vrlo je važan operativni sistem računara, kao i programski jezik u kojemu se piše razvojni softver. Većina operativnih sistema nema način rada u realnom vremenu, i u tom slučaju se koriste akvizicijske kartice koje imaju tu mogućnost.

Prilikom izvođenja eksperimenta, ispitivana sijalica je preko autotransformatora priključena na izmjenični izvor napona, pri čemu je direktno preko mjerne kutije mjeren napon, a pomoću senzora za mjerenje struje (strujnih mjernih transformatora) mjerena struja potrošača. Prilikom mjerenja struje, strujni mjerni transformatori su po pet puta obuhvatali vodič, kroz koji je mjerena struja, da bi se povećao prijenosni odnos sa 200 mV/A na 1 V/A, odnosno sa 52 mV/A na 260 mV/A.

B. *Softver korišten za rad*

Sve mjerene veličine su u realnom vremenu prikazivane na računar PC Mini-Box, te je pomoću softvera "Power Quality" vršena obrada i analiza rezultata.

Softver je najvažniji element ovog mjernog sistema. Koncept razvoja programskog paketa temelji se na razvoju nekoliko aplikacija koje komuniciraju putem RAM memorije računara i ASCII datoteka. Programski jezik Visual Basic 6.0 korišten je za realizaciju softvera. Obzirom da ovaj programski jezik ima vrlo loše performace u smislu rada u realnom

vremenu, određene procedure za mjerenje i izračun kreirane se pomoću *.dll i *.ocx datoteka.

Softver je dizajniran za rad kroz tri razdvojene aplikacije:

- Aplikacija za mjerenje čiji je zadatak komunicirati s akvizicijskom karticom i procesnim podacima, i ima zadatak snimati podatke u memoriju računara
- Aplikacija za mjerenje viših harmonika i ostalih parametara kvalitete električne energije, gdje može vršiti analizu tih parametara;
- Aplikacija za mjerenje treperenja mjerne veličine

Prva aplikacija "Mjerenje" može raditi u dva načina: prvi način rada je mjerenje valnog oblika napona i struje prema određenim postavkama, izračun određenih parametara i pohrana podataka u memoriji računara (mRT – measurement Real Time), dok u drugom načinu rada korisnik odabire vrijeme mjerenja, a zatim pokreće program. Drugi način rada omogućuje praćenje valnog oblika napona i struje tokom unaprijed određenog vremenskog perioda. Također, mogu se pokazati valni oblici izmjerenih napona i struja, kao i njihova srednja vrijednost u interval od 10 ms. Ovaj način rada naziva se još i simulacijski način rada. Podaci se spašavaju direktno u memoriju računara u oba slučaja. Jedina razlika je u tome da li su podaci izravno zabilježeni i istovremeno analizirani ili su zabilježeni pa se nakon određenog vremena učitavaju iz ASCII datoteke, a zatim analiziraju. Kada se spašeni podaci nalaze u memoriji računara, oni su dostupni za rad is a ostalima aplikacijama, što je prednost ovog sistema.

Druga aplikacija ima glavni zadatak za podešavanje, izračun i prikaz izmjerenih podataka. U ovom načinu omogućeno je numeričko i grafičko tumačenje mjerenih veličina.

Treća aplikacija prikazuje "flikere" (treperenje) mjerene veličine.

Ova aplikacija je izrađena u skladu sa standardom IEC 61000-4-15 [4, 9].

III. REZULTATI MJERENJA

U ovom eksperimentu analizirani su valni oblici struje, pri priključenju različitih vrsta sijalica kao potrošača. Također, promatrane su i snage koje ova rasvjetna tijela uzimaju iz mreže. Nazivni podaci rasvjetnih tijela koji su korišteni u eksperimentu su prikazani u Tabeli 1.

TABELA I. NAZIVNI PODACI RASVJETNIH TIJELA

Vrsta rasvjetnog tijela	Nazivna snaga [W]	Nazivni napon [V]
LED sijalica	12	220-240
KFL sijalica	15	220-240
Ugradbena LED sijalica	20	230

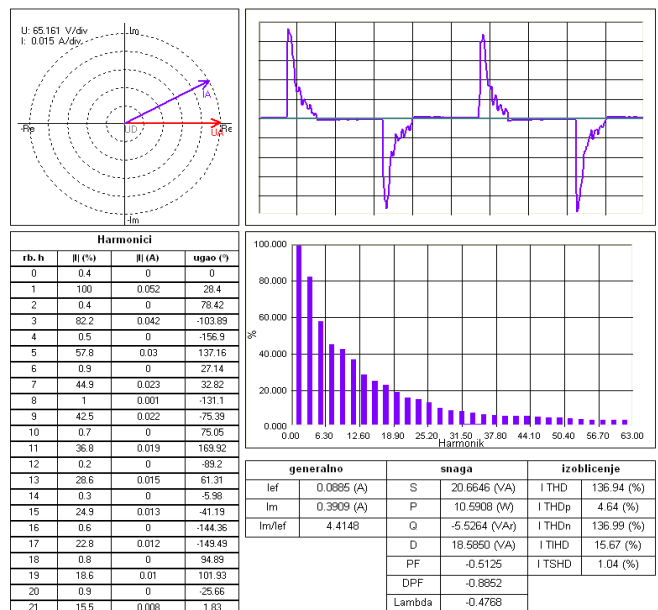
S obzirom na to da je razvoj današnje tehnologije rasvjetnih tijela primarno baziran na razvoj LED tehnologije, i to u

komercijalne svrhe, prva vrsta sijalica koja je ispitivana je upravo LED sijalica. Korištena je LED sijalica nazivne snage 12 W. Sve sijalice koje su korištene pri izradi ovog rada su namjenjene direktnom priključivanju na monofazni izvor izmjeničnog napona 230V. Pored LED sijalice ispitivani su još i valni oblici struje te je provedena harmonijska analiza za kompaktne fluorescentne sijalice (KFL) i ugradbene LED sijalice. Ispitivanje je vršeno za svaki tip sijalice odvojeno. Sijalica se priključuje na mrežu preko autotransformatora na kojem se podešava napon, a preko mjernog sistema se mjeri i snima valni oblik struje, te se vrši analiza harmonika.

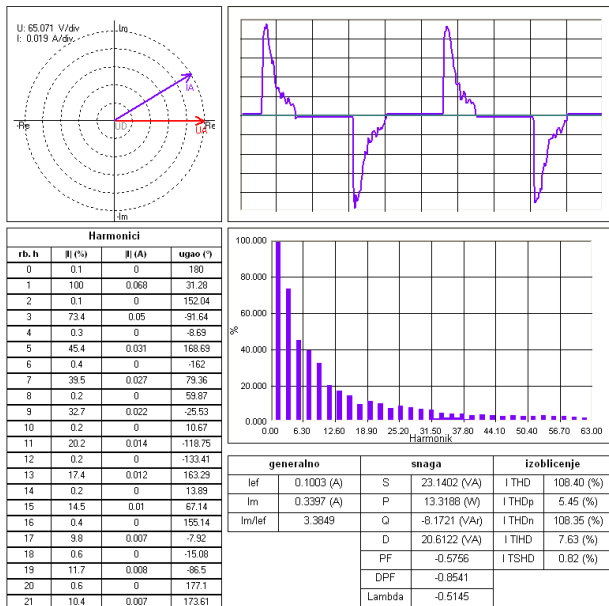
A. REZULTATI MJERENJA NA NOMINALNOM NAPONU

Na Sl. 4 su prikazani valni oblici struje i analiza harmonika za ovu vrstu rasvjetnih tijela, pri radu na nominalnom naponu. Također, sa iste slike, bitno je uočiti kako je aktivna snaga koju ova sijalica uzima iz mreže, pri nominalnom naponu $P = 10,59$ (W). Iz ovoga se može zaključiti da se dobijeni rezultat snage ne podudara sa nazivnim podacima koji su dati za razmatrano rasvjetno tijelo, tj. između nazivnog podatka snage i izmjerene vrijednosti iste veličine postoji razlika od oko 1,4 W. Bez obzira na to, može se zaključiti da korištenjem jedne ovakve sijalice, potrošnja električne energije se znatno smanjuje u odnosu na korištenje konvencionalnih sijalica. Vrijednost THD (Total Harmonic Distorsion) pri korištenju ove sijlice je 136,94%.

Drugi tip rasvjetnih tijela koji je ispitan u ovom eksperimentu su KFL sijalice. Sl. 5 prikazuje valni oblik struje prilikom korištenja ove sijalice, kao i analizu harmonika struje. Sa ove slike se može uočiti da su valni oblici struja LED sijalice i KFL sijalice veoma slični, te se sastoje od naglog porasta struje te postepenog pada struje na nulu, odnosno vrijednost blisku nuli. Bitno je spomenuti da ovi oblici struje nisu približni sinusoidalnom, te da je veoma izraženo prisustvo viših harmonika.

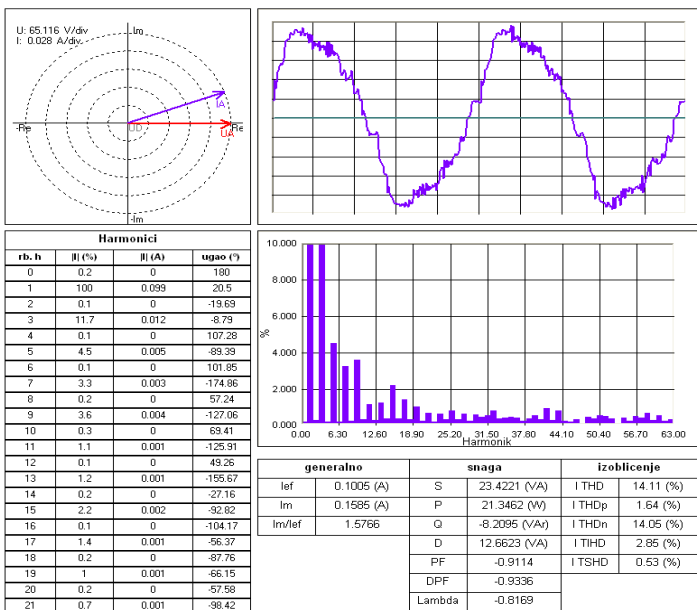


Slika 4. Valni oblik struje i analiza harmonika za LED sijalicu pri nominalnom naponu



Slika 5. Valni oblik struje i analiza harmonika za KFL sijalicu pri nominalnom naponu.

Treći tip sijalice koja je ispitana je ugradbena LED sijalica. Sa Sl. 6 je uočljivo da je valni oblik struje ove sijalice mnogo pogodniji i mnogo približniji sinusoidalnom obliku. Također, na osnovu Sl. 6 može se zaključiti da ugradbena LED sijalica ima ugrađen uređaj za popravku faktora snage (PFC). U skladu s tim, harmonijska analiza ove sijalice pokazuje kako uticaj nijednog višeg harmonika ne prelazi 20%, tj. najveći uticaj ima treći harmonik, otprilike 11,7%, dok već peti harmonik ima čak manji uticaj od 10%, tj. 5,5%. Snaga koju ova sijalica uzima iz mreže je oko 1,3 W veća od nazivne. Za razliku od prethodno razmatranih LED i KFL sijalica, ugradbena LED sijalica ima znatno nižu THD vrijednost od 14,11%.

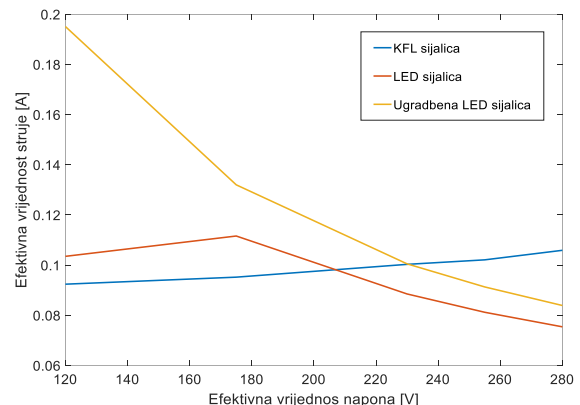


Slika 6. Valni oblik struje i analiza harmonika za ugradbenu LED sijalicu pri nominalnom naponu

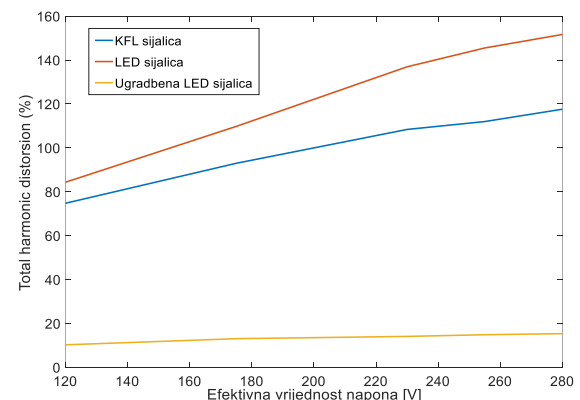
B. REZULTATI MJERENJA PRI VARIJABILNOM NAPONU

Nakon što su snimljeni valni oblici struje za nominalni napon, ista procedura je provedena za sva tri tipa sijalica pri sniženom i pri povišenom naponu. Vrijednosti napona na kojima su sijalice ispitivane su: 120V, 175V, 230V, 255V i 280V. Na Sl. 7 je prikazan odnos efektivnih vrijednosti napona i struja koje ove sijalice uzimaju iz mreže. Ovaj odnos je prikazan za sva tri tipa sijalica. Sa slike 7 može se uočiti kako povećanjem napona dolazi do povećanje struje koju KFL sijalica uzima iz mreže. S druge strane LED sijalica i ugradbena LED plafonjera povećanjem napona uzimaju manju struju iz mreže. Ugradbene LED sijalice pri relativno malim vrijednostima napona (npr. 120V) uzimaju iz mreže mnogo veće količine struje (gotovo pa duple vrijednosti) u odnosu na LED i KFL sijalice. Interesantno je ponašanje grafika struje LED sijalice, koji raste pri manjim vrijednostima napona, ali pri većim naponima struja opada povećanjem napona.

Na Sl. 8 prikazane su vrijednost THD u odnosu na napon. Ono što je veoma uočljivo sa ovog grafika su mnogo manje THD vrijednosti pri korištenju ugradbene LED sijalice u odnosu na druga dva ispitivana rasvjetna tijela. Primjetno je da kod sva tri rasvjetna tijela THD vrijednost raste povećanjem napona.



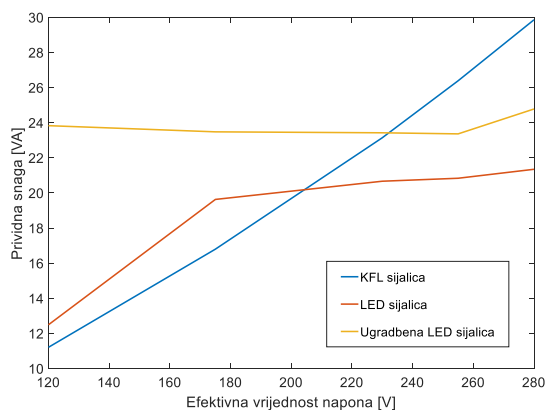
Slika 7. Odnosi efektivnih vrijednosti napona i struja koje vuku sijalice, za sva tri tipa sijalica koje su korištene



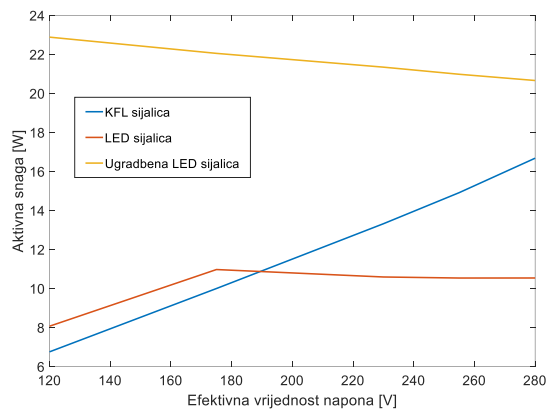
Slika 8. Odnosi efektivne vrijednosti napona i THD vrijednosti za sva tri rasvjetna tijela

Naravno, uz analizu promjene struje pri promjeni napona, urađena je i analiza promjene prividne i aktivne snage. Na Sl. 9 je prikazana promjena prividne snage u odnosu na promjenu napona. Primjetno je da prividna snaga kod KFL i LED sijalica konstantno raste porastom napona, dok to nije slučaj za treći tip ispitivanih rasvjetnih tijela. Prividna snaga ugradbenih LED sijalica opada do neke vrijednosti napona koji je mnogo veći od nominalnog, a zatim prividna snaga raste. Također, urađena je i analiza promjene aktivne snage u odnosu na promjenu napona. Ova promjena je prikazana na Sl. 10. Sa Sl. 10 je uočljivo da povećanjem napona na koji su priključena rasvjetna tijela dolazi do konstantnog opadanja aktivne snage koju ugradbena LED sijalica uzima iz mreže, odnosno do konstantnog porasta aktivne snage koju KFL sijalica uzima iz mreže. Kada je u pitanju obična LED sijalica, aktivna snaga koju ona uzima iz mreže počinje da opada opadanjem struje. Ovim možemo zaključiti da promjena aktivne snage kod sva tri ispitivana rasvjetna tijela prati promjenu struje.

Posmatrajući vrijednosti aktivne i prividne snage, može se primijetiti kako su vrijednosti aktivne snage ugradbene LED sijalice najbliže vrijednostima prividne snage. Kod KFL i obične LED sijalice vrijednosti aktivne snage su mnogo manje od vrijednosti prividne snage na istom naponu. Ovo dovodi do podatka da je faktor snage ugradbene LED sijalice mnogo veći od faktora snage druga dva rasvjetna tijela. Faktor snage ugradbene LED sijalice pri naponu od 230V iznosi 0,9114, dok pri istom naponu, faktor snage kod KFL sijalice iznosi 0,5756, a kod obične LED sijalice 0,5152.



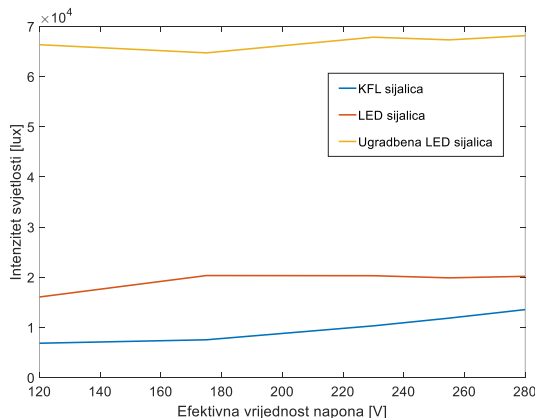
Slika 9. Promjena prividne snage u odnosu na promjenu efektivnog napona



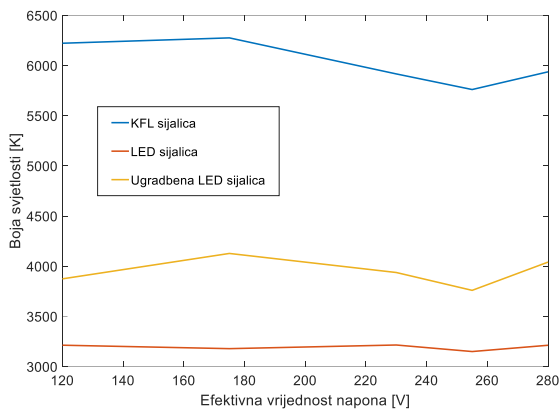
Slika 10. Promjena aktivne snage u odnosu na promjenu efektivnog napona

C. SPEKTRALNA ANALIZA SVJETLOSTI PRI PROMJENJIVOM NAPONU

Uz analizu strujnih valnih oblika struje, harmonijske analize, te analize snaga, u sklopu ovog eksperimenata provedena je i spektralna analiza svjetlosti pri promjenjivom naponu, za sva tri ispitivana rasvjetna tijela. Spektralna analiza svjetlosti se vrši pomoću uređaja CHROMA 2, i odgovarajućeg softvera koji odgovara ovom uređaju. Na Sl. 11 i Sl. 12 su prikazani parametri svjetlosti. Na Sl. 11 prikazana je promjena intenziteta svjetlosti u odnosu na promjenu napona, dok je na Sl. 12 prikazana promjena boje svjetlosti (jedinica stepen Kelvinov).



Slika 11. Promjena intenziteta svjetlosti pri promjeni napona

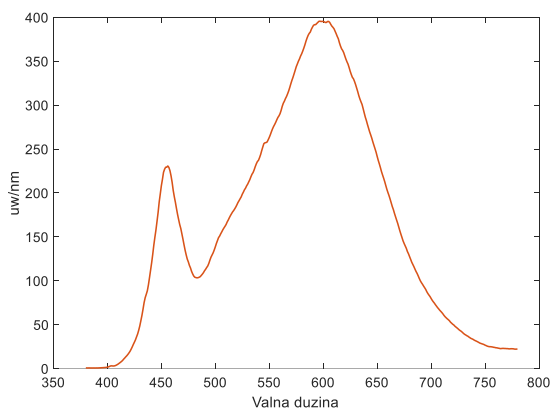


Slika 12. Promjena boje svjetlosti pri promjeni napona

Sa slika na kojima su prikazane promjene intenziteta i boje svjetlosti pri promjeni napona može se uočiti da je najveći intenzitet svjetlosti kod ugradbene LED sijalice, tj. sijalice najveće snage. Iako KFL sijalica iz mreže uzima veću aktivnu snagu od LED sijalice, intenzitet svjetlosti ove sijalice je manji od intenziteta svjetlosti LED sijalice. Sa Sl. 11 može se zaključiti da povećanjem napona, intenzitet svjetlosti koji daju ispitane sijalice se također povećava.

U navedenom eksperimentu, boja svjetlosti, jedinica Kelvin, ima najvišu vrijednost kod KFL sijalice, pa zatim slijede ugradbena LED sijalica i obična LED sijalica, respektivno. Boja svjetlosti ima najmanje varijacije kod obične LED sijalice, dok kod ugradbene LED sijalice i KFL sijalice te su promjene nešto izražajnije.

Na Sl. 13 je prikazana spektralna analiza LED sijalice pri nominalnom naponu.



Slika 13. Spektralna analiza LED sijalice pri nominalnom naponu

IV. ZAKLJUČAK

Razvijanjem tehnologije dolazi do napretka u razvijanju umjetnog svjetla i modernih rasvjetnih tijela koja se koriste svakodnevno. U ovom radu je urađena detaljna analiza tri vrste

rasvjetnih tijela: KFL sijalice, LED sijalice i ugradbene LED sijalice. Eksperiment je vršen pomoću mjernog sistema razvijenog na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu. U okviru eksperimenta su ispitani valni oblici struje koju ova rasvjetna tijela uzimaju iz mreže, te je zaključeno da ugradbena LED sijalica ima najpogodniji valni oblik struje i najmanju THD vrijednost. Osim toga, ugradbena LED sijalica ima i najbolji faktor snage u konkurenciji ove tri sijalice, dok LED i KFL sijalice imaju znatno niži faktor snage. Daljim ispitivanjem je utvrđeno da povećanjem napona na koji su rasvjetna tijela priključena KFL sijalica uzima sve veću struju iz mreže, dok LED i ugradbena LED sijalica uzimaju manju struju iz mreže. THD vrijednost u slučaju sve tri ispitivane sijalice raste povećanjem napona, s tim su ta povećanja mnogo manje izražena kod ugradbene LED sijalice u odnosu na druge dvije sijalice. Na kraju rada su ispitane promjene intenziteta i boje svjetlosti, u okviru ispitivanja spektralne analize svjetlosti. Intenzitet svjetlosti je najveći kod ugradbene LED sijalice, koja ima najveću snagu, a najniža kod KFL sijalice, koja na višim naponima uzima znatno veću aktivnu snagu iz mreže od LED sijalice.

ZAHVALNICA

Rad je urađen u okviru laboratorije za analizu kvalitete električne energije na Elektrotehničkom fakultetu, Univerziteta u Sarajevu. Posebno se zahvaljujemo našem mentoru dr.sc. Vedadu Bečiroviću na pomoći pri istraživanju i izradi rada.

LITERATURA

- [1] V. Bečirović, B. Nikolić, I. Turković, I. Pavić, "Development of Measurement System for Analyzing the Power Quality", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drivers, Automation and Motion, 2012.
- [2] V. Bečirović, "Razvoj mjernog sistema za analizu kvalitete električne energije", Magistarski rad, Sarajevo septembar 2011.
- [3] N. Rado, "Energetska učinkovitost LED rasvjete – primjer iz prakse", Diplomski rad, Osijek 2017.
- [4] Phillips katalog rasvjete, 2018.

ABSTRACT

Today, the development of LED technology advances at incredible speed. The reason is the ever-increasing efficiency of a bright LED diode, whose price per day is lower. It is conventional lighting that replaces LED lighting, it is interesting to make an analysis of the impact on the quality of electricity. The analysis was carried out by measuring waveforms of voltage and current. Conclusions were made on the basis of harmonic waveform analysis.

Analyzing current waveforms of different types of light fixtures on reduced, nominal and high voltage voltages

B. Adilović, E. Ahatović