

UNIVERZITET U PRIŠTINI
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
sa sedištem u Kosovskoj Mitrovici

Andrej V. Đuretić

**TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA SVETLOSNIH IZVORA U INSTALACIJAMA
JAVNOG OSVETLJENJA KAO OSNOV ZA ODREĐIVANJE OPRAVDANOSTI
ZAMENE NATRIJUMOVIH SIJALICA VISOKOG PRITISKA LED IZVORIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Kosovska Mitrovica, 2016

UNIVERSITY OF PRIŠTINA
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
relocated to Kosovska Mitrovica

Andrej V. Đuretić

**TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF LIGHT SOURCES IN STREET LIGHTING
INSTALLATIONS AS THE BASIS FOR DETERMINING THE JUSTIFICATION OF
REPLACING HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS WITH LED SOURCES**

DOCTORAL DISSERTATION

Kosovska Mitrovica, 2016

Identifikaciona stranica doktorske disertacije

I AUTOR	
Ime i Prezime:	Andrej V. Đuretić
Datum i mesto rođenja:	09.04.1974., Beograd
Sadašnje zaposlenje:	Rukovodilac Biroa za Marketing i komunikacije u fabrici svetiljki Minel-Schröder d.o.o. u Beogradu
II DOKTORSKA DISERTACIJA	
Naslov:	Tehno-ekonomska analiza svetlosnih izvora u instalacijama javnog osvetljenja kao osnov za određivanje opravdanosti zamene natrijumovih sijalica visokog pritiska LED izvorima
Broj stranica:	229
Broj slika:	93
Broj bibliografskih podataka:	99
Ustanova i mesto gde je rad izrađen:	Univerzitet u Prištini, Fakultet Tehničkih Nauka sa sedištem u Kosovskoj Mitrovici
Naučna oblast:	Elektroenergetika
Mentor:	Prof. dr Nebojša Arsić, redovni profesor (FTN Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini)
III OCENA I ODBRANA	
Datum prijave teme:	11.02.2015.
Broj odluke i datum prihvatanja doktorske disertacije:	
Komisija za ocenu podobnosti teme i kandidata:	
1. dr Nebojša Arsić, redovni profesor (FTN Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini), mentor 2. dr Miomir Kostić, redovni profesor (Elektrotehnički Fakultet, Univerzitet u Beogradu) 3. dr Dardan Klimenta, vanredni profesor (FTN Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini)	
Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije:	
1. dr Miomir Kostić, redovni profesor (Elektrotehnički Fakultet, Univerzitet u Beogradu) - predsednik komisije 2. dr Nebojša Arsić, redovni profesor (FTN Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini), mentor 3. dr Dardan Klimenta, vanredni profesor (FTN Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini)	
Datum odbrane disertacije:	21.09.2016.

Ova disertacija je nastala kao plod višemesečnih merenja i komparativne analize različitih tehničkih karakteristika sistema postavljenog na testnoj instalaciji u Bulevaru Milutina Milankovića na Novom Beogradu. U trenutku izrade predloga doktorske disertacije, opisani pilot projekat je bio prihvaćen i odobren od strane Sekretarijata za energetiku grada Beograda, a zamišljen kao zajednički projekat Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, JKP „Javno Osvetljenje“ i fabrike svetiljki Minel-Schröder u kojoj sam zaposlen još od 2002. godine.

Ovom prilikom,

ZAHVALJUJEM SE...

... mom mentoru **prof. dr Nebojši Arsiću**, na punoj slobodi u izboru teme i poverenju u predloženu strategiju vođenja ovakvog projekta.

... **prof. dr Miomiru Kostiću** sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, kome dugujem posebnu zahvalnost na korisnim savetima i ogromnoj pomoći i podršci pri izradi ove disertacije. Želim da naglasim da bi bez njegove organizacije anketnog dela projekta, pripremu merenja i dovođenje velikog broja studenata sa Elektrotehničkog fakulteta doktorska disertacija ostala uskraćena za jedno čitavo i izuzetno značajno poglavlje.

... **Marku Stojanoviću**, direktoru Uprave za energetiku grada Beograda, koji je prepoznao značaj jednog ovakvog projekta i dao zeleno svetlo da se pilot instalacija postavi i ispituje u dužem vremenskom periodu.

... svim učesnicima u ovom projektu, a posebno predstavnicima firmi čija podrška mi je bila od nemerljivog značaja – **Vukašinu Milovanoviću, Jeleni Dinić i Vladimiru Ristiću** iz JKP „Javno osvetljenje“, kao i mojim kolegama Generalnom Direktoru **Bratislavu Vučkoviću, Zoranu Milenkoviću, Maji Kraker, Slobodanu Jovičiću, Predragu Iliću, Draganu Lukiću, Nenadu Nikoliću, Radosavu Mihailoviću i Dejanu Livadi** iz kompanije Minel-Schröder.

... **dr Draganu Dramliću**, rukovodiocu laboratorije za fiziku atmosfere i optičku metrologiju na Institutu za fiziku, na značajnoj pomoći u merenju spektralnih

karakteristika korišćenih izvora, ali i izlasku na teren, dodatnim merenjima i razjašnjenju određenih nedoumica koje sam imao u jednom trenutku kada je projekat doživeo kraći zastoј.

... **prof. dr Lidiji Đokić** sa Arhitektonskog fakulteta u Beogradu na značajnoj pomoći prilikom organizacije anketnog dela projekta i dovođenju veće grupe studenata sa Arhitektonskog fakulteta.

... **Vuku Pavloviću**, mom kumu, koji mi je tokom jedne od naših noćnih vožnji biciklima pokazao lokaciju u Bulevaru Milutina Milankovića za koju se ispostavilo da je bila idealna za postavljanje testne instalacije.

... **Milanu Jovičiću**, studentu master studija kod Prof. Kostića, na velikoj pomoći u izradi tabela i dijagrama za poglavlje 5.4.

Ipak, izdvojio bih **dr Vladana Škerovića**, tehničkog direktora Centra za motorna vozila AMSS, i izrazio ogromnu zahvalnost za nesebičnu i prijateljsku pomoć koju mi je pružao od početka do kraja testnog perioda (više od 15 meseci) u brojnim izlascima na teren (desetine radnih sati na terenu i u najgorim vremenskim uslovima) i pomoći u analizi dobijenih rezultata. Moram naglasiti da izrada ove doktorske disertacije istinski ne bi bila moguća bez Vladanove podrške i davanja na besplatno korišćenje skupocene merne opreme kakva bi se u Srbiji veoma teško mogla naći na nekom drugom mestu.

*Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici, mom nedavno rođenom sinu **Vidu** i supruzi **Jasmini**, sestri **Gordani** i sestričini **Olgi**, majci **Milki** i ocu **Veselinu**, na ljubavi, beskrajnoj veri u mene, motivaciji, neizmernom strpljenju i bezgraničnoj podršci koju su mi davali i daju čitavog mog života.*

**TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA SVETLOSNIH IZVORA U INSTALACIJAMA
JAVNOG OSVETLJENJA KAO OSNOV ZA ODREĐIVANJE OPRAVDANOSTI
ZAMENE NATRIJUMOVIH SIJALICA VISOKOG PRITISKA LED IZVORIMA**

REZIME

LED tehnologija se tokom poslednje decenije nametnula kao ozbiljna konkurencija postojećim tehnologijama korišćenim u tehnici osvetljenja, toliko da se već smatra nezamenjivom u dekorativnom i scenskom osvetljenju zbog prirode svetlosti koju emituju LED čipovi (uključujući i monohromatsku svetlost), trenutnog startovanja (za razliku od izvora sa električnim pražnjenjem u gasovima, kojima je neophodno nekoliko minuta da dostignu nominalne radne uslove) i mogućnosti bolje kontrole ovakvih izvora (lakša i brža regulacija intenziteta i boje svetlosti). Kada je reč o instalacijama uličnog osvetljenja, situacija je doskora bila drugačija, jer se u tim instalacijama najčešće koriste visokoefikasni natrijumovi izvori visokog pritiska većih snaga (do 250 W, ređe 400 W), kojima do pre nekoliko godina efikasnost LED izvora nije mogla parirati. Ipak, poslednje godine su donele veliki napredak u razvoju LED čipova veće snage (High Power LED ili High Brightness LED), pa se u projektanskoj praksi uveliko koriste LED svetiljke u instalacijama uličnog osvetljenja koje po svojim karakteristikama mogu parirati, ili čak dati i bolje rezultate, nego postojeće svetiljke sa natrijumovim izvorima. Pošto LED tehnologiju od početka prati agresivna marketinška kampanja, njena tehnička superiornost se pretpostavlja i često uzima zdravo za gotovo bez prethodnih relevantnih analiza. Zbog toga je najbolji način da se ti navodi ispituju upravo komparativna analiza sa trenutno najzastupljenijim natrijumovim izvorima visokog pritiska u uličnom osvetljenju. Analizom raspoložive stručne literature koja se bavila komparativnom analizom LED i natrijumovih svetiljki, ustanovljeno je da za sve eksperimentalne postavke važi da merenja nisu rađena na osnovu približno identičnih fotometrijskih uslova (jednakih nivoa sjajnosti). Budući da su racionalnija potrošnja energije i energetska efikasnost globalni trend, veliki broj istraživanja u ovoj oblasti bavio se energetske aspekta rekonstrukcija instalacija uličnog osvetljenja (fotometrijski aspekt je takođe tretiran, ali se stiče utisak da je ipak u drugom planu). Ovo nije tehnički ispravan pristup, jer, ukoliko je jedini kriterijum za rekonstrukciju i

zamenu postojećih svetiljki ušteda u potrošnji električne energije, uspešnim bi se mogao smatrati svaki projekat u kome se na kraju smanji instalisana snaga (nažalost, takvi primeri se mogu svakodnevno naći u praksi). Autor smatra da je jedini pravi način da se izvrši poređenje dva tipa izvora da se obezbede isti fotometrijski uslovi, a nakon toga ustanovi kolika instalisana snaga je potrebna za svaki od tih tipova da se pretpostavljeni fotometrijski uslovi ispune.

Istraživanje sprovedeno za potrebe doktorske disertacije imalo je za cilj da ispita opravdanost rekonstrukcije instalacija javnog osvetljenja upotrebom svetiljki sa LED umesto svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska sa fotometrijskog, energetskog, ekonomskog i aspekta kvaliteta električne energije. Ovaj multidisciplinarni pristup je zahtevao postavljanje eksperimentalne instalacije uličnog osvetljenja (jer je to segment javnog osvetljenja kojim se ovo istraživanje isključivo bavi) sa svetiljkama oba tipa, što je i urađeno u Bulevaru Milutina Milankovića na Novom Beogradu (6 LED + 9 natrijumovih svetiljki). Sve svetiljke na testnoj lokaciji imaju integrisane kontrolere za daljinski nadzor i upravljanje, i to iz dva razloga – prvi je da je implementacija ovakvog kontrolnog sistema (tzv. „telemenadžment“ sistema) neophodna za finu regulaciju svetlosnog fluksa (i snage) svetiljki radi obezbeđivanja istih fotometrijskih uslova, a drugi je da se ispita tehnička i ekonomska opravdanost upotrebe sistema daljinskog upravljanja i nadzora u uličnom osvetljenju.

Nakon podešavanja fotometrijskih uslova (postizanja jednakih nivoa sjajnosti i ispunjavanja uslova određene svetlotehničke klase saobraćajnice na osnovu međunarodnih preporuka i standarda), izvršena su brojna merenja u periodu od 9 meseci (od postavljanja instalacije na testnu lokaciju do poslednjih merenja prošlo je više od 18 meseci). Za potrebe fotometrijskih merenja i podešavanja korišćeni su mobilna fotometrijska kamera (luminansmetar) i telemenadžment sistem. Korišćenjem telemenadžment sistema, digitalnih brojila instaliranih u distributivnom ormanu i mrežnog analizatora mreže, izvršena su merenja relevantnih električnih veličina na dnevnom i satnom nivou. Izvršena je detaljna komparativna analiza LED i natrijumovih svetiljki, a poređene su i vrednosti očitanih električnih veličina različitim mernim uređajima i odstupanja jednih od drugih. Sva merenja su izvršena za više različitih režima rada (nivoa sjajnosti na kolovozu) testne instalacije, i to kako za standardne

(fotopske), tako i za režime koji uvažavaju efekte mezopskog viđenja. Nakon električnih merenja, organizovano je anketno istraživanje sa 66 ispitanika (studenta Elektrotehničkog i Arhitektonskog fakulteta u Beogradu) na eksperimentalnoj lokaciji, koje je imalo za cilj da ispita subjektivni doživljaj kvaliteta osvetljenja kroz različite parametre u standardnim i mezopskim režimima i time da kompletniju sliku o karakteristikama jednih i drugih izvora sintezom objektivnog inženjerskog pristupa i subjektivnog utiska vozača kao učesnika u saobraćaju. Po okončanju svih terenskih aktivnosti, pristupilo se ekonomskom poređenju dva tipa izvora zasnovanom na metodu aktualizacije troškova, a poređena je postojeća instalacija sa natrijumovim svetiljkama i nova instalacija sa LED svetiljkama sa i bez primene telemenadžment sistema.

Istraživanje je pokazalo da LED izvori zaista predstavljaju bolje rešenje sa fotometrijskog, električnog i subjektivnog aspekta, ali i da su potrebna određena poboljšanja karakteristika LED drajvera (zbog niskog faktora snage kada se svetiljka dimuje na vrednost svetlosnog fluksa (snage) ispod 50 %), koja će sigurno uslediti u bliskoj budućnosti, jer već postoje preliminarne tehničke informacije o LED drajverima nove generacije kod kojih je ovaj problem prevaziđen. Na osnovu rezultata anketnog ispitivanja moglo se konstatovati da ispitanici (vozači) subjektivno doživljavaju LED kao bolje rešenje u uličnom osvetljenju u standardnim režimima, ali i kao gore u mezopskim režimima. Ovo samo ukazuje na to da efekti mezopskog viđenja nisu još uvek dovoljno ispitani, kao i da ovo istraživanje može poslužiti kao polazna osnova za dalja terenska istraživanja ovog fenomena.

U doktorskoj disertaciji je, prema saznanju autora, prvi put na ovaj način u terenskom istraživanju primenjen koncept jednakih fotometrijskih uslova (električnim merenjima su prethodila sva pripremna fotometrijska podešavanja). Značaj ove komparativne tehno-ekonomske analize leži upravo u iterativnom postupku kojim se realizuje koncept jednakih uslova (meri se nivo sjajnosti fotometrijskom kamerom, a zatim na osnovu izmerene vrednosti vrši dalja regulacija (dimovanje) kroz telemenadžment sistem, i tako iznova sve dok se u obe zone ne izmere i ne podese identični nivoi sjajnosti na kolovozu). Ovakav eksperimentalni pristup zahteva korišćenje visokotehnološke opreme, ali se i jedini može smatrati ispravnim ukoliko se želi da se rezultati komparativne analize smatraju validnim. Sva dalja istraživanja u ovoj oblasti bi trebalo

sprovoditi uz obavezno podešavanje fotometrijskih uslova, čime se stvara prostor za dalja fotometrijska i kolorimetrijska istraživanja, kao i ispitavanja efekata mezopskog viđenja.

Imajući u vidu dalji razvoj LED tehnologije i poboljšanje svih njenih relevantnih karakteristika, može se konstatovati da LED izvori predstavljaju efikasno rešenje i budućnost u instalacijama uličnog osvetljenja sa fotometrijskog, tehničkog i energetskog aspekta.

Ključne reči: osvetljenje, pilot projekat, fotometrija, sjajnost, osvetljenost, mezopsko viđenje, LED, natrijumov izvor visokog pritiska, elektronski balast, LED drajver, telemenadžment sistem, harmonijska izobličenja, koncept jednakih nivoa sjajnosti, anketno ispitivanje, metoda aktuelizacije troškova, subjektivni doživljaj osvetljenja

Naučna oblast: Elektrotehnika

Uža naučna oblast: Elektroenergetika, Tehnika osvetljenja

UDK broj: 621.382.2:621.326.77 (043.3), 621.321:628.981 (043.3)

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF LIGHT SOURCES IN STREET LIGHTING INSTALLATIONS AS THE BASIS FOR DETERMINING THE JUSTIFICATION OF REPLACING HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS WITH LED SOURCES

ABSTRACT

LED technology has established itself over the last decade as a serious competitor to existing technologies used in lighting, so it is already considered irreplaceable in the decorative and stage lighting due to the nature of light emitted from LED chips (including monochromatic light), very quick response time (as opposed to the HID sources, where few minutes are needed for warm-up and reaching nominal operating conditions) and the possibility of better control of such sources (easier and faster regulation of intensity and color brightness). When it comes to the street lighting installations, the situation is different due to the fact that high-efficacy high pressure sodium (HPS) sources of high power (up to 250 W, rarely 400 W) are commonly used in such installations, to which until recently LED sources couldn't cope with. However, last few years brought a major breakthrough in the development of LED chips of higher power (High Power LED or High Brightness LED), so nowadays LEDs whose performance can compete with the existing HPS lamps (or even give better results) are widely used in lighting design for street lighting installations. Since from the beginning LED technology is followed by aggressive marketing in a way that its technical superiority is assumed and often taken for granted without prior relevant analysis. For that reason, the best way to examine these allegations is a comparative analysis with HPS lamps as currently most common sources in street lighting. By analyzing available scientific literature dealing with the comparative analysis of HPS and LED sources, it was found in common for all experimental settings that measurements were not made on the basis of approximately identical photometric conditions (same luminances). Since the rational consumption of energy and energy efficiency is a global trend, a significant number of studies in this area dealt with the energy aspect of the reconstruction of street lighting installations (photometric aspect was also treated, but the impression is that it was of less importance). This is not technically correct approach, because, if the only criterion for the reconstruction and replacement of existing luminaires are savings in electricity consumption, each project that eventually reduces the installed power could

be considered as successful (unfortunately, such examples can be found in everyday practice) . The author believes that the only real way to make the comparison of HPS and LED sources is to provide the same photometric conditions and then establish what the installed power is required for each of the types so that predefined photometric requirements are met.

Conducted research for the doctoral dissertation was aimed to examine the justification of the reconstruction of street lighting installation by using LEDs instead of HPS with photometric, energy, economic and power quality point of view. This multidisciplinary approach required setting up an experimental installation of street lighting (because it is a segment of public lighting exclusively analyzed in the research), with both types of lamps, which is done in Milutina Milankovića Boulevard in New Belgrade (6 LED + 9 HPS luminaires). All luminaires on the test site have integrated controllers for remote monitoring and management, for two reasons - the first is that the implementation of such a control system (so-called "Telemangement" system) is necessary for fine adjustment of the luminous flux (and power) of luminaires to ensure the same photometric conditions, the other is to examine the technical and economic feasibility of the use of telemangement systems in the street lighting.

After setting the same photometric conditions (same levels of luminance and the fulfillment of certain requirements for lighting class on the basis of international recommendations and standards), a number of measurements were carried out over a period of 9 months (from setting up a test installation on location until the last measurement has been done, more than 18 months) . For the purposes of photometric measurements and adjustments, photometric mobile camera (luminancemeter) and telemangement system are used. Using a telemangement system, digital meters installed in the public lighting cabinet and network analyzers, huge number of electric measurements were carried out on a daily and hourly basis. A detailed comparative analysis of LED and HPS sources was conducted, so did comparison of the electrical values obtained by different measuring devices and deviations from one another as well. All measurements were performed for different operating modes (average luminances on the road), both for standard (photopic) and for arrangements that take into account the effects of mesopic vision as well. After electrical measurements, the survey with 66

respondents (students of Electrotechnical Faculty and Faculty of Architecture) was organized at an experimental site and was aimed to investigate the subjective experience of the quality of light through different parameters in standard and mesopic regimes and thus to give a more complete picture of the characteristics of both sources as synthesis of objective engineering approach and subjective perception of a driver. Upon completion of all field activities, economic comparison of HPS and LED sources based on cash-flow discounted method was conducted, where existing installation with HPS lamps and new installation with LED sources with and without telemanagement system was compared.

Research has shown that LED sources are indeed better solution from photometric, electrical and subjective point of view, and that some improvements in characteristics of LED drivers are needed (low power factor when lamp is dimmed to the value of the luminous flux (power) below 50 %) and will surely follow in the near future (already there are preliminary technical informations about the new generation of LED drivers which have overcome that weakness). Based on the results of a survey could be concluded that the respondents (drivers) have subjective impression of LED luminaires as a better solution for street lighting in standard regimes, but also as worse in mesopic regimes. This only indicates that the effects of mesopic vision are not yet sufficiently tested and that this study may serve as a basis for further field studies of this phenomenon.

In this doctoral dissertation, according to the authors' knowledge, for the first time the concept of equal photometric conditions was applied in this way in a field study (electrical measurements were preceded by preparatory photometric adjustments). The significance of this comparative techno-economic analysis lies in the iterative process by which the concept of equal conditions is implemented (luminance level is measured with photometric camera, and then on the basis of the measured values further fine adjustment (dimming) through a telemanagement system is performed, and so again until identical luminance levels are obtained in both zones). This experimental approach requires the use of high-tech equipment, but also can be considered as the only correct approach if we want to make the results of the comparative analysis to be considered as valid. All further research in this area should be carried out with the obligatory

adjustment of photometric conditions, which creates space for further photometric and colorimetric research and further investigation in effects of mesopic vision.

With the further development of LED technology and the improvement of all relevant characteristics, we can conclude that LED sources represent an efficient solution and future of street lighting installations from photometric, technical and energy point of view.

Keywords: lighting, pilot project, photometry, luminance, illuminance, mesopic vision, LED, high-pressure sodium lamp, electronic ballast, LED driver, telemanagement system, harmonic distortion, concept of equal luminance levels, survey, cash-flow discounted method, subjective impressions of light

Scientific area: Electrical Engineering

Specific scientific field: Power engineering (Lighting)

UDK number: 621.382.2:621.326.77(043.3), 621.321:628.981(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Osnovne karakteristike natrijumovih izvora visokog pritiska.....	1
1.2 Stabilizacija rada izvora svetlosti	4
1.3 Elektronski balasti	6
1.4 Osnovne karakteristike LED izvora svetlosti	11
1.5 Osnovne karakteristike LED drajvera	19
1.6 Sistem daljinskog upravljanja i nadzora instalacije JO	26
1.7 Poređenje svetlosne efikasnosti LED i HID svetiljki	32
1.8 Mezopsko viđenje.....	39
2. PREDMET ISTRAŽIVANJA.....	45
3. STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE.....	55
4. EKSPERIMENTALNE POSTAVKE I METODOLOGIJA	60
4.1 Izbor lokacije za postavljanje testne instalacije.....	60
4.2 Fotometrijski proračun	63
4.3 Priprema svetiljki pred montažu.....	66
4.4 Merenja električnih i fotometrijskih veličina pre isporuke svetiljki	68
4.5 Postavljanje svetiljki na testnoj lokaciji	74
4.6 Postavljanje mernih brojila.....	76
4.7 Podešavanje telemenadžment sistema	77
4.8 Metodologija merenja fotometrijskih veličina	84
5. POREĐENJE REZULTATA MERENJA SA FOTOMERIJSKOG, ENERGETSKOG I ASPEKTA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	90
5.1 Hronologija merenja fotometrijskih veličina i dodatna podešavanja	90

5.2	Rezultati električnih merenja očitani kroz telemenadžment sistem	104
5.3	Rezultati električnih merenja očitani kroz digitalna brojila	117
5.4	Primeri mogućih dinamičkih scenarija na godišnjem nivou	126
5.5	Rezultati merenja harmonijskih izobličenja	136
6.	SUBJEKTIVNI POKAZATELJI KVALITETA OSVETLJENJA USTANOVljeni KROZ ANKETNO ISPITIVANJE.....	153
6.1	Izbor metoda istraživanja.....	154
6.2	Plan i sprovođenje ankete	156
6.3	Anketna pitanja i obrada rezultata ankete.....	161
7.	EKONOMSKO POREĐENJE FOTOMETRIJSKIH REŠENJA PRIMENOM METODE AKTUELIZACIJE TROŠKOVA	168
7.1	Zamena NaVP sa LED svetiljkama bez primene telemenadžment sistema	173
7.2	Zamena NaVP sa LED svetiljkama sa primenom telemenadžment sistema	177
7.3	Analiza rezultata ekonomskog poređenja NaVP i LED svetiljki	178
8.	DISKUSIJA I ZAKLJUČCI	181
9.	LITERATURA.....	194
	Prilog A. Izvod iz fotometrijskog proračuna za svetiljku Voltana 3/24 LED/80 W	205
	Prilog B. Izvod iz fotometrijskog proračuna za svetiljku Onyx 2N/100 W	209
	Prilog C. Tehnički opis kontrolera svetiljki LuCo NXP	213
	Prilog D. Tehnički opis segmentnog kontrolera SeCo	216
	Prilog E. Tehnički opis svetiljke VOLTANA 3	219
	Prilog F. Tehnički opis svetiljke ONYX 2	221
	Prilog G. Fotografije instalacije tokom merenja i anketnog ispitivanja.....	222

Prilog H. Anketni upitnik	224
BIOGRAFIJA KANDIDATA	227
Изјава о ауторству	230
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	231
Изјава о коришћењу	232

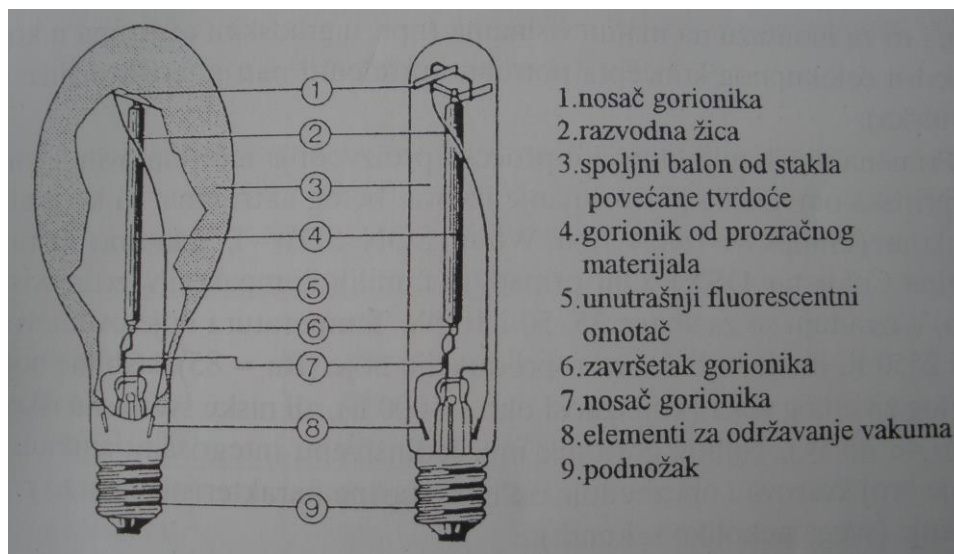
1. UVOD

Pre nego što se pređe na osnovni zadatak doktorske disertacije, a to je tehno-ekonomska analiza opravdanosti zamene svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska kao trenutno najzastupljenijim u instalacijama javnog osvetljenja sa LED svetiljkama, neophodno je dati neke osnovne karakteristike jednih i drugih izvora svetlosti, kao i osnovnih predspojnih uređaja (elektronskih balasta i LED drajvera) koji se nalaze u električnom kolu svake svetiljke. Važno je napomenuti da je elektromagnetska predspojna oprema uobičajeno rešenje za predspojne uređaje kod svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska, ali takva oprema ne dozvoljava mogućnost kontinualne regulacije snage i svetlosnog fluksa izvora svetlosti koja je neophodna za realizaciju projekta. Zato su korišćeni dimabilni elektronski balasti u sprezi sa integrisanim kontrolerima radi daljinskog nadzora i upravljanja ovih svetiljki (tzv. „telemenadžment“ sistem). Poređenje i detaljnija analiza svih gore navedenih komponenti nije od značaja za disertaciju, smatra se da je dovoljno upoznavanje sa osnovnim performansama uređaja radi boljeg sagledavanja pristupa komparativnoj analizi LED i natrijumovih svetiljki kao integrisanih sistema.

1.1 Osnovne karakteristike natrijumovih izvora visokog pritiska

Natrijumovi izvori visokog pritiska ¹ (u daljem tekstu NaVP izvori) spadaju u grupu izvora svetlosti sa električnim pražnjenjem (u daljem tekstu HID – High Intensity Discharge). Za njih je zajedničko da svetlost nastaje kao rezultat električnog pražnjenja u gasu, metalnoj pari ili smeši gasova i metalnih para. Ovakva pojava je poznata kao *elektroluminiscencija*, gde se usled delovanja neke spoljne sile (koju stvara električni napon kada se izvor priključi na izvor napajanja) slobodni elektroni usmereno kreću i sudaraju sa valentnim elektronima gasa ili metalne pare. Kinetička energija koju im prilikom sudara predaju slobodni elektroni pretvara se u kvante zračenja (svetlost). U gorioniku sijalice se pored natrijuma, kao osnovnog punjenja, nalaze i inertni gas ksenon (pomoćno punjenje) i mala količina žive čija je uloga da napon izvora i pritisak u gorioniku podigne do radnih vrednosti. Gorionik malih dimenzija je smešten u stakleni balon koji je najčešće u obliku matiranog elipsoida ili providne cevi (slika 1). Iz

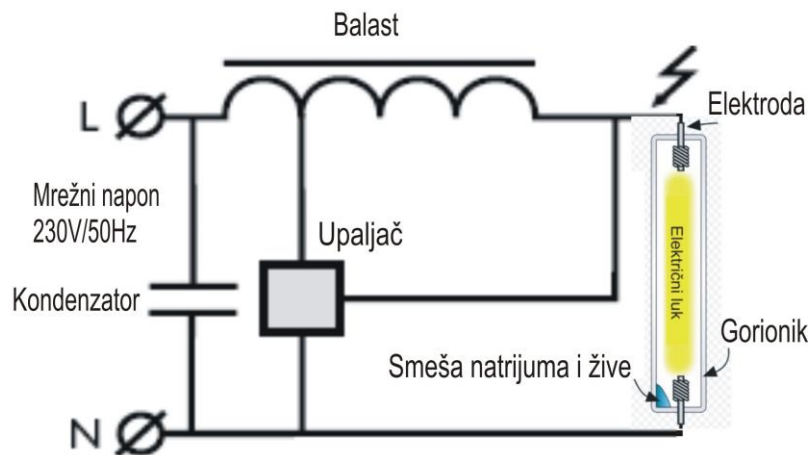
balona je izvučen vazduh, što omogućava održavanje temperature gorionika na približno stalnoj vrednosti, nezavisno od promena temperature ambijenta.



Slika 1. Natrijumovi izvori visokog pritiska u dva oblika ²

Električni luk se dešava u jonizovanom gasu (plazmi) za čiju je inicijalnu jonizaciju potreban visok napon, zbog čega je neophodno električno kolo sa upaljačem i balastom (slika 2). Balast (elektromagnetski) je redno vezan sa sijalicom i ima dve funkcije:

1) kada se izvor priključi na mrežni napon, upaljač paralelno vezan sa sijalicom dopušta da veoma mala struja protiče kroz balast (20-40 mA). Ona stvara malo elektromagnetno polje u namotajima balasta. Trenutak kasnije upaljač prekida protok struje kroz balast (bimetalna traka, koja je konstruktivni element upaljača, otvara se i prekida kolo čiji je jedan element i balast). Balast ima veliku induktivnost i stoga pokušava da održi protok energije u kolu (suprotstavlja se svakoj promeni struje), ali ne može jer je električno kolo otvoreno. To rezultuje stvaranjem visokog napona na balastu (praktično, to je elektromotorna sila samoindukcije koja nastaje kao posledica akumulisane elektromagnetske energije u balastu). Balast je povezan sa sijalicom, pa se i na nju prenosi visoki napon (impulsni napon paljenja za natrijumove izvore kreće se u opsegu 2.3-4.5 kV, u zavisnosti od snage sijalice i njene unutrašnje konstrukcije). Usled toga dolazi do paljenja električnog luka unutar sijalice. Zapravo, električni luk se formira između elektroda sijalice koje su obično izrađene od volframa, zbog njegovih odličnih termičkih osobina. Ovaj proces se ponavlja sve do trenutka kada je gas (natrijum) dovoljno jonizovan da održi električni luk.

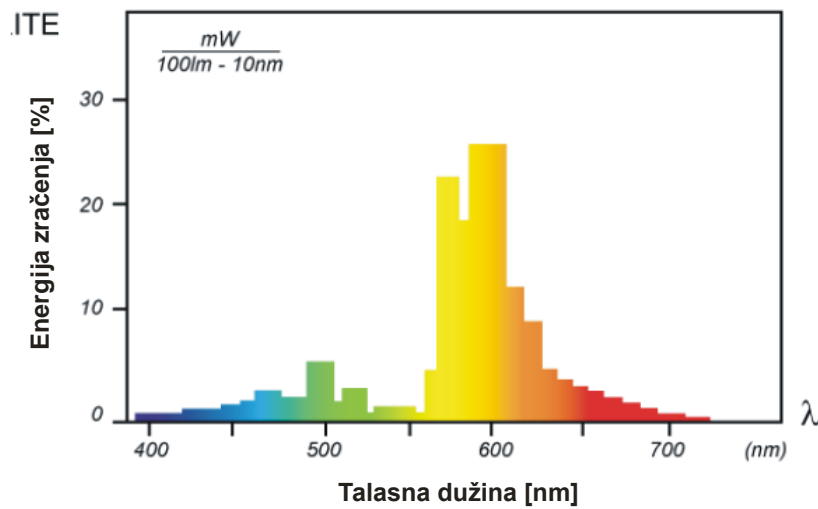
Slika 2. Električno kolo natrijumove sijalice ^{3,4}

2) kada se električno pražnjenje u gasu dogodi, balast počinje da vrši svoju drugu funkciju, a to je ograničavanje struje sijalice.

Električno kolo sijalice je, zbog prisustva balasta, induktivnog karaktera i u praksi se vrši njegova kompenzacija radi popravke faktora snage (paralelno sa priključkom na mrežu vezuje se kompenzacioni kondenzator).

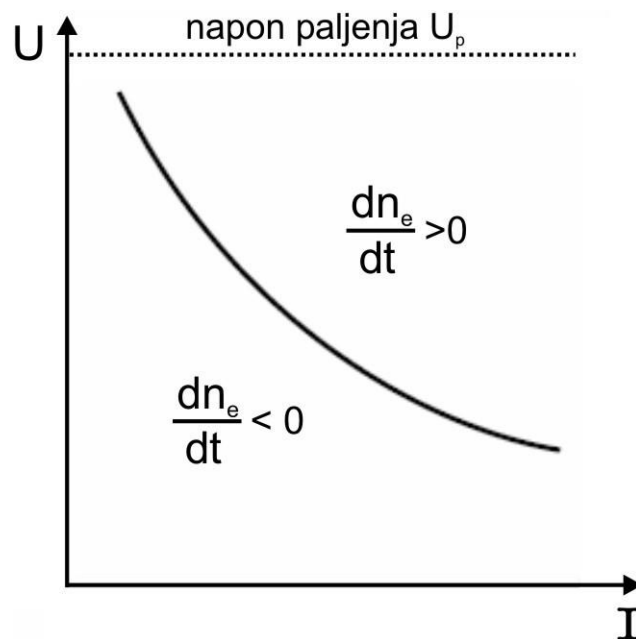
Vreme paljenja ovih izvora iznosi oko 5-10 min (ukoliko se ugase, vreme njihovog ponovnog paljenja iznosi oko 2 min ⁵).

Unutrašnji pritisak cevi ovih izvora se kreće u opsegu $5 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$ Pa i odlikuju se velikim sjajnostima, snagama i svetlosnim fluksevima. Ovaj izvor ima spektar sa dominantnim zračenjem talasnih dužina između 550 nm i 600 nm (slika 3), koji daje svetlost žućkaste (zlatno-bele) boje, indeksa reprodukcije boja samo $R_a = 23$ i temperature boje između 1900 K i 2200 K, a u zavisnosti od tipa izvora.

Slika 3. Spektar natrijumovog izvora visokog pritiska ⁶

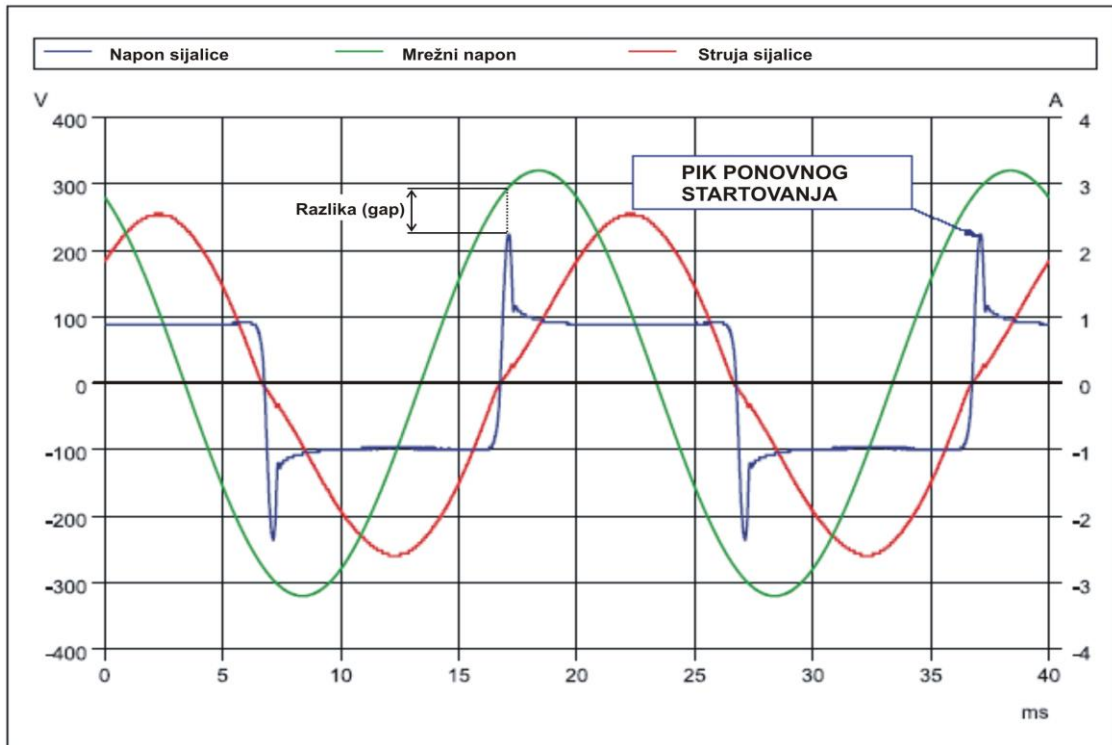
1.2 Stabilizacija rada izvora svetlosti

Glavna funkcija balasta ¹ je da stabilizuje struju sijalice, pošto HID izvor svetlosti ne može normalno da radi ako se samostalno priključi na električnu mrežu (na mrežni napon). HID izvori imaju *negativnu naponsko-strujnu karakteristiku* (slika 4), pa struja kroz ovakve izvore ne podleže istim zakonima kao struja kroz metalne provodnike.

Slika 4. U-I karakteristika HID izvora ³

U njihovom električnom kolu u toku procesa paljenja struja raste sa smanjenjem napona na sijalici. Ako bi se HID izvori priključili direktno na mrežni napon struja sijalice bi stalno rasla, došlo bi do pojave električnog luka (lavinske jonizacije), koji bi za veoma kratko vreme razorio gorionik i uništio sijalicu. Objašnjenje ovog procesa dato je u sledećem pasusu ⁷.

Kriva prikazana na slici 4 je zapravo kriva ekvilibrijuma, tj. ona predstavlja skup radnih tačaka sijalice (I, U) za koje je promena koncentracije slobodnih elektrona u njoj (dn_e/dt) jednaka nuli (u sijalici je uspostavljena ravnoteža između procesa jonizacije i procesa rekombinacije). Za radne tačke (I, U) koje se nalaze iznad krive, dn_e/dt je veće od nule (stopa jonizacije je veća od stope rekombinacije), pa se koncentracija slobodnih elektrona u sijalici povećava. Za radne tačke (I, U) koje se nalaze ispod krive, dn_e/dt je manje od nule (stopa jonizacije je manja od stope rekombinacije), pa se koncentracija slobodnih elektrona u sijalici smanjuje. Da bi se gas u sijalici jonizovao u meri potrebnoj za uspostavljanje pražnjenja, na njene krajeve je potrebno dovesti napon (U_p) viši od napona pri kome se ima stabilno električno pražnjenje u sijalici. Ako bi to bio slučaj, posle početka pražnjenja napon na krajevima sijalice ostao bi U_p , pa bi radna tačka pražnjenja (I, U) morala da bude na pravoj $U = U_p$, koja je na slici 4 u oblasti u kojoj je dn_e/dt veće od nule, zbog čega bi koncentracija slobodnih elektrona (n_e) nastavila da raste. Kao posledica porasta koncentracije slobodnih elektrona, struja pražnjenja bi nastavila da raste sve do uništenja sijalice. Balast, kao pasivni element sa pozitivnom naponsko-strujnom karakteristikom, treba da obezbedi da vrednost struje koja prolazi kroz sijalicu bude ista ili bliska onoj koju je definisao proizvođač izvora svetlosti. Struja sijalice, koja je ista kao i struja balasta, je određena odnosom napona na balastu i njegove impedanse. Kako je napon na balastu razlika između mrežnog napona i napona na sijalici, maksimalna struja sijalice je ograničena mrežnim naponom. Na ovaj način se stabilna radna tačka održava za sve vrednosti mrežnog napona veće od minimalne dozvoljene vrednosti. Dijagrami vremenske promene električnih veličina u kolu sijalice prikazani su na slici 5. Napon na sijalici je pravougaonog oblika (sa pikom ponovnog startovanja koji obezbeđuje da vrednost mrežnog napona ne bude nula u trenutku prolaska struje sijalice kroz nulu - "zero crossing" tačka), dok je struja sijalice sinusoidalnog oblika sa frekvencijom od 50 Hz, kao i mrežni napon.



Slika 5. Električne veličine u kolu natrijumove sijalice visokog pritiska ⁸

U svetiljkama sa NaVP izvorima najzastupljenija je elektromagnetska predspojna oprema koja se sastoji od: 1) elektromagnetskog balasta (prigušnice, tj. klasičnog elektromagnetskog kalema koji se sastoji od velikog broja namotaja bakarne žice i laminiranog gvođenog (čeličnog) jezgra), 2) upaljača čija je osnovna funkcija da obezbede odgovarajući impulsni napon potreban za uspostavljanja procesa jonizacije između elektroda sijalice, i 3) kondenzatora čija je uloga popravka faktora snage (kompenzacija reaktivne energije).

1.3 Elektronski balasti

Upotreba elektronskih balasta u električnim kolima sa HID izvorima relativno je novijeg datuma u tehnici osvetljenja (1990-te). Njihov rad je zasnovan na prekidačkoj (SMPS – Switch Mode Power Supply) tehnologiji, tj. to su elektronski izvori napajanja u kojima tranzistori rade kao prekidači. Za razliku od linearnog izvora napajanja koji reguliše napon tako što dissipira višak energije koji je posledica razlike između ulaznog i izlaznog napona, prekidački izvor velikom brzinom (tipično na frekvenciji od 50 kHz do 1 MHz) reguliše uključenje/isključenje tranzistora, stvarajući pravougaoni napon čija

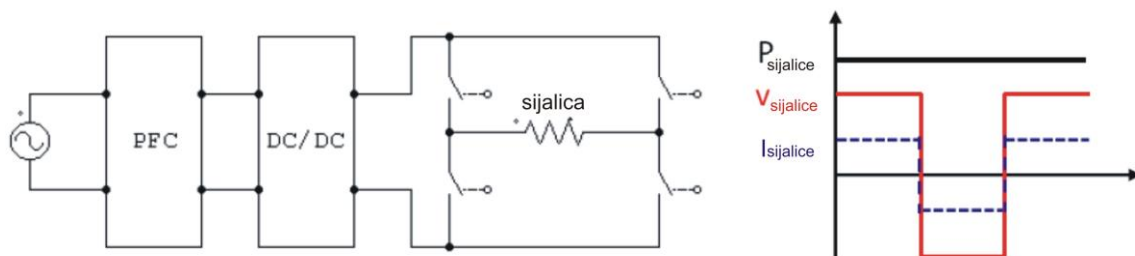
je srednja vrednost jednaka željenom izlaznom naponu. Kada se pravougaoni napon propusti kroz niskofrekventni filter sastavljen od kondenzatora i kalemova, dobija se željeni jednosmerni napon na izlazu. Osnovne prednosti upotrebe elektronskih balasta umesto elektromagnetske predspojne opreme su ^{3,9}:

- jedan uređaj objedinjuje funkcije 3 komponente elektromagnetskog predspojnog sistema (upaljača, kondenzatora i prigušnice),
- visok stepen iskorišćenja energije (veći od 80 %), jer je snaga disipacije tranzistora u režimima zasićenja i zakočenja mnogo manja nego u aktivnom režimu,
- duži životni vek sijalice,
- poboljšani rad sijalice, koji podrazumeva:
 - smanjenje razlika u boji svetlosti na početku i tokom radnog veka,
 - eliminaciju vidljivog treperenja,
 - stabilnije i brže zagrevanje izvora svetlosti,
 - povećanu efikasnost izvora svetlosti (više jonizovane plazme u električnom luku sijalice), i
 - bolju regulaciju snage izvora svetlosti
- povećana efikasnost sistema (manja potrošnja električne energije i manja proizvodnja toplote),
- manja osetljivost na promene mrežnog napona (širok opseg ulaznog napona, tipično 120-280 VAC, 50/60 Hz),
- manji broj komponenti u električnom kolu svetiljke, koje su pritom manjih dimenzija i težine (nema potrebe za velikim transformatorima),
- manji troškovi održavanja (npr. implementacijom "telemenadžment" sistema za daljinsko upravljanje i nadzor instalacija javnog osvetljenja),
- faktor snage blizak jedinici,
- stabilna izlazna snaga uprkos fluktuacijama mrežnog napona, i
- savršeni pravougaoni talasni oblik struje – produžava životni vek izvora svetlosti.

Naravno, postoje i određene negativne strane u radu sa elektronskim balastima, i to ^{3,9}:

- visoka cena (verovatno i najveći nedostatak),
- povećana složenost uređaja,
- osetljivost na visoke temperature i vlagu,
- osetljivost na prenaponske talase,
- bez dela za korekciju faktora snage (kod jeftinijih uređaja), mogu nastati značajna harmonijska izobličenja struje,
- generisanje visokofrekventne energije koja može izazvati elektromagnetske smetnje u radu audio/video opreme povezane na istu fazu (kod jeftinijih uređaja), i
- pojava akustičke rezonancije prilikom rada na visokim frekvencijama (ovaj problem je izbegnut korišćenjem LFSW topologije objašnjene u daljem tekstu).

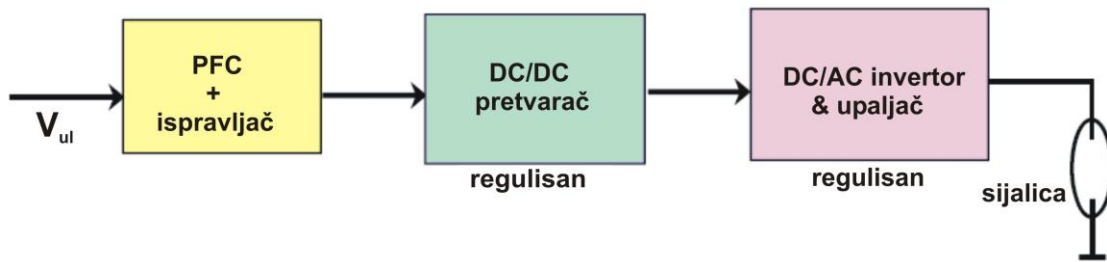
U suštini, elektronski balast predstavlja klasičan AC/AC energetski pretvarač koji pretvara mrežni napon u napon druge (više) frekvencije, tj. obezbeđuje naizmeničnu struju više frekvencije za rad sijalice. Upravo su frekvencija i oblik izlaznog napona pretvarača elektronskog balasta odlučujući u izboru odgovarajućeg tipa balasta za odgovarajući tip HID izvora. U literaturi se može pronaći veliki broj različitih topologija (arhitektura) elektronskih balasta veće ili manje složenosti za natrijumove izvore visokog pritiska. Topologija koja se pokazala kao najpouzdanija i koja je prihvaćena od velikog broja proizvođača je LFSW (Low Frequency Square Wave) topologija, gde kontrolisani strujni izvor putem invertora generiše niskofrekventnu struju pravougaonog talasnog oblika (strujne četvrtke). Budući da u ovom slučaju napon i struja sijalice imaju pravougaoni talasni oblik i u fazi su (slika 6), snaga kojom se energija dovodi sijalici ostaje konstantna, a sa njom i temperatura plazme.



Slika 6. Uprošćeni blok dijagram LFSW balasta i električne karakteristike sijalice ¹⁰

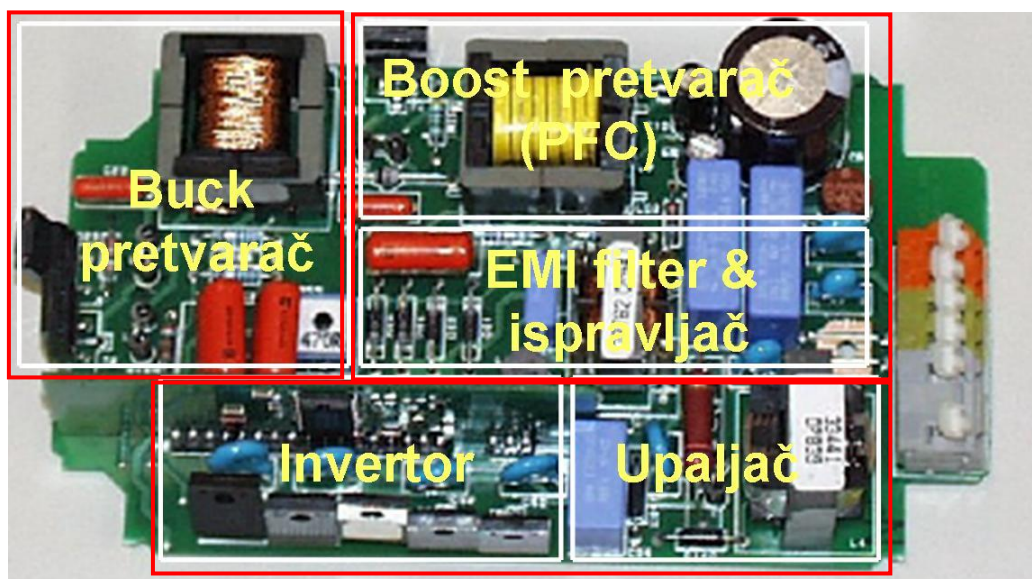
Elektronski balast je sastavljen od više funkcionalnih blokova povezanih u celinu.

Struktura tipičnog elektronskog balasta sa 3 funkcionalna bloka prikazana je na slici 7.



Slika 7. Trostepeni elektronski balast ¹⁰

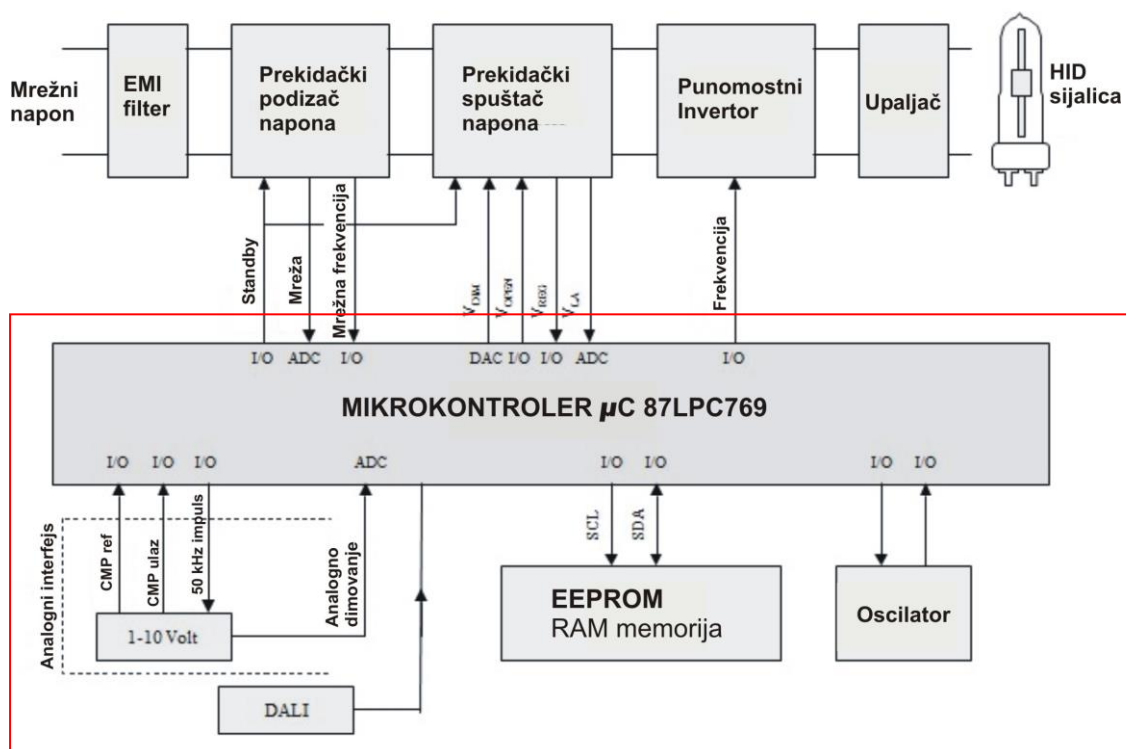
Prvi blok ima funkciju ispravljajča ulaznog naizmeničnog napona u konstantan jednosmerni napon, korekciju faktora snage (PFC blok je zapravo prekidački podizač napona - “boost” pretvarač), ali i ograničenja viših harmonika struje. Često se u sklopu prvog bloka može naći i filter za otklanjanje elektromagnetnih smetnji (EMI filter), kao što se i može videti na slikama 8 i 9. Drugi blok je visokofrekventni pretvarač koji obara jednosmerni napon na izlazu iz prvog bloka (prekidački spuštač napona – „buck“ pretvarač) i obezbeđuje regulaciju snage sijalice. Treći blok predstavlja punomostni inverter koji daje sijalici struju pravougaonog talasnog oblika niske frekvencije (LFSW) koja je neophodna za izbegavanje akustičke rezonancije kod HID izvora. U sklopu trećeg funkcionalnog bloka je i upaljač koji obezbeđuje odgovarajući napon paljenja za početak pražnjenja u HID izvorima. Posle paljenja, upaljač prestaje da stvara visokonaponske impulse.



Slika 8. Izgled trostepenog elektronskog balasta tipa PrimaVision HID-PV 150 W SON, Philips ¹¹

Frekvencija pravougaonog izlaznog napona balasta ka izvoru svetlosti je u konkretnom slučaju 130 Hz, a tipično se kod svih balasta LFSW tipa nalazi u frekventnom opsegu 70 - 400 Hz (prema nekim izvorima u opsegu 50 - 500 Hz ¹²) u kojem su eliminisani stroboskopski efekat i **akustička rezonancija** (fenomen da se usled periodične promene ulazne snage javljaju fluktuacije pritiska u zapremini gasa u sijalici ^{13,10}, a ako je frekvencija snage jednaka ili bliska sopstvenoj frekvenciji HID izvora, pojaviće se putujući talasi pritiska. Ovi talasi putuju prema zidovima gorionika i odbijaju se od njih, što rezultuje nastajanjem stojećih talasa velikih amplituda. Ovaj fenomen može izazvati vidljiva izobličenja električnog luka, što za posledicu ima fluktuacije svetlosti, varijacije u temperaturi boje, smanjeni životni vek sijalice i u nekim slučajevima pucanje gorionika HID izvora).

Da bi elektronski balast bio dimabilan, neophodno je dodati neku inteligenciju (mikroprocesor) koji će regulacijom rada ostalih funkcionalnih blokova uticati i na izlazne vrednosti struje i snage sijalice (slika 9).



Slika 9. Električno kolo elektronskog balasta tipa DynaVision HID-DV 150 W CDO SON, Philips ¹¹

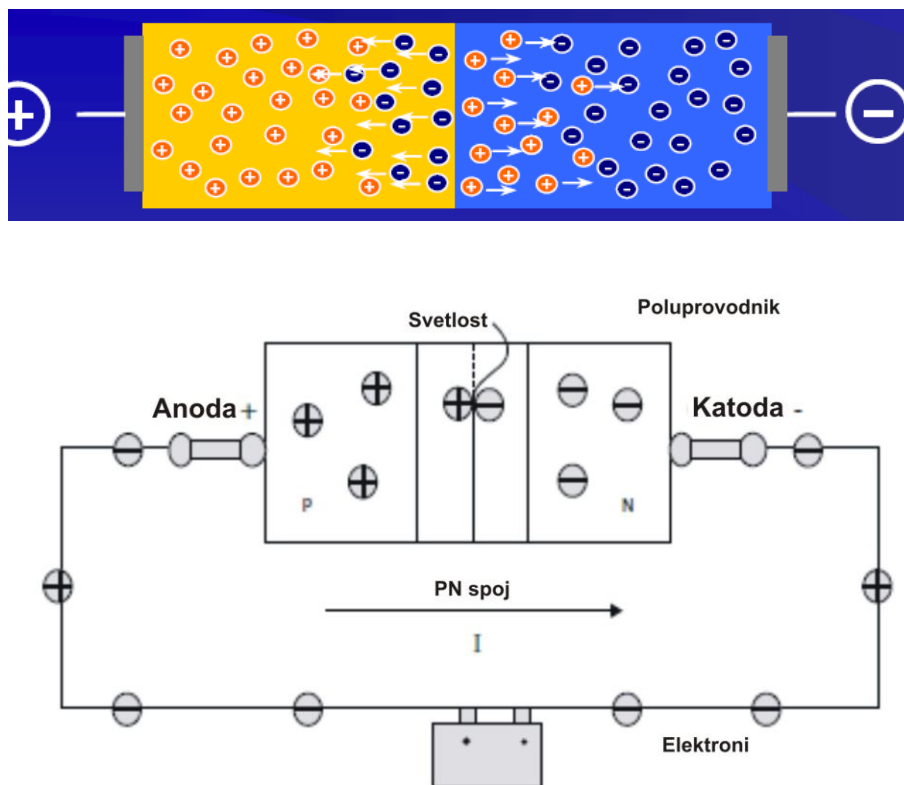
Komanda za regulaciju izlazne struje (a posledično i snage izvora svetlosti) stiže sa integrisanog kontrolera koji komunicira sa balastom putem jednog od dva interfejsa integrisana u balastu – digitalnog DALI ili analognog 1-10 V interfejsa. Upravo iz ovog razloga je za potrebe eksperimenta bilo neophodno koristiti dimabilne elektronske balaste.

Svi pretvarački uređaji koji se pojavljuju u električnim kolima elektronskih balasta drugačije se nazivaju čoperi ili impulsni regulatori jednosmernog napona („boost“ ili „buck“ pretvarači – dve osnovne konvertorske topologije). Oni pretvaraju jednosmerni napon u jednosmerni napon promenljive srednje vrednosti (ta vrednost se reguliše), a takođe pretvaraju energiju jednih karakteristika u energiju drugih karakteristika (npr. više frekvencije). Zapravo, funkcija čopera u jednosmernim kolima je ekvivalentna funkciji transformatora u naizmeničnim kolima.

1.4 Osnovne karakteristike LED izvora svetlosti

Dioda je poluprovodnička komponenta koja dozvoljava protok električne struje u jednom smeru bez otpora (ili uz veoma mali otpor) dok u suprotnom smeru predstavlja beskonačan (ili veoma veliki) otpor. Diode se proizvode uglavnom od poluprovodničkih elemenata (Si, Ge), a njihov rad je baziran na formiranju PN spoja koji nastaje formiranjem dve zone (dve poluprovodničke pločice) u kristalu poluprovodničkog materijala (slika 10). Na jednoj strani linije koja deli te dve zone, čisti poluprovodnički element (npr. četvorovalentni silicijum) je dopiran sa veoma malom količinom trovalentnog elementa iz III grupe periodičnog sistema elemenata čime nastaje poluprovodnik P-tipa (*slobodne šupljine* - nosioci pozitivnog naelektrisanja), dok je na drugoj strani linije dodata mala količina petovalentnog elementa iz V grupe periodičnog sistema elemenata čime nastaje poluprovodnik N-tipa (*slobodni elektroni* - nosioci negativnog naelektrisanja). Kada se prvobitno formira PN spoj, slobodni elektroni iz N-dopirane oblasti se difuzno kreću ka P-dopiranoj oblasti koja obiluje šupljinama. Kada slobodni elektroni popune šupljine, neutrališu se dva nosioca naelektrisanja. Oblast oko PN spoja (poznatija kao *oblast prostornog tovara*) ostaje bez slobodnih nosilaca naelektrisanja i ponaša se kao izolator. Međutim, oblast prostornog tovara se ne širi beskonačno. Za svaki elektron koji popuni jednu šupljinu u P-delu ostaje u N-delu

jedan pozitivno naelektrisan donorski jon. Kako ovaj proces napreduje i sve je više pozitivnih jona u N-delu, raste jačina električnog polja kroz oblast prostornog tovara koja usporava i na kraju potpuno zaustavlja dalji tok elektrona. Ako se dovede spoljašnji napon na kontakte diode istog polariteta kao i električno polje, oblast prostornog tovara se i dalje ponaša kao izolator sprečavajući protok struje (u PN spoju električna struja može da teče od P-elektrode (anode) ka N-elektrodi (katodi), ali ne i u suprotnom smeru).

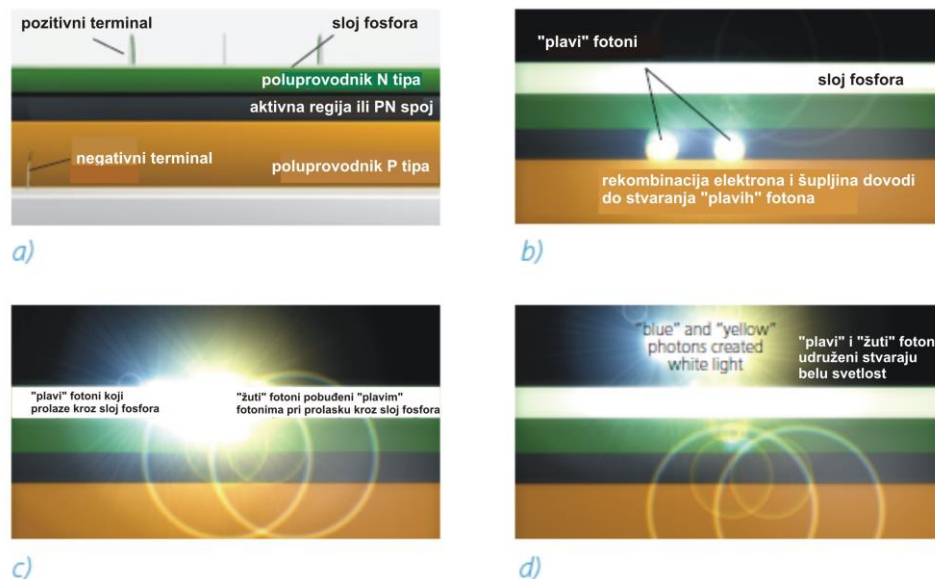


Slika 10. Princip rada LED izvora ¹⁴

Ne ulazeći detaljnije u objašnjenje ovog fenomena zasnovanog na kvantnom efektu prelaska elektrona preko potencijalne barijere kada im se za to obezbedi dovoljna energija, može se konstatovati sledeće:

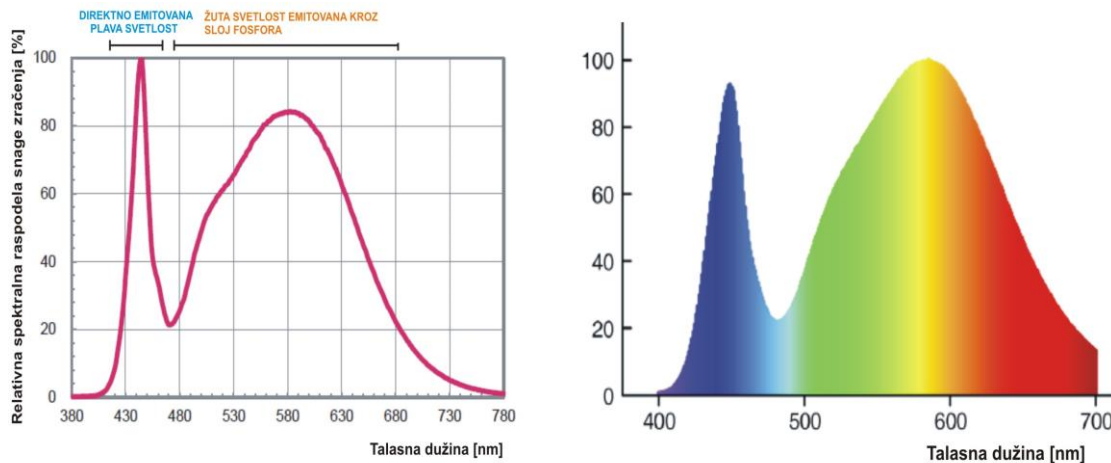
Ako se spolja dovede jednosmerni napon određenog smera na kontakte diode (PN spoja) slobodni nosioci naelektrisanja (elektroni) nastavljaju da se kreću i rekombinuju sa šupljinama, što rezultuje tokom struje kroz PN spoj. LED (kao posebna izvedba standardne PN diode) svetli odnosno emituje fotone u trenutku rekombinacije elektrona i šupljina u zoni PN spoja, tj. kada se stavi pod napon!

LED tehnologija je prešla dalek put od indikatorskih lampica do respektabilnog izvora svetlosti koji sve više svoju primenu nalazi i u najzahtevnijim instalacijama javnog osvetljenja. Od 1906. godine kada je Henry Joseph Round prijavio pojavu elektroluminiscencije (optički i električni fenomen gde čvrsta tela emituju svetlost kada se nalaze u jakom električnom polju ili kada se kroz njih propusti struja) eksperimentišući sa silicijum karbidom (SiC), preko 1962. godine kada je američka kompanija *General Electric* na tržište izbacila prvu crvenu LED svetlosne iskoristivosti 0.1 lm/W, stiglo se i do prekretničke 1993. godine kada je japanska kompanija *Nichia* (predvođena inženjerom Shuji Nakamurom koji je za ovaj izum dobio Nobelovu nagradu za fiziku 2014. godine) izbacila na tržište prvu plavu LED visoke sjajnosti (tzv. *High Brightness LED*), svetlosne iskoristivosti (4-10) lm/W. Kao direktna posledica nastanka plave LED, već 1996. godine ista kompanija izbacuje na tržište prvu belu LED svetlosne iskoristivosti 5 lm/W, tako što na plavu LED dodaje završni sloj od belog (žutog) fosfora. Upravo ovaj metod dobijanja diode koja generiše svetlost bele boje (dobijene konverzijom plave boje svetlosti u fosforu – tzv. *phosphor conversion white LED* – slika 11) je onaj koji je najviše zastupljen kod izrade visokoefikasnih dioda (tzv. *High Power LED*) zbog jednostavnosti izrade i značajno boljeg indeksa reprodukcije boje od onih koji se dobijaju primenom drugih metoda generisanja bele svetlosti.



Slika 11. Princip rada LED izvora ¹⁵: a) poprečni presek standardne bele LED dobijene konverzijom plave boje svetlosti u fosforu; b) rekombinacija elektrona i šupljina dovodi do stvaranja „plavih“ fotona; c) „plavi“ fotoni mogu da prođu kroz sloj fosfora bez promene ili da se konvertuju u „žute“ fotone; d) zajedno, „plavi“ i „žuti“ fotoni stvaraju belu svetlost

Na slikama 12 i 13 prikazana je karakteristična spektralna raspodela snage zračenja bele LED gde se jasno može videti deo spektra koji je posledica direktno emitovane plave svetlosti, kao i (širi) deo spektra koji je posledica žute svetlosti emitovane kroz fosfor.

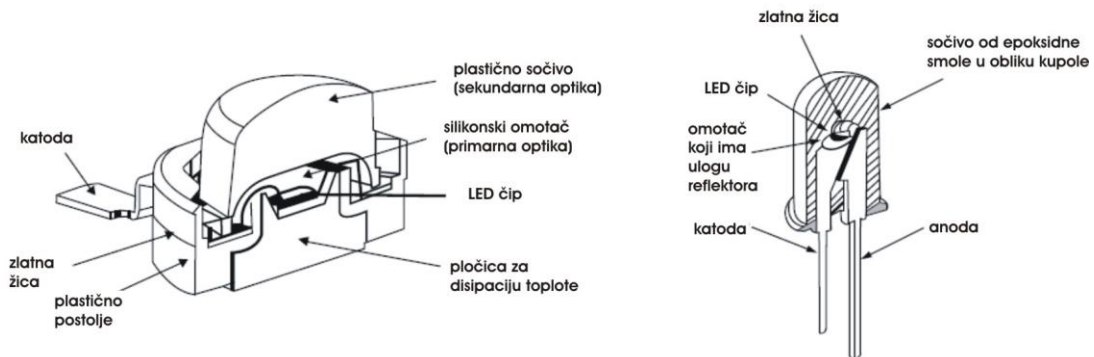


Slika 12 (levo) i 13 (desno). Relativna spektralna raspodela snage zračenja bele LED dobijene konverzijom plave boje svetlosti u fosforu ¹⁶

Ovako visok pik u plavom delu spektra donosi i neke negativne strane o kojima će više biti reči u poglavlju 1.5. Metod dobijanja bele boje svetlosti konverzijom plave boje svetlosti u fosforu je istovremeno i metod za koji se očekuje da će biti najviše zastupljen i u budućnosti, a posebno u instalacijama javnog osvetljenja.

Pre nego što se predstave osnovne karakteristike LED izvora svetlosti, važno je napomenuti da je danas najzastupljeniji modularni koncept u LED svetiljkama za JO (više čipova redno vezanih na štampanoj ploči, istih optičkih karakteristika – tzv. *princip aditivnosti* gde se pojedinačni fluksevi čipova sabiraju, a svetlosna raspodela kompletnog modula ostaje ista kao i ona kod pojedinačnog čipa). Sem silikonske kapsule koja predstavlja primarnu optiku svakog LED čipa, u slučaju visokoefikasnih dioda postoji obično i dodatno plastično sočivo (izrađeno od PMMA ili PC) kao sekundarna optika koja definiše svetlosnu raspodelu LED čipa, a posledično i kompletnog modula (slika 14). Ta sekundarna optika se uglavnom isporučuje kao ploča sa više izlivenih sočiva koja prekrivaju sve čipove (ili deo čipova) u modulu, a ređe i kao zasebna sočiva za svaki pojedinačni čip.

LED je poluprovodnički element koji se izrađuje u obliku komponente koja se polaže na neku površinu (Surface Mounted Device – SMD LED) ili se insertuje (“ubada”) u neko kolo – 5 mm LED (Slika 14).



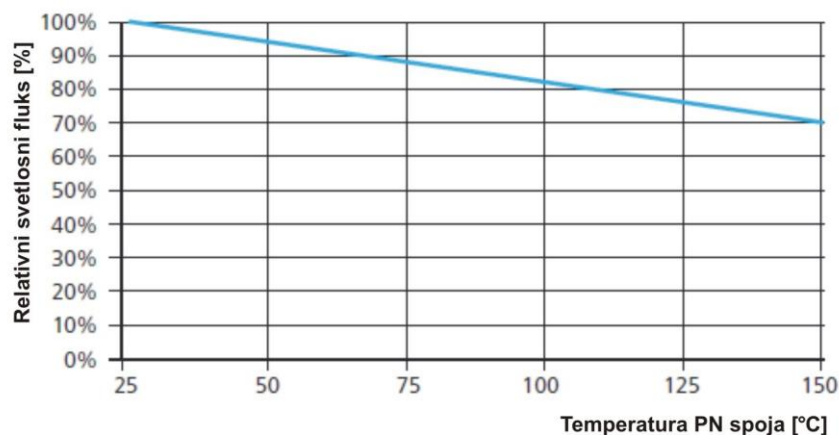
Slika 14. Tipovi LED ¹⁷ (izvor Lumileds®) : a) SMD LED; b) 5 mm LED

Čip (na slici *electroluminescent diode chip*) je povezan sa elektrodama putem zlatne žice (*gold wire*), a obično se nalazi unutar poluloptastog reflektora koji služi da umanjí refleksiju na prelasku iz jedne sredine u drugu (dioda-vazduh) i poveća količinu emitovanih fotona (svi poluprovodnici korišćeni za izradu LED imaju visok indeks prelamanja pa je potrebno da zraci budu bliski upravni da se svetlost ne bi reflektovala nazad ka poluprovodniku i time povećala temperaturu i smanjila efikasnost diode). Dioda je zatvorena u omotaču izrađenom od epoksidne ili silikonske smole (na slici *silicon capsule*), a može biti snabdevena i sa plastičnim sočivom (*plastic lens*) – u slučaju 5 mm diode omotač od epoksidne smole vrši ulogu sočiva. Prvi tip konstrukcije se najčešće koristi za izradu visokoeffikasnih dioda veće snage, pa su zbog većih napona i struja (a samim tim i viših temperatura) diode ovog tipa opremljene dodatnim elementom za odvođenje toplote (plate for dissipating heat). Visokoeffikasne diode su najzastupljenije u svetiljkama koje se koriste u instalacijama JO. Tipična radna struja za ove diode počinje na 350 mA, za snagu od 1 W (danas struje kod čipova novije generacije idu i do 1.5 A ili 5 W po čipu).

Temperatura PN spoja ima direktan uticaj na električne i svetlosne karakteristike LED, kao i na njihov životni vek (slika 15). Životni vek LED je jedno od otvorenih pitanja kada je reč o ovoj tehnologiji. Pošto većina LED čipova u eksploataciji još nije dostigla svoj deklarirani životni vek, ne može se sa sigurnošću reći i verovati proizvođačima na reč da je on upravo onoliko koliko se tvrdi. Pošto važeći standardi (IES LM-80-08) definišu testno vreme (6000 h ili 10.000 h) koje je mnogo kraće od L70 vrednosti

(vreme za koje svetlosni fluks padne na 70 % početnog fluksa), koriste se metode za ekstrapolaciju krivih definisane drugim dokumentima (IES TM-21-11). Do pre nekoliko godina vrednost $L_{70}@50.000$ h je smatrana uobičajenom, dok se danas ide na barem $L_{70}@100.000$ h (nakon 100.000 h svetlosni fluks će pasti na 70 % inicijalne vrednosti). Ta vrednost je, prema informacijama dobijenim od R-Tech razvojnog centra kompanije Schröder, validna za struje preko 700 mA, dok je **$L_{80}@100.000$ h** uobičajena vrednost za struje do 700 mA, pri temperaturi ambijenta od 25 °C. Opadanje svetlosnog fluksa je ključni parametar za definisanje životnog veka LED svetiljki. Pored ove uobičajene projekcije životnog veka u funkciji opadanja svetlosnog fluksa, ponekad se definišu i kroz procenat kvarova, bilo da se kvarom smatra postepeno (L_xB_y) ili naglo opadanje (što podrazumeva i potpunu degradaciju, tj. pregorevanje čipa) svetlosnog fluksa (L_xC_y) na kraju životnog veka ili kombinaciju prethodna dva (L_xF_y – npr. $L_{70}F_{10}$), pri čemu je $F_y \geq B_y + C_y$. Uobičajena vrednost koju kompanija Schröder daje je **$L_{80}B_{10}@100.000$ h**.

Temperatura PN spoja je funkcija struje koja prolazi kroz diodu i temperature ambijenta. Svetlosni fluks se smanjuje sa porastom temperature spoja sve dok se ne dostigne maksimalna temperatura PN spoja ($T_j=150$ °C), uz napomenu da se očekivane normalne radne temperature PN spoja kreću u opsegu 70-120 °C (slika 15).

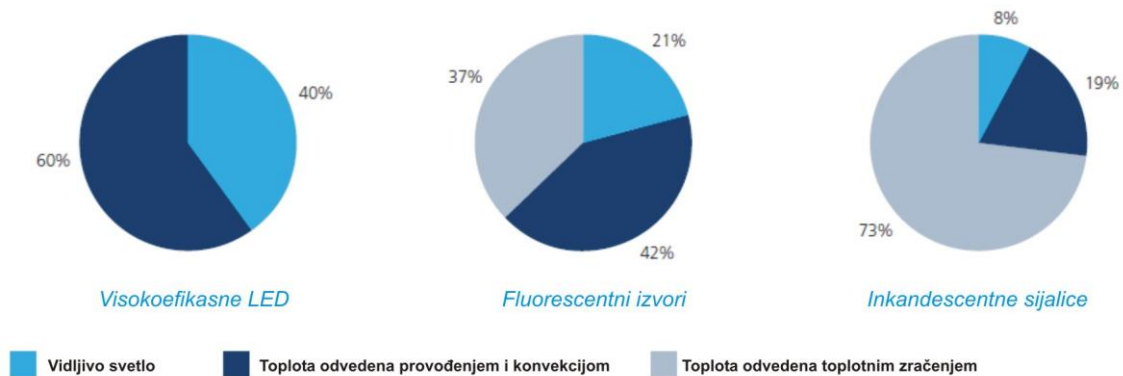


Slika 15. Zavisnost svetlosnog fluksa od temperature PN spoja ¹⁵

Da bi se temperatura PN spoja održala u prihvatljivim granicama, potrebno je smanjivati struju sa porastom temperature (većina proizvođača čipova danas na štampanu ploču integriše i termistor sa negativnim temperaturnim koeficijentom (NTC)

koji daje posredno LED drajveru informaciju o nedozvoljenom porastu temperature, nakon čega drajver obara struju ili potpuno isključuje LED izvore u zavisnosti od veličine prekoračenja). Ukoliko se prekorači maksimalna dozvoljena temperatura PN spoja, to može oštetiti poluprovodničku strukturu diode što dovodi do slabijeg provođenja. Kriva zavisnosti fluksa od temperature je izuzetno važan podatak jer govori o odnosu između realnog svetlosnog fluksa (tzv. “hot lumens”) na radnoj temperaturi PN spoja i svetlosnog fluksa u laboratorijskim uslovima na temperaturi PN spoja od 25 °C (tzv. “cold lumens”). O ovoj temi će biti više reči u poglavlju 1.7.

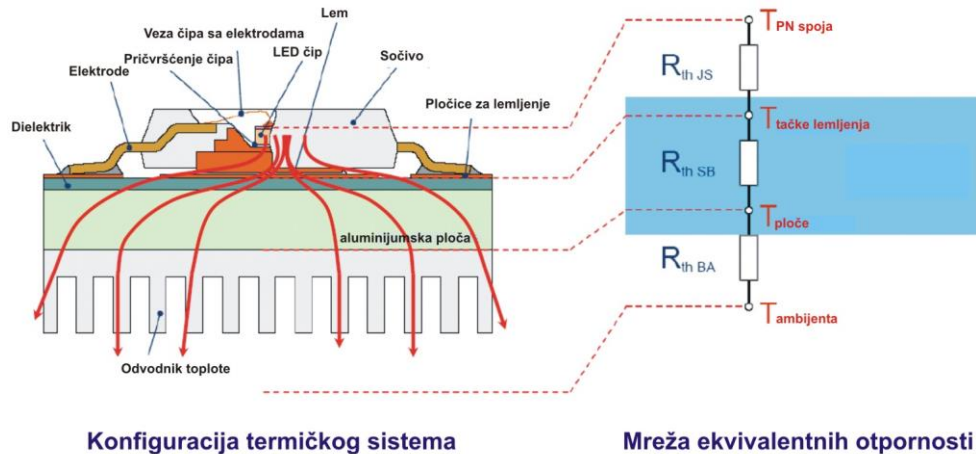
Približno 40 % od ukupne energije diode se pretvara u svetlost, što znači da se 60 % energije pretvara u toplotu (slika 16).



Slika 16. Konverzija ukupne energije u svetlost za različite izvore svetlosti ¹⁵

Može se videti da je to značajno viši stepen konverzije nego kod nekih drugih izvora svetlosti bele boje, kao i da se u slučaju LED toplota ne odvodi sa čipa toplotnim zračenjem, već isključivo provođenjem toplote i konvekcijom. Ovo je koristan ulazni podatak prilikom termičkog dizajna svetiljke, jer temperatura predstavlja jedan od najvećih problema LED tehnologije. Bolja termička regulacija se može izvesti na više načina, od kojih su najrasprostranjeniji: optimizacija rastojanja između LED na štampanoj ploči, dodavanje rebara za hlađenje (tzv. *heat sinks*) i vezivanje svih komponenti (LED moduli i drajveri) na njih, vezivanje svih elemenata u svetiljci metalnim elementima za kućište radi boljeg provođenja toplote, izrada svetiljki sa integrisanim spoljnim rebrima za hlađenje, razdvajanje optičkog bloka i drajvera pregradama u kućištu, itd... Pošto nije moguće direktno izmeriti temperaturu na PN spoju u cilju boljeg rešavanja problema odvođenja toplote, čitav sistem LED može se predstaviti odgovarajućim matematičkim modelom (slika 17), na osnovu kojeg se dobija

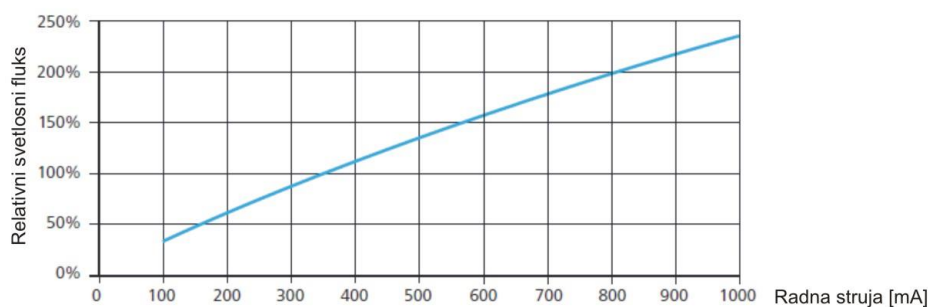
formula za izračunavanje temperature p-n spoja, a posledično i površine odvodnika toplote. Ovde je važno napomenuti da sa termičkog stanovišta najslabija karika u LED svetiljci nije LED čip (modul) ili LED drajver, već su to sekundarna sočiva - iako LED čipovi mogu normalno da operišu na temperaturama PN spoja i do 125 °C, smatra se da je za PMMA sočiva maksimalno dozvoljena temperatura oko 80 °C (temperatura površine štampane ploče na kojoj se nalazi čip sa sekundarnom optikom)!



$$T_j = T_{\text{ambient}} + P_{\text{LED}} \times R_{\text{th JB}} + N \times P_{\text{LED}} \times R_{\text{th BA}}$$

Slika 17. Matematički model termičke regulacije ¹⁸.

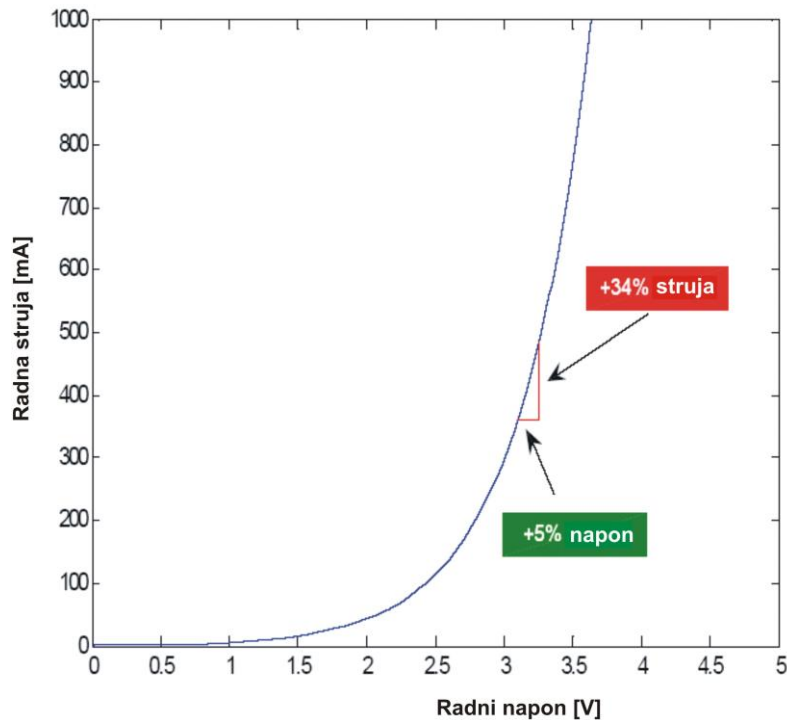
Svetlosni fluks LED je direktno proporcionalan radnoj DC struji kojom se napaja čip, a može se primetiti da ta zavisnost nije u potpunosti linearna (slika 18). Ta manja nelinearnost je posledica tzv. „droop“ fenomena, tj. smanjenja svetlosne efikasnosti LED sa povećanjem struje. To se može posmatrati i drugačije, pa se za unapred definisanu nominalnu struju LED može konstatovati da sa smanjenjem struje svetlosna efikasnost raste! Ova osobina LED će biti od ogromnog značaja za dalju analizu prilikom dimovanja LED svetiljki.



Slika 18. Svetlosni fluks LED u funkciji radne struje ¹⁵

1.5 Osnovne karakteristike LED drajvera

Polazeći od U-I karakteristike LED koja je ista kao i kod svake druge diode (struja je približno eksponencijalna funkcija napona), zaključuje se da na delu krive koja je od značaja za disertaciju, jer pokriva visokoeфикаsne bele LED veće snage (radne struje preko 350 mA), mala promena napona dovodi do značajne promene struje (slika 19).

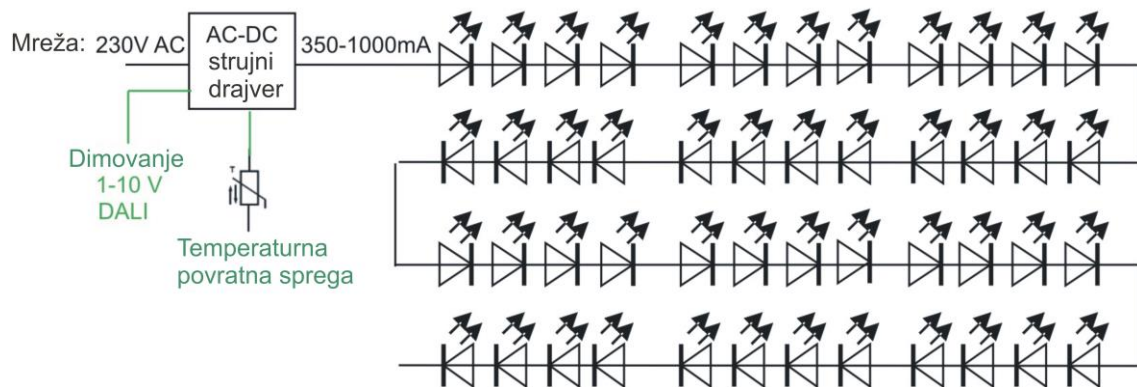


Slika 19. U-I karakteristika LED ¹⁹

Za malu promenu (porast) radnog napona LED od 5 %, radna struja se promeni (poraste) za čak 34 %. Pošto je snaga (kao i svetlosni fluks) praktično proporcionalna radnoj struji LED, da bi se zadržala konstantna snaga uprkos promenama u napajanju i karakteristikama LED, za sve visokoeфикаsne diode mora se obezbediti “*izvor konstantne jednosmerne struje*“! Kod LED čipova manjih snaga (gde radna struja ne prelazi 100 mA) koristi se izvor konstatnog napona, jer se na tom delu krive sa malom promenom radne struje značajno menja radni napon LED.

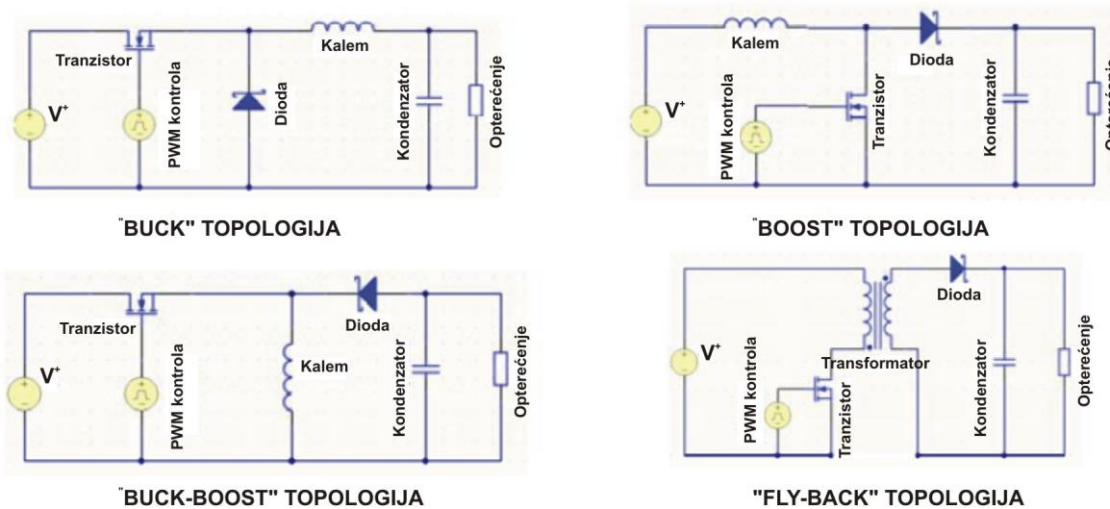
Radni napon LED je direktna funkcija radne struje (logaritamski povezan sa njom), ali i temperature PN spoja (pada sa porastom temperature). Tipičan napon bele LED veće snage, u zavisnosti od proizvođača, poluprovodničkog materijala, radne struje i temperature PN spoja, menja se u opsegu 2.8 - 4 V.

LED drajver je AC/DC pretvarač koji se napaja sa mreže i isporučuje redno vezanim LED čipovima konstantnu DC struju, obezbeđujući istovremeno širok opseg izlaznog DC napona (npr. najveći broj drajvera na tržištu obezbeđuje izlazni napon 120-280 VDC, što omogućuje da se njime napaja različit broj LED – ako se uzme da je tipičan napon na LED oko 3 V, to znači od 40 do 90 LED). LED drajveri takođe mogu raditi i u širokom opsegu ulaznog napona (najčešće 120-277 VAC), održavajući približno konstantnu snagu na izlazu. Ovaj podatak je važan za analizu, jer su u većini instalacija javnog osvetljenja u Srbiji prisutne manje ili veće fluktuacije napona (npr., prilikom merenja na testnoj lokaciji zabeležen je pad napona od 10 % u jednom delu instalacije). Na slici 20 prikazano je jedno tipično električno kolo LED svetiljke sa LED drajverom i redno vezanim LED (najčešće u formi LED modula). Treći najčešće prisutan element u kolima LED svetiljki je uređaj prenaponske zaštite, ali njegove karakteristike nisu od značaja za ovu analizu.

Slika 20. Električno kolo LED ¹⁹

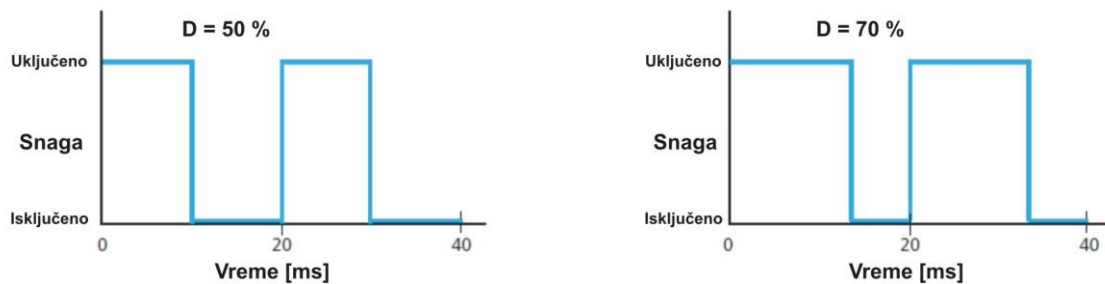
Pored standardnih LED drajvera, za napajanje LED modula i stabilizaciju struje LED mogu se koristiti i otpornici ili linearni regulatori (linearni izvori napajanja konstantnom strujom). Ipak, pokazalo se da ove topologije imaju više mana nego prednosti ²⁰ u poređenju sa prekidačkim topologijama koje su se pokazale kao efikasnije u LED sistemima većih snaga (uobičajena podela: **0-20 W** – manja snaga; **20-50 W** – srednja snaga; **preko 50 W** - veća snaga). Prekidački izvori napajanja su u najvećem broju slučajeva prisutni u 4 topologije (slika 21) ²¹:

- „**buck**“ topologija – koristi se kada je ulazni napon veći od očekivanog izlaznog napona
- „**boost**“ topologija – koristi se kada je ulazni napon manji od očekivanog izlaznog napona
- „**buck-boost**“ topologija – koristi se kada ulazni napon može biti i veći i manji od ulaznog napona
- „**flyback**“ topologija - praktično ista kao i buck-boost topologija, s tim što je kalem zamenjen transformatorom radi galvanskog razdvajanja ulaza i izlaza. Ovo je najraznovrsnija topologija koja omogućava veći broj izlaza iz drajvera, ali se preporučuje za LED sisteme manjih snaga i napona.

Slika 21. Topologije prekidačkih LED drajvera ²¹

Treba pomenuti još dve topologije, Ćuk pretvarač i SEPIC (Single-Ended Primary Inductance Converter) koji je veoma zastupljen, ali i većih dimenzija i težine zbog spregnutih kalemova u kolu. Prekidački izvor sadrži kontroler (integrisano kolo) koji generiše PWM signal za tranzistor, stvarajući četvrtke struje čija je srednja vrednost jednaka željenoj izlaznoj struji. PWM (impulsno-širinska) modulacija kontroliše diode putem fiksirane frekvencije i ponavljajućeg impulsa promenljive širine – umesto da se menja broj uključenja i isključenja dioda, menja se vreme koje LED provede uključena ili isključena u okviru jednog ciklusa, a time se i vrši regulacija svetlosnog fluksa i

snage LED (slika 22). Prednosti i mane prekidačkih izvora napajanja već su navedene u poglavlju 1.2.



Slika 22. Primeri PWM modulacije ¹⁵

Pored PWM modulacije za regulaciju struje i svetlosnog fluksa LED moguće je primeniti i metod analognog (DC) dimovanja, gde se direktno smanjuje radna struja koja prolazi kroz LED (promenljivi otpornik + operacioni pojačavač) ²². Mane ove tehnike su smanjeni svetlosni fluks i moguća značajna promena temperature boje svetlosti (tzv. „colour shift“).

Tipična topologija koja se koristi kod najkvalitetnijih („high-end“) drajvera je tzv. „2-stage topology“ (dvostepeni balast) čija je arhitektura prikazana na slici 23.

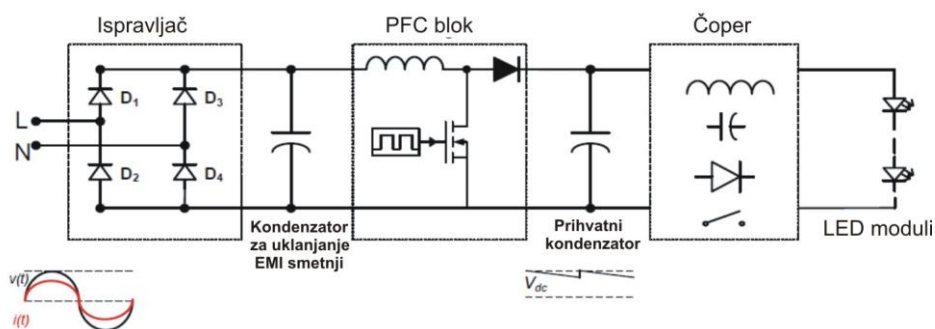


Slika 23. Tipični dvostepeni LED drajver ²³

Isto kao i kod elektronskih balasta, prvi PFC blok je prekidački podizač napona (“boost” pretvarač) koji ima funkcije ispravljača ulaznog naizmeničnog napona u konstantan jednosmerni napon (Grecov spoj), korekcije faktora snage i ograničenja viših harmonika struje, a često se u sklopu prvog bloka može naći i EMI filter za otklanjanje elektromagnetskih smetnji. Drugi blok je visokofrekventni (10 kHz - 1 MHz) prekidački spuštač napona („buck“ pretvarač) koji pretvara jednosmerni napon od 400 VDC na izlasku iz PFC bloka u konstantnu struju. Obično DC-DC pretvarači (tzv. “čoperi”) obezbeđuju konstantan napon na izlazu, a za potrebe visokoeфикаsnih LED je neophodno obezbediti konstantnu struju na izlazu iz pretvarača. Upravo zato je “buck”

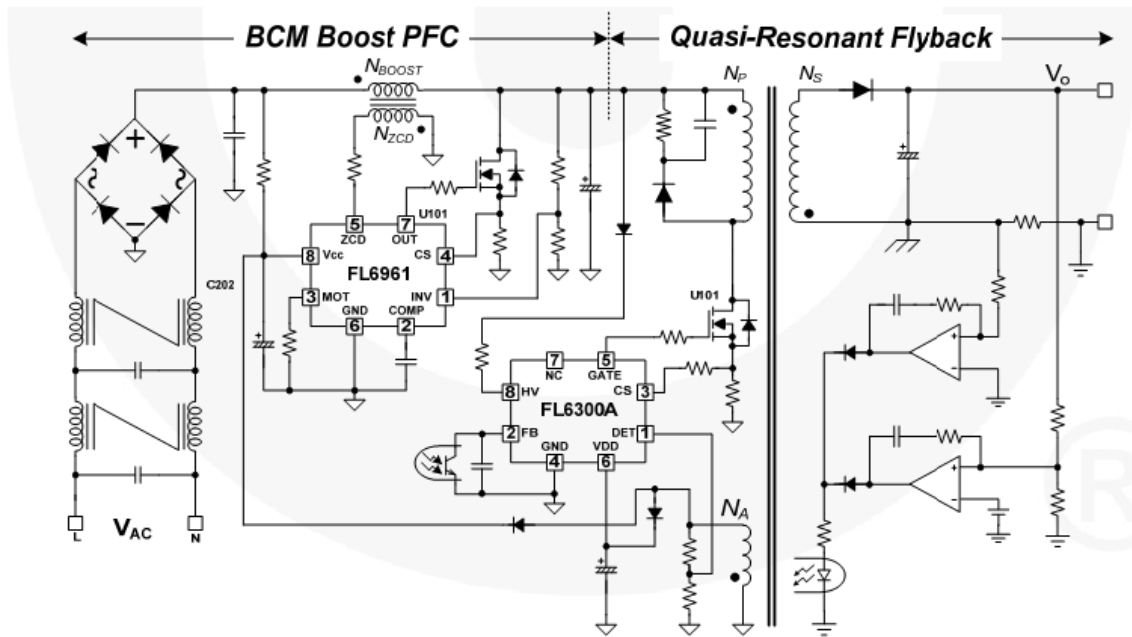
pretvarač idealno rešenje jer se razlikuje od svih drugih topologija (slika 21) po tome što je struja induktora istovremeno i radna struja LED. Budući da nema potrebe za regulacijom napona, nema potrebe ni za dodatnim elektrolitskim kondenzatorima koji predstavljaju slabu tačku svakog drajvera (životni vek ovih komponenti umnogome zavisi od radne temperature).

Dva bloka drajvera se mogu spojiti u jedan, pa tako nastaje jednostepeni ("single-stage") AC/DC LED drajver koji takođe predstavlja često implementirano rešenje (jeftinije, jer je potreban jedan mikrokontroler umesto dva). U konstrukciji dvostepenih drajvera se najčešće koriste *buck-boost* topologija ili *flyback* topologija kao njena specijalna izvedba sa dodatim transformatorom za galvansko odvajanje. Tipično kolo dvostepenog drajvera može se predstaviti sa više detalja i na način prikazan na slici 24 (razdvojeni ispravljački i PFC blok).

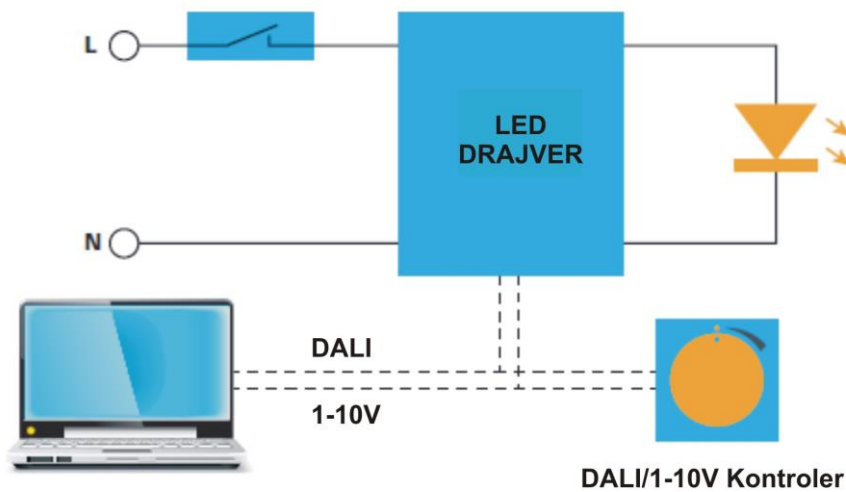


Slika 24. Tipični dvostepeni LED drajver sa aktivnim PFC blokom ²⁴

Dvostepeni drajveri predstavljaju skup izbor za većinu LED aplikacija, osim za aplikacije većih snaga, u koje spada i javno osvetljenje. Ovde su pouzdan rad, dug životni vek i efikasno održavanje od primarnog značaja, pa cena nije u prvom planu. Razlog za višu cenu leži prevashodno u činjenici da je za svaki stepen (blok) drajvera potreban po mikrokontroler (integrisano kolo) za regulaciju – u PFC bloku se kontroliše vreme uključenosti (t_{on}) MOSFET-a, tj. aktivni deo (D) periode (T) (gde je $D = t_{on}/T$) u cilju obezbeđivanja visokog faktora snage i konstantnog DC napona, dok se u drugom DC/DC bloku kontrolišu struja i snaga izvora. Na sledećoj slici se može videti električno kolo jednog dvostepenog balasta zasnovanog na flyback topologiji („quasi-resonant flyback“ tehnika koja minimizuje EMI efekte u flyback topologiji i povećava efikasnost bloka smanjenjem gubitaka u prekidačkom radu - slika 25).

Slika 25. Električno kolo tipičnog dvostepenog balasta ²⁴

Da bi se iskoristila glavna prednost LED tehnologije koja se sastoji u kontinualnoj regulaciji svetlosnog fluksa (snage) LED izvora u opsegu 1-100 % sa trenutnim odzivom, u električno kolo standardnog LED drajvera najčešće se dodaju interfejsi (komunikacijski moduli) za dimovanje koji obezbeđuju eksternu regulaciju sa dimerima ili, što je od značaja sa analizu, sa kontrolerima svetiljki koji komuniciraju sa LED drajverom putem nekog od opšteprihvaćenih standarda u tehnici osvetljenja – kod dioda većih snaga to su najčešće DALI ili 1-10V protokol (slika 26).

Slika 26. LED drajver sa DALI / 1-10V interfejsom ¹⁵

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) je digitalni komunikacijski protokol stvoren od strane najpoznatijih svetskih kompanija (Philips, Osram...) u cilju centralne kontrole sistema osvetljenja u zgradama kao i boljeg povezivanja sa kompleksnijim kontrolnim sistemima. Ovaj protokol je pre svega usmeren ka unutrašnjem osvetljenju, ali je u poslednjih nekoliko godina svoju primenu našao i u javnom osvetljenju. Sistem je dvožilni (polaritet nije bitan) i omogućava dvosmernu komunikaciju (kontroler može da komunicira sa pojedinačnim LED drajverima i dobija od njih povratne informacije), a DALI kontroler može upravljati sa do 64 pojedinačna kanala (adrese) u jednom kolu (u javnom osvetljenju to nije od značaja – retko se zahteva da kontroler upravlja sa više od 2 kanala (adrese), ako npr. jedan kontroler upravlja sa dve svetiljke postavljene na istom stubu JO (svi drajveri u jednoj svetiljci imaju istu adresu)).

1-10V je analogni komunikacijski protokol i predstavlja jednu od najduže korišćenih tehnika kontrole gde se regulacijom kontrolnog DC napona (1-10 V DC ili 0-10 V DC) na ulazu u drajver reguliše izlazni fluks (snaga) u određenom (približno linearnom) odnosu. Ovo je veoma jednostavan metod, te je zahvaljujući tome opstao sve do danas (greška se kod njega može ustanoviti voltmetrom).

Na slici 26 je dat pojednostavljeni šematski prikaz sistema koji će biti korišćen za potrebe disertacije – putem dodatih kontrolera (u konkretnom slučaju, integrisanih u svetiljke) regulišu se struja (snaga, svetlosni fluks) svetiljke, a komanda kontroleru stiže se upravljačkog centra (putem korisničkog interfejsa kome se može pristupiti sa računara).

Za potrebe sistema daljinskog upravljanja opisanog u sledećem poglavlju, neophodno je koristiti dimabilne LED drajvere sa kontinualnom regulacijom izlazne struje (u konkretnom slučaju 100 – 1000 mA) u širokom opsegu izlaznog napona. Na tržištu su prisutni i programabilni drajveri koji, pored kontinualne regulacije izlazne struju, mogu biti programirani putem odgovarajućeg interfejsa povezanog na računar i za autonoman rad bez kontrolera (scenario dimovanja tokom noćnih sati, gde se informacije o trenutku uključenja/dimovanja/isključenja dobijaju na osnovu integrisanog astronomskog časovnika ili odbrojavanjem radnih sati od trenutka uključenja instalacije). O ovim drajverima će biti više reči u delu sa diskusijom i zaključcima.

1.6 Sistem daljinskog upravljanja i nadzora instalacije JO

Ulazak u digitalnu eru osvetljenja otvara prostor za širu implementaciju sistema daljinskog upravljanja i nadzora u instalacijama JO (tzv. „telemenadžment“ sistema).

Ideja o regulaciji potrošnje u javnom osvetljenju nije nova i još od kraja 70-ih i početka 80-ih godina prošlog veka razmatrana je upotreba dvofaznog sistema napajanja sa celunoćnim i polunoćnim režimom rada, pri čemu se u polunoćnom sistemu rada isključuje jedna faza, tj. isključuje se svaka druga svetiljka na liniji. Na ovaj način se štedi energija, ali uz smanjenu ravnomernost sjajnosti što utiče na kvalitet osvetljenja (gašenjem svake druge svetiljke udvostručuje se raspon između susednih stubova što stvara tamne fleke na kolovozu). Ugradnja fotoćelija takođe se nije pokazala kao najbolje rešenje zbog menjanja njihovih karakteristika i zaprljanja u toku vremena, što informaciju o nivou osvetljenosti čini nepouzdanom. Ovo za posledicu ima čestu neusaglašenost između vidnih uslova i nivoa sjajnosti - dešavaju se situacije da vidljivost nije na odgovarajućem nivou, a javno osvetljenje je isključeno, i obratno (ovaj sistem se još uvek primenjuje u Engleskoj jer mreža JO nije razdvojena od NN mreže na kojoj su i ostali potrošači). Takođe, javlja se potreba za smanjenjem nivoa sjajnosti u kasnim noćnim satima kada je frekvencija saobraćaja manja, ne bi li se izbegla prekomerna potrošnja električne energije. Ovaj problem je do sada najčešće rešavan ugradnjom RTK (RadioTeleKomanda – bežični prenos telekomandne poruke) ili MTK uređaja (MrežnaTonfrekventnaKomanda - telegrafski modulisan ton signal superponiran na mrežni napon), što omogućava dirigovano uključenje tj. isključenje po potrebi, ali i nepostojanje bilo kakve povratne informacije o stanju svetiljki u bilo kom trenutku u toku eksploatacije.

Telemenadžment je rešenje koje omogućava daljinsku dijagnostiku uz mogućnost upravljanja, tj. uključanja i isključenja svetiljki, kao i regulacije njihovog svetlosnog fluksa (snage). Ovo je jedini sistem koji omogućava dvosmernu komunikaciju, tj. ima mogućnost slanja komande ali i prijema informacije o trenutnom statusu svetiljki, kao i potvrdu da je komanda izvršena. Na ovaj način se planskim dimovanjem (obaranjem snage svetlosnih izvora, a posledično i svetlosnog fluksa) štedi energija u kasnim noćnim satima kada frekvencija saobraćaja nije velika ili kad god se za time ukaže potreba. Druga velika prednost ovog sistema je u smanjenim troškovima održavanja –

kada dodje do kvara na liniji, dispečer ima preciznu informaciju gde se to dogodilo (na ekranu je prikazana tačna pozicija neispravne svetiljke na mapi) , tj. ne mora se kao prema dosadašnjoj praksi slati ekipa na teren koja traži mesto kvara obilaskom kompletne linije pod naponom.

Postoje dve glavne tehnike koje se koriste za upravljanje i nadzor JO:

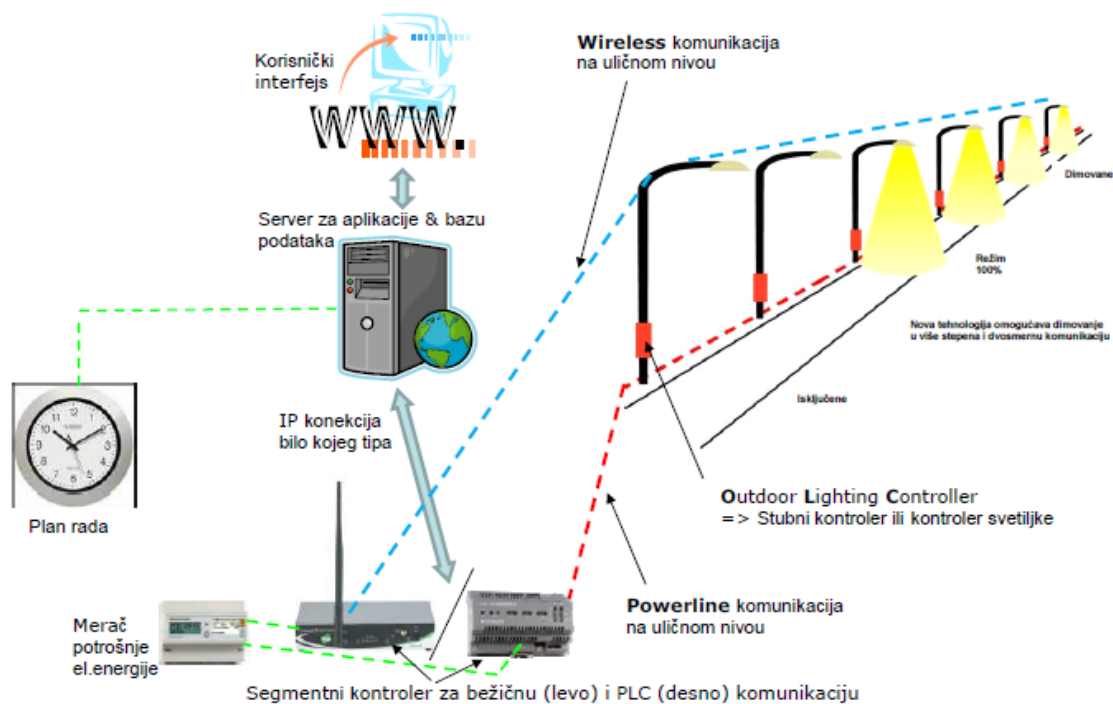
- Komunikacija napojnim kablom (PowerLineCommunication)
- Bežična komunikacija (radio talasi ili wireless frekvencije (najčešće 868 MHz / 2.4 GHz / 5 GHz)).

PLC (Power Line Communication) ²⁵ je sistem za prenos podataka putem niskonaponske mreže, tj. putem provodnika korišćenih za prenos električne energije. Svi PLC sistemi rade na principu utiskivanja modulisanog signala veće frekvencije (9 - 148.5 kHz) u (obično) neutralni provodnik. Brzina prenosa signala kod PLC sistema nije velika i iznosi približno 5.4 kbit/s. PLC je zasnovana na LonWorks tehnologiji (poznatijoj kao LON protokol – ANSI 709.2), otvorenom standardu koji je svoju primenu često nalazio u industriji.

Među protokolima *bežične komunikacije* najrasprostranjenija je upotreba Zigbee protokola. Zigbee je wireless tehnologija (IEEE 802.15.4) ²⁵ razvijena kao otvoreni globalni standard u cilju zadovoljenja potrebe za jeftinom bežičnom mrežom koji koristi signale male snage. Ovi signali se nalaze u nelicenciranom (besplatnom) ISM opsegu (Industrial, Scientific & Medical) koji koristi frekvencije u opsegu 2.4-2.484 GHz (podeljen na 16 kanala koji omogućavaju brzinu prenosa od 250 kbit/s – 50 puta veća brzina od PLC prenosa!), kao i u opsezima 868-868.6 MHz (brzina 20 kbit/s po 1 kanalu) i 902-928 MHz (brzina 40 kbit/s po 6 kanala - SAD i Australija). Kada je frekventni opseg definisan kao slobodan, to znači da za njegovo korišćenje nisu potrebne posebne dozvole ili licence. Međutim, zbog smanjenja mogućih međusobnih smetnji, propisi ograničavaju maksimalnu emitovanu snagu (EIRP) na 100 mW.

Sistem je koncipiran kao mrežni sistem sa nekoliko nivoa komandovanja. Samo jezgro sistema čini server, smešten u upravljačkom centru, koji je povezan sa jednim ili više PC računara kojima se vrši upravljanje sistemom. Moguće je pristupiti korisničkom interfejsu pomoću mobilnog telefona putem GPRS konekcije i odgovarajuće IP adrese, kao i putem Interneta pristupanjem na odgovarajuću Web stranicu i registracijom (WAN ili LAN adresa). Server poseduje aplikativni softver zadužen za upravljanje celokupnim sistemom, prikupljanje, analizu i obradu podataka. Iz ovog upravljačkog centra se može istovremeno upravljati sa više sistema javnog osvetljenja preko segmentnih kontrolera koji se najčešće nalaze u razvodnim ormanima za napajanje JO.

Tipična arhitektura jednog telemenadžment sistema data je na slici 27.



Slika 27. Tipična arhitektura telemenadžment sistema ²⁵

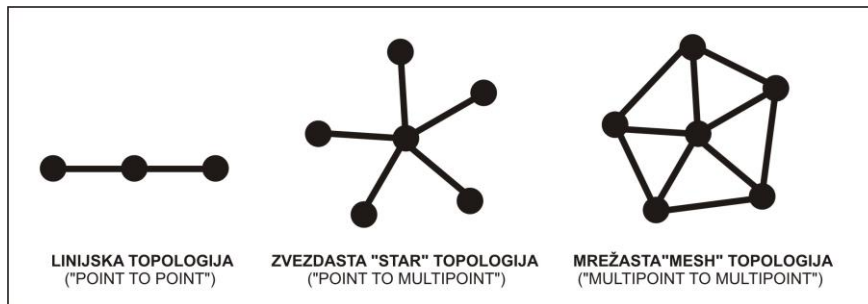
Sistem je hijerarhijski ustrojen na sledeći način:

- *Kontroler svetiljke* (Outdoor Lighting Controller ili OLC) je osnovni uređaj sistema kojim se definiše stanje svetlosnog izvora slanjem signala balastu ili LED drajveru sa kojim je povezan. Ovaj uređaj se smešta u stub JO ili u svetiljku ukoliko je to moguće (zavisi od gabarita svetiljke). Komunikacija između kontrolera svetiljke i balasta (LED drajvera) bazira se na 1-10V i DALI

protokolima. Kontroler svetiljke treba da omogući da se neprekidno mere i nadgledaju struja, napon, aktivna snaga i faktor snage svake pojedinačne svetiljke. On treba da ima ugrađen astronomski sat koji omogućuje paljenje i gašenje izvora čak i u slučaju da uređaji višeg prioriteta (segmentni kontroler, web server) zakažu. Pored toga, mora da obezbedi pouzdanu komunikaciju, prekidačke i dimabilne funkcije, kao i detekciju kvara izvora svetlosti.

- *Segmentni kontroler* (master kontroler, koncentrator, gateway) je koordinator sistema koji može vršiti upravljanje i nadzor većeg broja (i do 150) svetiljki (tj. kontrolera svetiljki). Montira se najčešće u orman JO ili u poseban orman. Segmentni kontroler prenosi kontrolerima svetiljki komande koje stižu sa korisničkog interfejsa i prikuplja podatke sa kontrolera svetiljki i predaje ih putem interneta web serveru na kojem se nalaze baza podataka i korisnički interfejs. Veza sa serverom se ostvaruje putem ADSL, GPRS ili 3G mreže (putem SIM kartice ili fiksnog ADSL priključka). *Praktično, razlika u arhitekturi ova dva sistema je upravo u načinu prenosa podataka od segmentnog kontrolera ka kontrolerima svetiljki i obrnuto - postojećim napojnim kablom (PLC komunikacija) ili bežično putem antena (antene imaju i segmentni kontroler i kontroleri svetiljki koji komuniciraju u određenom frekventnom opsegu).*
- *Korisnički interfejs* se nalazi na serveru koji može biti smešten bilo gde. Serveru je moguće pristupiti preko neke od IP konekcija (kao npr. 3G mobilne mreže, putem EDGE i GPRS tehnologije, putem Etherneta ili Wi-fi komunikacije), pristupanjem na odgovarajuću Web stranicu i registracijom (WAN ili LAN adresa). Korisnički interfejs treba da obezbedi da se instalacija osvetljenja može locirati i nadgledati preko mapa. Takođe, neophodno je da se na Web stranici sistema može konfigurisati sistem, menjati postavljeni scenario dimovanja ili plan uključenja/iključenja svetiljki. Svi prikupljeni podaci treba da se smeštaju i čuvaju u bazi podataka čineći informacije raspoloživim u dužem vremenskom periodu, pre svega radi analiza potrošnje električne energije, predviđanja životnog veka izvora svetlosti, detekcija problema...

Preporučuje se izbegavanje zatvorenih sistema, tj. onih sistema kod kojih hardverske i softverske komponente može isporučiti isključivo proizvođač sistema, što može predstavljati problem u slučaju eventualnih kvarova, dalje nadgradnje sistema ili povezivanja sa drugim otvorenim sistemima (merenje gustine saobraćaja, saobraćajna signalizacija, kamere, Google mape ...). Na slici 28 prikazane su osnovne mrežne topologije.

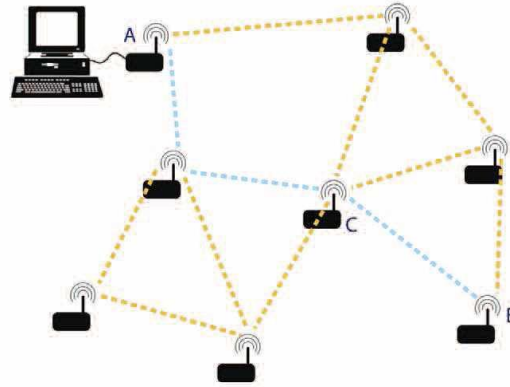


Slika 28. Osnovne mrežne topologije

PLC telemenadžment sistemi su najčešće bazirani na linijskoj ²⁶ (*point-to-point*) topologiji ili zvezdastoj mrežnoj (*point-to-multipoint*) topologiji ²⁷. Ne ulazeći u detaljniju analizu ovih topologija, ono što im je zajedničko je da sva komunikacija na nivou kontrolera svetiljki mora ići kroz jedan centralni čvor čiji kvar dovodi do kolapsa čitave mreže. Ukoliko bilo koji čvor (stubno mesto sa svetiljkom) kod *point-to-point* mrežne topologije (a zvezdasta topologija je zapravo mreža sa više manjih *point-to-point* struktura) ispadne iz komunikacijske mreže iz bilo kog razloga (najgori slučaj je prekid napajanja), čitava komunikacijska linija može biti prekinuta. Ovo nije moguće u mreži "decentralizovane inteligencije" (mrežasta „mesh“ topologija), tj. ne postoji samo jedan centralni čvor koji bi sam omogućio da sistem funkcioniše efikasno i sigurno.

Bežični telemenadžment sistemi su najčešće bazirani na *Mesh* mrežnoj topologiji koja omogućava visok nivo pouzdanosti obezbeđujući više mogućih putanja tokova signala kroz mrežu (*multipoint-to-multipoint*). Ova topologija nudi mogućnost samopopravke sistema koja je objašnjena na sledećem primeru ²⁵. *Mesh* topologija se koristi u aplikacijama gde je udaljenost između 2 čvora izvan opsega radio talasa, ali se neki od drugih čvorova nalaze u opsegu i mogu se iskoristiti kao posrednici za prenos signala. Mreža se sama stara da signal dođe do svojih krajnjih odredišta. Ako je neki od čvorova glavne putanje toka signala u kvaru, informacijom o nastanku greške na tom čvoru ili

putanji, mreža sama pronalazi i implementira alternativne putanje kako bi nesmetano signal došao na svoje odredište (ako se antena C isključi iz nekog razloga, nova putanja će biti korišćena da informacije stignu od čvora A do čvora B – slika 29).



Slika 29. Princip samopopravke kod *mesh* mrežne topologije ²⁵

Pošto se prenos signala kod PLC sistema ostvaruje kroz napojni kabl koji je prvenstveno dizajniran za prenos električne energije, a ne podataka, javljaju se određeni problemi prilikom implementacije ovog sistema: jak šum u mreži (zaprljanje signala), veliko slabljenje i izobličenje signala. Ovi problemi se prevashodno javljaju kod mešoviti mreža (instalacija JO se napaja sa iste mreže kao i drugi potrošači (npr. domaćinstva, komunalne instalacije...)), dok su kod nezavisnih mreža (instalacija JO odvojena od drugih potrošača) oni manji (u Srbiji su instalacije JO najčešće povezane ne nezavisnu mrežu). Upotreba PLC sistema se iz tog razloga preporučuje isključivo u nezavisnim mrežama. Upotreba Powerline komunikacije zahteva dobro poznavanje napojne mreže, dosta uloženog truda u mrežnu analizu kao i osposobljeno osoblje da izmeri snagu signala gde je potreban pristup mrežnom napajanju. Jedna od prednosti Zigbee bežičnog sistema nad PLC sistemom je sigurnije, jednostavnije i pouzdanije dobijanje merenih rezultata nakon instalisanja sistema. Takođe, konfiguracija energetske mreže ne utiče na rad Zigbee sistema jer je komunikacija nezavisna od napajanja. Mnogostruko (do 50 puta veća) brzina prenosa kod Zigbee bežičnog sistema omogućava značajno brži prenos podataka (segmentnom kontroleru kod PLC sistema je potrebno oko 1 h da prenese komandu do svih 140 kontrolera kojima upravlja, dok je kod Zigbee bežičnog sistema potrebno svega nekoliko minuta).

Sistem korišćen za potrebe disertacije je Zigbee bežični telemenadžment sistem baziran na *mesh* mrežnoj topologiji.

1.7 Poređenje svetlosne efikasnosti LED i HID svetiljki

Važno je istaći da se sa posebnom pažnjom pratio razvoj LED izvora neutralne bele boje svetlosti (3700 K-4500 K), jer se smatra da su upravo takve diode najpodesnije za primenu u instalacijama JO (postoje određene razlike u definisanju opsega temperatura boje svetlosti, korišćeni podaci su preuzeti od proizvođača LED čipova Cree ^{28,29}). Napravljen je kompromis u pogledu svetlosne efikasnosti, indeksa reprodukcije boja i temperature boje svetlosti – LED hladno bele boje svetlosti (5000 K-10000 K) su najefikasnije, ali imaju najniži indeks reprodukcije boja, dok su diode toplo bele boje svetlosti (2600 K-3700 K) najmanje efikasne, ali imaju najviši indeks reprodukcije boja. Sa druge strane, smatra se da previše hladna boja svetlosti nije prijatna za javno osvetljenje i stvara osećaj nelagodnosti ³⁰. Takođe, treba imati u vidu da zbog izražene plave komponente u spektru LED hladno bele boje svetlosti, one predstavljaju i određenu opasnost po zdravlje građana ^{31,32} - poremećaj cirkadijalnog ritma, suženje zenica, veće blještanje, veća osetljivost oka na svetlost manjih talasnih dužina, ubrzano starenje oka, sporija adaptacija oka na niže nivoe osvetljenosti, uticaj na endokrini sistem što dovodi do smanjenog lučenja hormona melatonina, odgovornog za suzbijanje raka dojke, itd... Mireći ove suprostavljene karakteristike LED različitih temperatura boje svetlosti, došlo se do LED neutralne bele boje svetlosti čije karakteristike se nalaze između onih vrednosti definisanim čipovima hladno i toplo bele boje svetlosti (svetlosna iskoristivost za 10-15 % veća od one koja se ima za LED toplo bele boje svetlosti i do 10 % manja od one koju imaju LED hladno bele boje svetlosti; indeks reprodukcije boja (*Ra*) najčešće je veći od 70 i gotovo jednak onom koji se ima sa LED hladno bele boje svetlosti, dok je kod LED toplo bele boje svetlosti *Ra* najčešće preko 80). Treba napomenuti da se u poslednje vreme insistira i na višim vrednostima *Ra*, pa je sve više proizvođača koji nude LED neutralne bele boje svetlosti sa $Ra \geq 80$ (svetlosna iskoristivost opada sa porastom *Ra*).

U poslednjih 20 godina, od pojave prve bele LED, došlo je do značajnog poboljšanja karakteristika LED izvora svetlosti. Najpre je pre 10 godina (2007. godine) probijena magična granica svetlosne iskoristivosti od 100 lm/W sa Nichia LED čipovima hladno bele boje svetlosti, da bi u narednim godinama (2008-2010) i LED čipovi neutralne bele boje svetlosti dostigli tu svetlosnu iskoristivost. Tokom narednih godina (2010-2012)

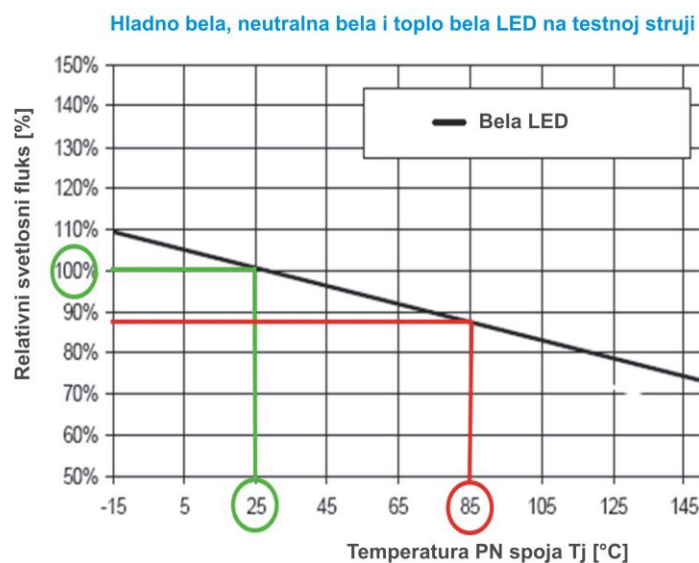
većina LED čipova neutralne bele boje svetlosti renomiranih proizvođača prešla je granicu svetlosne iskoristivosti od 100 lm/W (Lumileds Rebel ES, Cree XP-E, Cree XP-G, Cree XP-E HEW, Osram OSRON...) i krenula dalje. Već 2013. godine LED čipovi neutralne bele boje svetlosti (Cree XP-G2²⁸) imali su svetlosnu iskoristivost od 130 lm/W pri temperaturi p-n spoja od $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ (na $T_j = 85\text{ }^\circ\text{C}$ svetlosna iskoristivost iznosila je 118 lm/W). Poslednje 2 godine većina proizvođača svetiljki polako prelazi na tzv. čipove površine 2 mm^2 (prethodna generacija LED imala je površinu čipa od 1 mm^2) koji dozvoljavaju veću gustinu struje koja se dovodi na p-n spoj, a posledično i pouzdan rad na sve većim strujama (već i struja od 1 A ne predstavlja problem). Sa ovakvim čipovima moguće je postići i svetlosne iskoristivosti do 165 lm/W, a većina renomiranih proizvođača ih proizvodi. Očekuje se da će se u narednim godinama preći na čipove površine 4 mm^2 koji će imati svetlosnu iskoristivost do 175 lm/W na strujama do 700 mA za najkvalitetnije čipove (Cree XPL, LG G4L), ali i omogućiti pouzdan rad i na strujama do 2 A (naravno, sa manjom svetlosnom efikasnošću). Pored ovih standardnih robusnih čipova prilagođenih uslovima rada u javnom osvetljenju (veće snage i veće struje), poslednjih 5 godina sve renomirane kompanije izlazile su u javnost sa informacijama o čipovima neverovatnih performansi: još 2010. kompanija Nichia je tvrdila da ima čip temperature boje 4700 K, svetlosne iskoristivosti od čak 135 lm/W pri radnoj struji od 1 A³³ (4 redno povezana čipa); Cree je već 2014. godine tvrdila da je proizvela čip temperature boje 5150 K koji na radnoj struji od 350 mA postiže svetlosnu iskoristivost od neverovatnih 303 lm/W³⁴; 2016. godine u januaru Samsung izbacuje LED (tip LH351B³⁵) svetlosne iskoristivosti 173 lm/W (pri $T_j = 85\text{ }^\circ\text{C}$, $I_f = 350\text{ mA}$) i neverovatnog životnog veka od 280.000h ($T_j = 105\text{ }^\circ\text{C}$, $I_f = 1\text{ A}$), što u javnom osvetljenju gde instalacija prosečno radi 4100 h/god znači više od 68 godina!

Ako je verovati proizvođačima LED čipova, LED tehnologija se krupnim koracima približava maksimalnoj teoretskoj svetlosnoj iskoristivosti za bele LED dobijene konverzijom plave boje svetlosti u fosforu – stručna literatura daje opseg od 250-300 lm/W^{36,37}. Takođe, uvidom u ove vrednosti i poznavajući svetlosne efikasnosti natrijumovih izvora visokog pritiska kao još uvek najzastupljenijih izvora u javnom osvetljenju (svetlosna iskoristivost u opsegu od 90 lm/W do 140 lm/W za izvore snage od 70 W do 400 W kod renomiranih proizvođača), moglo bi se pogrešno zaključiti da su

LED izvori već godinama unazad pravo rešenje za instalacije javnog osvetljenja. Ipak, u sledećem pasusu će se pokazati da veći broj faktora utiče na pravu (izlaznu) efikasnost svetiljke, tj. na jedini validan podatak koji treba da bude od značaja za odgovorna lica koja treba da donesu odluku o primeni jedne (HID) ili druge (LED) tehnologije.

Treba istaći da većina proizvođača daje podatke o svetlosnoj iskoristivosti na temperaturi p-n spoja diode od 25 °C, dok samo neki daju podatke i o svetlosnoj iskoristivosti na radnoj temperaturi p-n spoja diode od (obično od 70 °C do 105 °C, u zavisnosti od radne struje i temperature ambijenta). Svetlosna iskoristivost o kojoj je bilo reči u prethodnom tekstu odnosi se na LED čip u laboratorijskim uslovima ($T_j = 25\text{ °C}$). Stvarnost je malo drugačija jer dosta faktora utiče na izlazni svetlosni fluks LED svetiljke koji je uvek manji od (ulaznog) fluksa LED.

LED svetiljka predstavlja integrisan sistem u kojem izlazni svetlosni fluks (svetlosna efikasnost) zavisi od električnih, optičkih i termičkih karakteristika sistema u kojem su dve osnovne komponente LED modul (više redno vezanih LED čipova na štampanoj ploči) i LED drajver (AC/DC pretvarač koji LED modulima isporučuje konstantnu DC struju). Za razumevanje problema uzeće se primer jednog LED čipa svetlosne efikasnosti od 100 lm/W, na osnovu kojeg se analiza lako može proširiti i na najnovije čipove značajno veće svetlosne iskoristivosti. Iskoristivost je data za temperaturu p-n spoja od 25 °C, dok na 85 °C ova iskoristivost pada - na slici 30 data je zavisnost fluksa od temperature p-n spoja za jedan LED čip svetlosne iskoristivosti od 100 lm/W.



Slika 30. Zavisnost svetlosnog fluksa od temperature p-n spoja ¹⁹

Ovakva zavisnost se može tretirati kao karakteristična za sve renomirane proizvođače LED čipova, a posledično i za većinu renomiranih proizvođača svetiljki (većina istih koristi u svojim svetiljkama LED čipove nekoliko najvećih kompanija – Cree, Nichia, Seoul Semiconductors, Osram, Lumileds). Smatra se da je ova temperatura p-n spoja očekivana vrednost u radnim uslovima, a ujedno i maksimalna preporučena vrednost imajući u vidu da može doći do oštećenja (topljenja) sočiva izrađenih od PMMA (PoliMetilMetAkrilat, poznatiji i kao akrilno staklo) na višoj temperaturi. Sa slike 30 se može videti da je za temperaturu p-n spoja od 85 °C svetlosna efikasnost LED čipa opala za 12 %.

Efikasnost najkvalitetnijih LED drajvera (proizvođači Philips, Osram, LG) se obično kreće preko 90 % (gubici na drajveru ne prelaze 10 %). Za potrebe ovog primera uzeće se vrednost od 90 %.

Efikasnost LED optike (sočiva) iznosi oko 85-90 %, a gubici na staklenom protektori i gubici usled Frenelovih refleksija mogu ići i do 10 %. Uzeće se da optička efikasnost LED svetiljke iznosi oko 80 %.

Stvarna (izlazna) svetlosna efikasnost LED svetiljke (u odnosu na svetlosnu efikasnost samog LED čipa) dobija se kad se svi prethodno navedeni parametri uzmu u obzir (slika 31).



Slika 31. Svetlosna efikasnost LED svetiljke kao integrisanog sistema ¹⁹

Može se zaključiti da svetlosna efikasnost (stepen iskorišćenja) LED svetiljke u konkretnom primeru iznosi 63.36 %.

Ova vrednost je potpuno očekivana, imajući u vidu da se stepen iskorišćenja LED svetiljki u periodu 2010-2015. upravo kretao u opsegu 60-70 % inicijalne svetlosne efikasnosti LED čipa.

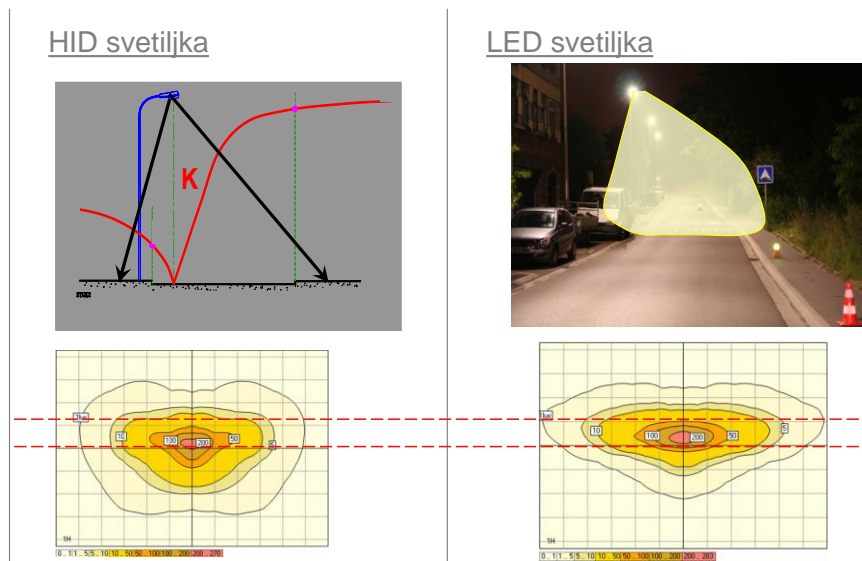
Poznavajući stanje instalacija JO u Srbiji, može se konstatovati da je tokom zamene prevaziđenih živinih izvora prosečne snage 200 W u poslednjih 20 godina, prosečna zamenska snaga natrijumovih izvora visokog pritiska bila približno 100 W (analiza kompanije Minel-Schröder zasnovana na prikupljenim podacima o stanju JO u opštinama u Srbiji, Crnoj Gori, Makedoniji i BiH). Upravo iz tog razloga će se ta snaga koristiti za komparativnu analizu u ovom primeru, a svetlosna iskoristivost kvalitetnijeg natrijumovog izvora snage 100 W (Master SON-T Pia Plus 100 W ³⁸) sa povišenim fluksom iznosi 107 lm/W (svetlosni fluks od 10.700 lm). Sagledavajući iste uticaje kao i u slučaju LED svetiljke, može se konstatovati:

- natrijumovi izvori nisu previše osetljivi na promene temperature
- Efikasnost elektromagnetnog balasta (preko 85 %) - uzeta vrednost od 85 %
- Efikasnost optike (reflektor+protektor) (~ 80 %) - uzeta vrednost od 80 %

Svetlosna efikasnost natrijumove svetiljke u konkretnom primeru iznosi 72.76 lm/W. Sudeći prema prethodnom primeru, svetiljke sa natrijumovim izvorima visokog pritiska bi bile efikasnije od LED svetiljki za skoro 15 %.

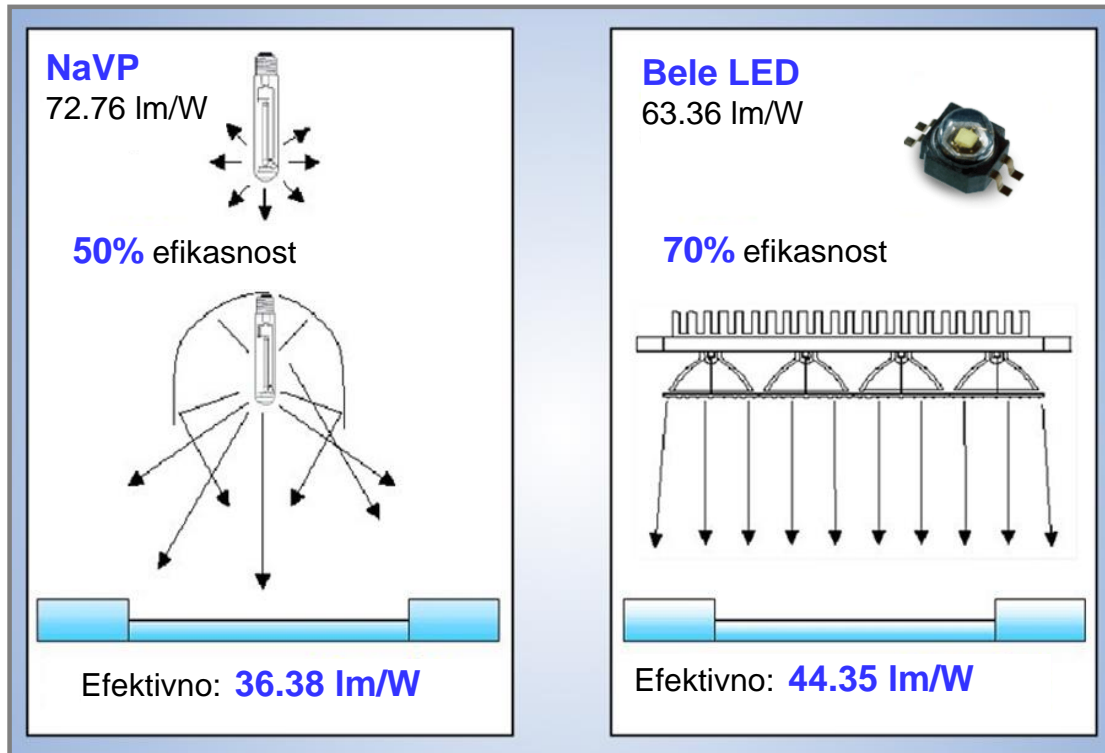
Međutim, pored svetlosne iskoristivosti izvora i svetlosne efikasnosti (stepena iskorišćenja) svetiljke, prava efikasnost svetiljke za osvetljavanje saobraćajnica zavisi i od veličine onog dela svetlosnog fluksa koji se izrači na željenu površinu (površinu kolovoza) – slika 32.

HID ↔ LED



Slika 32. Kontrola svetlosne raspodele kod HID i LED svetiljki ¹⁹

Analizirajući izoluks dijagrame prikazane na slici 32 za tipične HID i LED svetiljke (na levoj slici za HID svetiljku su prikazane i K-krive kao najbolji pokazatelj dela svetlosnog fluksa koji je usmeren prema kolovozu), može se zaključiti da veći deo svetlosnog fluksa izvora padne na površinu kolovoza u slučaju LED svetiljki (preko polarnih dijagrama je iscrtana isprekidana crvena linija koja predstavlja ivice kolovozne površine). Može se konstatovati da u slučaju natrijumovih izvora oko 50 % fluksa izvora padne na površinu kolovoza, dok je u slučaju LED taj procenat viši i iznosi oko 70 % - slika 33 (u poslednje vreme smatra se da on može ići i do 80 %). Veća efikasnost LED izvora je posledica činjenice da LED izvori izračuju gotovo sav svetlosni fluks samo u donji poluprostor (princip modularnosti – postavljanje čipova na donju površinu ravne ploče koje minimizira ili gotovo ukida bilo kakvo rasipanje svetlosti u gornji poluprostor), pa je značajno lakše dizajnom odgovarajuće optike uticati na svetlosnu raspodelu nego u slučaju natrijumovih tubularnih izvora gde je svetlosna raspodela posledica kombinacije direktno izračenog svetlosnog fluksa i reflektovanog fluksa nakon višestrukih refleksija u sistemu sijalica-reflektor-protektor.

Slika 33. Efikasnost HID i LED svetiljki ¹⁹

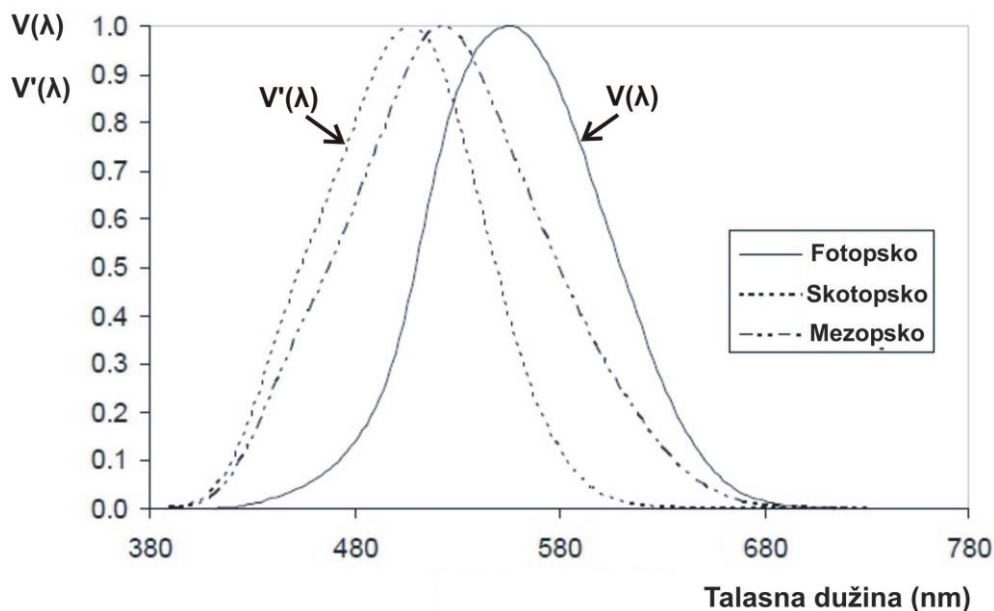
Konačno, za konkretan primer svetlosne iskoristivosti LED modula od 100 lm/W, može se zaključiti da su LED svetiljke efikasnije od svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska za skoro 22 % (slika 33).

Mora se reći da je ovakav rezultat, iako u korist LED tehnologije, u potpunoj suprotnosti sa agresivnom propagandom kojoj je (stručna) javnost bila izložena poslednjih godina, gde se čak tvrdilo da je LED tehnologija toliko superiorna da je s LED svetiljkama moguće menjati natrijumove svetiljke i do četverostruko veće snage. Nažalost, LED kampanja je bila tako intenzivna da su zaista mnogi poverovali u ove navode, nažalost čak i jedan deo stručne javnosti.

Na osnovu prethodnog primera, a znajući da već mnoge renomirane kompanije koriste čipove svetlosne iskoristivosti od 160 lm/LED za izvore neutralne bele boje svetlosti (npr., za struju od 700 mA to je oko 109 lm/W u radnim uslovima bez uračunatih optičkih gubitaka sa slike 32), može se steći određena predstava o tome koliko LED svetiljke zapravo jesu dobro rešenje za osvetljenje saobraćajnica.

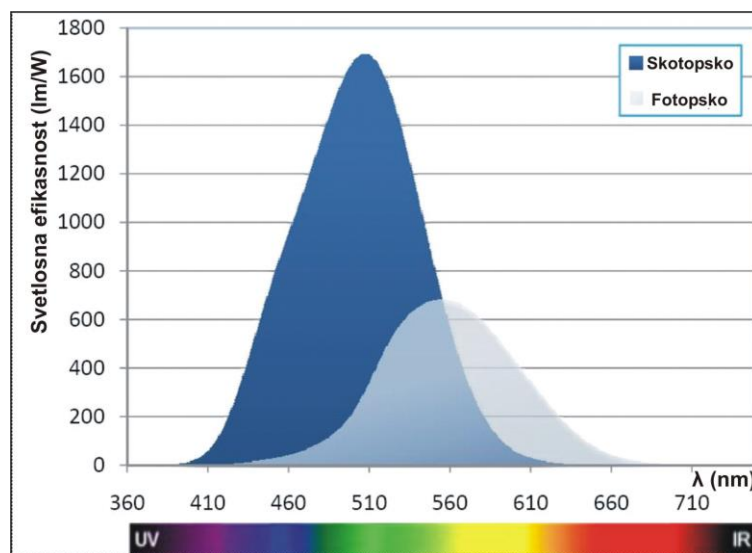
1.8 Mezopsko viđenje

Pored parametara obrađenih u prethodnom poglavlju koji utiču na stvarnu efikasnost svetiljke, postoji i fenomen vizuelne efikasnosti³⁹. Zbog prirode svetlosti koju emituje LED izvor (bela boja, veći udeo plave komponente boje u spektru), moguće je da se sa manje lumena postigne veća "vizuelna efikasnost" u zoni mezopskog viđenja nego u slučaju NaVP izvora. *Mezopska zona* (zona sumraka – $0.001 \text{ cd/m}^2 < L < 3 \text{ cd/m}^2$) nalazi se između fotopske (*dnevno viđenje* - sjajnost preko 3 cd/m^2 – aktivni samo čepići, moguće samo centralno viđenje u pravcu ose oka) i skotopske zone (*noćno viđenje* - sjajnost ispod 0.001 cd/m^2 – aktivni samo štapići, perifernijsko viđenje, osetljivost oka na levi kraj spektra (plava svetlost) se višestruko povećava). Zapravo, u mezopskoj zoni su aktivni i čepići i štapići, i u zavisnosti od nivoa sjajnosti i tipa izvora (njegove dominantne boje) spektralna osetljivost oka se menja. Ovaj fenomen je značajan jer se upravo preporučeni nivoi sjajnosti za osvetljenje saobraćajnica nalaze u mezopskom opsegu. Spektralna kriva reakcije oka (slika 34) nije konstantna kroz mezopsku zonu (jeste kroz fotopsku i skotopsku zonu – konstantna je za sve nivoe sjajnosti), pa se spektralne mezopske krive moraju odrediti za različite nivoe sjajnosti u mezopskoj zoni.



Slika 34. Krive relativne spektralne osetljivosti ljudskog oka za dnevno, noćno i mezopsko viđenje ($V(\lambda)$, $V'(\lambda)$ i $V_{mes}(\lambda)$)⁴⁰

Sve fotometrijske veličine su zasnovane upravo na fotopskim ("normalnim") lumenima. Zapravo je fotopski svetlosni fluks, koji se određuje spektralnom krivom $V(\lambda)$, mera efikasnosti izvora u opsegu vidljive svetlosti samo pri visokim (fotopskim) nivoima sjajnosti. Razlog zašto primena fotopskog fluksa ne odgovara realnim uslovima (koji su u JO najčešće mezopski) leži u činjenici da se sa redukcijom nivoa sjajnosti maksimalna spektralna osetljivost oka (kao i mezopska kriva) pomera ka levom delu spektra za maksimalno 50 nm (tzv. Purkinjeov pomeraj ⁴¹). To znači da se osetljivost oka na levi kraj spektra (plava svetlost) značajno povećava, dok se istovremeno smanjuje za opseg talasnih dužina koje pripadaju desnom kraju spektra (narandžasta i crvena svetlost – slika 35). Na slici 35 su date apsolutne vrednosti spektralne osetljivosti oka, pri čemu je za fotopsku zonu maksimalna vrednost spektralne osetljivosti 683 lm/W za talasnu dužinu od 555 nm, a za skotopsku zonu 1700 lm/W za talasnu dužinu od 505 nm ⁴⁰.



Slika 35. Krive spektralne osetljivosti ljudskog oka za fotopsko i skotopsko viđenje

Prikazana spektralna kriva reakcije oka za mezopsko viđenje na slici 34 ne daje opšte primenjivu funkciju, već je ideja bila da se prikaže njena očekivana pozicija u opsegu talasnih dužina između fotopske i skotopske krive. Zapravo, ona se postepeno menja (pomera) od $V(\lambda)$ ka $V'(\lambda)$ sa smanjenjem nivoa sjajnosti u mezopskoj zoni, a uzrokovana je povećanom aktivacijom štapića i smanjenjem učešćem čepića ⁴². Zbog toga je neophodno da se mezopske spektralne krive odrede za različite nivoe sjajnosti u mezopskoj zoni, što predstavlja kompleksan zadatak ⁴³.

Napori da se razvije sveobuhvatan model oka i njegovih reakcija u mezopskoj zoni trajali su decenijama i tek je 2010. godine Međunarodna komisija za osvetljenje (CIE) izdala preporuku ⁴⁴ u kojoj je dala model za koji se veruje da predstavlja rešenje problema. Ovoj preporuci su prethodili brojni pokušaji da se nađe adekvatno rešenje ⁴⁵, najpre zasnovani na kriterijumu jednakog sjaja (bljeska) posmatrane mete ^{46,47}, a zatim na kriterijumu vremena reagovanja ispitanika ^{48,49}. Neki istraživači ^{50,51} su se bavili i spektralnim efektima, vodeći se, između ostalog, i kriterijumom vidnih performansi (vremenom reagovanja) ispitanika. Neki drugi istraživači su simulirali uslove koji se imaju u vožnji da bi ispitali uticaj spektra na performanse vozača i na perifernijsko viđenje u mezopskim uslovima ^{52,53}. Lewin ⁵⁴ je predložio korišćenje LEM-ova („Lumen Effectiveness Multipliers“) kao odnosa vizuelnih efikasnosti posmatranih izvora svetlosti i standardnog izvora svetlosti, pritom se oslanjajući na rezultate koje je dobio Adrian ⁴⁷ u svojim eksperimentima (npr. Lewin je definisao natrijumove izvore visokog pritiska (NaVP) kao standardne i definisao LEM kao količnik fotopskih sjajnosti NaVP izvora i posmatranog izvora pri kojima su obezbeđene jednake vrednosti parametra relevantnog za izabrane uslove – sjaj predmeta ili vreme reagovanja ⁴²). Lewin je pokazao da su pri niskim (mezopskim) nivoima sjajnosti vizuelna osetljivost i vreme reakcije vozača značajno gori pod natrijumovom nego pod nekom plavom svetlošću i upravo zato i predložio da se izvrše određene korekcije množenjem sa LEM-ovima ne bi li se pokazala stvarna efikasnost svetlosnog izvora u zavisnosti od njegove boje i primene. Lewinov rad je predstavljao prekretnicu u izučavanju mezopskog viđenja. Ipak, koristeći ovaj metod, isto vreme reagovanja ispitanika postiže se sa čak šestostruko nižim fotopskim nivoima sjajnosti kad se koriste metal-halogeni izvori umesto NaVP izvora, što se moralo uzeti sa određenom rezervom.

Rea i njegovi saradnici ⁴⁶ su predložili tzv. „jedinstveni fotometrijski sistem“ (Unified system of Photometry – USP sistem) zasnovan na kriterijumu vremena reagovanja i pristupu koji su imali He i njegovi saradnici ⁴⁸. Sistem je bio fokusiran na ahromatske vidne zadatke, a kao rezultat je data tabela sa jedinstvenim nivoima sjajnosti koji su funkcija odgovarajućih fotopskih nivoa sjajnosti (do nivoa od 0.55 cd/m^2) i odnosa

skotopske i fotopske sjajnosti neposrednog okruženja (*S/P odnos* - ovaj odnos je isti kao i odnos skotopskih i fotopskih lumena posmatranog izvora) ⁴⁵.

Obiman projekat koji je pokrenuo MOVE ⁵⁵ konzorcijum je imao za cilj da odredi efekte spektralne osetljivosti u opsegu sjajnosti 0.01 – 10 cd/m². Pošto je ovaj sistem baziran na kriterijumu vidnih performansi, koji kod vozača podrazumeva proces traženja, uočavanja i prepoznavanja mete, akcenat je stavljen na eksperimentalne metode povezane sa pragom razaznavanja razlike sjajnosti (kontrasta) i vremenom reagovanja vozača. Sistem se bavio i ahromatskim i hromatskim vidnim zadacima, sa akcentom na prvima ⁴⁵. Kao rezultat je data tabela slična po formi onoj koja je proistekla iz USP sistema, a koja sadrži mezopske nivoe sjajnosti kao funkciju odgovarajućih fotopskih sjajnosti (do 10 cd/m²) i S/P odnosa.

Sličnost tabela proisteklih iz USP i MOVE sistema dovela je do daljeg istraživanja sprovedenog u okviru komiteta CIE TC 1-58 i razvoja dve verzije srednjeg („*intermediate*“) sistema, označenih kao MES1 i MES2 ⁴⁴. Nakon toga su sva četiri predložena sistema (USP, MOVE, MES1 i MES2) testirana sa nezavisnim setom podataka o vizuelnim performansama prikupljenim za različite vidne zadatke, nakon čega je zaključeno da *MES2 sistem treba da bude preporučeni mezopski sistem*.

Tabela 1. Razlike između mezopskih i fotopskih nivoa sjajnosti (%) izračunatih sa preporučenim mezopskim sistemom za opseg S/P odnosa za različite izvore svetlosti ⁴⁴

	S/P	FOTOPSKI NIVO SJAJNOSTI (cd/m ²)									
		0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
Natrijumov izvor ~ niskog pritiska	0,25	-75%	-52%	-29%	-18%	-14%	-9%	-6%	-5%	-2%	0%
	0,45	-55%	-34%	-21%	-13%	-10%	-6%	-4%	-3%	-2%	0%
Natrijumov izvor ~ visokog pritiska	0,65	-31%	-20%	-13%	-8%	-6%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%
	0,85	-12%	-8%	-5%	-3%	-3%	-2%	-1%	-1%	0%	0%
Metal-halogeni ~ izvor toplo bele boje svetlosti	1,05	4%	3%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
	1,25	18%	13%	8%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%
	1,45	32%	22%	15%	9%	7%	5%	3%	3%	1%	0%
LED hladno ~ bele boje svetlosti	1,65	45%	32%	21%	13%	10%	7%	5%	4%	2%	0%
	1,85	57%	40%	27%	17%	13%	9%	6%	5%	3%	0%
	2,05	69%	49%	32%	21%	16%	11%	8%	6%	3%	0%
Metal-halogeni ~ izvor toplo bele boje svetlosti	2,25	80%	57%	38%	24%	19%	12%	9%	7%	4%	0%
	2,45	91%	65%	43%	28%	22%	14%	10%	8%	4%	0%
	2,65	101%	73%	49%	31%	24%	16%	12%	9%	5%	0%

S/P odnos predstavlja ključni parametar za teoriju mezopskog viđenja. On opisuje spektralne karakteristike izvora svetlosti i koristi se kao mera mezopske spektralne osetljivosti (izvori kod kojih je $S/P < 1$ (npr. NaVP) su efikasniji u fotopskim uslovima, dok su izvori kod kojih je $S/P > 1$ efikasniji u mezopskim uslovima (npr. LED, metal-halogeni izvori...). Analizirajući tabelu 1, može se zaključiti da se u slučaju LED izvora neutralne bele boje svetlosti ($S/P \sim 2.05$)^{44,45} osetnije razlike između mezopskih i fotopskih nivoa javljaju na nižim nivoima sjajnosti (ispod 0.5 cd/m^2), o čemu će biti više reči u delu sa diskusijom i zaključcima. Formula koja definiše S/P odnos data je ispod⁴⁴:

$$S/P = \frac{K'_m \int_0^{\infty} S_{\lambda}(\lambda) V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} S_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

gde su:

K'_m ($\approx 1700 \text{ lm/W}$), K_m ($\approx 683 \text{ lm/W}$) - maksimalne vrednosti spektralne svetlosne efikasnosti za skotopsko i fotopsko viđenje, respektivno,

$S_{\lambda}(\lambda)$ - relativna spektralna raspodela snage zračenja izvora;

$V'(\lambda)$, $V(\lambda)$ - relativne spektralne osetljivosti ljudskog oka redom za skotopsko i fotopsko viđenje, i

λ - talasna dužina.

Kostić i njegovi saradnici⁴⁵ su prepoznali značaj pojednostavljenja tabele 1 i njenog prilagođenja u projektantske svrhe. Informacija koja je od koristi za izradu fotometrijskog proračuna je koliko se zahvaljujući mezopskim efektima može redukovati srednji nivo sjajnosti LED izvora (koji postaju sve zastupljeniji u JO) u odnosu na npr. natrijumov izvor visokog pritiska (koji je još uvek najzastupljeniji u JO). Svi korisnički softveri za izradu fotometrijskih proračuna su bazirani na fotopskim nivoima sjajnosti – ukoliko je poznat S/P odnos za LED svetiljku (proizvođači svetiljki sve češće daju takav podatak), može se na osnovu korigovane tabele 2 tačno odrediti koji (redukovani) mezopski nivo sjajnosti treba da bude postignut. Primenjujući linearnu interpolaciju kroz više iteracija na sve vrednosti u tabeli 1, dobija se korigovana tabela 2, namenjena projektantima.

Tabela 2. Vrednosti korigovanih fotopskih nivoa sjajnosti (koje treba da koriste projektanti) u funkciji karakteristike sijalice S/P i CIE i CEN fotopskih nivoa sjajnosti koji važe za natrijumove sijalice visokog pritiska (S/P≈0.65) ⁴⁵

S/P	Fotopski nivo sjajnosti (cd/m ²)					
	0.30	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
0.25	0.33	0.54	0.80	1.05	1.56	2.05
0.35	0.32	0.53	0.79	1.04	1.54	2.04
0.45	0.32	0.52	0.77	1.02	1.53	2.03
0.55	0.31	0.51	0.76	1.01	1.52	2.02
0.65	0.30	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
0.75	0.29	0.49	0.74	0.99	1.49	1.99
0.85	0.29	0.48	0.73	0.98	1.48	1.98
0.95	0.28	0.48	0.72	0.97	1.47	1.97
1.05	0.27	0.47	0.71	0.96	1.46	1.96
1.15	0.27	0.46	0.70	0.94	1.44	1.95
1.25	0.26	0.45	0.69	0.93	1.43	1.94
1.35	0.26	0.45	0.68	0.92	1.42	1.92
1.45	0.25	0.44	0.68	0.91	1.41	1.91
1.55	0.25	0.43	0.67	0.91	1.40	1.90
1.65	0.24	0.42	0.66	0.90	1.39	1.89
1.75	0.24	0.42	0.65	0.89	1.38	1.88
1.85	0.23	0.41	0.64	0.88	1.37	1.87
1.95	0.23	0.41	0.63	0.87	1.36	1.86
2.05	0.23	0.40	0.63	0.86	1.35	1.85
2.15	0.22	0.39	0.62	0.85	1.34	1.84
2.25	0.22	0.39	0.61	0.84	1.33	1.83
2.35	0.21	0.38	0.61	0.83	1.32	1.82
2.45	0.21	0.38	0.60	0.83	1.31	1.81
2.55	0.21	0.37	0.59	0.82	1.30	1.80
2.65	0.20	0.37	0.58	0.81	1.29	1.79
2.75	0.20	0.36	0.58	0.80	1.28	1.78

Ukoliko se, npr., tretira srednji nivo sjajnosti od 1 cd/m² za NaVP izvor, u slučaju zamene sa LED svetiljkama sa izvorima neutralne bele boje svetlosti temperature boje približno 4000 K (S/P = 2.05), bilo bi potrebno da se postigne srednji nivo sjajnosti od 0.86 cd/m²! Efekti mezopskog viđenja su od ogromnog značaja za doktorsku disertaciju i biće tretirani kroz eksperimentalni deo projekta.

2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

U poslednjoj deceniji u svetu tehnike osvetljenja LED tehnologija uzima sve više maha. Duskora neprikosnoveni izvori visokog pritiska sa električnim pražnjenjem u gasovima (tzv. HID izvori - najzastupljeniji su natrijumovi i metal halogeni izvori visokog pritiska) polako gube primat, pre svega u instalacijama unutrašnjeg osvetljenja, ali i u instalacijama spoljnog osvetljenja (industrijsko, sportsko, ambijentalno, dekorativno, tunelsko i ulično osvetljenje). LED tehnologija je već nezamenjiva u dekorativnom i scenskom osvetljenju zbog prirode svetlosti koju emituju LED čipovi (uključujući i monohromatsku svetlost), trenutnog startovanja (za razliku od HID izvora, kojima je neophodno nekoliko minuta da dostignu nominalne radne uslove) i mogućnosti bolje kontrole ovakvih izvora (lakša i brža regulacija intenziteta i boje svetlosti). Ipak, situacija je do pre par godina bila drugačija kada je reč o instalacijama javnog osvetljenja, gde se pretežno koriste visokoefikasni natrijumovi izvori visokog pritiska (ređe i metal-halogeni izvori koji zbog bele boje svetlosti češće nalaze primenu u ambijentalnom osvetljenju (parkovi, pešačke staze...)). Ovaj rad će se prevashodno baviti natrijumovim izvorima visokog pritiska, koji su znatno zastupljeniji u osvetljavanju saobraćajnica. Efikasnost kvalitetnijih natrijumovih izvora se kreće u rasponu od 95 lm/W za snage od 70 W do 140 lm/W za snage od 400 W (ovo je opseg snaga koje se najčešće koriste u instalacijama javnog osvetljenja). Već 2014. godine, LED izvori imaju efikasnost od 120-130 lm/W na radnoj temperaturi, što je omogućilo da se sada o LED tehnologiji ozbiljno razmišlja kao o mogućem rešenju u segmentima osvetljenja gde to duskora nije bilo moguće, pre svega u javnom osvetljenju. Kada se na to doda i izuzetno dug životni vek (najmanje 50000 h nasuprot 16000-20000 h kod natrijumovih izvora), jasno je da je potencijal LED tehnologije veliki.

Najveći problem sa kojim se LED tehnologija susreće je visoka temperatura koja se u radnim uslovima generiše na PN spoju diode, a koja utiče na rad LED čipa i značajno pogoršava njegove performanse (može dovesti i do prestanka rada LED čipa). Takođe, u električnom kolu LED svetiljke nalazi se i LED drajver koji je takođe osetljiv na visoke temperature. Nasuprot LED izvorima, natrijumovi izvori i elektromagnetska prigušnica koja se nalazi u električnom kolu HID svetiljke praktično su neosetljivi na temperaturne promene. Danas, optimalnim dizajnom LED svetiljki (kućišta svetiljke su tako

konstruisana da omogućavaju bolje odvođenje toplote sa LED izvora), korišćenjem dodatnih odvodnika toplote (rebra za hlađenje postavljena na ploču na kojoj su montirani nizovi LED izvora) i izborom robusnije opreme, termički problemi su značajno smanjeni.

Još jedan veliki problem sa kojim se LED tehnologija susretala je snaga pojedinačnog LED čipa. Do pre nekoliko godina, visokoefikasne diode (tzv. High Brightness LEDs) imale su snagu od 0.5 W pri struji od 350 mA (struja koja je bila usvojena kao referentna za LED tehnologiju u oblasti osvetljenja). To znači da bi za generisanje istog svetlosnog fluksa koji proizvodi natrijumov izvor visokog pritiska od 150 W (17500 lm), bilo potrebno barem 300 LED čipova što bi zahtevalo izuzetno veliku površinu isijavanja, a posledično i neprihvatljivo velike dimenzije svetiljki. Međutim, razvojem novih, snažnijih čipova (High Power LEDs) manjih dimenzija i sa boljim termičkim rešenjima, omogućeno je da se danas sve više koriste i veće struje (npr., sve je više svetiljki koje rade sa strujama od 700 mA (pa i više), pri kojima snaga pojedinačnog čipa iznosi i do 5 W). Zahvaljujući ovom razvoju, danas na tržištu prevlađuju LED svetiljke manjih dimenzija od onih sa HID izvorima, a koje imaju približnu isti svetlosni fluks.

Uvažavajući sve prethodno navedeno, predložena je eksperimentalna postavka koja podrazumeva postavljanje testne instalacije uličnog osvetljenja na teritoriji Beograda, a u okviru koje će se vršiti razna merenja u trajanju od nekoliko meseci. Predmet naučne rasprave u okviru doktorske disertacije je sveobuhvatna analiza opravdanosti upotrebe LED umesto natrijumovih izvora visokog pritiska za osvetljenje ulica za motorni saobraćaj sa fotometrijskog, energetskog, ekonomskog i sa aspekta kvaliteta električne energije. Za svako od planiranih merenja i eksperimenata dat je kratak uvod koji ima za cilj da čitaoca upozna sa problematikom i razlozima koji su definisali komparativni analizu i njenu opravdanost.

Racionalnija potrošnja (električne) energije je poslednjih decenija jedna od glavnih globalnih tema, a takav trend je dao dodatni vetar u leđa i razvoju LED tehnologije, kao one od koje se očekivalo da će doneti značajne energetske uštede u oblasti osvetljenja. Upravo iz tog razloga se veliki broj istraživanja u ovoj oblasti bavio energetskim aspektom rekonstrukcija instalacija JO (fotometrijski aspekt je takođe tretiran, ali se stiže

utisak da je ipak u drugom planu). Izuzetno je značajno istaći da poređenje snaga NaVP i LED svetiljki samo po sebi nije tehnički ispravan pristup. Ukoliko je jedini kriterijum za rekonstrukciju i zamenu postojećih svetiljki ušteda u potrošnji električne energije, uspešnim bi se mogao smatrati svaki onaj projekat u kome se na kraju smanji instalisana snaga (nažalost, takvi primeri se mogu svakodnevno naći u praksi). Najbitniji kriterijum koji se ne može i ne sme zanemariti je kvalitet osvetljenja saobraćajnice za koju se predviđa rekonstrukcija. Ukoliko se sa postojećom opremom na tretiranoj saobraćajnici postiže određeni kvalitet, a rekonstrukcija izvrši tako da se značajno smanji instalisana snaga ali i kvalitet osvetljenja, tu se ne može govoriti o pravoj uštedi (strogo matematički uzev, maksimalna ušteda bi se ostvarila ukoliko se svetiljke isključe, ostavljajući saobraćajnicu u potpunom mraku). Ako se čak i prihvati argument da je dosta saobraćajnica preosvetljeno (globalni je trend da se promovišu niži nivoi sjajnosti na saobraćajnicama), to i dalje ne znači da isključivo LED tehnologija daje mogućnost redukcije nivoa sjajnosti smanjenjem instalisane snage (postoje i natrijumovi izvori manjih snaga koji bi doneli slične uštede električne energije).

Jedini način da se izvrši poređenje dva tipa izvora po kriterijumu efikasnosti je da se obezbede isti fotometrijski uslovi, a nakon toga ustanovi kolika instalisana snaga je potrebna za svaki od tipova da se pretpostavljeni fotometrijski uslovi ispune!

Isti pogonski (eksploatacioni) fotometrijski uslovi podrazumevaju da se sa oba tipa izvora (svetiljki) ispune zahtevi određene svetlotehničke klase definisani međunarodnim preporukama i standardima (parametri kvaliteta su nivo sjajnosti (L_{sr}), opšta (U_o) i podužna (U_l) ravnomernost sjajnosti, kao i prag blještanja (TI)). Zbog toga je u doktorskoj disertaciji definisan identičan nivo sjajnosti za obe zone testne instalacije sa NaVP i LED svetiljkama. Ovo je bitno jer jedna svetlotehnička klasa daje relativno širok opseg nivoa sjajnosti (npr., za klasu ME3 prema preporuci Međunarodne komisije za osvetljenje CIE 115:2010⁵⁶ ima se opseg sjajnosti od 1-1.5 cd/m², što znači da dve saobraćajnice mogle da pripadaju istoj svetlotehničkoj klasi čak i ako im se nivoi sjajnosti razlikuju i do 50 %).

Analizom raspoložive stručne literature koja se bavila komparativnom analizom LED i NaVP svetiljki, ustanovljeno je da je za sve eksperimentalne postavke zajedničko to da merenja nisu rađena na osnovu identičnih početnih uslova (jednakih nivoa sjajnosti).

Uglavnom je reč o obimnim i skupim projektima (finansiranim od strane državnih institucija u trajanju od nekoliko meseci, najčešće u SAD), kao i o pilot projektima čiji su rezultati predstavljeni u renomiranim međunarodnim časopisima. Prema saznanjima kandidata (uz dodatne konsultacije i provere sa eminentnim stručnjacima iz oblasti tehnike osvetljenja), može se konstatovati da ovo nisu izolovani slučajevi, već da projekti najčešće nisu zasnovani na stručnoj tehničkoj (ili tehno-ekonomskoj) analizi koja bi istraživanje bazirala na kriterijumu eksperimentalno podešenih jednakih nivoa sjajnosti postignutih sa postojećim NaVP i novopostavljenim LED svetiljkama. Prva referenca ⁵⁷ se bavi procenom potencijala LED tehnologije u javnom osvetljenju (bez uticaja mezopskih efekata), a izdvojena je jer daje presek svih istraživanja (laboratorijskih i terenskih) na temu mezopskog viđenja i implementacije LED u JO, od 1990-ih pa do 2013. U većini istraživanja (25 istraživanja) nije vršeno poređenje HID i LED svetiljki po kriterijumu istog nivoa sjajnosti, već su instalisane LED svetiljke manje snage od HID svetiljki što je najčešće dovelo do zaključka da su postignuti različiti nivoi sjajnosti, kao i da su vidljivost, osećaj bezbednosti, ravnomernost sjajnosti i fiziološko blještanje različiti.

Za veću grupu istraživanja ⁵⁸⁻⁶⁸ (iako se svako od njih bavi još nekim poredbenim aspektom koji nije od značaja za disertaciju) mogu se izvući neke zajedničke karakteristike:

- Primenjen je kriterijum osvetljenosti umesto kriterijuma sjajnosti (osim u ⁶⁶), što je pogrešno jer utisak vozača ne zavisi samo od osvetljenosti kolovozne površine, već i od njenih refleksionih karakteristika.
- U svim slučajevima (bilo da je primenjen jedan ili drugi kriterijum) tražilo se da budu zadovoljeni uslovi iste svetlotehničke klase, a ne i da nivoi osvetljenosti (sjajnosti) budu jednaki. U većini slučajeva nisu rađeni fotometrijski proračuni kao osnov za definisanje fotometrijskih uslova (sem u ⁶⁷), već su vršena merenja osvetljenosti nakon postavljanja instalacije (da se vidi šta se dobilo). Nivoi osvetljenosti (sjajnosti) za koje je vršena komparativna analiza se takođe mogu smatrati prilično niskim (nivo osvetljenosti od 5 lx ^{63, 65} i nivo sjajnosti 0.6 cd/m² ⁶⁶).

- Izbor novih svetiljki se gotovo u svim slučajevima vršio prema kriterijumu manje snage, a snaga LED svetiljki je birana paušalno u širokom opsegu, vodeći jedino računa o tome da ona bude niža od one koju imaju postojeće NaVP svetiljke. Iz ovih obimnih merenja bez pravih poredbenih kriterijuma proistekao je zaključak da LED svetiljke troše manje energije (ne uzimajući u obzir da im je istovremeno svetlosni fluks značajno manji).
- U nekim projektima su vršene mezopske korekcije ^{63, 65, 66, 68}, ali isključivo proračunski bez podešavanja na terenu. Sve ove korekcije su rađene da bi se na kraju izveo zaključak da je potrebna još manja zamenska snaga nego što je na početku pretpostavljeno.
- U nekim projektima su rađene ankete sa velikim brojem ispitanika ^{60, 61, 63, 66}, sa ciljem da se dobije odgovor na pitanje koja svetlost je prijatnija ljudskom oku. Bez adekvatne postavke i kriterijuma merenja, rezultati ovakvih anketa se mogu smatrati potpuno neupotrebljivim.
- U većini slučajeva je rađena studija izvodljivosti ^{58, 60, 62, 65, 67} koja je imala za cilj da pokaže uštede u potrošnji električne energije i održavanju, kao i da se odredi period otplate u slučaju ovakve investicije na nivou grada (ili države).
- Samo u jednom slučaju je primenjen telemenadžment sistem ⁶⁸, a ni tada nije iskorišćen na pravi način u svrhu fine regulacije snage i svetlosnog fluksa, tj. nisu stvoreni isti uslovi (isti nivoi sjajnosti).

Istraživanje koje je sprovedela Anne-Mari Ylinen sa saradnicima ⁶⁹ donekle podseća na istraživanje sprovedeno za potrebe doktorske disertacije. Postojeće NaVP svetiljke su zamenjene sa 4 tipa LED svetiljki različitih snaga, za koje su u laboratoriji prethodno izmereni snaga, svetlosni fluks, raspodela svetlosnog intenziteta i spektralne karakteristike. Na određenoj testnoj lokaciji (sa izmerenim refleksionim karakteristikama puta za koji se kaže da nije homogen), vršena su merenja sjajnosti, najpre sa NaVP (svetiljke stare 15 godina), a onda i sa LED svetiljkama. Takođe, naglašava se da je preporučena klasa za osvetljenje suvih i vlažnih puteva u Finskoj MEW4, čije zahteve treba ispuniti. Merenjem nivoa sjajnosti su dobijene mnogo veće vrednosti od proračunatih (kaže se usled rasute svetlosti iz okruženja). Dobijeni rezultati su proračunski optimizovani (na osnovu izmerenih vrednosti sjajnosti urađeni su

dodatni proračuni) i prikazana je tabela sa gotovo identičnim nivoima sjajnosti NaVP svetiljki i 4 tipa LED svetiljki (samo u zoni LED svetiljke tipa A ima se sjajnost od 0.77 cd/m², dok u svim ostalim zonama nivo sjajnosti iznosi tačno 0.75 cd/m²). Ovde jeste primenjen kriterijum jednakih sjajnosti, ali su te vrednosti dobijene proračunom, a ne merenjem. Na osnovu ovih proračuna dati su i proračuni mezopskih nivoa sjajnosti gde se kaže da je razlika primetna za visok S/P odnos u zonama niske sjajnosti. Kaže se da su razlike između mezopske i fotopske sjajnosti za 4 tipa LED svetiljki (A,B,C i D) respektivno (5 %, 2 %, 14 % i 11 %) za nivo sjajnosti od 0.75 cd/m² i (6 %, 3 %, 18 % i 14 %) za nivo sjajnosti od 0.5 cd/m², uz dodatnu korekciju rastojanja između stubova. Analizom ove studije može se zaključiti da nije korišćen konzistentan metod, već su se mešali rezultati dobijeni merenjima i proračunima, uz neke paušalne pretpostavke (kako bi na sve ovo uticalo drugačije rastojanje između susednih stubova, pri čemu je za svaku zonu uzimano drugo rastojanje i druga visina stubova).

Pilot projekat je rađen za grad Sacramento (SAD) u martu 2011.⁷⁰, gde su izabrane LED svetiljke koje bi adekvatno mogle zameniti NaVP svetiljke sa natrijumovim izvorima snage 100 W. Ovo istraživanje za razliku od prethodnih prepoznaje značaj jednakih nivoa osvetljenosti u zonama sa NaVP i LED svetiljkama, ali kaže sledeće: među 19 različitih proizvođača nije se našao nijedan tip svetiljke koji bi mogao da ima dovoljno malu snagu (pitanje energetske efikasnosti i cene), a da bude ekvivalentan postojećim HID svetiljkama po pitanju pogonskog mezopskog nivoa osvetljenosti (izabrane svetiljke su imale manji svetlosni fluks). Može se zaključiti da se primenom telemenadžment sistema mogla ostvariti fina regulacija snage i svetlosnog fluksa, a ovaj pilot projekat bi time dobio na težini.

Kada se pogledaju sva navedena istraživanja, postavlja se pitanje kakav naučni značaj imaju prezentovani rezultati merenja ukoliko nisu zasnovani na definisanim i eksperimentalno podešenim istim fotometrijskim uslovima (nivoima sjajnosti). Smatra se da je glavni naučni doprinos doktorske disertaciju u kombinovanom metodu (fotometrijski proračuni → iterativni postupak merenja nivoa sjajnosti i fine regulacije istih korišćenjem telemenadžment sistema do trenutka postizanja istih uslova) koji prema saznanjima kandidata nije primenjen ni u jednom dostupnom istraživanju.

U nastavku će biti prikazani koraci u kojima je realizovan kombinovani metod merenja na testnoj instalaciji.

Na osnovu rezultata merenja u periodu testiranja i rezultata ankete, analiziraće se svi aspekti opravdanosti upotrebe LED svetiljki. Za disertaciju je primaran energetski aspekt, tj. kakve uštede električne energije se mogu postići ukoliko se pođe od jednakih fotopskih nivoa sjajnosti zona sa LED i NAVP svetiljkama. Posebno će se analizirati efekti koji se postižu bez, a posebno oni koji se postižu uz uvažavanje efekata mezopskog viđenja. Uzeće se u obzir i faktori održavanja svetiljki sa natrijumovim i LED izvorima svetlosti. Na osnovu rezultata dobijenih na test poligonu, daće se smernice za moguću primenu LED svetiljki i telemenadžment sistema u uličnom osvetljenju.

Nakon izvršenih fotometrijskih proračuna i izbora odgovarajućih svetiljki sa natrijumovim i LED izvorima, potrebno je dodatno podesiti fotometrijske uslove, jer nije realno očekivati da nivo sjajnosti na kolovozu u dve različite zone bude identičan. Da bi se obezbedili identični uslovi neophodni za poređenje LED i NaVP svetiljki (jednaka srednja sjajnost na kolovozu, kao i zadovoljeni svi uslovi za svetlotehničku klasu definisani međunarodnim preporukama), neophodno je izvršiti finu regulaciju svetlosnog fluksa pre početka merenja. Zbog toga je za testnu instalaciju predviđen i sistem daljinskog upravljanja (tzv. telemenadžment sistem), zbog čega su u sve svetiljke ugrađeni kontroleri koji omogućavaju regulaciju svetlosnog fluksa. Telemenadžment sistem takođe obezbeđuje kontinualan nadzor instalacije, kao i merenja relevantnih parametara (kontroleri su opremljeni mernim uređajima visoke klase tačnosti koji daju informacije o snazi, naponu, struji, faktoru snage i broju radnih sati, ali i o eventualnim kvarovima i trenutnom statusu svake pojedinačne svetiljke ili grupe svetiljki). Pored pojedinačnih kontrolera koji se integrišu u svetiljke, za rad sistema je neophodno postaviti i uređaj višeg prioriteta, tzv. segmentni (master) kontroler koji predstavlja mozak čitavog kontrolnog sistema (ovaj uređaj je postavljen u orman JO).

Ekonomsko poređenje će se izvršiti korišćenjem metode aktuelizacije troškova, tretirajući samo slučaj zamene postojećih NaVP svetiljki sa LED svetiljkama. Uzimajući u obzir ukupne investicione i eksploatacione troškove u nekom

eksploatacionom periodu, ustanoviće se da li je period otplate ovakve investicije takav da se može govoriti o opravdanosti ovakve rekonstrukcije.

Očekuje se da bi nakon izvršenih merenja analiza mogla dovesti do zaključka da je upotreba LED izvora u instalacijama javnog osvetljenja u potpunosti opravdana sa tehničkog (energetskog) aspekta, uz određivanje preduslova za njenu opravdanost sa ekonomskog aspekta.

Nakon urađenih preliminarnih fotometrijskih proračuna ustanovljeno je da je potrebno postaviti svetiljke sa natrijumovim izvorima snage 100 W da bi se postigli uslovi koji odgovaraju svetlotehničkoj klasi M3. Za istu geometriju saobraćajnice (iste visine i rastojanja između stubova) potrebno je postaviti LED svetiljke snage 80 W (ukupna snaga sa gubicima na drajveru) da bi se postigli približno isti fotometrijski uslovi. Ako se zna da svetiljka sa natrijumovim izvorima visokog pritiska ima ukupnu snagu sa gubicima na balastu 108.5 W (prema katalogu renomiranog proizvođača dimabilnog elektronskog balasta⁷¹), može se zaključiti da je sa LED svetiljkama moguće ostvariti uštede od 26.27 % u instalisanoj snazi, a posledično i u potrošnji električne energije. Treba napomenuti i da su gubici na elektronskim balastima manji nego na elektromagnetskim balastima, pa bi, kataloški, jedna NaVP svetiljka sa standardnim elektromagnetskim balastom renomiranog proizvođača imala snagu od 113.6 W⁷², što je za 4.7 % veća snaga. Ova ušteda nije beznačajna na makroenergetskom nivou, imajući u vidu da napred navedeni (nominalni) gubici često mogu biti i veći u slučaju nestabilnog mrežnog napona, što je čest slučaj u instalacijama JO u Srbiji. Ovaj podatak će biti dalje obrađen kroz poglavlje sa diskusijom i zaključcima.

Od izuzetnog značaja je da se istakne još jedna karakteristika LED izvora koja će doneti dalje uštede u potrošnji električne energije – za razliku od natrijumovih izvora kod kojih prilikom dimovanja fluks opada brže od snage izvora (npr. kada snaga padne na 50 %, fluks pada na 37 % inicijalne vrednosti), kod LED izvora prilikom dimovanja snaga opada brže nego fluks (kada snaga padne na 50 %, fluks pada na oko 60 % inicijalne vrednosti). Zbog ovakve prirode LED izvora prave uštede će se dešavati upravo na nižim vrednostima od nominalnih, koje odgovaraju kasnim noćnim i ranim jutarnjim satima.

Zbog prirode svetlosti koju emituje LED izvor bele boje (značajan udeo plave komponente), moguće je da se sa manje lumena postigne veća vizuelna efikasnost u zoni mezopskog viđenja. Ovaj fenomen je značajan, jer se upravo preporučeni nivoi sjajnosti za osvetljenje saobraćajnica nalaze u mezopskom opsegu. Suštinski, za eksperiment je bitan podatak da se jednake vizuelne efikasnosti LED i natrijumovih izvora mogu postići sa nižim fotopskim nivoima sjajnosti u LED pilot zoni u odnosu na zonu sa natrijumovim svetiljkama. Tabela 2 iz prethodnog poglavlja ukazuje na sledeće – ako se vrednosti fotopskih nivoa sjajnosti u slučaju upotrebe natrijumovih izvora uzmu kao referentne, fotopski nivoi sjajnosti u slučaju primene LED izvora temperature boje 4000 K (red obojen žutom bojom u tabeli 2) imaju niže vrednosti. To znači da se LED svetiljke mogu dodatno dimovati (a posledično i smanjiti potrošnja električne energije). Na primer, za vrednost srednje sjajnosti od 1 cd/m² u zoni natrijumovih svetiljki, u korisničkom interfejsu bi se podesilo da tokom istog perioda noći nivo srednje sjajnosti u LED zoni bude 0.86 cd/m², čime se mogu ostvariti dodatne uštede u potrošnji električne energije. Može se zaključiti da će za niže svetlotehničke klase (gde se dimuju i natrijumovi izvori) razlika u snagama potrebnim za postizanje jednakih svetlotehničkih uslova na saobraćajnici biti još veća, pa će posledično i uštede električne energije biti još veće. Očekuje se da provera efekata mezopskog viđenja potvrdi polaznu pretpostavku da tretiranje ovog fenomena dodatno utiče na smanjenje potrošnje električne energije LED izvora.

Predviđena anketa, koja će se baviti subjektivnim doživljajima ispitanika, ima za cilj da ispita i efekte mezopskog viđenja. Smatra se da je broj od 50 ispitanika dovoljan za relevantnu statističku analizu.

S obzirom na činjenicu da je mreža javnog osvetljenja nezavisna, očekuje se da harmonijska izobličenja ne budu izražena kao u nekim instalacijama unutrašnjeg osvetljenja u kojima se na istoj liniji nalaze i drugi električni i elektronski uređaji koji doprinose izobličenju mrežnog napona. Planirana su i merenja viših harmonika u ormanu JO za svaku od zona testne instalacije (u dogovoru sa JP „Javno osvetljenje“, LED i NaVP svetiljke su razdvojene po fazama i odvojene od ostalih svetiljki na testnoj lokaciji koje nisu deo eksperimenta).

Biće interesantno videti i kako se menja faktor snage u različitim režimima rada testne instalacije. Pošto se te promene mogu videti kroz korisnički interfejs kontrolnog (telemenadžment) sistema, one će se porediti sa odgovarajućim vrednostima izmerenim pomoću brojila u ormanu javnog osvetljenja. Na osnovu preliminarnih merenja, može se primetiti da faktor snage kod LED svetiljki osetno opada na nižim nivoima, dok je kod NaVP svetiljki gotovo konstantan kroz čitav opseg snaga. Ovaj interesantan zaključak, a koji je posledica konstrukcije LED drajvera, biće posebno obrađen u delu sa diskusijom i zaključcima.

Pri izradi ove doktorske disertacije svesno su zanemarene objektivne ekonomske okolnosti na globalnom tržištu, pošto snažna i agresivna promocija LED tehnologije predstavlja jasan znak da se na ostale tipove izvora svetlosti mnogo ne računa u budućnosti. Novac investiran u razvoj LED tehnologije je toliki da ne dozvoljava alternativu. Dok je u zapadnim državama to više nego jasno izraženo i kroz komercijalne pokazatelje (kompanije iz zemalja Zapadne Evrope i SAD imaju učešće od preko 70 % LED svetiljki u poslednjih nekoliko godina), u Istočnoj Evropi udeo LED svetiljki još uvek nije dominantan (poslednjih godina najviše 40-50 %). Imajući sve to u vidu, jasno je da ova disertacija poredi budućnost i prošlost javnog osvetljenja, ali ono što još nije jasno definisano je kolikom brzinom treba izvršiti prelaz sa jedne na drugu tehnologiju. Natrijumovi izvori visokog pritiska su još uvek prihvatljivo rešenje, pa možda ne treba žuriti i treba do kraja iskoristiti prelazni period koji može trajati i do 10 godina pre nego što se najverovatnije prestane sa masovnijom proizvodnjom HID izvora. Prateći dešavanja na tržištu LED osvetljenja, može se konstatovati da je već sada moguće naći takve svetiljke čija cena može parirati cenama svetiljki sa konvencionalnim natrijumovim izvorima visokog pritiska. Ukoliko se u obzir uzmu i drugi pokazatelji analizirani u ovoj disertaciji, a koji nedvosmisleno govore u prilog LED tehnologije, jasno je da se očekuje da doktorska disertacija pokaže da će masovna primena LED tehnologije u uličnom osvetljenju uskoro biti opravdana.

3. STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Doktorska disertacija ima nekoliko jasno definisanih segmenata koji čine logičku celinu.

Prvo poglavlje daje teorijski osvrt na oba tipa izvora (natrijumove izvore visokog pritiska i LED izvore) i na predspojne uređaje koji se koriste u električnim kolima svetiljki (elektronske balaste kod HID izvora i LED drajvere), njihove principe rada i primenu. Takođe, u ovom poglavlju su predstavljeni osnovni principi rada i arhitektura tipičnih sistema daljinskog upravljanja i nadzora (tzv. „telemenadžment“ sistema), kao i kvalitativno poređenje dva najčešće primenjivana sistema komunikacije (prenos signala napojnim vodom i radio talasima). Od ključnog značaja za disertaciju je poređenje NaVP i LED svetiljki po kriterijumu svetlosne efikasnosti sa hronološkim osvrtom na ubrzan rast svetlosne efikasnosti LED čipova. Tretirani su različiti efekti koji utiču na stvarnu efikasnost svetiljki kao integrisanih sistema za jedan teorijski slučaj koji u potpunosti svoju potvrdu nalazi i u projektantskoj praksi. Da bi se priča o svetlosnoj efikasnosti zaokružila, predstavljeni su i osnovni principi i efekti mezopskog viđenja, teorije subjektivne vidne percepcije učesnika u saobraćaju koja daje smernice za moderan pristup problematici svetlosne efikasnosti i primenu u projektantskoj praksi.

Drugo poglavlje se bavi predmetom istraživanja doktorske disertacije, dajući kratak uvod koji ima za cilj da objasni motive za svaku od eksperimentalnih postavki i obrazloži svako od sprovedenih merenja.

Treće poglavlje daje strukturu doktorske disertacije po segmentima (poglavljima) i opisuje sadržaj svakog od pojedinačnih poglavlja.

U *četvrtom poglavlju* su date eksperimentalne postavke i metodologija izvršenih merenja. U ovom delu je predstavljena merna oprema, kao i komponente svetiljki sa njihovim karakteristikama značajnim za predmet naučne rasprave. Detaljno je predstavljen kompletan proces koji je prethodio izradi doktorske disertacije, i to sledećim redom:

PRIPREMA

- *izbor adekvatne lokacije za postavljanje testne instalacije* - glavni cilj je bio obezbeđivanje adekvatnih uslova za potonja merenja, a koja bi učinila dobijene rezultate naučno validnim i učinila ih univerzalno primenjivim na svaku tipičnu instalaciju JO, bilo u Srbiji ili u svetu. Predviđeno je da se testna instalacija postavi na takvoj saobraćajnici gde je ista geometrija puta, ista visina montaže svetiljki i gde su jednaka rastojanja između susednih stubova.
- *izbor odgovarajuće opreme* – nakon izbora lokacije za postavljanje testne instalacije, fotometrijskim proračunima su određeni adekvatni tipovi svetiljki koji bi obezbedili približno iste fotometrijske uslove (pre svega isti nivo sjajnosti, ali uz zadovoljenje svih drugih fotometrijskih parametara za određenu svetlotehničku klasu, definisanih međunarodnim preporukama i standardima).
- *zamena dela postojećih svetiljki sa LED svetiljkama i prepravljanje dela postojećih NaVP svetiljki i njihovo prilagođenje zahtevima eksperimenta* – ovo podrazumeva demontažu, prepravljanje i montažu, podešavanje položaja i projektovanog nagiba svetiljki. Kod NaVP svetiljki je predviđena zamena elektromagnetskih predspojnih uređaja sa elektronskim i dodavanje kontrolera. Nakon postavljanja, izvršena su merenja osvetljenosti koja su imala za cilj da provere da je instalacija postavljena pravilno i ukažu na eventualne fine korekcije koje treba izvršiti pre početka merenja.
- *razdvajanje LED i NaVP svetiljki po fazama* – JP „Javno osvetljenje“ je izvršilo prevezivanje svetiljki po fazama i isključilo neke svetiljke koje nisu deo eksperimentalne postavke. Prevezivanje je izvršeno na RP pločama u svakom stubu i u ormanu JO.
- *postavljanje mernih uređaja* – u orman JO montirana sa dva digitalna brojila, svako za po jednu fazu na kojima su razdvojene LED i NaVP svetiljke.
- *podešavanje telemenadžment sistema* – postavljanje segmentnog kontrolera u orman JO i ispitivanje kvaliteta radio prenosa i komunikacije među svetiljkama. Svetiljke su programirane tako da svaka ima zasebnu adresu i broj u korisničkom interfejsu, što omogućava praćenje rada instalacije na pojedinačnom nivou. Planirani sistem telemenadžmenta će takođe omogućiti kontinuiran nadzor test instalacije, kao i merenja relevantnih parametara

(kontroleri su opremljeni mernim uređajima visoke klase tačnosti koji daju informacije o naponu, struji, faktoru snage i broju radnih sati, ali i o eventualnim kvarovima i trenutnom statusu svake pojedinačne svetiljke ili grupe svetiljki).

- *puštanje sistema u rad* – ovo podrazumeva proveru funkcionalnosti instalacije, proveru rada kontrolnog sistema (uključivanje/isključivanje/dimovanje svetiljki), beleženje prvih rezultata merenja (zabeležena su trenutna stanja na brojilima) i početnu vrednost za radne sate kroz telemenadžment sistem.

MERENJA

Predviđeno trajanje merenja je bilo 6 meseci.

- *podešavanje sjajnosti* - da bi se obezbedili identični uslovi prilikom poređenja ova dva tipa izvora (isti nivo sjajnosti na kolovozu), neophodno je izvršiti finu regulaciju svetlosnog fluksa pre početka merenja. Za potrebe ovog podešavanja korišćena je mobilna kamera (luminansmetar) koja omogućava merenje raspodele sjajnosti (stacionarno i iz vozila) i vizuelnu prezentaciju rezultata merenja, uključujući povezivanje sa podacima i snimkom puta. Izmerene vrednosti sjajnosti su poređene sa projektovanim vrednostima, a zatim su odstupanja korigovana implementacijom telemenadžment sistema – LED svetiljke su dimovane tačno onoliko koliko je bilo potrebno da se nominalni srednji nivoi sjajnosti u obe testne zone izjednače.
- *određivanje nivoa kontrolnog signala za dobijanje svakog od željenih fotopskih (mezopskih) nivoa sjajnosti* – podešavanje je obavljeno združenim radom kontrolnog sistema i mobilne kamere, tako što su svetiljke postepeno dimovane dok kamera ne očita željenu vrednost sjajnosti (merenja su bila precizna, tako da su odstupanja u odnosu na željene nivoe sjajnosti bila na drugoj decimali).
- *merenja u svim radnim režimima* – za svaki od radnih režima ($1/0.75/0.5 \text{ cd/m}^2$ za fotopske uslove i $0.86/0.63/0.4 \text{ cd/m}^2$ za mezopske uslove) vršena su merenja potrošnje aktivne i reaktivne energije digitalnim brojilima (ali i faktor snage, napon, struja, aktivna snaga, harmonijska izobličenja), a slična merenja (aktivna snaga, aktivna energija, faktor snage, napon, struja, broj radnih sati instalacije, trenutak uključivanja/isključivanja svake od svetiljki) su vršena kroz

telemenadžment sistem i čuvana u bazi podataka, u svakom trenutku raspoloživa kroz korisnički interfejs.

- *merenja viših harmonika* - obezbeđen je mrežni analizator koji će omogućiti da se pored osnovnih električnih veličina prate i druge karakteristike od značaja (talasni oblici, harmonijska izobličenja, frekvencija...).

Peto poglavlje daje pregled rezultata merenja, na osnovu kojih se vrši komparativna analiza LED i NaVP svetiljki na osnovu velikog broja ulaznih parametara pobrojanih u četvrtom poglavlju. U ovom delu će se izvesti prvi zaključci koji će poslužiti za širu analizu opravdanosti zamene postojeće NaVP instalacije sa LED svetiljkama, kao i za širu diskusiju datu u posebnom poglavlju.

Šesto poglavlje će se baviti subjektivnim pokazateljima kvaliteta osvetljenja koji će biti ustanovljeni kroz anketno ispitivanje. Anketa će se sprovesti na relevantnoj grupi ispitanika (vozača) koji će voziti kroz testnu zonu (napred i nazad, od NaVP ka LED svetiljkama i u suprotnom smeru) brzinom od 50 km/h. Nakon toga će svakom od ispitanika biti dat anketni upitnik sa pitanjima relevantnim za analizu, a koja se tiču upravo subjektivnog doživljaja kvaliteta osvetljenja (očekuje se da zbog različite boje svetlosti koju emituju natrijumovi izvori (žuta) i LED izvori (bela), bude i različit doživljaj nivoa sjajnosti (iako jednak), ravnomernosti sjajnosti, neprijatnog blještanja i pravovremene detekcije drugih učesnika u saobraćaju). Anketa će tretirati 2 nivoa sjajnosti – u standardnim (fotopskim) uslovima obe grupe svetiljki će biti podešene da daju nivo sjajnosti od 1 cd/m^2 , dok će u drugom delu ankete u LED zoni nivo sjajnosti biti smanjen na 0.86 cd/m^2 , uvažavajući teoriju mezopskog viđenja koja kaže da pri istim fotopskim (objektivnim) uslovima, LED izvori svetlosti stvaraju subjektivni utisak višeg nivoa sjajnosti od natrijumovih izvora. Razlog leži u prirodi svetlosti koju emituje LED izvor (bela boja, veći udeo plave komponente), a koja omogućava da se sa manje lumena (izračene količine svetlosti) postigne veća vizuelna efikasnost u zoni mezopskog viđenja ($0,001 \text{ cd/m}^2 < L < 3 \text{ cd/m}^2$). Na osnovu popunjenih i obrađenih anketnih upitnika, biće prezentovani rezultati anketnog ispitivanja i zaključci koji se mogu smatrati relevantnim jer je predviđena grupa od preko 50 ispitanika (vozača).

U *sedmom poglavlju* će se analizirati ekonomski aspekt i opravdanost upotrebe LED svetiljki, koristeći opšteprihvaćenu metodu aktuelizacije troškova. Razmatraće se ukupni troškovi unutar istog amortizacionog perioda T (u konkretnom slučaju uzeće se period od 20 godina), koji uključuju kako inicijalne (investicione), tako i troškove eksploatacije. Na osnovu poznatih ekonomskih parametara za Srbiju (diskontne stope (stope aktuelizacije troškova), cene električne energije i indeksa njenog porasta), može se odrediti period otplate investicije, tj. opravdanost ovakve rekonstrukcije. Razmatraće se postojeća instalacija osvetljenja i kakve uštede bi se mogle postići ako bi se jedna takva instalacija sa NaVP svetiljkama zamenila LED svetiljkama po principu „jedan za jedan“ (nije moguće menjati presek napojnih vodova, raspored stubova i visinu montaže svetiljki).

U *osmom poglavlju* će se kroz širu diskusiju predstaviti perspektive i zaključci, uz predlog mogućih rekonstrukcija instalacije javnog osvetljenja na osnovu rezultata ovog rada. Ovo poglavlje treba da da smernice za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Važno je napomenuti da postavljanje testne instalacije nije sprovedeno samo u funkciji izrade doktorske disertacije, već će se ona tretirati i kao pilot projekat koji će dati smernice za buduće instalacije javnog osvetljenja u Beogradu i Srbiji, u smislu opravdanosti implementacije LED tehnologije i kontrolnih sistema u bliskoj budućnosti.

U narednim poglavljima dat je spisak korišćene stručne literature, prilozi (fotometrijski proračuni, tehničke specifikacije i brošure korišćene svetlosne i merne opreme, anketni upitnici, fotografije sa merenja i realizovanja ankete), kao i kratka biografija kandidata.

4. EKSPERIMENTALNE POSTAVKE I METODOLOGIJA

4.1 Izbor lokacije za postavljanje testne instalacije

U fazi pripreme projekta, nekoliko meseci se tragalo za odgovarajućom lokacijom na teritoriji Grada Beograda u periodu mart / avgust 2014. godine. Planirano je da se testna instalacija postavi na saobraćajnici koja ima sledeće karakteristike:

- ista geometrija puta (širina kolovoza),
- ista visina montaže svetiljki,
- jednaka rastojanja između susednih stubova,
- sve testne svetiljke treba da budu postavljene na istom, neprekinutom segmentu ulice (bez većih raskrsnica, semafora, ostrva, ulica većeg značaja sa kojima se vrši ukrštanje - vozač treba da prođe kroz testnu zonu bez zaustavljanja),
- postojeće svetiljke treba da budu iste ili slične snage onima koje su predviđene projektom (izbegavaju se dodatna podešavanja nosača grla svetiljke u okviru optičkog bloka i novi raspored predspojne opreme i reflektora),
- kolovoz ne treba da bude pod nagibom (fotometrijski proračun se radi za stubove upravne na površinu kolovoza),
- saobraćajnica treba da bude sa što većim poluprečnikom krivine (približno prava linija od početka do kraja testne zone gde vozač sa oboda testne zone praktično može sagledati kompletnu deonicu sa NaVP i LED svetiljkama),
- stubovi treba da budu u dobrom stanju radi daljih intervencija i ne smeju biti udareni (iskrivljeni),
- saobraćajnica treba da bude pregledna i bez većeg rastinja (stubovi i svetiljke ne smeju biti zaklonjeni gustim krošnjama drveća ili bilo kojim drugim preprekama, kako zbog fotometrijskih performansi, tako i zbog neometane radio komunikacije),
- gustina saobraćaja treba da bude mala da bi se nesmetano mogla obavljati sva neophodna merenja tokom testnog perioda,
- poželjno je da svi stubovi budu jednako udaljeni od ivice kolovoza (ovo se naknadno može rešiti izborom lica odgovarajuće dužine),

- jednosmerni raspored stubova, svi stubovi sa iste strane kolovoza (ovo je pre svega posledica ograničenih resursa i troškova instalisane opreme),
- odsustvo većeg broja okolnih osvetljenih objekata, izloga i svetlećih reklama, gde bi rasuta i reflektovana svetlost mogla da izvrši neželjen uticaj na svetlosne performanse instalacije (takvu lokaciju je moguće naći isključivo na periferiji grada, ali se vodilo računa i o tome da testna instalacija bude dovoljno blizu svim učesnicima u projektu zbog čestih merenja i izlazaka na teren), i
- blizina ormana JO testnoj instalaciji (neophodno je da udaljenost između segmentnog kontrolera koji se smešta u orman i njemu najbližeg stuba u testnoj zoni bude manja od 100m).

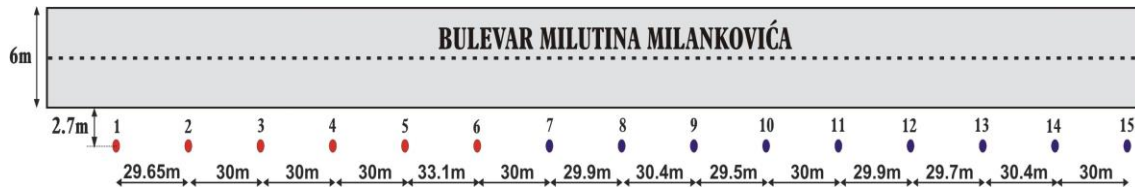
Za testnu lokaciju izabran je Bulevar Milutina Milankovića na Novom Beogradu, i to onaj deo ulice iza poslovnih objekata uz železničku prugu (slika 36), segment koji je oivičen Bulevarom umetnosti i Ulicom Đorđa Stanojevića (kod hotela Holiday Inn).



Slika 36. Testna instalacija u Bulevaru Milutina Milankovića

Nakon izbora odgovarajuće lokacije, izvršena su merenja širine kolovoza, rastojanja između susednih stubova (slika 37), udaljenosti stubova od ivice kolovoza i visine svih

stubova. Izabrana testna lokacija je gotovo u potpunosti zadovoljila sve željene uslove, a sve pripreme za puštanje instalacije u rad završene su do kraja novembra 2014. godine.



Slika 37. Geometrija testne instalacije u Bulevaru Milutina Milankovića

Geometrija izabrane saobraćajnice (slika 38):

- Širina kolovoza – 6 m (2 trake od po 3 m)
- Rastojanje između susednih stubova – 30 m
(sa izuzetkom malo većeg odstupanja između stubova 5 i 6 – slika 37)
- Visina stubova – 8 m (izmereno laserskim meračem i potvrđeno od strane JKP „Javno osvetljenje“)
- Osa rastojanja stubova od ivice kolovoza – 2.7 m
- Svetiljke direktno postavljene na stubove bez dodatnih nosača (lira) – rastojanje projekcija optičkog centra svetiljki od dalje ivice kolovoza približno je jednako visini stuba.



Slika 38. Izgled testne lokacije pre zamene svetiljki

Nakon snimanja geometrije saobraćajnice, fotometrijskim proračunima su određeni adekvatni tipovi svetiljki koji bi obezbedili približno iste fotometrijske uslove (pre svega isti nivo sjajnosti, ali uz zadovoljenje svih drugih fotometrijskih parametara za određenu svetlotehničku klasu, definisanih međunarodnim preporukama i standardima). Uvidom u postojeću instalaciju JO na izabranoj testnoj lokaciji, ustanovljeno je da se na stubovima nalaze svetiljke ONYX 2 proizvođača Minel-Schröder, što umnogome olakšava posao oko dalje fotometrijske analize (na raspolaganju su bili svi neophodni tehnički podaci za sve svetiljke kompanije Minel-Schröder kao jednog od učesnika u pilot projektu).

4.2 Fotometrijski proračun

Za potrebe fotometrijske analize korišćen je softverski paket „ULYSSE III“ kompanije Schröder, verifikovan od strane akreditovanog tela za izradu fotometrijskih proračuna u skladu sa zahtevima preporuke Međunarodne Komisije za osvetljenje CIE 140:2000⁷³ i evropskog standarda EN 13201-3:2003⁷⁴. Na osnovu poznatih ulaznih parametara (geometrije saobraćajnice) i zahtevane svetlotehničke klase saobraćajnice, određeni su tačni tipovi svetiljki koje će se koristiti u projektu. Važno je napomenuti da je prethodno odlučeno (nakon dogovora sa predstavnicima Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu kao jednim od učesnika u projektu) da u nominalnom režimu instalacija treba da ispuni zahteve svetlotehničke klase M3 prema preporuci CIE 115:2010⁵⁶ (Tabela 3).

Tabela 3. Svetlotehnički zahtevi za motorni i mešoviti saobraćaj prema CIE 115:2010⁵⁶

KLASA OSVETLJENJA	PRIMENA				
	Svi putevi	Svi putevi	Svi putevi	Putevi sa malo raskrsnica ili bez njih	Putevi sa neosvetljenim pešačkim stazama P1-P4
	$L_{SR}(cd/m^2)$ Min.	U_o Min.	TI(%) Max. Početni	U_L Min.	SR Min.
M1	2,0	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0,5
M3	1,0	0,4	15	0,6	0,5
M4	0,75	0,4	15	0,6	0,5
M5	0,5	0,35	15	0,4	0,5
M6	0,3	0,35	20	0,4	0,5

U prethodnoj tabeli su za svaku svetlotehničku klasu date minimalne zahtevane vrednosti za srednju sjajnost kolovoza (L_{sr}), opštu i podužnu ravnomernost sjajnosti (U_o i U_l) i koeficijent okruženja (SR), dok je za relativni porast praga blještanja (TI) data maksimalna dozvoljena vrednost.

Za zahtevanu srednju sjajnost kolovoza od $L_{sr} = 1 \text{ cd/m}^2$, fotometrijskim proračunom su izabrani sledeći tipovi svetiljki:

1. VOLTANA 3/24 LED/1A/ogledalo 5136/4000 K/7921 lm/80 W

(segment testne instalacije sa LED svetiljkama)



Slika 39. LED svetiljka VOLTANA 3

2. ONYX 2N/ogledalo 1419/položaj C3/10700 lm/100 W

(segment testne instalacije sa NaVP svetiljkama)



Slika 40. NaVP svetiljka ONYX 2

Ispod je data tabela sa dobijenim proračunskim vrednostima, uz napomenu da su vrednosti U_{11} i U_{12} podužne ravomernosti u svakoj od dve kolovozne trake (fotometrijski proračuni i tehnički opisi svetiljki su dati u Prilozima).

Tabela 4. Rezultati fotometrijskih proračuna

Faktor održavanja	L _{sr} [cd/m ²]	U _o [%]	U ₁₁ /U ₁₂ [%]	TI [%]	SR	E _{sr} [lx]	E _{min} /E _{sr} [%]
VOLTANA 3/LED/1A/ogledalo 5136/4000K/80W							
0.85	1.09	40	93/82	12.7	0.5	16.6	53
1	1.29	40	93/82	12.7	0.5	19.6	53
ONYX 2N/1419/položaj C3/100W							
0.87	1.04	50	77/70	9.8	0.5	17.8	62
1	1.19	50	77/70	9.8	0.5	20.4	62

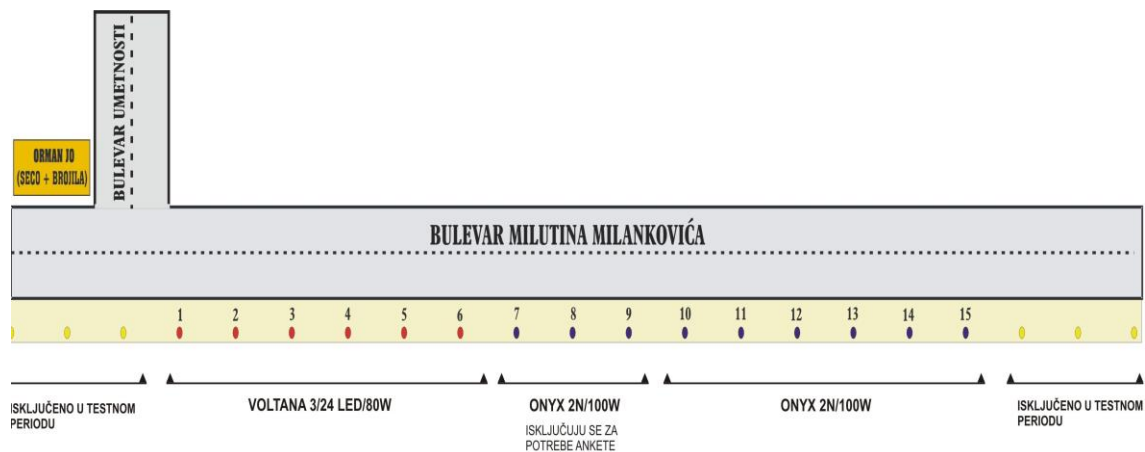
Fotometrijski proračuni su rađeni sa faktorom održavanja od 0.85 za LED (standardna projektantska vrednost za LED tehnologiju u JO, ponekad se uzima i 0.9) i 0.87 za NaVP svetiljke (obično se uzima 0.8, ali je u svetiljkama ONYX 2 primenjen Sealsafe[®] sistem² koji omogućava sigurno i trajno zaptivanje optičkog bloka tokom čitavog radnog veka svetiljke). Faktor održavanja je koeficijent koji kaže kolika će biti razlika između početne i pogonske (nominalne) vrednosti sjajnosti kolovoza nakon određenog vremenskog perioda – u projektantskoj praksi se fotometrijski proračun vrši za minimalno dozvoljenu vrednost srednje sjajnosti kolovoza koja se ima na kraju eksploatacionog ciklusa (svetlosni fluks svetiljki opada usled starenja izvora i zaprljanja delova optičkog bloka). To znači da će se na samom početku rada instalacije imati više početne vrednosti, tj. 1.29 cd/m² za LED i 1.19 cd/m² za NaVP (Tabela 4). Ovo je upravo slučaj koji se ima na testnoj instalaciji jer se postavljaju potpuno nove i nekorišćene LED svetiljke, a u postojeće NaVP svetiljke se ugrađuju novi svetlosni izvori, novi elektronski balasti, a zamenjeni su (naknadno se ispostavilo da je i to neophodno) i reflektori (ogledala) u svetiljkama. Iako su proračunski dobijene pogonske vrednosti od 1.09 cd/m² za LED i 1.04 cd/m² za NaVP dovoljno bliske i malo odstupaju od minimalno zahtevane srednje sjajnosti kolovoza od 1 cd/m², odlučeno je da se fina regulacija obavi implementacijom telemenadžment sistema.

Smatra se da je za merenje srednje sjajnosti kolovoza neophodno imati još barem po jednu svetiljku sa leve i desne strane mernog (proračunskog) polja (koje predstavlja pravougaonik između dva susedna stuba po celoj širini kolovoza od 6 m) da bi se smanjio uticaj rasute svetlosti generisane od svetiljki nekog drugog tipa i karakteristika u neposrednom okruženju. To bi značilo da je za potrebe merenja potrebno minimalno obezbediti po četiri svetiljke LED i NaVP tipa, ali se išlo na stranu sigurnosti, pa je

instalirano po 6 svetiljki. Zbog anketnog dela projekta, odlučeno je da se napravi „tampon“ zona od 3 stuba između LED i NaVP zone. U tom trenutku još nije bio definisan anketni upitnik, ali je jedna od mogućih eksperimentalnih situacija bila i ta da vozač prođe kroz jednu zonu, naiđe na mračnu zonu i zatim uđe u drugu zonu dajući svoj subjektivni utisak o kvalitetu osvetljenja. Druga situacija je podrazumevala da vozač ne bude izložen ovoj nagloj promeni sjajnosti, već da uđe iz jedne zone i drugu bez prekida, tj. sa uključenim svetiljkama u međuzoni.

Na osnovu toga je formirana konačna specifikacija svetlosne opreme, a konfiguracija testne instalacije data je na slici 41:

VOLTANA 3/24 LED/1A/ogledalo 5136/4000K/7921 lm/80 W	- 6 kom.
ONYX 2N/ogledalo 1419/položaj C3/10700 lm/100 W	- 9 kom.



Slika 41. Geometrija testne instalacije u Bulevaru Milutina Milankovića sa testnim zonama

Na isti način na koji su svetiljke numerisane na slici 41, one su definisane i na korisničkoj stranici telemenadžment sistema radi lakšeg praćenja: LED svetiljke prve zone (1-6), NaVP svetiljke koje se isključuju prilikom sprovođenja ankete (7-9) i NaVP svetiljke druge zone (10-15).

4.3 Priprema svetiljki pred montažu

U ovoj fazi se vrši zamena 6 postojećih svetiljki sa LED svetiljkama i prepravljjanje dela postojećih NaVP svetiljki i njihovo prilagođenje zahtevima eksperimenta – ovo podrazumeva demontažu i montažu, podešavanje položaja i projektovanog nagiba

svetiljki. Kod NaVP svetiljki je predviđena zamena elektromagnetskih predspojnih uređaja sa elektronskim i dodavanje kontrolera. 15 svetiljki je u saradnji sa JKP „Javno osvetljenje“ demontirano sa testne lokacije i doneto u Fabriku svetiljki Minel-Schröder na reparaciju i čuvanje (na 6 svetiljki umesto kojih će se postaviti LED svetiljke nije ništa rađeno).

NaVP SVETILJKE

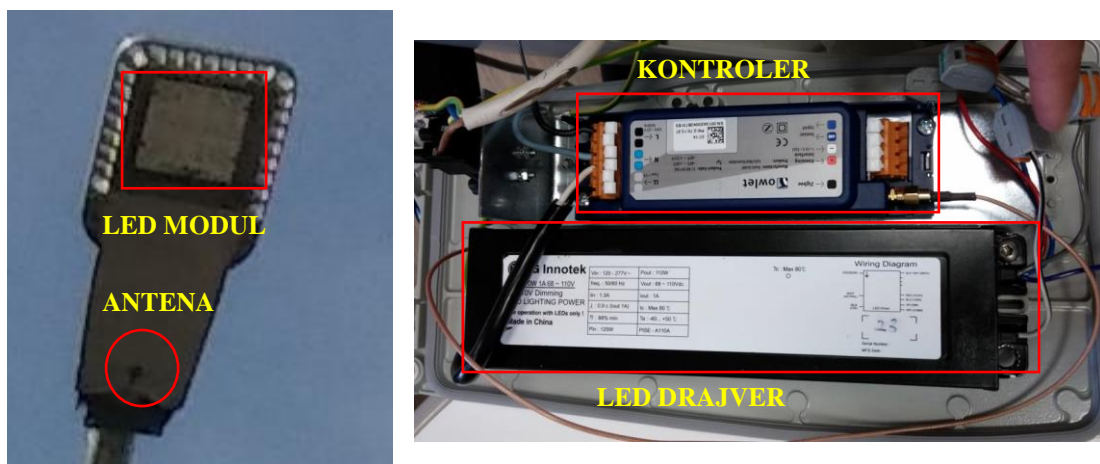
Iz svih 9 svetiljki je izvađena elektromagnetska predspojna oprema (prigušnica, upaljač i kondenzator) i umesto nje ugrađen elektronski dimabilni (programabilni) balast tipa DynaVision HID-DV PROG Xt 100 SON Q 208-277 V Philips ⁷¹ koji ima integrisan DALI modul za komunikaciju sa kontrolerom. U sve svetiljke je ugrađen i kontroler i iskorišćena jedna od rupica za odvod vode za izvlačenje antene (da bi se izbegao efekat Faradejevog kaveza, antena kontrolera mora da se izvuče iz metalnog kućišta u otvoren prostor radi nesmetane radio komunikacije). Pošto se ispostavilo da su postojeće NaVP svetiljke snage 150 W, izvršene su i određene minimalne korekcije na nosaču sijalice da bi se mogao dobiti željeni položaj C3 (svetiljka ONYX 2 ima mogućnost promene svetlosne raspodele podešavanjem horizontalnog i vertikalnog položaja optičkog centra sijalice (gorionika) u odnosu na referentnu tačku na samom ogledalu svetiljke). U svetiljke su ugrađene i potpuno nove natrijumove sijalice visokog pritiska snage 100 W sa povišenim svetlosnim fluksom (10.700 lm), tipa Master SON-T Pia PLUS 100 W Philips ⁷⁵.



Slika 42. Položaj antene i električno kolo svetiljke ONYX 2

LED SVETILJKE

Ove svetiljke su stigle u fabriku Minel-Schröder sa ugrađenim LED drajverom tipa PISE-A110A LG Innotek ⁷⁶ koji ima integrisan 1-10V modul za komunikaciju sa kontrolerom. Drajver isporučuje LED modulu konstantnu struju od 1 A i može se dimovati isključivo putem kontrolnog sistema. Kontroleri su ugrađeni u fabrici, a za provlačenje antene je iskorišćena postojeća rupica sa dodatnim zaštitnim ventilom za „disanje“ svetiljke (sprečavanje stvaranja kondenza u svetiljci).



Slika 43. Položaj antene i električno kolo svetiljke VOLTANA 3

4.4 Merenja električnih i fotometrijskih veličina pre isporuke svetiljki

Pre slanja repariranih i novih svetiljki na testnu lokaciju, u fabričkoj radionici kompanije Minel-Schreder je pomoću autotransformatora ispitan uticaj varijacija mrežnog napona na sve električne i svetlosne veličine u opsegu od 120 V do 240 V (145 V kod NaVP svetiljke). Ustanovljeno je da je uticaj fluktuacija napona neznatan i da neće značajnije uticati na rezultate merenja (u ovom naponskom opsegu zabeleženo je prihvatljivo odstupanje od očekivanih nominalnih vrednosti – tabela 5). Ovo se u potpunosti poklapa sa tehničkim specifikacijama elektronskih balasta i LED drajvera koji se mogu naći u brošurama proizvođača opreme.

Tabela 5. Fabrička merenja uticaja varijacija mrežnog napona na karakteristike svetiljki

ONYX 2 UTICAJ VARIJACIJA MREŽNOG NAPONA		VOLTANA 3 UTICAJ VARIJACIJA MREŽNOG NAPONA	
MREŽNI NAPON [V]	P[W]	MREŽNI NAPON [V]	P[W]
240	110	240	78
235	110	235	78
230	110	230	77
225	109	225	77
220	109	220	77
215	109	215	76
210	109	210	76
205	109	205	76
200	109	200	75.8
195	109	195	75.8
190	109	190	75
185	108.5	185	75
180	108	180	75
175	108	175	74.2
170	108	170	74
165	100	165	74
160	88	160	74
155	71	155	74
150	54	150	74
145	svetiljka se ugasila!	120	73.5
		90	diode trepere
		70	diode se gase!

U tabeli 5 se može videti da se snaga održava približno konstantnom u širokom opsegu ulaznog napona (kod NaVP sve do 170 V, a kod LED i do 120 V).

U poglavlju 2 je pomenuto da bi jedna od značajnih prednosti LED tehnologije mogao biti odnos svetlosnog fluksa i snage pri promeni struje. Za NaVP izvore je odavno poznato da je ovaj odnos takav da svetlosni fluks opada brže od snage (to je fizička karakteristika ovog izvora), dok se za LED izvore tvrdi da su snaga i svetlosni fluks direktno proporcionalni sa strujom i da opadaju u istom odnosu. Praksa pokazuje da to umnogome zavisi od tipa LED i drajvera, kao i od termičkih uslova u svetiljci. Za konkretan slučaj izvršen je jedan eksperiment gde je za oba tipa svetiljki izmeren ovaj odnos u fabričkoj radionici. Svetiljke su postavljene na fiksni stalak gde im je visina optičkog centra (gorionika sijalice ili površine LED modula) podešena na 1m u odnosu na ravan poda. Na podu je fiksirana sonda luksmetra tipa GOSSEN MAVOLUX 5032B visoke preciznosti (klasa B). Za sondu nije važno da se nalazi tačno ispod optičkog centra svetiljke, već da se tokom merenja njena pozicija ne menja (za ovo merenje nisu

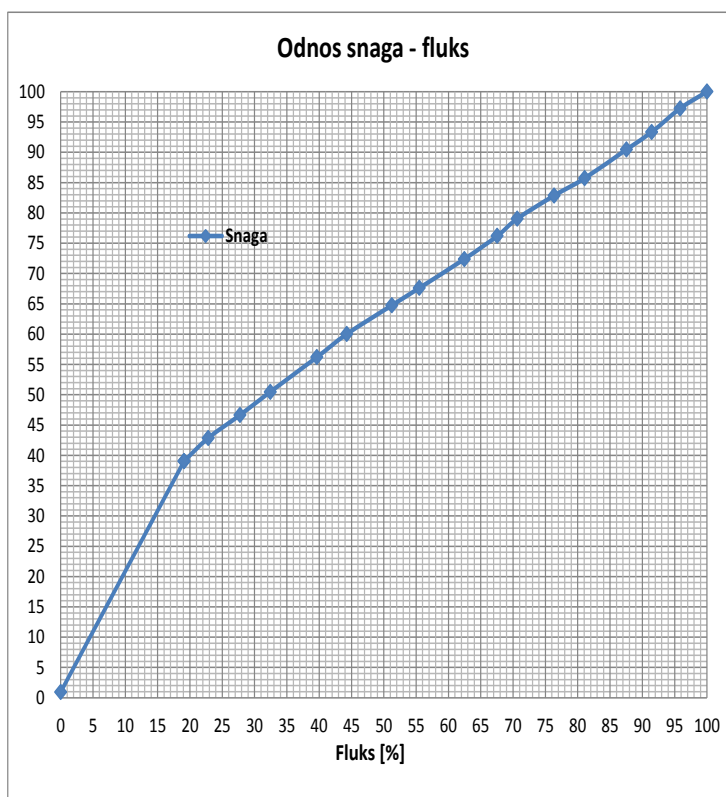
bitne apsolutne, već relativne vrednosti osvetljenosti u toj tački koja je direktno proporcionalna sa svetlosnim fluksom). Svetiljke su u ovoj fazi već bile programirane za rad sa telemenadžment sistemom (svakoj je bila zadata adresa i tačna pozicija koju će imati na testnoj lokaciji), pa je merenje vršeno kroz korisničku stranicu telemenadžment sistema. Poređenja radi, merenja su vršena i sa laboratorijskim ampermetrom (tip ISKRA FLO 120), voltmetrom (tip ISKRA FLO 125) i vatmetrom (tip ISKRA ELO 120) visoke klase tačnosti 0.5. Pre početka merenja je izmerena horizontalna osvetljenost u referentnoj tački pre uključivanja svake od svetiljki (uticaj okolne svetlosti), a onda je ta vrednost oduzeta od izmerene vrednosti osvetljenosti nakon uključivanja. Kroz korisnički interfejs (u tabeli 6 i 7, rezultati koji su očitani sa korisničke stranice nose oznaku UI – User Interface) se zadaje kontrolni signal svetiljci od 100 % do 10 %, tj. do trenutka isključenja. Za svaki nivo kontrolnog signala (kolona „grupna komanda“ u tabeli 6 ili „manuelna komanda“ u tabeli 7) se očitavaju vrednosti osvetljenosti, snage, napona (na NaVP sijalici i LED modulu) i struje (na LED modulu, za NaVP sijalicu je bilo teško izvršiti povezivanje ampermetra u kolo). Istovremeno, u korisničkom interfejsu se poređenja radi očitavaju vrednosti struje, napona, faktora snage i snage svetiljki.

Tabela 6. Fabrička merenja električnih i fotometrijskih parametara za svetiljku ONYX 2

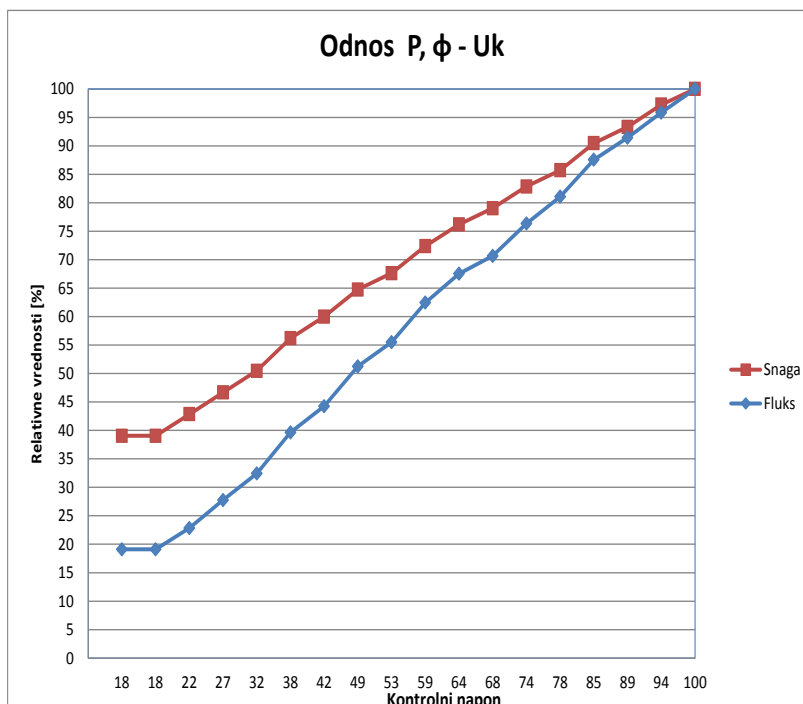
OSVETLJENOST (lx)	OSVETLJENOST (%)	SNAGA IZ UI (W)	IZMERENA SNAGA (W)	IZMERENA SNAGA (%)	STRUJA IZ UI (A)	IZMERENI NAPON NA SIJALICI (V)	cosfi IZ UI	GRUPNA KOMANDA (%)	NAPON MREŽE IZ UI (V)
1928.4	100.00	104.6	105	100.00	0.50	103.4	0.98	100	235.18
1848.4	95.85	101.1	102.1	97.24	0.40	100.1	0.98	95	233.69
1763.4	91.44	97.7	98	93.33	0.40	99.1	0.98	90	233.89
1688.4	87.55	94.3	95	90.48	0.40	98.3	0.98	85	234.76
1563.4	81.07	89.4	90	85.71	0.40	97.1	0.98	80	234.57
1472.4	76.35	86	87	82.86	0.40	96.3	0.98	75	234.52
1362.4	70.65	81.7	83	79.05	0.40	93.7	0.98	70	233.63
1302.4	67.54	79.4	80	76.19	0.30	92.2	0.98	65	233.19
1204.4	62.46	75.1	76	72.38	0.30	89.4	0.97	60	233.7
1070.4	55.51	70.3	71	67.62	0.30	86.5	0.97	55	234.13
988.4	51.25	66.9	68	64.76	0.30	84.6	0.97	50	234.59
853.4	44.25	61.6	63	60.00	0.30	81.2	0.96	45	234.14
764.4	39.64	58.2	59	56.19	0.30	76.9	0.96	40	234.68
625.4	32.43	52.5	53	50.48	0.20	73.5	0.95	35	234.57
535.4	27.76	48.8	49	46.67	0.20	71.4	0.95	30	234.75
440.4	22.84	44.3	45	42.86	0.20	69.1	0.94	25	234.67
368.4	19.10	40.9	41	39.05	0.20	68.1	0.93	20	235.45
368.4	19.10	40.9	41	39.05	0.20	68.1	0.93	15	235.45
0	0.00	0.7	1	0.95	0.00	0.023	0.46	10	236.48

Na osnovu tabela 6 i 7 date su krive relativne zavisnosti snage od izlaznog svetlosnog fluksa svetiljki i krive relativne zavisnosti snage i izlaznog svetlosnog fluksa od kontrolnog signala (ovaj signal se u slučaju 1-10 V protokola kreće od 1 do 10 V DC,

dok je kod DALI kontrole on dat u procentualnim vrednostima 0-100 %). Kolone koje su označene žutom bojom se koriste za sledeće grafički predstavljene zavisnosti.



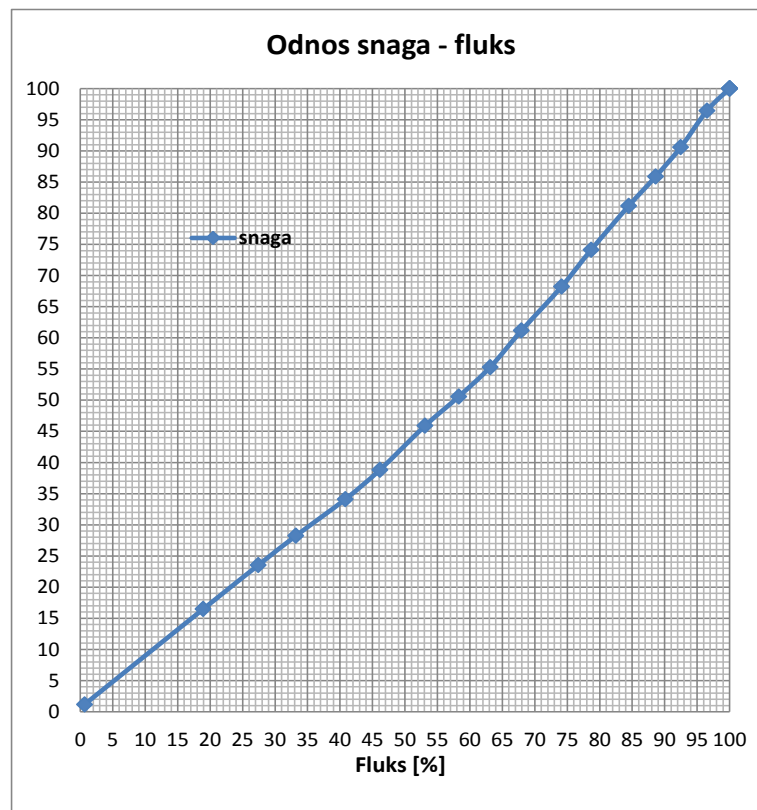
Slika 44. Zavisnost snage od svetlosnog fluksa za svetiljku ONYX 2



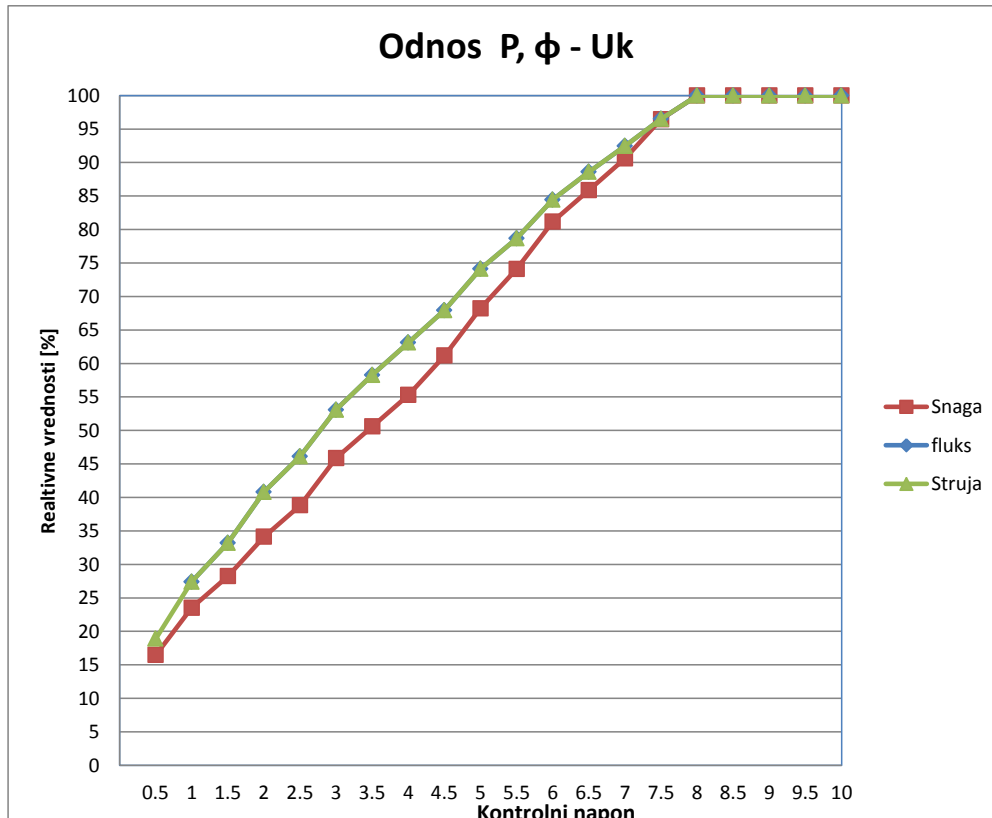
Slika 45. Zavisnost snage i svetlosnog fluksa od kontrolnog napona za svetiljku ONYX 2

Tabela 7. Fabrička merenja električnih i fotometrijskih parametara za svetiljku VOLTANA 3

OSVETLJENOST (lx)	OSVETLJENOST (%)	SNAGA IZ UI (W)	IZMERENA SNAGA (W)	IZMERENA SNAGA (%)	IZMERENA STRUJA (mA)	IZMERENI NAPON NA MODULU (V)	cos ϕ IZ UI	KONTROLNI NAPON (V)	MANUELNA KOMANDA (%)	NAPON MREŽE IZ UI (V)	STRUJA IZ UI (A)	NAPON NA DIODI (V)
5180	100.00	84.5	85	100.00	1000	74.3	0.95	10	100	223.04	0.4	3.10
5180	100.00	84.5	85	100.00	1000	74.3	0.95	9.5	95	223.04	0.4	3.10
5180	100.00	84.5	85	100.00	1000	74.3	0.95	9	90	223.04	0.4	3.10
5180	100.00	84.5	85	100.00	1000	74.3	0.95	8.5	85	223.04	0.4	3.10
5180	100.00	84.5	85	100.00	1005	74.3	0.95	8	80	223.04	0.4	3.10
5000	96.53	81.2	82	96.47	970	74	0.95	7.5	75	223.11	0.4	3.08
4790	92.47	76.6	77	90.59	920	73.6	0.95	7	70	221.62	0.4	3.07
4590	88.61	72.2	73	85.88	870	73.2	0.94	6.5	65	223.15	0.3	3.05
4375	84.46	67.7	69	81.18	820	72.7	0.93	6	60	222.77	0.3	3.03
4075	78.67	61.8	63	74.12	750	72.1	0.93	5.5	55	223.01	0.3	3.00
3840	74.13	57.5	58	68.24	695	71.6	0.92	5	50	222	0.3	2.98
3520	67.95	51.8	52	61.18	630	71	0.91	4.5	45	221.46	0.3	2.96
3270	63.13	47.4	47	55.29	570	70.5	0.9	4	40	222.58	0.2	2.94
3020	58.30	43.3	43	50.59	520	70.1	0.88	3.5	35	222.63	0.2	2.92
2750	53.09	39.1	39	45.88	470	69.6	0.87	3	30	222.98	0.2	2.90
2390	46.14	33.7	33	38.82	395	68.9	0.84	2.5	25	223.58	0.2	2.87
2115	40.83	29.8	29	34.12	340	68.4	0.81	2	20	222.57	0.2	2.85
1720	33.20	24.4	24	28.24	270	67.6	0.75	1.5	15	222.94	0.1	2.82
1420	27.41	20.2	20	23.53	210	67	0.67	1	10	221.92	0.1	2.79
980	18.92	15	14	16.47	140	66	0.54	0.5	5	222.16	0.1	2.75
34.1	0.66	0.6	1	1.18	0	2.02	0.47	0	0	221.85	0	0.08



Slika 46. Zavisnost snage od svetlosnog fluksa za svetiljku VOLTANA 3



Slika 47. Zavisnost snage i svetlosnog fluksa od kontrolnog napona za svetiljku VOLTANA 3

Nekoliko interesantnih zaključaka se može izvesti iz ovih preliminarnih merenja:

- Razlike u merenjima sa analognim uređajima i digitalnim uređajima integrisanim u kontroler svetiljke su neznatne - ne računajući vrednosti svetlosnog fluksa ispod minimalno preporučenih (20 % za NaVP svetiljke i 10 % za LED svetiljke – ispod tih vrednosti svetiljke gube svoje performanse ili se gase): za ONYX 2 je prosečno odstupanje očitanih od izmerenih vrednosti 1.03 %, a maksimalno 2.22 %; za VOLTANA 3 prosečno odstupanje očitanih od izmerenih vrednosti je 1.05 %, a maksimalno 2.76 %.
- Svetlosni fluks NaVP svetiljki opada značajno brže nego snaga (vrednosti sa slika 44 i 45 se prilično poklapaju sa vrednostima datim u internim poverljivim dokumentima proizvođača koji kažu da se dimovanjem maksimalno može ići do 20 % fluksa i 35 % snage).
- Svetlosni fluks LED svetiljki opada neznatno sporije nego snaga (odnos je blizak jedinici) – ovo znači da će na nižim vrednostima prilikom dimovanja za dobijanje iste količine svetlosnog fluksa LED svetiljkama trebati proporcionalno

još manja snaga nego u nominalnom režimu! Npr., ako se uzme da je za relativne vrednosti svetlosnog fluksa od 100 % za oba tipa svetiljki postignuta približno ista srednja sjajnost (bez obzira koliki je taj fluks u apsolutnim vrednostima), iz tabela 6 i 7 se vidi da je u slučaju svetiljke ONYX 2 potrebna snaga od 105 W, a za svetiljku VOLTANA 3 snaga od 85 W (snaga NaVP svetiljke je za 23.53 % veća od snage LED svetiljke). Ako se uzme nivo od 40 % svetlosnog fluksa, može se videti da je u slučaju NaVP svetiljke snaga 59 W (fluks je zapravo 39.64 %), a u slučaju svetiljke VOLTANA 3 snaga je 29 W (fluks je zapravo 40.83 %). U ovom slučaju, snaga NaVP svetiljke je čak za 103.45 % veća od snage LED svetiljke!

- Struja je direktno proporcionalna fluksu kod LED svetiljke – na slici 47 se ove krive praktično preklapaju (isto važi i za NaVP svetiljku kada sijalica radi sa elektronskim balastom, ali to nije prikazano na slici 45),
- Faktor snage se značajno smanjuje kod LED svetiljki prilikom dimovanja – dok kod NaVP svetiljki on ne pada ispod 0.93, kod LED svetiljki on padne na vrednost 0.67 pri 10 % svetlosnog fluksa,
- Napon na LED čipovima neznatno pada tokom dimovanja (obaranja svetlosnog fluksa) (9.83 % od 100 % do 10 %), dok napon na NaVP sijalici značajno pada (34.14 % od 100 % do 20 %).

4.5 Postavljanje svetiljki na testnoj lokaciji

Polovinom novembra 2014. postavljeno je svih 15 svetiljki (6 x LED + 9 x NaVP) na predviđene pozicije na testnoj lokaciji. Fotometrijski proračuni su pokazali da je zbog velike udaljenosti stubova od ivice kolovoza (2.7 m) bilo neophodno dodati lire određene dužine (u slučaju LED svetiljki dodate su lire takve dužine da se obezbedi da projekcije optičkih centara svetiljki budu na trotoaru, ali udaljene 1.15 m od ivice kolovoza, dok su u slučaju NaVP dodate lire takve dužine da se obezbedi da projekcije optičkih centara svetiljki budu na trotoaru, ali udaljene 1.2 m od ivice kolovoza). Završeci svih konusnih stubova na lokaciji su prečnika Fi60 mm, a lire su izrađene u Minel-Schrederu na osnovu ovog podatka dobijenog od JKP „Javno osvetljenje“ (izgledi lira su dati u Prilozima). JKP „Javno osvetljenje“ je obezbedilo 9 novih natrijumovih sijalica sa povišenim fluksom tipa Master SON-T Pia PLUS 100 W.

Ekipe JKP „Javno osvetljenje“ su tokom radova na demontaži/montaži svetiljki pripremale instalaciju za početak merenja. Otklanjali su se kvarovi na liniji i isključile svetiljke iz bočnih ulica koje mogu bitnije da utiču na rezultate merenja. Linija je prevezana tako da se svaka od dve grupe svetiljki (LED i NaVP) napaja sa po jedne faze. Prevezivanje je izvršeno na RP pločama u svakom stubu i u ormanu JO. To je bio jedini način da se omogući praćenje potrošnje električne energije bez uticaja ostalih svetiljki koje nisu obuhvaćene ovim projektom. Konstatovano je da su postojeći aluminijumski kablovi preseka 25 mm^2 , a na osnovu preliminarnih proračuna ustanovljeno je da su za ovu dužinu trase i broj svetiljki padovi napona zanemarljivo niski (ispod 1 %) i da ne predstavljaju faktor od uticaja na analizu. Prilikom montaže svetiljki (gde su pored ekipa JKP „Javno osvetljenje“ bili uključeni i ljudi iz kompanije Minel-Schröder) još jednom je proverena visina optičkog centra svetiljki, koja je zanemarljivo odstupala od proračunski određene visine od 8.5 m (visina stuba 8 m + visina koja se na to dodaje, jer je lira projektovana da bude pod nagibom). Podešeni su i provereni svi uglovi svetiljki (ne samo nagib svetiljke prema horizontalnoj ravni kolovoza, već i zakrenutost svetiljke oko ose stuba i zarotiranost svetiljke oko ose lire).



Slika 48. Testna instalacija u Ul. Milutina Milankovića posmatrana od Hotela „Holiday Inn“ u pravcu poslovnog centra „GTC Square“ i raskrsnice sa Ul. Omladinskih brigada – u prvom planu vide se NaVP svetiljke ONYX 2

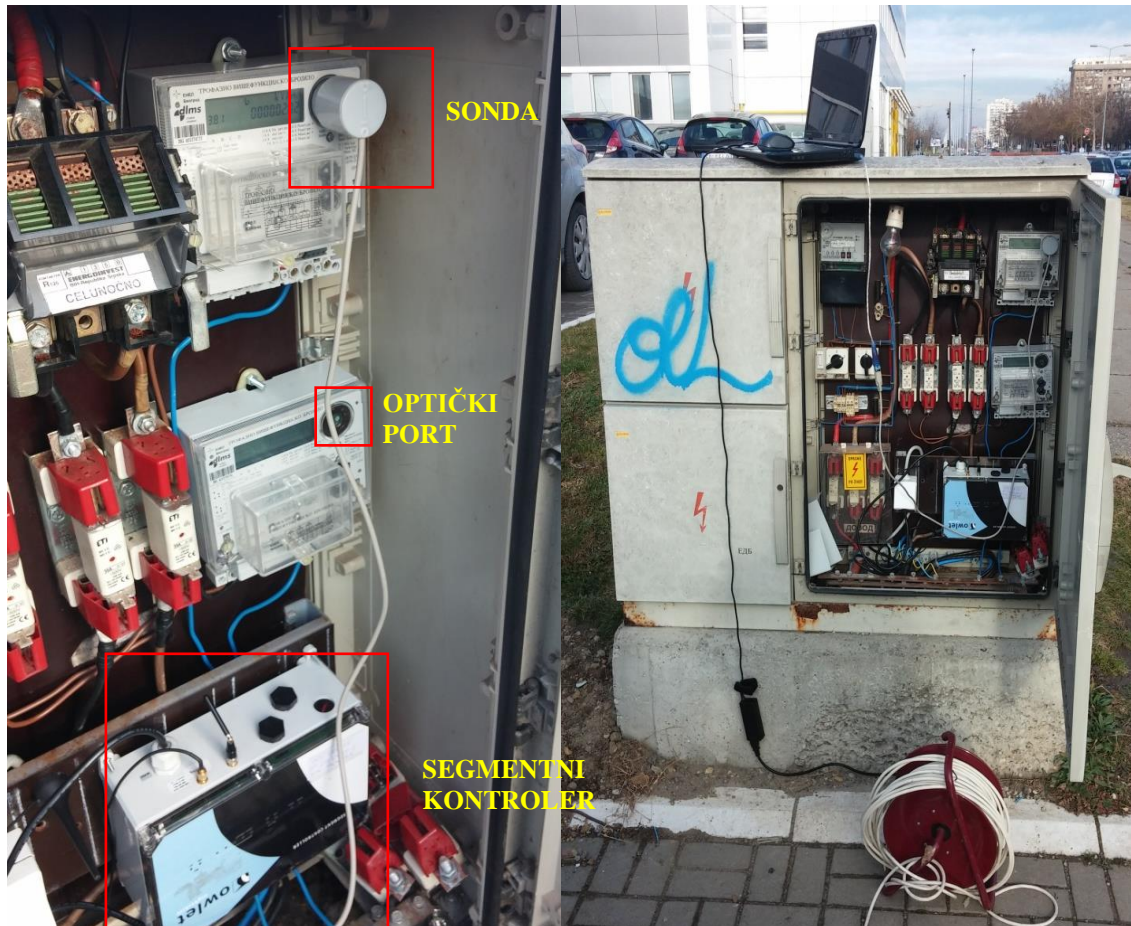


Slika 49. Testna instalacija u Ul. Milutina Milankovića posmatrana od raskrsnice sa Bulevarom umetnosti (slikano iz pravca ormana JO na čošku) u pravcu Hotela „Holiday Inn“ – u prvom planu vide se LED svetiljke VOLTANA 3

4.6 Postavljanje mernih brojila

U orman JO montirana sa dva digitalna brojila, svako za po jednu fazu na kojima su razdvojene LED i NaVP svetiljke. Korišćena su direktna trofazna digitalna brojila tipa DB2⁷⁷ proizvođača ENEL d.o.o. iz Beograda. Brojilo DB2 je multiprocesorski sistem koji obavlja merenje na bazi analogno/digitalne konverzije i digitalne obrade očitanih signala struja i napona. Ovo brojilo je realizovano u VLSI CMOS tehnologiji koja obezbeđuje pouzdanost, malu potrošnju energije, rad u širokom temperaturnom opsegu, dug životni vek i visoku otpornost na elektromagnetske smetnje (EMI). Brojilo meri aktivnu i reaktivnu energiju, maksimum srednje 15-minutne aktivne snage (tzv. vršna snaga), aktivnu i reaktivnu snagu, napone, struje, faktor snage i harmonijska izobličenja napona po fazama, sve to u realnom vremenu zahvaljujući ugrađenom uklopnom časovniku. Zbog karakteristika uređaja i veličine unutrašnje memorije (broj mesečnih, dnevnih, satnih i 15-minutnih zapisa je ograničen), određeno je da se merene veličine očitavaju sa brojila svakih 10 dana. Merenja će se vršiti u periodu od nekoliko meseci, dok se ne budu očitavali rezultati za svaki od željenih režima (fotopski režimi 1.3/1/0.75/0.5 cd/m², mezopski režimi 0.86/0.63/0.4 cd/m², kao i kombinacija različitih

režima kreirana kroz dinamičke scenarije rada tokom noćnih sati). Rezultati se očitavaju optičkim portom putem DLMS protokola, putem optičke sonde dobijene od kompanije ENEL d.o.o.. Brojilo DB2 poseduje i niz drugih funkcija koje nisu bile korišćene za potrebe ovog projekta. Na slici 50 je prikazan orman JO sa postavljenim DB2 brojilima (gornje brojilo za NaVP, a donje za LED svetiljke).

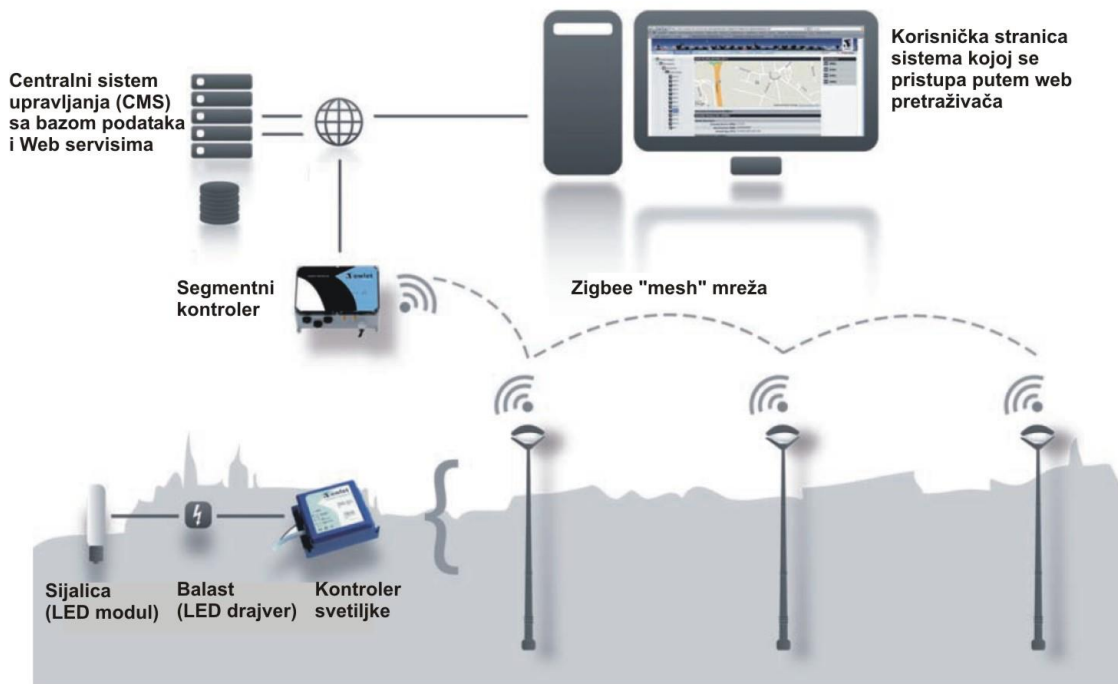


Slika 50. Orman JO sa integriranim brojilima: a) sonda za očitavanja prikačena na optički port brojila, i b) rezultati se čitaju putem optičkog porta i čuvaju na računaru

4.7 Podešavanje telemenadžment sistema

Na slici 50 se ispod brojila u donjem desnom uglu ormara JO može videti i postavljen segmentni kontroler čiji su rad i funkcija opisani u poglavlju 1.6. Konkretno, za potrebe projekta korišćen je OWLET telemenadžment sistem kompanije SCHREDER, jedan od sistema daljinskog upravljanja zasnovan na bežičnoj komunikaciji putem Zigbee Wireless otvorenog standarda.

Na slici 51 data je arhitektura OWLET telemenadžment sistema, a opis svakog od elemenata sistema dat je u daljem tekstu ^{25,78}.



Slika 51. Arhitektura OWLET telemenadžment sistema ⁷⁹

Segmentni kontroler može vršiti upravljanje i nadzor do 150 svetiljki, tj. čvorova. Montira se najčešće u orman JO, ima nezavisno napajanje, a stepen mehaničke zaštite je IP66 (može stajati i slobodno, van ormana). Segmentni kontroler prikuplja podatke sa OLC-ova (pojedinačnih kontrolera svetiljki) kroz Zigbee mesh mrežu i predaje ih putem interneta web serveru (centralni sistem upravljanja na slici 51). Veza sa Internetom se ostvaruje putem ADSL, GPRS ili 3G mreže (putem SIM kartice ili fiksnog ADSL priključka). U konkretnom slučaju, veza sa internetom se ostvaruje putem DATA SIM kartice sa statičkom IP adresom na kojoj je omogućena dvosmerna komunikacija (od svetiljki ka serveru i od servera ka svetiljkama).



Slika 52. Segmentni kontroler OWLET sistema

Kontroleri svetiljki (skraćeno OLC) mogu biti integrisani u samu svetiljku (to je primenjeno u konkretnom slučaju – kontroler tipa LuCo NXP, slika 53), montirani u stub JO ili montirani na gornjoj površini svetiljke (kada imaju ugrađenu fotoćeliju ili GPS modul). Svi uređaji u ovoj familiji imaju pouzdanu Zigbee komunikaciju, prekidačke i dimabilne funkcije, kao i detekciju kvara izvora svetlosti. OLC-ovi mogu da rade sa svim tipovima elektronskog balasta ili LED drajvera, ali od funkcionalnosti tih uređaja zavise i njihove performanse (kod nedimabilnih uređaja mogu samo da uključuju/isključuju svetiljke). Uređaji imaju integrisane module za 1-10 V i DALI komunikaciju (u slučaju NaVP svetiljki je zbog tipa elektronskog balasta izabrana DALI komunikacija, dok je kod LED svetiljki zbog tipa LED drajvera izabrana 1-10 V komunikacija). Svaki od ovih kontrolera ima priključak za Zigbee antenu snage 6 mW koja garantuje stabilnu radio komunikaciju između susednih kontrolera i na udaljenostima do 100 m (teoretski, čak 500 m i više). Neprekidno se mere i nadgledaju struja, napon i faktor snage svetiljki. Kontroler poseduje ugrađen astronomski sat koji omogućuje paljenje i gašenje izvora čak i u slučaju da uređaji višeg prioriteta (Segmentni kontroler, web server) zakažu.



Slika 53. Kontroler svetiljke tipa LuCo NXP

Korisnički interfejs nalazi se na serveru koji može biti smešten bilo gde. Owlet sistemu tj. serveru je moguće pristupiti preko neke od IP konekcija kao npr. 3G mobilne mreže ili putem EDGE i GPRS tehnologije, takođe putem Etherneta ili Wi-fi komunikacije pristupanjem na odgovarajuću Web stranicu i registracijom (WAN ili LAN adresa). Na ovaj način se može locirati i nadgledati instalacija osvetljenja čak i preko mapa koje obezbeđuje Google Map servis, konfigurisati sistem, a mogu se menjati postavljeni scenariji dimovanja (plan uključivanja/dimovanja/isključivanja svetiljki tokom noćnih sati), i sve to na korisničkoj stranici sistema kojoj se pristupa preko opštepoznatih web

pretraživača (Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer...) uz odgovarajuće korisničko ime i lozinku koji korisniku dodeljuje administrator sistema (slika 54).

The screenshot displays the 'owlet' web application interface. At the top, there is a navigation menu with tabs: Home, Monitoring, Dashboard, Configuration, Admin, and Info. The 'Monitoring' tab is active. On the left side, there is a tree view showing a hierarchy: SERBIA > BEOGRAD > NOVI BEOGRAD > BULEVAR MILUTINA MILA > 001. The main content area is titled 'Device: RS_BEG_0010001_001 SVETILJKA 1'. It features a satellite map from Google with a red box highlighting a specific location. Below the map, there is a table of status and power information for the device.

Status Information	
Member Of Group (PGR):	Group 1
Dim Level (FDL):	87 %
Control Signal Voltage (FVL):	6.90 V
Runhours (FRH):	6080 h
Last Switch On Time (FON):	2016.05.13 20:15:42
Last Switch Off Time (FOF):	2016.05.13 14:50:54
Error Messages (FEM):	None
Energy Consumption (FEC):	385.45 kWh
Current Power Information	
Voltage (FCV):	227.25 V
Current (FCC):	0.339 A
Power (FCP):	72.20 W
Power Factor (FPF):	0.94 L

On the right side of the interface, there is a section titled 'Applications' with a list of items: EBD01, PHC01, SYS02, SYS04, and COM01.

Slika 54. Korisnička stranica sistema

Kao što se na slici 54 može videti, telemenadžment sistem kompanije Schröder omogućuje potpunu kontrolu instalacije javnog osvetljenja i u svakom trenutku pruža potpun uvid u njen rad. Za svaku svetiljku su u svakom trenutku dostupne informacije o pripadnosti odgovarajućoj grupi (moguće je kreirati do 11 grupa sa različitim režimima rada), trenutnom nivou svetlosnog fluksa, kontrolnom naponu, ukupnom broju radnih sati od prvog uključjenja svetiljke (kontrolera), poslednjem vremenu uključjenja/isključjenja svetiljke, eventualnom kvaru, ukupnoj potrošnje aktivne električne energije od prvog uključjenja, naponu, struji, snazi i faktoru snage. Takođe, na mapi se može videti i tačna pozicija svetiljke na odgovarajućoj lokaciji. U levom delu korisničkog prozora može se videti i lokacija gde je instalacija postavljena (država/grad/opština/ulica), kao i broj svetiljki i segmentnih kontrolera. U konkretnom slučaju, u Bulevaru Milutina Milankovića je postavljen jedan segmentni kontroler u orman JO koji pokriva svih 15 svetiljki u koje su ugrađeni kontroleri svetiljki.

Svi prikupljeni podaci se smeštaju i čuvaju u bazi podataka čineći informacije raspoloživim na duži vremenski period, pre svega radi analiza potrošnje električne energije, predviđanja životnog veka izvora svetlosti, detekcija problema...

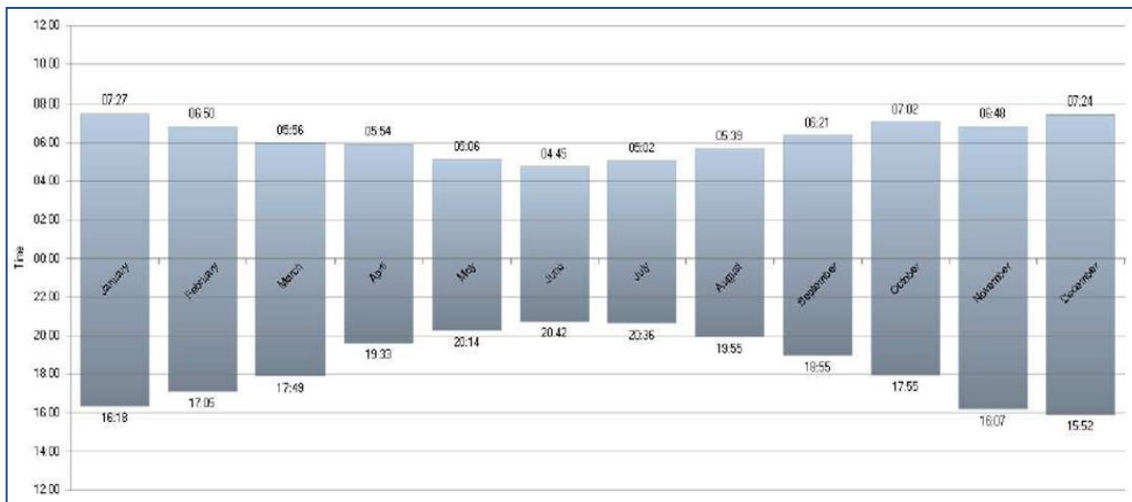
Neke od praktičnih prednosti implementacije Owllet telemenadžment sistema su:

- Nadgledanje, dijagnostika i održavanje instalacije osvetljenja donose dugoročne prednosti.
- Konfiguracija energetske mreže ne utiče na rad sistema - komunikacija je nezavisna od napajanja, prenos se ostvaruje bežičnim putem, što je velika prednost u odnosu na PLC sistem. Sistem grupiše svetiljke prema želji korisnika, bez ograničenja (ograničenje ne predstavlja ni činjenica da se osvetljenje ulice napaja iz nekoliko transformatorskih stanica).
- Smanjeni troškovi održavanja – kada dodje do kvara na liniji, dispečer ima preciznu informaciju gde je došlo do kvara (na ekranu je prikazana tačna pozicija neispravne svetiljke- veza sa Google Earth mapama) , tj. ne mora se, kao prema dosadašnjoj praksi, uključivati cela linija i slati ekipa na teren koja traži mesto kvara obilaskom cele linije.
- Pouzdana informacija o trenutnom statusu instalacije.
- Uštede električne energije se kreću do 40 % – ostvaruju se kombinovanjem 3 navedena principa:
 - Održavanje konstantnog nivoa svetlosnog fluksa tokom rada instalacije – ne treba smetnuti s uma da se svaka nova instalacija projektuje tako da tek na kraju životnog veka svetiljka ima projektovani svetlosni fluks (najčešće se uzima da je faktor održavanja 0.8, što znači da se za novu instalaciju ima 25 % viši nivo sjajnosti od željenog). Kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa tokom eksploatacije (vodeći računa i o periodičnoj zameni izvora svetlosti) može se uštedeti i do 10 % električne energije.

- Regulacija snage izvora svetlosti – izvori svetlosti se najčešće proizvode za određene snage (npr. 50 W, 70 W, 100 W, 150 W, 250 W i 400 W za NaVP izvore), a rastojanje između stubova i ravnomernost sjajnosti (posebno podužna) određuju geometriju instalacije. Posledica toga je da se zarad zadovoljenja prethodno pomenutih faktora često koriste i veće snage od potrebnih (npr. potrebna je snaga od 120 W, a postoje samo izvori snage 100 W ili 150 W). Na ovaj način se regulacijom mogu ostvariti uštede i do 25 %.
- Regulacija u zavisnosti od gustine saobraćaja – ovo je najočigledniji primer uštede električne energije u slučaju implementacije telemenadžment sistema. Gustina saobraćaja tokom noćnih sati nije ista, veća je npr. u 21 h nego u 3 h posle ponoći. Poznavanjem prilika u saobraćaju moguće je kreiranjem odgovarajućih scenarija rada ostvariti uštede električne energije i do 40 %.

Telemenadžment sistem kompanije Schröder spada u otvorene sisteme – korisnik može pristupiti sistemu sa bilo kog računara, tableta ili smart telefona i proveriti status ili izvršiti promene na instalaciji (dimovanje ili uključivanje/isključivanje određenih svetiljki u slučaju da treba izvršiti proveru rada). Takođe, moguće je svetiljke rasporediti u različite grupe ukoliko se želi da u određeno vreme svetiljke budu u različitim režimima rada (npr. svetiljke na raskrsnici će raditi sa većom snagom zbog bezbednosti u saobraćaju, dok one koje se nalaze na pristupnim ulicama mogu biti dimovane).

U toku godine dužina noći se menja, a scenario rada instalacije može se prilagoditi svakoj promeni (time se izbegavaju nepotrebni troškovi da instalacija radi duže nego što je potrebno ili opasnost da se u nekim periodima svetiljke ne uključe kada je to potrebno). Na slici 55 date su promene dužine trajanja noći tokom godine za Srbiju (od januara do decembra su data vremena sumraka i svitanja), izvučene iz softverskog paketa ULYSSE III kompanije Schröder.



Slika 55. Promena dužine trajanja noći tokom godine za Srbiju

Segmentni kontroler je postavljen u orman JO, a svetiljke (kontroleri svetiljki) su programirane tako da svaka ima zasebnu adresu i broj u korisničkom interfejsu, što omogućava praćenje rada instalacije na pojedinačnom nivou. Nakon postavljanja sistema i puštanja u rad, izvršena je provera kvaliteta radio prenosa i komunikacije među svetiljkama, a zatim i provera funkcionalnosti instalacije i kontrolnog sistema (uključivanje/isključivanje/dimovanje svetiljki) i beleženje početnih vrednosti za radne sate kroz telemenadžment sistem.

Izgled testne instalacije (pozicije i adrese svetiljki i segmentnog kontrolera) u Bulevaru Milutina Milankovića prikazan je na slici 56. U poglavlju 4.2 dati su raspored i brojevi svetiljki prema tipu, a ovde je prikazana i pozicija ormara JO (i segmentnog kontrolera) koji je udaljen manje od 80m od njemu najbliže testne svetiljke (pod brojem 1 na korisničkoj stranici). Principski isto kao i u slučaju digitalnih brojila, merenja će se vršiti u periodu od nekoliko meseci, a svakodnevno će se očitavati rezultati za svaki od željenih režima (fotopski režimi 1.3/1/0.75/0.5 cd/m², mezopski režimi 0.86/0.63/0.4 cd/m², kao i kombinacija različitih režima kreirana kroz dinamičke scenarije rada tokom noćnih sati).



Slika 56. Testna instalacija u Bulevaru Milutina Milankovića

4.8 Metodologija merenja fotometrijskih veličina

Zbog realnih uslova na terenu koji uvek odstupaju od idealnih koje tretira fotometrijski proračun, očekuje se da će postojati određena odstupanja od projektovanih vrednosti (nagib kolovoza, nagib svetiljki, tačna udaljenost optičkog centra svetiljke od kolovoza, tekstura asfalta (refleksiona klasa), zaprljanost asfalta, uticaj svetiljki iz bočnih ulica i iz noću osvetljenih kancelarija susednih objekata...). Preliminarna podešavanja instalacije su izvršena nakon postavljanja svetiljki, ali se iskustveno moglo pretpostaviti da će biti neophodne dodatne korekcije (npr. nagib kolovoza nije konstantan kroz celu testnu zonu, nagib svetiljki i njihova rotacija se često mogu razdesiti usled vetra i nedovoljno pritegnutih šrafova, lire se mogu pomeriti ukoliko nisu idealno „upale“ u otvor stuba, itd...). Prilikom finalnih podešavanja, krenulo se obrnutim putem da bi se izbeglo korišćenje vozila sa dizalicom dok se ne utvrdi da za dolazak istog na teren zaista postoji potreba - najpre su izvršena merenja sjajnosti koja su imala za cilj da provere da li je pretpostavljena refleksiona klasa kolovoza ispravna (tj. da li kolovozna površina

reflektuje svetlost na način koji je definisan tipom asfalta i pripadnošću odgovarajućoj refleksionoj klasi), a zatim i merenja osvetljenosti koja su imala za cilj da provere da li raspodela svetlosnog fluksa na kolovozu odgovara projektovanim vrednostima (tj. da li se optičke karakteristike svetiljki poklapaju sa projektovanim). Praktično, kombinacijom merenja sjajnosti i osvetljenosti može se doći do zaključka da li je instalacija pravilno podešena, a zatim nastaviti sa dodatnim korekcijama.

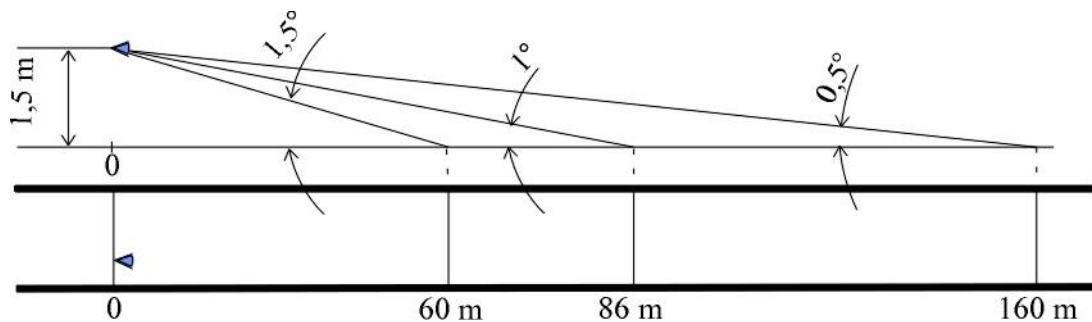
Merenja sjajnosti su vršena fotometrijskom kamerom LMK 98-4⁷⁹, proizvođača Techno Team GmbH (Nemačka), a za obradu podataka korišćen je pripadajući softver „LMK Labsoft extended“ koji omogućava zadavanje mernih područja prema želji i obradu rezultata merenja tako da se dobiju vrednosti sjajnosti u bilo kojoj tački oznacenog mernog područja. LMK 98-4 je digitalna kamera sa širokougaonim objektivom koji omogućuje merenje i snimanje sjajnosti čitave „scene“ (putnog pravca i okoline) tokom vožnje, onako kako to vidi vozač. Kamera ima spektralnu osetljivost prilagođenu spektralnoj osetljivosti ljudskog oka ($V(\lambda)$ filter). Kamera ima ugrađen CCD senzor koji omogućava snimanje sjajnosti u visokoj rezoluciji 1380 x 1030 piksela, što je značajno više od standardnog mernog (proračunskog) polja prema CIE 140 metodologiji. Fotometrijska kamera omogućava merenje raspodele sjajnosti (stacionarno i iz vozila) i vizuelnu prezentaciju rezultata merenja, uključujući povezivanje sa podacima i snimkom puta. Greška spektralne osetljivosti koja je određena merenjem je 2.5 %.



Slika 57. LMK 98-4 fotometrijska kamera⁷⁹

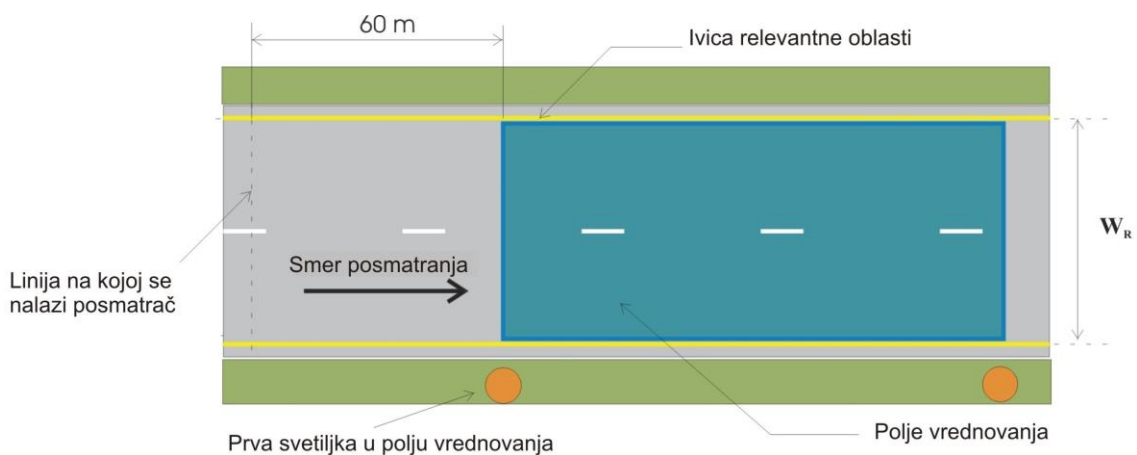
Kada se koristi za merenja raspodele sjajnosti na saobraćajnicama, kamera koristi podesivi objektiv žižne daljine 50 mm koji daje maksimalno vidno polje od $10^\circ \times 7^\circ$.

Za merenje srednje sjajnosti kolovoza neophodno je definisati merno polje (polje vrednovanja) i poziciju na koju se postavlja kamera. Polje posmatranja⁸⁰ je deo kolovoza dužine 100 m koji leži ispred posmatrača, a počinje na 60 m od njega. Uzima se da je prosečna visina očiju posmatrača 1.5 m, pa posmatrač ovaj deo kolovoza vidi pod uglovima koji su između 0.5° i 1.5° (slika 58).



Slika 58. Polje posmatranja⁸⁰

Pošto se pri vožnji polje posmatranja kreće zajedno sa vozačem, slika sjajnosti se ponavlja između svake dve susedne svetiljke. Deo kolovoza između dve susedne svetiljke istog niza svetiljki naziva se polje vrednovanja⁸⁰. U konkretnom slučaju (put bez srednjeg nevoznog pojasa) širina ovog polja jednaka je širini celog kolovoza.



Slika 59. Polje vrednovanja⁸⁰

Proračun sjajnosti je ograničen oblašću primene r- tabele, pošto se vrednosti u r – tabeli odnose na ugao posmatranja od 1° (r-tabela je tabela redukovanoeg koeficijenta sjajnosti,

koja se takođe zove i tabela refleksije²). Istraživanja su pokazala da r – tabela može da se koristi za opseg uglova od 0.5 ° do 1.5 °, što znači da r – tabela može da se primeni na tačke koje su udaljene od 57 m do 172 m (usvaja se 60 m i 170 m) od posmatrača, za usvojenu visinu očiju posmatrača od 1.5 m .

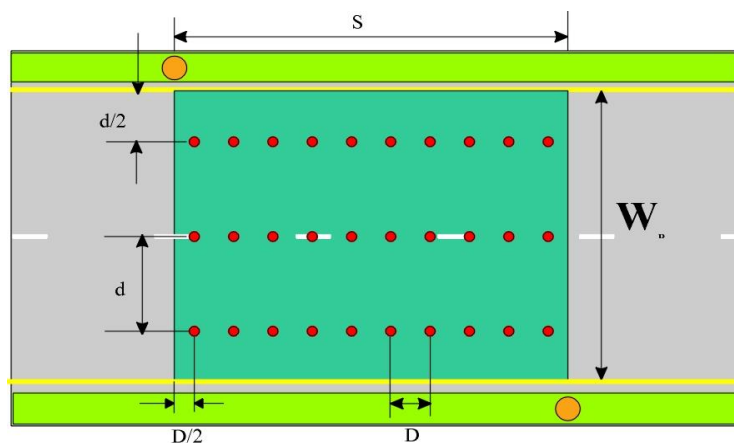
Položaj posmatrača je definisan kao tačka koja se nalazi na 1.5 m iznad kolovoza i koja je u uzdužnom smeru na 60 m od početka polja vrednovanja. Prema metodologiji iz preporuke CIE 140:2000⁷³, posmatrač se nalazi u simetralnoj ravni svake vozne trake. Srednja sjajnost (L_{sr}) i opšta ravnomernost sjajnosti (U_0) računaju se za celi kolovoz, za svaki položaj posmatrača, dok se podužna ravnomernost sjajnosti (U_L) računa u simetralnoj ravni svake vozne trake. U konkretnom slučaju, fotometrijska kamera je postavljena na stativ (tripod) po sredini desne kolovozne trake gledajući iz pravca ormana JO ka Hotelu „Holiday Inn“, na udaljenosti 60 m od polja vrednovanja (polje između LED svetiljki pod brojevima 3/4, a između NaVP svetiljki pod brojevima 9/10). Visina kamere je podešena tako da se objektiv nalazi na tačno 1.5 m, a kamera je usmerena paralelno sa uzdužnom osom kolovoza u pravcu polja vrednovanja (nagib kamere nije bitan jer je ugao posmatranja definisan visinom i rastojanjem, a merno polje se bira u okviru cele površine slike koju kamera snima).



Slika 60. Snimanje fotometrijskom kamerom sa stativa

Rezultati merenja se trenutno očitavaju u softveru i vrednosti se snimaju. Za merenja osvetljenosti korišćen je luksmetar tipa GOSSEN MAVOLUX 5032B⁸¹ visoke preciznosti (klasa B), pomenut u poglavlju 4.4.

Fotodetektor (sonda) luksmetra je konstruisan tako da vrši spektralnu korekciju, tj. ima spektralnu osetljivost prilagođenu spektralnoj osetljivosti ljudskog oka. Luksmetar ima i tzv. „kosinusnu korekciju“, tj. za sve svetlosne zrake koji na fotodetektor padaju pod upadnim uglom koji nije normalan na površinu fotodetektora, vrši se korekcija tako da instrument uvek meri horizontalnu osvetljenost u tački u kojoj je postavljena sonda. Treba napomenuti da su i fotometrijska kamera i luksmetar kalibrisani, kao i da za oba uređaja postoje uverenja o etaloniranju izdata od Instituta za fiziku, važeća tokom testnog perioda. Izabrane su iste tačke za merenje kao i za proračun horizontalne osvetljenosti, a prema metodologiji CIE 140:2000⁷³ (slika 61).



Slika 61. Izbor tačaka vrednovanja pri proračunu horizontalne osvetljenosti (CIE 140)⁸⁰

Tačke vrednovanja su ravnomerno raspoređene, pri čemu je:

S – rastojanje između uzastopnih svetiljki (pri dvostranom pomenom (cik-cak) rasporedu, uzastopne svetiljke se nalaze na različitim stranama puta),

D – rastojanje između tačaka vrednovanja u uzdužnom smeru,

N – broj tačaka vrednovanja u uzdužnom smeru, i

d – rastojanje između susednih tačaka vrednovanja u poprečnom smeru.

Za $S \leq 30$ m, $N = 10$, dok je za $S > 30$ m, N najmanji ceo broj koji ispunjava uslov $N \geq S/3$ (tj. $D \leq 3$ m).

Prvi poprečni red je pomeren za $D/2$ iza prve svetiljke (gledano sa mesta posmatrača).

Obe krajnje tačke su pomerene za $d/2$ od bliže ivice trake (ivice relevantne oblasti).

U konkretnom slučaju, merenja će se vršiti u 30 tačaka (10 podužno ($D=3$ m) x 3 poprečno ($d=2$ m)).



Slika 62. Obeležavanje mernih tačaka za merenje nivoa osvetljenosti u polju vrednovanja

Korišćenjem tabela osvetljenosti u proračunskim tačkama izvučenih iz fotometrijskih proračuna za NaVP i LED svetiljke (uzimajući faktor održavanja $MF=1$ za početne uslove), izvršena je komparativna analiza između proračunskih i izmerenih vrednosti u tačkama vrednovanja, a zatim su na osnovu dobijenih rezultata vršene dodatne korekcije koje su opisane u sledećem poglavlju.

5. POREĐENJE REZULTATA MERENJA SA FOTOMETRIJSKOG, ENERGETSKOG I ASPEKTA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

5.1 Hronologija merenja fotometrijskih veličina i dodatna podešavanja

Kompletna merenja koja su sprovedena kroz komparativnu analizu polaze od kriterijuma identičnih nivoa sjajnosti na kolovozu za NaVP i LED svetiljke koji predstavlja kamen temeljac na kojem se gradi doktorska disertacija. Da bi se obezbedili identični uslovi prilikom poređenja ova dva tipa izvora, neophodno je izvršiti finu regulaciju svetlosnog fluksa pre početka merenja. Za potrebe ovog podešavanja korišćeni su uređaji opisani u prethodnom poglavlju: mobilna fotometrijska kamera (luminansmetar), sistem daljinskog upravljanja i nadzora (telemenadžment sistem) i luksmetar kao pomoćno sredstvo. Izmerene vrednosti sjajnosti očitane kroz softverski paket fotometrijske kamere se porede sa projektovanim vrednostima (za faktor održavanja $MF=1$ jer sa radi sa početnim, a ne sa pogonskim vrednostima), a zatim se odstupanja koriguju implementacijom telemenadžment sistema – svetiljke se dimuju tačno onoliko koliko je potrebno da se izmereni srednji nivoi sjajnosti kolovoza u obe testne zone izjednače, međusobno i sa projektovanim nivoima (merenja su bila precizna i razlika u odnosu na željene nivoe sjajnosti je odstupala na drugoj decimali). Kombinovani rad kontrolnog sistema i fotometrijske kamere imao je za cilj da definiše vrednosti kontrolnog signala u korisničkom interfejsu za dobijanje svakog od željenih fotopskih (mezopskih) nivoa sjajnosti (ove vrednosti se biraju iz opsega celih brojeva 0-100 %, što omogućava precizna podešavanja željenih nivoa sjajnosti). Proces svih podešavanja na testnoj instalaciji je trajao sedam meseci, a u daljem tekstu su hronološki opisani koraci koji se prethodili konačnom podešenju. Razlog za ovako detaljan pregled pripremnih radnji leži u činjenici da se u izvođačkoj praksi često ne vodi dovoljno računa o ispunjenju projektovanih uslova, kao i u mogućem odstupanju optičkih performansi svetiljki od kataloških i drugačijim refleksionim karakteristikama kolovoza. Za Srbiju (i region) je usvojeno da asfaltni pokrivač pripada R3 refleksionoj klasi, ali su merenja refleksionih karakteristika pokazala da to često nije slučaj, kao i da refleksione karakteristike nisu homogene i da se menjaju duž istog puta (neujednačena zaprljanost kolovoza, različita tekstura asfaltnog pokrivača...). Ideja je da se ukaže na

moćnost drugačijeg pristupa projektovanju i izvođenju instalacija JO u budućnosti, a koji podrazumeva obaveznu proveru svih relevantnih parametara, uključujući i proveru refleksionih svojstava kolovoza (npr. korišćenjem mobilnog reflektometra).

Podsećanja radi, priložena je tabela 8 koja predstavlja redukovanu tabelu 4 sa onim rezultatima fotometrijskih proračuna koji su od značaja za dalja merenja.

Tabela 8. Redukovana tabela sa rezultatima fotometrijskih proračuna

Faktor održavanja	Lsr [cd/m ²]	U _o [%]	U _{l1} /U _{l2} [%]	E _{sr} [lx]	E _{min} /E _{sr} [%]
VOLTANA 3/LED/1A/ogledalo 5136/4000K/80W					
0.85	1.09	40	93/82	16.6	53
1	1.29	40	93/82	19.6	53
ONYX 2N/1419/položaj C3/100W					
0.87	1.04	50	77/70	17.8	62
1	1.19	50	77/70	20.4	62

1. Prva merenja sjajnosti sa fotometrijskom kamerom (17.12.2014) pokazala su da se izmerene vrednosti sjajnosti ne poklapaju sa projektovanim. Naredne noći (18.12.2014) izvršena su i prva merenja osvetljenosti (tabele 9 i 10). U tabelama su date izmerene i projektovane vrednosti, podužne i poprečne pozicije mernih tačaka u odnosu na polje vrednovanja 30 m x 6 m, kao i uporedne vrednosti srednjih nivoa i opštih ravnomernosti osvetljenosti.

Tabela 9. ONYX 2N/100 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 11 i 12

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke		
Mereno		31.0	25.4	14.5	10.3	9.4	9.5	10.5	15.0	23.8	31.5	5m	Eproj. = 20.4 lx Uo = 62%
Projektovano		34.8	25.7	15.8	12.8	12.7	12.7	12.8	15.8	25.7	34.8		
Mereno		27.2	24.1	16.5	13.0	12.2	11.8	12.4	15.9	21.1	25.7	3m	Emereno = 16.76 lx Uo = 56.09%
Projektovano		35.2	31.1	19.3	16.4	16.7	16.7	16.4	19.3	31.1	35.2		
Mereno		18.0	17.2	13.8	13.1	12.8	12.1	11.1	12.7	14.7	16.4	1m	RAZLIKA: -17.84%
Projektovano		19.4	19.9	14.7	15.0	16.9	16.9	15.0	14.7	19.9	19.4		
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m		

Tabela 10. VOLTANA 3/80 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 3 i 4

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke		
Mereno		42.3	33.6	25.7	22.2	18.2	18.4	21.7	27.5	34.4	44.3	5m	Eproj. = 19.6 lx Uo = 53.3%
Projektovano		35.5	27.6	20.9	17.1	14.8	14.8	17.1	20.9	27.6	35.5		
Mereno		33.8	27.3	21.8	18.3	15.4	15.8	17.3	21.1	27.3	34.3	3m	Emereno = 21 lx Uo = 38.1%
Projektovano		32.8	26.1	19.6	16.1	14.2	14.2	16.1	19.6	26.1	32.8		
Mereno		14.0	13.3	10.8	10.2	8.0	8.5	9.5	10.7	11.3	13.0	1m	RAZLIKA: +7.14%
Projektovano		18.8	15.6	13.0	10.9	10.4	10.4	10.9	13.0	15.6	18.9		
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m		

Može se zaključiti da su u slučaju NaVP svetiljki prosečne izmerene osvetljenosti za 17.84 % niže od prosečnih projektovanih vrednosti (iako su sjajnosti bile veoma bliske - izmereno 1.3 cd/m^2), a da su u slučaju LED svetiljki prosečne izmerene vrednosti više za 7.14 % (iako je izmereni nivo sjajnosti bio značajno viši – oko 2 cd/m^2). Takođe, može se primetiti da svetlosna raspodela kod LED svetiljki ne odgovara projektovanoj (izmerene vrednosti značajno opadaju uz suprotnu ivicu kolovoza), što je ukazalo na moguća odstupanja nagiba svetiljki u odnosu na projektovane. Nakon što je prethodnim merenjima utvrđeno da rezultati ne odgovaraju projektovanim vrednostima, urađene su 2 stvari:

- proveren je i iznova podešen nagib svake od 15 svetiljki (za obe zone nagib treba da bude 5° - slika 63). Ustanovljeno je da su u slučaju ONYX 2 svetiljki nagibi bili značajno manji (oko 2°), dok se u slučaju VOLTANA svetiljki nagib kretao između 3° i 4° . Takođe, dosta svetiljki (i neke od lira) su bile rotirane oko ose lire (stuba). U tabeli 11 date su nove podešene vrednosti nagiba svih svetiljki (prvih 6 svetiljki su LED, sve ostale su NaVP). Zbog fizičkih ograničenja nije bilo moguće idealno podesiti nagibe kod ONYX svetiljki, pa će se fotometrijski proračun prilagoditi srednjoj vrednosti nagiba od 4.1° .

Tabela 11. Nagibi svetiljki nakon podešavanja

Broj svetiljke	Nagib [$^\circ$]	Broj svetiljke	Nagib [$^\circ$]
Svetiljka 1	4.9	Svetiljka 9	3.8
Svetiljka 2	5.1	Svetiljka 10	4.2
Svetiljka 3	5	Svetiljka 11	4.1
Svetiljka 4	5	Svetiljka 12	4
Svetiljka 5	5.1	Svetiljka 13	4
Svetiljka 6	5	Svetiljka 14	4.9
Svetiljka 7	5.5	Svetiljka 15	4.5
Svetiljka 8	4		



Slika 63. Podešavanje nagiba

- zamenjen je optički blok kod svih svetiljki tipa ONYX 2 i stavljeni su nekorišćeni čisti optički blokovi (jedan od razloga za lošije rezultate bi mogao biti i gubitak inicijalnih performansi protektora, zaprljanost protektora, gubitak refleksionih karakteristika aluminijuma od kojeg je reflektor napravljen, lošija eloksaža...

2. Naredna merenja osvetljenosti izvršena su 26.12.2014, a rezultati su prikazani u tabelama 12 i 13.

Tabela 12. ONYX 2N/100 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 11 i 12 – nagib 4.1°

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke	
Mereno		28.2	22.1	13.8	10.3	10.6	11.3	11.5	14.1	21.9	29.8	5m Eproj. = 18.7 lx Uo = 66.2% Emereno = 17.02 lx Uo = 60.52% RAZLIKA: -8.98%
Projektovano		30.8	28.6	18.7	16.8	17.5	17.5	16.8	18.8	28.6	30.9	
Mereno		26.9	22.6	15.7	13.2	14.2	14.7	13.8	15.7	22.1	26.6	
Projektovano		22.3	22.2	16.0	15.8	17.5	17.5	15.8	16.0	22.2	22.4	
Mereno		16.5	16.9	13.5	13.8	15.3	15.1	13.3	12.6	16.6	17.9	
Projektovano		16.0	16.3	12.4	13.6	16.1	16.1	13.6	12.4	16.3	16.0	
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m	

Tabela 13. VOLTANA 3/80 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 3 i 4

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke	
Mereno		44.6	35.4	26.8	21.3	18.9	18.7	20.8	26.0	32.5	41.5	5m Eproj. = 19.6 lx Uo = 53.3% Emereno = 21.47 lx Uo = 41.92% RAZLIKA: +9.54%
Projektovano		35.5	27.6	20.9	17.1	14.8	14.8	17.1	20.9	27.6	35.5	
Mereno		34.8	27.6	21.3	18.1	16.5	17.0	17.5	21.4	26.8	34.3	
Projektovano		32.8	26.1	19.6	16.1	14.2	14.2	16.1	19.6	26.1	32.8	
Mereno		14.5	13.1	11.6	10.2	10.1	9.0	10.5	12.7	14.4	16.1	
Projektovano		18.8	15.6	13.0	10.9	10.4	10.4	10.9	13.0	15.6	18.9	
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m	

Rezultati su se popravili, ali i dalje odstupaju od projektovanih vrednosti. U slučaju LED svetiljki oni su skoro za 10 % viši od projektovanih, ali se svetlosna raspodela i dalje razlikuje od projektovane (stiče se utisak da je nagib i dalje manji od projektovanog jer su merene vrednosti svuda bile više sem uz suprotnu ivicu kolovoza).

3. Nakon ovih merenja napravljena je pauza zbog pogoršanja vremenskih uslova i snega, a sledeće izvršeno merenje bilo je merenje sjajnosti tokom noći 22.3.2015. Ovde treba napomenuti da ni druge okolnosti nisu išle naruku mernom procesu jer se krajem 2014. i početkom 2015. na testnoj lokaciji (u zoni LED svetiljki) aktiviralo gradilište (zgrada Hulk Banke). To je doprinelo značajnom zaprljanju segmenta ulice sa LED svetiljkama, a određena količina građevinskog materijala je bila rasuta po kolovozu. Takva zaprljanost kolovoza umnogome utiče na rezultate merenja sjajnosti (ne i osvetljenosti), pa je zahvaljujući podršci ekipa Gradske čistoće koje su izašle u susret kandidatovim molbama ulica bila dodatno oprana. Nakon pranja ulice sačekalo se nekoliko noći (praksa je pokazala da je potrebno najmanje 2-3 noći da se kolovoz potpuno osuši za merenja, čak i u letnjim uslovima), a zatim se pristupilo merenjima. Takođe, gradilište je tokom čitave noći bilo osvetljeno reflektorima postavljenim na kranove, pa je prilikom merenja najpre

izmeren njihov uticaj sa isključenim testnim svetiljkama da bi se imali validni rezultati (uticaj nije bio veliki budući da je udaljenost reflektora od kolovoza bila veća od 60 m). Za NaVP svetiljke je izmerena očekivana srednja sjajnost od 1.117 cd/m^2 (nešto niža vrednost od projektovane vrednosti (za $MF=1$) koja iznosi 1.19 cd/m^2), dok je u LED zoni ponovo izmerena visoka sjajnost od 2.39 cd/m^2 (očekivana projektovana vrednost (za $MF=1$) iznosi 1.29 cd/m^2), što je bilo skoro dvostruko više od očekivane vrednosti. Iako je ulica bila očišćena pre merenja, ne sme se odbaciti mogućnost da je manja količina peska (kvarca) ostala u porama asfalta i time uticala na refleksione karakteristike kolovoza (pre svega, na koeficijent sjajnosti za koji je nominalno usvojena vrednost $Q_0 \text{ norm} = 0.07$ za usvojenu refleksionu klasu R3²). Napominje se da su i tokom sledećih merenja pozivane ekipe Gradske čistoće za pranje testnog segmenta ulice, i to pred svako naredno merenje sjajnosti.

4. Nakon prethodnog merenja osvetljenosti je zaključeno da nagibi LED svetiljki treba da budu veći od onih koji su izmereni, pa je 24.3.2015. izvršeno je još jedno podešavanje, a nagib svih LED svetiljki podešen na 7° (ovaj proračun je priložen kao važeći u poglavlju sa Prilozima). Tek sa ovim nagibom vrednosti horizontalne osvetljenosti su postale bliske projektovanim - razlog za to može biti kontranagib kolovoza (on nije bio konstantan duž LED zone, izmeren je nagib u opsegu $0.2 - 2.5^\circ$ na različitim pozicijama), male nagnutosti stubova i lira (mereno ne više od 0.2°), neprimetne pomerivosti PMMA ploča sa sočivima u odnosu na projektovan položaj prilikom fiksiranja istih na površinu LED modula, ... Nakon toga je izvršeno merenje sjajnosti gde je za NaVP svetiljke dobijena srednja sjajnost od 1.5 cd/m^2 (više nego na prošlim merenjima) i 2.3 cd/m^2 za LED svetiljke (vrednosti slične prethodno izmerenim). Razmatralo se šta bi mogao biti uzrok ovih značajnih razlika (konsultacije su vršene sa kolegama sa ETF-a u Beogradu i iz Instituta za fiziku) i izdvojena su dva moguća razloga:

- Pogrešno unet korekcionni faktor za LED svetiljke u fotometrijskoj kameri - početkom juna 2015. se sa kolegama iz Instituta za fiziku izašlo na teren da se spektrometrom izmere spektralne karakteristike izvora svetlosti. Zapravo, umesto da se izmeri direktno izračena svetlost usmeravanjem sonde spektrometra u pravcu svetiljke (izvora svetlosti), sonda je usmerena ka kolovozu pod uglom od 45° da bi

se ustanovilo da li je relativna spektralna raspodela snage zračenja bele LED ista kao ona koja bi se dobila direktnim merenjem i koja je kataloški data za korišćeni tip LED čipa. Ovo je posredna metoda koja omogućuje da se ustanovi da li je neki materijal u strukturi asfaltnog pokrivača mogao toliko da promeni spektralnu raspodelu LED (npr., da se zbog promenjenih refleksionih svojstava asfalta više reflektuje svetlost iz plavog dela spektra i time dobiju viši nivoi sjajnosti koje „vidi“ kamera). Pošto su rezultati bili u skladu sa očekivanjem, odbačena je i mogućnost loše podešenog korekcionog faktora u fotometrijskoj kameri kao razlog za merne neusaglašenosti.

- Razlike u vrednostima sjajnosti u odnosu na projektovane su posledica drugačije refleksione klase kolovoza od pretpostavljene u LED zoni (klasa R3007) - odustalo se od ideje da je asfalt toliko različit u dvema zonama, pre svega jer se jasno vidi da je on gotovo homogen duž čitave testne zone (približno 400 m), ali i zbog činjenice da nije realno očekivati takve razlike u zonama koje su presvučene asfaltom u istom vremenskom periodu (refleksiona klasa se sigurno razlikuje od projektovane, ali razlika nije takva da bi se mogli očekivati dvostruko viši nivoi sjajnosti). Ostaje da se tokom narednih merenja vidi da li se menja srednji koeficijent sjajnosti kroz testnu zonu, čak i u slučaju da refleksiona klasa ostaje ista (R3).
- 5. Sledeća merenja izvršena su *12.6.2015*. Najpre su izmerene sjajnosti i ustanovljeno da je ovog puta srednja sjajnost u LED zoni 1.5 cd/m^2 , dok je u NaVP zoni bila oko 1 cd/m^2 . Rezultati su opet bili značajno drugačiji od prethodnih merenja, jedino što se nije promenilo je odnos LED/NaVP gde se u LED delu dobijala oko 50 % viša sjajnost. Zatim su izvršena i merenja osvetljenosti u NaVP zoni gde su primećene velike razlike u pojediniim tačkama između projektovanih i merenih vrednosti (npr. izmereno je 19.8 lx tamo gde se proračunski očekivalo 31.1 lx). Nakon završetka ovih merenja dogovoreno je da se još jednom provere NaVP svetiljke jer je sve ukazivalo na neki problem.
- 6. Nakon još jednog izlaska na teren *18.6.2015*, demontiran je jedan NaVP optički blok i upoređen sa novim optičkim blokom. Tu je ustanovljeno (razlike nisu lako uočljive) da je ogledalo u novom optičkom bloku sjajnije (bolje polirano, kvalitetnija završna obrada koja omogućava efikasniju refleksiju), nakon čega se pristupilo zameni svih optičkih blokova u NaVP svetiljkama. Merenja su izvršena najpre sa postojećim sijalicama tipa Master Son-T Pia Plus 100 W (tabela 14), a

zatim se probalo sa potpuno novim sijalicama sa povišenim fluksom tipa Lucalox LU100/10/XO/T/40⁸², proizvođača GE (tabela 15). Rezultati koji su dobijeni sa GE sijalicama bili su neznatno bolji, ali je bilo za očekivati da će se rezultati popraviti u korist GE kada se rad i svetlosni fluks sijalica stabilizuje (nakon 100 h, što je opšteprihvaćeno vreme potrebno za stabilizaciju izvora svetlosti). Upravo zato su zamenjene i sijalice zajedno sa optičkim blokovima i merenje je krenulo od početka.

Tabela 14. ONYX 2N/100 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 10 i 11 – nagib 4.1°, promenjen optički blok, stara sijalica Master SON-T Pia Plus 100 W, Philips

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke	
Mereno		28.9	21.2	14.9	11.8	11.2	11.6	13.0	15.9	22.9	33.3	5m Eproj. = 20.6 lx Uo = 63.8% Emereno = 19.06 lx Uo = 58.76% RAZLIKA: -7.48%
Projektovano		36.4	26.9	16.3	13.2	13.1	13.1	13.2	16.3	26.9	36.4	
Mereno		30.7	24.9	17.6	15.3	15.7	16.3	17.6	18.7	26.0	31.5	
Projektovano		34.8	31.0	19.4	16.7	17.1	17.1	16.7	19.4	31.0	34.8	
Mereno		20.2	19.4	16.0	15.7	17.4	16.6	15.4	14.0	18.7	19.5	
Projektovano		18.8	19.3	14.3	14.9	17.0	17.0	14.9	14.2	19.3	18.8	
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m	

Tabela 15. ONYX 2N/100 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 10 i 11 – nagib 4.1°, promenjen optički blok, nova sijalica Lucalox 100/10/XO/T/40, General Electric

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke	
Mereno		30.5	22.7	15.8	11.9	11.5	12.1	12.1	15.8	28.1	30.7	5m Eproj. = 20.6 lx Uo = 63.8% Emereno = 19.24 lx Uo = 59.77% RAZLIKA: -6.60%
Projektovano		36.4	26.9	16.3	13.2	13.1	13.1	13.2	16.3	26.9	36.4	
Mereno		30.4	25.3	18.3	15.4	15.5	16.4	16.5	15.9	23.0	31.1	
Projektovano		34.8	31.0	19.4	16.7	17.1	17.1	16.7	19.4	31.0	34.8	
Mereno		19.8	19.7	16.4	15.5	17.2	17.3	15.8	16.4	19.7	20.4	
Projektovano		18.8	19.3	14.3	14.9	17.0	17.0	14.9	14.2	19.3	18.8	
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m	

7. Nakon što je prošao period stabilizacije rada NaVP izvora od 100h, nekoliko puta se izašlo na merenja osvetljenosti - 2.7.2015, 6.7.2015. i na kraju 14.7.2015. Rezultati prikazani u tabelama 16 i 17 predstavljaju konačne rezultate osvetljenosti nakon što je izvršeno poslednje podešavanja svih parametara testne instalacije pre početka električnih merenja.

Tabela 16. ONYX 2N/100 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 9 i 10 – nagib 4.1°, promenjen optički blok, nova sijalica Lucalox 100/10/XO/T/40, General Electric

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane									Merne tačke	
Mereno		29.5	22.9	16.1	12.2	11.6	12.5	13.8	17.6	25.8	33.4	5m Eproj. = 20.6 lx Uo = 63.8% Emereno = 19.62 lx Uo = 59.12% RAZLIKA: -4.76%
Projektovano		36.4	26.9	16.3	13.2	13.1	13.1	13.2	16.3	26.9	36.4	
Mereno		30.3	25.5	18.9	15.5	15.8	17.0	17.3	19.0	28.6	31.9	
Projektovano		34.8	31.0	19.4	16.7	17.1	17.1	16.7	19.4	31.0	34.8	
Mereno		19.4	18.7	16.4	15.0	17.0	17.2	15.5	14.6	20.2	19.4	
Projektovano		18.8	19.3	14.3	14.9	17.0	17.0	14.9	14.2	19.3	18.8	
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m	

Tabela 17. VOLTANA 3/80 W - merenja osvetljenosti vršena između svetiljki br. 3 i 4, promenjen optički blok, nagib 7°

		MF = 1 / stubovi sa gornje strane										Merne tačke	
Mereno		38.2	30.1	24.9	20.4	18.0	18.1	21.1	25.6	31.9	38.9	5m	Eproj. = 19.8 lx Uo = 56% Emereno = 22 lx Uo = 53.18% RAZLIKA: +11.11%
Projektovano		34.8	26.6	19.8	16.0	14.3	14.3	16.0	19.8	26.6	34.7		
Mereno		34.6	27.6	21.5	18.1	16.8	17.2	19.2	22.7	28.9	35.3	3m	
Projektovano		33.0	26.4	20.1	16.4	14.2	14.2	16.4	20.1	26.4	33.0		
Mereno		18.5	16.0	13.0	12.2	11.7	12.0	13.6	15.7	18.4	20.2	1m	
Projektovano		21.4	17.5	14.1	11.7	11.1	11.1	11.7	14.1	17.5	21.4		
Merne tačke		1.5m	4.5m	7.5m	10.5m	13.5m	16.5m	19.5m	22.5m	25.5m	28.5m		

Može se konstatovati da se odstupanja svih parametara osvetljenosti (srednja osvetljenost i opšta ravnomernost osvetljenosti) u prihvatljivim granicama merne greške. U slučaju NaVP svetiljki, izmereni nivo srednje osvetljenosti je za 4.76 % niži od projektovanih vrednosti, dok je merena opšta ravnomernost osvetljenosti za 7.34 % niža od projektovane. U slučaju LED svetiljki, izmereni nivo srednje osvetljenosti je za 11.11 % viši od projektovanih vrednosti, dok je merena opšta ravnomernost osvetljenosti za 5.04 % niža od projektovane.

Završna podešavanja po pitanju nivoa osvetljenosti još uvek nisu davala odgovor na pitanje zašto su dobijani skoro dvostruko viši nivoi sjajnosti u LED zoni prilikom merenja fotometrijskom kamerom, dok su istovremeno u NaVP zoni dobijani rezultati bliski projektovanim. Posebno su zbunjivale dve stvari: 1) merene sjajnosti u LED zoni su uvek bile za oko 50 % više od onih merenih u NaVP zoni, bez obzira na to kolika je bila vrednost te sjajnosti i, 2) ovo nije bila posledica različitih refleksionih karakteristika kolovoza u dvema zonama jer su one, iako prisutne, bile prihvatljivo male i nisu mogle objasniti ovu razliku. Rekonstrukcijom svih izvršenih merenja, a imajući u vidu činjenicu da su se merene sjajnosti razlikovale čak i u slučaju uzastopnih merenja na istom polju vrednovanja sa kratkim vremenskim razmacima između dva merenja (nekad kraćim i od 45 minuta), otkriven je problem za koji se ispostavilo da je trivijalan. Naime, prilikom prebacivanja kamere iz jedne zone u drugu nije se izlazilo iz softvera (računar je sve vreme bio napajan preko invertora i priključen preko otvora za upaljač u kolima), već bi se samo izvukao RS-232 kabl, a zatim ponovo priključio na novom mernom mestu. Ovo je iz nepoznatog razloga dovelo do blokiranja softvera koji bi izbacivao vrednosti koje su odstupale od realnih. Kada bi se softver zatvorio nakon pomeranja kamere i ponovo otvorio, rezultati bi bili potpuno drugačiji i usklađeni sa projektovanim vrednostima.

8. Sledeća merenja sjajnosti vršena su u NaVP zoni i ustanovljeno je da su se rezultati značajno popravili zamenom optičkog bloka (sa 1 cd/m^2 na 1.346 cd/m^2) - ova merenja od 16.7.2015. su usvojena kao referentna za NaVP zonu. Merenja LED sjajnosti su takođe izvršena 16.7.2015, a zatim i 5.8.2015. – ovi rezultati su praktično povrdili rezultate merenja od 12.6.2015. kada je izmerena srednja sjajnost u LED zoni od približno 1.5 cd/m^2 - merenja od 12.6.2015. su usvojena kao referentna za LED zonu.

Na osnovu referentnih merenja, uzeto je da je početni nivo sjajnosti onaj koji se ima u NaVP zoni za kontrolni nivo od 100 % (svetiljke nisu dimovane), tj. nivo sjajnosti od **1.346 cd/m^2** . Da bi se imali isti početni uslovi, LED svetiljke su dimovane dok se mereni nivo sjajnosti u LED zoni nije spustio na približno istu vrednost (vrednost nivoa sjajnosti pri kontrolnom nivou od 100 % iznosi 1.498 cd/m^2). Za nivo kontrolnog signala od 87 %, dobija se nivo sjajnosti u LED zoni od **1.346 cd/m^2** , posle čega su postignute jednake početne vrednosti sjajnosti u obe testne zone.

U ovom trenutku je neophodno vratiti se na zaključke o nehomogenosti i različitim refleksionim karakteristikama asfalta u NaVP i LED zoni. Najveći broj suvih kolovoznih površina može se dovoljno dobro okarakterisati sa dva koeficijenta - *stepenom ogledalnosti* (S_1) koji definiše raspodelu (usmerenost refleksije) svetlosti na površini kolovoza i *stepenom svetline* koji se određuje srednjim koeficijentom sjajnosti Q_0 , a koji linearno utiče na nivo sjajnosti na površini kolovoza². Praktično, može se reći da S_1 određuje refleksionu klasu, a Q_0 (ili $Q_0 \text{ norm}$) intenzitet reflektovane svetlosti. Iako su merene vrednosti sjajnosti nešto više od izračunatih, to ne predstavlja problem za analizu ukoliko su u obe testne zone te vrednosti proporcionalno više za isti ili približno isti procenat. To bi značilo da je normalizovani koeficijent sjajnosti veći od 007 (koliko se nominalno usvaja za R3007 refleksionu klasu u Srbiji), ali da se stepen ogledalnosti (S_1) nalazi u definisanom opsegu za izabranu klasu, tj. da se refleksiona klasa ne menja. Određivanje refleksione klase kolovoza se može obaviti laboratorijskim merenjima, upoređivanjem materijala putnog pokrivača sa standardnim materijalima i merenjem na licu mesta. Nažalost, iako je postojala ideja da se provera tipa refleksione klase kolovoza izvrši merenjem na licu mesta, zbog objektivnih okolnosti nije bilo moguće koristiti Memphis mobilni reflektometar kompanije Schröder. Umesto toga,

određivanje refleksionih karakteristika kolovoza je izvršeno poređenjem dobijenih vrednosti sa predefinisanim vrednostima refleksionih klasa u okviru različitih klasifikacionih sistema. Urađeni su fotometrijski proračuni za sve standardne klasifikacione sisteme date u okviru softverskog paketa Ulysse III (vrednosti su date samo za posmatrača u desnoj traci sa strane stubova).

Tabela 18. Analiza refleksionih klasa za obe testne zone

Ref. klasa	Q ₀	VOLTANA 3/24 LED/1000mA/5136/80W							ONYX 2N/100W/1419						
		MF=1							MF=1						
		L _{sr} (Obs 1) [cd/m ²]	L _{min} [cd/m ²]	L _{max} [cd/m ²]	U _o [%]	U ₁₁ [%]	U ₁₂ [%]	TI [%]	L _{sr} (Obs 1) [cd/m ²]	L _{min} [cd/m ²]	L _{max} [cd/m ²]	U _o [%]	U ₁₁ [%]	U ₁₂ [%]	TI [%]
C1010	0.10	1.97	1.00	3.20	50.89	63	61	9.1	1.95	1.17	3.18	60.29	53	73	6.6
C2007	0.07	1.34	0.62	2.04	46.07	92	71	12.3	1.26	0.66	1.71	52.62	78	72	9.4
N1010	0.10	1.97	1.04	3.20	52.84	57	58	9	1.96	1.23	3.25	62.78	48	69	6.6
N2007	0.07	1.39	0.69	2.19	49.88	72	67	12	1.35	0.81	2.06	59.90	63	80	8.8
N3007	0.07	1.35	0.62	2.10	45.95	89	75	12.2	1.27	0.68	1.77	53.79	75	76	9.3
N4008	0.08	1.43	0.62	2.40	43.23	92	85	11.7	1.30	0.59	2.11	45.82	75	67	9.2
R1010	0.10	1.89	1.08	2.81	56.82	66	65	9.3	1.87	1.19	2.84	63.77	57	78	6.8
R2007	0.07	1.36	0.70	2.04	51.77	84	78	12.2	1.30	0.71	1.80	54.95	68	71	9.1
R3007	0.07	1.29	0.62	1.98	48.28	91	82	12.7	1.21	0.59	1.78	49.30	76	67	9.8
R3008	0.08	1.47	0.71	2.26	48.29	91	82	11.4	1.37	0.68	2.03	49.32	76	67	8.8
R4008	0.08	1.37	0.61	2.27	44.29	91	85	12.1	1.24	0.57	1.93	46.01	73	64	9.5
W2015	0.15	2.94	0.55	8.88	18.78	56	68	6.6	2.39	0.56	7.09	23.53	49	55	5.6
W3020	0.20	3.42	0.46	12.11	13.52	53	65	5.8	2.68	0.50	9.32	18.79	46	60	5.1
W4025	0.25	3.40	0.37	14.49	10.86	54	62	5.8	2.58	0.44	9.89	17.03	48	65	5.3

U tabeli 19 prikazani su rezultati dobijeni novim fotometrijskim proračunima za različite vrednosti normalizovanog koeficijenta sjajnosti Q₀ norm (0.07 i 0.08), proistekli iz korekcija nagiba i kao posledica zamene optičkih blokova i sijalica kod NaVP svetiljki.

Tabela 19. Tabela sa rezultatima fotometrijskih proračuna nakon korekcija nagiba i zamene optičkih blokova i sijalica kod NaVP svetiljki

Faktor održavanja	L _{sr} [cd/m ²]	U _o [%]	U ₁₁ /U ₁₂ [%]	TI [%]	SR	E _{sr} [lx]	E _{min} /E _{sr} [%]
VOLTANA 3/LED/1A/ogledalo 5136/4000K/80W - nagib 7° / Q₀ norm = 0.07							
0.85	1.1	46	91/82	12.7	0.5	16.9	56
1	1.29	46	91/82	12.7	0.5	19.8	56
VOLTANA 3/LED/1A/ogledalo 5136/4000K/80W - nagib 7° / Q₀ norm = 0.08							
0.85	1.25	46	91/82	11.4	0.5	16.9	56
1	1.47	46	91/82	11.4	0.5	19.8	56
ONYX 2N/1419/položaj C3/100W - nagib 4.1° / novi optički blok i sijalice / Q₀ norm = 0.07							
0.87	1.05	47	76/67	9.8	0.5	17.9	64
1	1.21	47	76/67	9.8	0.5	20.6	64
ONYX 2N/1419/položaj C3/100W - nagib 4.1° / novi optički blok i sijalice / Q₀ norm = 0.08							
0.87	1.2	47	76/67	8.8	0.5	17.9	64
1	1.37	47	76/67	8.8	0.5	20.6	64

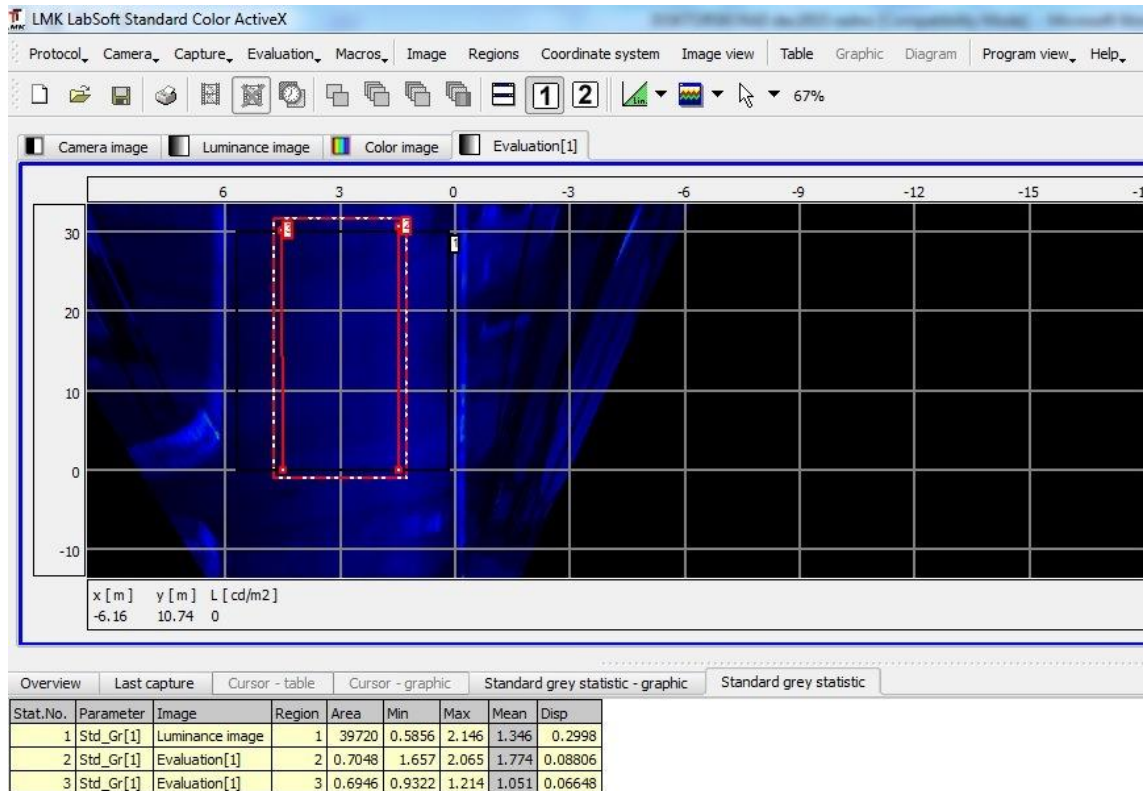
Može se konstatovati da rezultati dobijeni merenjem sjajnosti gotovo u potpunosti odgovaraju rezultatima dobijenim novim fotometrijskim proračunima za refleksionu

klasu **R3008**, za obe grupe svetiljki! U slučaju NaVP svetiljki izmerena vrednost sjajnosti od 1.346 cd/m^2 je niža od projektovane vrednosti sjajnosti od 1.37 cd/m^2 za 1.75 %, dok je u slučaju LED svetiljki izmerena vrednost sjajnosti od 1.498 cd/m^2 viša od projektovane vrednosti sjajnosti od 1.47 cd/m^2 za 1.9 %. Izmerene vrednosti sjajnosti minimalno odstupaju od projektovanih, pa se može konstatovati da je refleksiona klasa kolovoza u testnoj zoni zapravo R3008 (tip refleksione klase ostaje R3, ali je normalizovani koeficijent sjajnosti Q_0 norm povećan sa 0.07 na 0.08). Niža od dve izmerene vrednosti sjajnosti (1.346 cd/m^2 u NaVP zoni) je uzeta kao referentna jer za dobijanje iste nije potrebno dimovati svetiljke (kontrolni signal je na maksimalnoj vrednosti od 100 %). Istovremeno, LED svetiljke su dimovane da bi se vrednost sa 1.498 cd/m^2 spustila na vrednost približno istu sa nivoom sjajnosti u NavP zoni (iterativnim postupkom je utvrđeno da je u korisničkom softveru potrebno podesiti kontrolni signal na 87 % da bi se dobila vrednost sjajnosti od 1.346 cd/m^2).

Na slikama 64 i 65 prikazane su strane iz softvera fotometrijske kamere, za izmerene nominalne nivoe sjajnosti (prema objašnjenju iz prethodnog pasusa). Nakon što je kamera fiksirana na definisani položaj, iscrtano je u softveru polje vrednovanja za koje softver izbacuje vrednost srednje sjajnosti i opšte ravnomernosti sjajnosti, kao i linije u osama obe vozne trake (slika 66) za određivanje podužne ravnomernosti sjajnosti.



Slika 64. Slika sjajnosti za polje vrednovanja u NaVP zoni između stubova 9 i 10

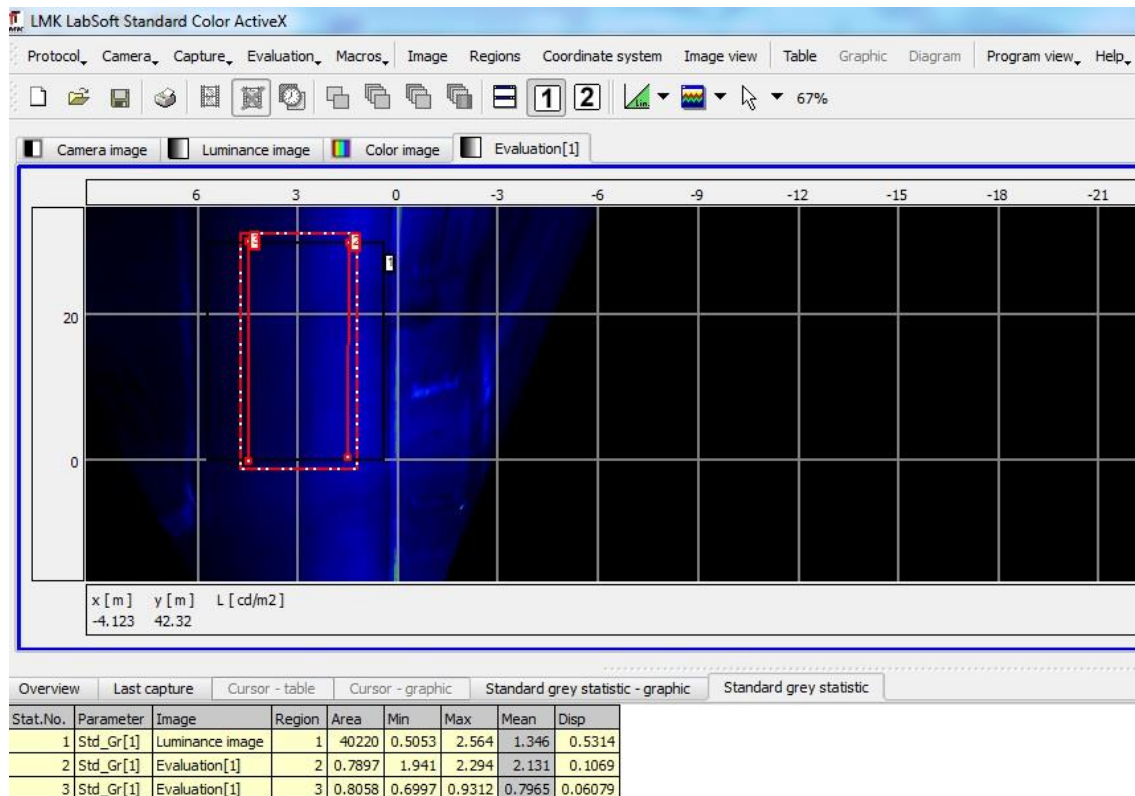


Slika 65. Polje vrednovanja u NaVP zoni prikazano iz drugog ugla, sa iscrtanim linijama za određivanje podužne ravnomernosti sjajnosti između stubova 9 i 10

U donjem delu slike 65 vidi se i tabela sa zbirnim vrednostima – u redu 1 nalaze se vrednosti za određivanje srednje sjajnosti i opšte ravnomernosti sjajnosti, dok su u redovima 2 i 3 date vrednosti za određivanje podužne ravnomernosti sjajnosti za svaku od dve vozne trake (metodologija opisana u preporuci CIE 140:2000). Isti princip je primenjen i za LED svetiljke i prikazan na slikama 66 i 67.



Slika 66. Slika sjajnosti za polje vrednovanja u LED zoni između stubova 3 i 4



Slika 67. Polje vrednovanja u LED zoni prikazano iz drugog ugla, sa iscrtanim linijama za određivanje podužne ravnomernosti sjajnosti između stubova 3 i 4

Tabela 20 daje uporedne merne i proračunske vrednosti za oba tipa svetiljki.

Tabela 20. Tabela sa rezultatima dobijenim merenjima i fotometrijskim proračunom

SVETILJKE ONYX 2N/100W - merene vrednosti						
L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	L_{sr} [cd/m ²]	U_o [%]	U_{L1} [%]	U_{L2} [%]	Kontrolni signal [%]
0.5856	2.146	1.346	43.51	80.24	76.79	100
SVETILJKE ONYX 2N/100W - proračunske vrednosti						
0.68	2.03	1.37	49.32	76.00	67.00	
SVETILJKE VOLTANA 3/80W - merene vrednosti						
L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	L_{sr} [cd/m ²]	U_o [%]	U_{L1} [%]	U_{L2} [%]	Kontrolni signal [%]
0.5053	2.564	1.346	37.54	84.61	75.14	87
SVETILJKE VOLTANA 3/80W - proračunske vrednosti						
0.71	2.26	1.47	48.29	91.00	82.00	

Može se primetiti da merene opšte i podužne ravnomernosti odstupaju od proračunskih (niže su). Razlog leži i u činjenici da fotometrijska kamera tretira značajno veći broj tačaka u kojima se meri sjajnost (1380 x 1030), pa iako to nema većeg uticaja na usrednjenu vrednost nivoa sjajnosti, može značajnije uticati na vrednost opšte i podužne

ravnomernosti (obe veličine zavise od minimalnih sjajnosti, pa je dovoljno da u kalkulaciju „upadne“ samo jedna tačka sa nižom vrednošću koju ne tretira fotometrijski proračun). Npr., ako se pogleda tabela sjajnosti izvučena iz fotometrijskog proračuna za Voltanu 3 (slučaj kada je posmatrač u desnoj kolovoznoj traci, sa strane na kojoj je i niz stubova), može se videti raspored proračunskih tačaka, kao i da se poslednji red tačaka nalazi na liniji $y = 5.5$ m.

[m]	5.50	0.82	0.75	0.74	0.76	0.73	0.71	0.72	0.73	0.77	0.83
	4.50	1.15	1.03	0.96	0.97	0.96	0.96	0.95	0.98	1.08	1.18
	3.50	1.46	1.33	1.21	1.22	1.21	1.24	1.29	1.30	1.39	1.49
	2.50	1.76	1.64	1.55	1.54	1.54	1.59	1.65	1.66	1.72	1.78
↻	1.50	2.02	1.97	1.94	1.96	1.95	2.00	1.93	1.84	1.93	1.95
	0.50	2.26	2.19	2.15	2.20	2.18	2.14	1.99	1.92	2.10	2.19
		1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50 [m]

Slika 68. Proračunsko polje za određivanje sjajnosti za svetiljku Voltana 3

Upravo u tom redu se i nalazi minimalna proračunata sjajnost od 0.71 cd/m^2 . Može se očekivati da se još niže vrednosti sjajnosti kriju u zoni između $y = 5.5$ m i $y = 6$ m, a koja ne ulazi u proračun za opštu ravnomernost sjajnosti. Nasuprot tome, kod merenja fotometrijskom kamerom, softver tretira mnogo više tačaka, a upravo u toj zoni je tačka sa nižom minimalnom sjajnošću od 0.5053 cd/m^2 (tabela 20) u odnosu na projektovanu vrednost.

Analiza izvršenih fotometrijskih merenja je pokazala da realni uslovi i pretpostavljeni parametri za izvođenje fotometrijskih merenja mogu značajno odstupati od projektovanih (ili laboratorijskih) vrednosti. Inicijalni fotometrijski proračuni su rađeni za srednju pogonsku sjajnost kolovoza od 1 cd/m^2 (za NavP zonu dobijena početna vrednost sjajnosti od 1.19 cd/m^2 , a za LED 1.29 cd/m^2). Ako bi se i u tom slučaju nivo sjajnosti u NaVP zoni uzeo kao referentan, nivo sjajnosti u LED zoni bi trebalo smanjiti za 7.75 %. Nakon svih podešavanja, izmereni nivo sjajnosti od 1.498 cd/m^2 u LED zoni je potrebno smanjiti za 10.15 % da bi se dobila referentna vrednost nivoa sjajnosti od 1.346 cd/m^2 . Ovi relativni odnosi se nisu mnogo promenili, ali je bitno naglasiti da će se ova razlika odraziti na energetske pokazatelje kvaliteta – samim tim što merenja na LED svetiljkama startuju sa kontrolnim signalom od 87 %, za očekivati je da se na nižim nivoima sjajnosti pojavi problem sa niskim faktorom snage, što će biti analizirano u narednim poglavljima.

5.2 Rezultati električnih merenja očitani kroz telemenadžment sistem

Na osnovu definisanih referentnih vrednosti za nivo sjajnosti i kontrolni signal, iterativnim postupkom se podešavaju vrednosti kontrolnog signala u korisničkom interfejsu na osnovu izmerenih vrednosti ostalih (nižih) nivoa sjajnosti fotometrijskom kamerom. Određuju se kontrolni nivoi za svaki od definisanih nivoa sjajnosti tretiranih u analizi u skladu sa međunarodnim preporukama i standardima (1 cd/m^2 , 0.75 cd/m^2 i 0.5 cd/m^2 za fotopske i 0.86 cd/m^2 , 0.63 cd/m^2 i 0.4 cd/m^2 za mezopske nivoe sjajnosti). Ispod je data tabela 21 sa vrednostima nivoa sjajnosti i vrednostima kontrolnog signala za grupnu komandu koje je neophodno upisati u korisnički interfejs da bi se svetiljke dimovale. Može se primetiti da prilikom fine regulacije nije uvek bilo moguće podesiti nivoe sjajnosti da budu identični sa referentnim vrednostima, ali su odstupanja minimalna i u potpunosti prihvatljiva.

Tabela 21. Kontrolni signali za svaki od definisanih fotopskih i mezopskih nivoa sjajnosti

Klasa osvetljenja	NaVP [cd/m^2]	Kontrolni signal [%]	LED fotopsko [cd/m^2]	Kontrolni signal [%]	LED mezopsko [cd/m^2]	Kontrolni signal [%]
/	1.346	100	1.346	87	/	/
M3	1.006	73	1.018	60	0.86	47
M4	0.745	55	0.753	39	0.63	31
M5	0.5012	38	0.4939	23	0.3965	18

Očitavanja merenih vrednosti korisničke stranice telemenadžment sistema su počela 12.8.2015, a planirano je da se vrednosti očitavaju do 30.1.2016 (predviđeno trajanje očitavanja je nešto kraće od 6 meseci). Očitavanja (merenja) startuju sa nominalnim režimom (1.346 cd/m^2), a planirano je da za svaki od standardnih (1.346 cd/m^2 , 1 cd/m^2 , 0.75 cd/m^2 i 0.5 cd/m^2) i mezopskih režima (0.86 cd/m^2 , 0.63 cd/m^2 i 0.4 cd/m^2) period očitavanja bude 20 dana (izabran je period deljiv sa 10 jer se digitalna brojlila moraju očitavati na svakih 10 dana). Nakon očitavanja za standardne i mezopske režime, u sistemu su podešeni mešoviti režimi sa intervalom očitavanja rezultata merenja od 10 dana. Mešoviti režim predstavlja dinamički scenario rada testne instalacije gde se tokom noćnih sati u određenom trenutku automatski prelazi iz jednog režima u drugi (obično režim nižeg nivoa sjajnosti, sem pred svitanje kada se sistem automatski vraća u nominalni režim rada)). Mešoviti režimi zapravo najviše odgovaraju

realnim uslovima vožnje – poznavajući saobraćajne prilike u nekom mestu i promenu gustine saobraćaja (i prisustvo pešaka) tokom noćnih sati, moguće je obarati nivo sjajnosti u više koraka (stepenasta regulacija) i time ostvariti značajne uštede u potrošnji električne energije ne utičući na bezbednost učesnika u saobraćaju. Merenja su vršena za 4 mešovita režima, a pregled svih implementiranih režima je dat u tabeli 22.

Tabela 22. Režimi rada instalacije tokom testnog perioda

NaVP	LED	SCENARIO RADA	PERIOD
FOTOPSKI REŽIMI			
1.346 cd/m ²	1.346 cd/m ²	tokom cele noći	12.8.2015. - 10.9.2015.
1 cd/m ²	1 cd/m ²	tokom cele noći	11.9.2015. - 30.9.2015.
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	tokom cele noći	1.10.2015. - 20.10.2015.
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	tokom cele noći	21.10.2015. - 10.11.2015.
MEZOPSKI REŽIMI			
1 cd/m ²	0.86 cd/m ²	tokom cele noći	2.12.2015. - 21.12.2015.
0.75 cd/m ²	0.63 cd/m ²	tokom cele noći	16.11.2015. - 1.12.2015.
0.5 cd/m ²	0.4 cd/m ²	tokom cele noći	14.4.2016. - 23.4.2016.
MEŠOVITI REŽIMI			
REŽIM 1 - MEZOPSKI SCENARIO			
1 cd/m ²	0.86 cd/m ²	uključenje - 21:40	20.1.2016. - 30.1.2016.
0.75 cd/m ²	0.63 cd/m ²	21:40 - 02:40	
0.5 cd/m ²	0.4 cd/m ²	02:40 - 05:40	
1 cd/m ²	0.86 cd/m ²	05:40 - isključenje	
REŽIM 2 - FOTOPSKI SCENARIO			
1 cd/m ²	1 cd/m ²	uključenje - 21:40	10.1.2016. - 19.1.2016.
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	21:40 - 02:40	
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	02:40 - 05:40	
1 cd/m ²	1 cd/m ²	05:40 - isključenje	

U tabeli su samo prikazani periodi u kojima je realizovano neprekinuto očitavanje. Tokom prethodnih 9 meseci (zaključno sa aprilom 2016) bilo je perioda u kojima je program u sistemu često menjan radi nestandardnih merenja, neke od svetiljki koje ne pripadaju testnoj instalaciji su bile greškom uključene, signal (MTK komanda) za uključenje/isključenje instalacije nije dolazio u pravom trenutku, ispitivan je odziv sistema i pravovremenost prikazivanja informacije o eventualnom kvaru na

pojedinačnim svetiljkama (simulacija kvara), itd... Radi lakše analize i izbegavanja prikazivanja svih rezultata koji bi zauzeli ogroman prostor u disertaciji bez pravog efekta, sva poređenja rezultata dobijenih kroz korisničku stranicu telemenadžment sistema i očitavanjem digitalnih brojlara vršena su za periode date u tabeli 22. Treba napomenuti i da je naknadno izvršeno još jedno merenje u Aprilu 2016. u trajanju od 10 dana (mezopski režim $0.5 \text{ cd/m}^2 \rightarrow 0.4 \text{ cd/m}^2$) koje nije bilo inicijalno predviđeno kroz dogovoreni plan merenja, ali se smatralo da će ovi rezultati biti veoma korisni sa aspekta kvaliteta električne energije (drastično smanjenje faktora snage). Pored prikazanih mešovutih (kombinovanih) režima rada, bili su kreirani i stavljeni u funkciju i drugi mešoviti režimi sa još jednim uvrštenim nivoom sjajnosti od 1.346 cd/m^2 . Međutim, ovi rezultati nisu tretirani u daljoj analizi jer su mezopski efekti značajno umanjani za vrednosti sjajnosti više od 1 cd/m^2 . Pre nego što se predstave obrađeni zbirni rezultati merenja, priložene su odabrane dnevne tabele za svaki od standardnih i mezopskih režima rada radi sagledavanja merenih vrednosti na nivou pojedinačnih svetiljki (tabele 23- 29). Tabele se ne prilažu za mešovite režime jer nisu prikazani relevantni podaci (pre svega, snaga za svaki stepen dimovanja u okviru scenarija). Jasniji pregled rezultata merenja u mešovitim režimima biće dat u sledećem poglavlju gde se tretiraju digitalna brojlara postavljena u ormanu JO. Može se primetiti da je vrednost struje u tabelama 23-28 data samo sa jednom decimalom, pa vrednost snage dobijena kao $U \cdot I \cdot \cos\phi$ odstupa od merenih vrednosti. Tek 18.2.2016. razvojni tim kompanije Owlet (Schröder) je uslišio molbe inženjera u Schröderu da promeni izgled korisničke stranice i tu vrednost prikazuje sa 3 decimale (tabela 29), što daje značajno preciznije rezultate.

Tabela 23. Standardni režim rada - nivo sjajnosti 1.346 cd/m^2

DATUM: 19.8.2015.									
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2973	247.74	222.18	0.3	72.4	0.94
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2968	245.28	221.42	0.3	72	0.94
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2967	244.42	214.02	0.4	72.4	0.94
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2968	245.43	214.72	0.4	73.5	0.95
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2968	245.45	214.55	0.4	73	0.95
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	87	6.9	2579	213.09	213.45	0.4	73.1	0.95
7	Onyx 2N/100W	100	254	2628	293.43	224.54	0.5	105.6	0.99
8	Onyx 2N/100W	100	254	2629	292.37	224.28	0.5	105.2	0.99
9	Onyx 2N/100W	100	254	2616	290.41	221.78	0.5	104.7	0.99
10	Onyx 2N/100W	100	254	2629	293.33	223.98	0.5	105.6	0.99
11	Onyx 2N/100W	100	254	2602	292.46	223.95	0.5	105.4	0.99
12	Onyx 2N/100W	100	254	2627	292.96	224.07	0.5	105.3	0.99
13	Onyx 2N/100W	100	254	2621	292.81	223.62	0.5	105.4	0.99
14	Onyx 2N/100W	100	254	2624	291.32	224.06	0.5	104.8	0.99
15	Onyx 2N/100W	100	254	2247	249.95	223.79	0.5	105.1	0.99

Tabela 24. Standardni režim rada - nivo sjajnosti 1 cd/m²

DATUM: 10.9.2015.									
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	3188	263.88	225.48	0.2	50.2	0.9
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	3181	261.19	223.16	0.2	50	0.9
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	3180	260.42	215.36	0.3	49.8	0.91
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	3181	261.65	215.76	0.3	50.6	0.91
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	3181	261.65	216.33	0.3	50.6	0.91
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	60	4.8	2792	229.27	215.18	0.3	49.5	0.92
7	Onyx 2N/100W	73	72	2841	316.89	225.54	0.4	85.4	0.98
8	Onyx 2N/100W	73	72	2842	315.79	226.21	0.4	85.1	0.98
9	Onyx 2N/100W	73	72	2829	313.69	223.75	0.4	85	0.98
10	Onyx 2N/100W	73	72	2842	316.8	226.19	0.4	85.4	0.98
11	Onyx 2N/100W	73	72	2815	315.9	225.71	0.4	85.5	0.98
12	Onyx 2N/100W	73	72	2837	316.38	225.57	0.4	85.1	0.98
13	Onyx 2N/100W	73	72	2834	316.21	226.03	0.4	84.9	0.98
14	Onyx 2N/100W	73	72	2837	314.61	226.32	0.4	84.4	0.98
15	Onyx 2N/100W	73	72	2460	273.36	226.26	0.4	85	0.98

Tabela 25. Standardni režim rada - nivo sjajnosti 0.75 cd/m²

DATUM: 10.10.2015.									
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3503	278.59	222.60	0.2	33.5	0.84
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3495	275.78	221.87	0.2	33.2	0.84
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3494	275	214.18	0.2	33.3	0.85
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3495	276.45	214.89	0.2	33.8	0.86
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3495	275.42	214.59	0.2	34	0.86
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	39	3.2	3106	243.82	213.43	0.2	33.6	0.87
7	Onyx 2N/100W	55	53	3157	343.75	223.22	0.3	70.7	0.98
8	Onyx 2N/100W	55	53	3158	342.63	223.09	0.3	71	0.98
9	Onyx 2N/100W	55	53	3145	340.44	222.70	0.3	70.4	0.97
10	Onyx 2N/100W	55	53	3158	343.63	222.51	0.3	70.6	0.98
11	Onyx 2N/100W	55	53	3131	342.79	222.42	0.3	71	0.98
12	Onyx 2N/100W	55	53	3153	343.2	222.28	0.3	70.5	0.98
13	Onyx 2N/100W	55	53	3150	342.95	220.97	0.3	70.5	0.98
14	Onyx 2N/100W	55	53	3153	341.25	220.97	0.3	70.3	0.98
15	Onyx 2N/100W	55	53	2776	300.14	223.31	0.3	70.7	0.98

Tabela 26. Standardni režim rada - nivo sjajnosti 0.5 cd/m²

DATUM: 20.10.2015.									
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3624	282.7	220.91	0.1	20.7	0.71
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3616	279.87	220.63	0.1	20.7	0.72
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3615	279.13	213.19	0.1	21.4	0.75
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3616	280.64	213.23	0.1	21.6	0.77
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3616	280.61	213.19	0.1	21.7	0.76
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	23	2	3227	247.96	212.16	0.1	21.1	0.77
7	Onyx 2N/100W	38	36	3278	352.69	221.04	0.3	56.7	0.97
8	Onyx 2N/100W	38	36	3279	351.6	221.87	0.3	57	0.97
9	Onyx 2N/100W	38	36	3266	349.33	220.89	0.3	55.9	0.96
10	Onyx 2N/100W	38	36	3279	352.56	222.09	0.3	56.7	0.97
11	Onyx 2N/100W	38	36	3252	351.74	221.14	0.3	57.1	0.96
12	Onyx 2N/100W	38	36	3269	352.11	222.17	0.3	56	0.97
13	Onyx 2N/100W	38	36	3271	351.87	222.20	0.3	57	0.97
14	Onyx 2N/100W	38	36	3274	350.14	221.92	0.3	56.4	0.97
15	Onyx 2N/100W	38	36	2897	309.09	221.40	0.3	56.6	0.96

Tabela 27. Mezopski režim rada - nivo sjajnosti 0.86/1 cd/m²

		DATUM: 10.11.2015.							
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3894	289.69	222.99	0.2	38.9	0.87
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3886	286.81	222.04	0.2	38.7	0.87
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3885	286.27	214.67	0.2	40.3	0.88
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3886	287.9	214.80	0.2	40.8	0.89
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3886	287.87	214.64	0.2	40.9	0.89
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	47	3.8	3497	254.98	213.61	0.2	39.3	0.89
7	Onyx 2N/100W	73	72	3544	369.72	224.21	0.4	85.3	0.98
8	Onyx 2N/100W	73	72	3545	368.67	224.04	0.4	85.1	0.98
9	Onyx 2N/100W	73	72	3532	366.15	223.84	0.4	84.8	0.98
10	Onyx 2N/100W	73	72	3549	369.93	224.08	0.4	85.4	0.98
11	Onyx 2N/100W	73	72	3522	369.19	223.97	0.4	85.4	0.98
12	Onyx 2N/100W	73	72	3539	369.36	224.69	0.4	85.3	0.98
13	Onyx 2N/100W	73	72	3541	369.3	224.64	0.4	85	0.98
14	Onyx 2N/100W	73	72	3544	367.41	224.19	0.4	84.5	0.98
15	Onyx 2N/100W	73	72	3167	326.45	224.33	0.4	84.9	0.98

Tabela 28. Mezopski režim rada - nivo sjajnosti 0.63/0.75 cd/m²

		DATUM: 21.11.2015.							
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	4037	294.54	224.51	0.2	26.1	0.78
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	4029	291.64	223.78	0.2	26.2	0.78
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	4028	291.35	217.32	0.2	27.9	0.81
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	4029	293.05	217.40	0.2	28.3	0.82
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	4029	293.02	217.39	0.2	28.2	0.81
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	31	2.6	3640	259.88	216.28	0.2	26.5	0.82
7	Onyx 2N/100W	55	53	3687	381.46	224.67	0.3	70.8	0.97
8	Onyx 2N/100W	55	53	3688	380.42	224.09	0.3	71	0.97
9	Onyx 2N/100W	55	53	3675	377.85	224.40	0.3	70.4	0.97
10	Onyx 2N/100W	55	53	3692	381.66	225.65	0.3	70.8	0.97
11	Onyx 2N/100W	55	53	3665	380.96	224.80	0.3	70.9	0.97
12	Onyx 2N/100W	55	53	3682	381.09	225.77	0.3	70.5	0.97
13	Onyx 2N/100W	55	53	3684	381.02	225.86	0.3	70.6	0.97
14	Onyx 2N/100W	55	53	3687	379.07	225.17	0.3	70.4	0.98
15	Onyx 2N/100W	55	53	3310	338.18	224.43	0.3	70.7	0.97

Tabela 29. Mezopski režim rada - nivo sjajnosti 0.4/0.5 cd/m²

		DATUM: 13.4.2016.							
BROJ U SISTEMU	TIP SVETILJKE	Kontrolni nivo [%]	Kontrolni napon [V]	Radni sati [h]	Aktivna energija [kWh]	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [W]	Faktor snage
1	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5806	369.77	226.02	0.126	17.1	0.6
2	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5798	366.41	225.76	0.125	16.9	0.6
3	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5797	367.58	216.69	0.126	17.8	0.65
4	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5798	370.29	216.71	0.124	18.2	0.68
5	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5798	370.18	216.63	0.127	18.2	0.66
6	Voltana 3/ 24 LED / 80W	18	1.6	5409	335.54	215.61	0.119	17.1	0.66
7	Onyx 2N/100W	38	36	5441	531.5	227.53	0.259	56.8	0.96
8	Onyx 2N/100W	38	36	5454	530.39	227.18	0.26	56.9	0.96
9	Onyx 2N/100W	38	36	5444	526.94	227.08	0.256	55.9	0.96
10	Onyx 2N/100W	38	36	5466	531.68	227.04	0.259	56.7	0.96
11	Onyx 2N/100W	38	36	5442	531.26	225.56	0.262	56.9	0.96
12	Onyx 2N/100W	38	36	5447	530.81	227.03	0.257	56.1	0.96
13	Onyx 2N/100W	38	36	5453	531.03	226.97	0.26	56.9	0.96
14	Onyx 2N/100W	38	36	5455	528.16	227.71	0.256	56.1	0.96
15	Onyx 2N/100W	38	36	5077	487.98	227.60	0.258	56.5	0.96

Na osnovu velikog broja dnevnih merenja u periodu avgust 2015 - april 2016, data je tabela 30 sa prosečnim vrednostima svih merenih i izračunatih električnih parametara (U , I , $\cos\varphi$, P , Q , W_a , W_r) za svaki od definisanih fotopskih i mezopskih režima rada. Prosečne vrednosti su date na nivou pojedinačne svetiljke, ali i zbirno za sve testne svetiljke (9 x NaVP i 6 x LED) u svakoj od testnih zona instalacije.

Pošto se vrednosti aktivne snage, faktora snage i aktivne energije očitavaju direktno sa korisničke stranice sistema, reaktivne veličine će se izračunati na osnovu poznatih aktivnih veličina. Takođe, već je napomenuto da je prikaz očitanih vrednosti struje na korisničkoj stranici u periodu do 18.2.2016. bio samo sa jednom decimalom. U tabeli 30 vrednosti struje su beležene onako kako su predstavljene na korisničkoj stranici, bez obzira na to što se prostom proverom može ustanoviti da zahvaljujući toj nepreciznosti snage vidno odstupaju od merenih vrednosti. Vrednosti koje su očitane nakon 18.2. su predstavljene kao i na korisničkoj stranici, sa tri decimale. Olakšavajuća okolnost je to što je informacija o veličini struje čisto informativnog karaktera i ne koristi se u daljoj analizi (precizna digitalna brojila integrisana u kontrolerima svetiljki daju nezavisno vrednosti napona, snage, faktora snage i utrošene električne energije).

Kao ni u tabelama 23-29, rezultati merenja u mešovitim režimima nisu predstavljeni ni u tabeli 30. Informacije o prosečnim vrednostima nisu od značaja jer se veći broj veličina značajno menja tokom noćnih sati (struja, aktivna snaga, faktor snage, a posledično i reaktivne električne veličine). Ovi rezultati su dati nezavisno isključivo kroz poređenje potrošnje električne energije tokom jedne noći, uzevši da je scenario rada isti za NaVP i LED svetiljke, kao i trenutak uključenja/isključenja instalacije.

Tabela 30. Srednje vrednosti električnih veličina za sve fotopske i mezopske režime

TIP IZVORA	REŽIM	PERIOD	ELEKTRIČNE VELIČINE										ELEKTRIČNE VELIČINE ZA GRUPU SVETILJKI (9/6 kom.)					
			U [V]	I [A]	P [W]	Wa [kWh]	cos φ	Q [VAR]	Wq [kVAh]	S [VA]	Wuk [kVAh]	P [W]	Wa [kWh]	Q [VAR]	Wq [kVAh]	S [VA]	Wuk [kVAh]	
	FOTOPSKI REŽIMI																	
NaVP	1.346 cd/m ²	12.8.2015. - 10.9.2015.	224.21	0.50	105.21	30.47	0.99	14.99	4.34	106.27	30.78	946.89	274.23	134.92	39.08	956.45	277.00	
LED	1.346 cd/m ²		217.61	0.36	72.81	13.98	0.95	23.93	4.60	76.64	14.72	436.86	125.85	215.38	41.36	459.85	132.47	
NaVP	1 cd/m ²	11.9.2015. - 30.9.2015.	225.76	0.40	85.10	18.00	0.98	17.28	3.66	86.84	18.37	765.90	162.00	155.52	32.90	781.53	165.31	
LED	1 cd/m ²		218.46	0.27	50.15	7.07	0.91	22.85	3.22	55.11	7.77	300.90	63.66	205.64	29.00	330.66	69.96	
NaVP	0.75 cd/m ²	1.10.2015. - 20.10.2015.	223.61	0.30	70.55	17.49	0.98	14.33	3.55	71.99	17.84	634.95	157.37	128.93	31.96	647.91	160.58	
LED	0.75 cd/m ²		218.89	0.21	35.45	5.47	0.86	21.03	3.24	41.22	6.36	212.70	49.19	189.31	29.19	247.33	57.20	
NaVP	0.5 cd/m ²	21.10.2015. - 10.11.2015.	224.17	0.30	56.55	16.79	0.96	16.49	4.90	58.91	17.49	508.95	151.10	148.44	44.07	530.16	157.40	
LED	0.5 cd/m ²		218.04	0.10	21.07	4.73	0.73	19.73	4.43	28.86	6.49	126.42	42.61	177.54	39.89	173.18	58.37	
	MEZOPSKI REŽIMI																	
NaVP	1 cd/m ²	2.12.2015. - 21.12.2015.	224.14	0.40	85.33	22.64	0.98	17.33	4.60	87.07	23.10	767.97	203.73	155.94	41.37	783.64	207.89	
LED	0.86 cd/m ²		216.17	0.20	39.58	6.98	0.88	21.36	3.77	44.98	7.93	237.48	62.79	192.27	33.89	269.86	71.35	
NaVP	0.75 cd/m ²	16.11.2015. - 1.12.2015.	224.19	0.30	70.66	14.85	0.97	17.71	3.72	72.85	15.31	635.94	133.63	159.38	33.49	655.61	137.76	
LED	0.63 cd/m ²		218.19	0.20	27.30	3.81	0.81	19.76	2.76	33.70	4.71	163.80	34.32	177.88	24.85	202.22	42.37	
NaVP	0.5 cd/m ²	14.4.2016. - 23.4.2016.	225.13	0.261	56.55	5.84	0.96	16.49	1.70	58.91	6.08	508.95	52.53	148.44	15.32	530.16	54.72	
LED	0.4 cd/m ²		220.34	0.124	17.36	1.19	0.64	20.84	1.43	27.13	1.86	104.16	10.69	187.58	12.83	162.75	16.70	

Analizom rezultata iz tabele 30 mogu se izvesti sledeći zaključci:

- za postizanje istih referentnih fotopskih nivoa sjajnosti od 1.346 cd/m^2 potrebne su LED svetiljke instalisane snage manje za 30.8 %,
- zbog osobine LED svetiljki da sa dimovanjem snaga opada brže od svetlosnog fluksa, za svaki niži fotopski režim potrebna snaga LED svetiljki je proporcionalno još manja u odnosu na odgovarajuću snagu NaVP svetiljki - 41.07 % za nivo sjajnosti 1 cd/m^2 , 49.75 % za nivo sjajnosti 0.75 cd/m^2 i 62.74 % za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 ,
- za mezopske nivoe sjajnosti ove razlike u instalisanoj snazi su još veće - 53.62 % za nivo sjajnosti 0.86 cd/m^2 , 61.36 % za nivo sjajnosti 0.63 cd/m^2 i 69.3 % za nivo sjajnosti 0.4 cd/m^2 ,
- sa obaranjem nivoa sjajnosti (snage i svetlosnog fluksa), faktor snage kod NaVP svetiljki se veoma malo menja (opada) – od 0.99 za nivo sjajnosti 1.346 cd/m^2 do 0.96 za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 ,
- sa obaranjem nivoa sjajnosti (snage i svetlosnog fluksa), faktor snage kod LED svetiljki drastično opada - od 0.95 za nivo sjajnosti 1.346 cd/m^2 do 0.73 za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 ,
- za mezopske nivoe sjajnosti faktor snage kod LED svetiljki još drastičnije opada - od 0.88 za nivo sjajnosti 0.86 cd/m^2 do 0.64 za nivo sjajnosti 0.4 cd/m^2 ,
- zbog značajnog opadanja faktora snage kod LED svetiljki, problem se mora razmatrati i sa aspekta održanja kvaliteta električne energije – budući da kompenzacija reaktivne energije nije efikasna za niže režime rada, nije dovoljno porediti samo aktivnu snagu (tj. utrošenu aktivnu energiju), već i prividnu snagu (ukupnu energiju koju sistem (instalacija JO) vuče iz mreže za NaVP i LED svetiljke),

- poredeći prividne snage NaVP i LED svetiljki potrebne za postizanje odgovarajućih nivoa sjajnosti definisanih gore pomenutim radnim režimima, može se zaključiti da odnos (NaVP/LED) ovih snaga nije tako visok kao kada se porede isključivo aktivne komponente snage i električne energije. Vrednosti faktora snage date u tabeli 30 pokazuju da se prvo prvo značajnije povećanje udela reaktivne komponente javlja pri fotopskom nivou sjajnosti 0.75 cd/m^2 (faktor snage 0.86), gde odnos prividnih snaga NaVP i LED iznosi 1.75 pri odnosu aktivnih snaga 1.99. Za fotopski nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 odnos prividnih snaga je 2.04 pri odnosu aktivnih snaga 2.68. Za mezopske nivoe sjajnosti, ovaj odnos iznosi 1.94 pri odnosu aktivnih snaga 2.16 ($L_{\text{mes}} = 0.86 \text{ cd/m}^2$, faktor snage 0.88), 2.16 pri odnosu aktivnih snaga 2.59 ($L_{\text{mes}} = 0.63 \text{ cd/m}^2$, faktor snage 0.81) i 2.17 pri odnosu aktivnih snaga 3.26 ($L_{\text{mes}} = 0.4 \text{ cd/m}^2$, faktor snage 0.64). Budući da su energije direktno proporcionalne snagama (isti broj sati uključenja instalacije u obe zone za bilo koju noć tokom testnog perioda), odnosi energija NaVP i LED svetiljki su isti kao i odnosi snaga.
- jedna od glavnih prednosti LED tehnologije (širok opseg dimovanja do čak 10 % nominalnog svetlosnog fluksa) je time dovedena u pitanje, o čemu će biti više reči u poglavlju sa diskusijom i zaključcima,
- za ostvarene uštede električne energije u mešovitim (kombinovanim) režimima rada dati su jednostavni primeri za procenu efikasnosti ovakvih dinamičkih scenarija koji zapravo predstavljaju rešenje koje će najčešće biti primenljivo u projektantskoj praksi. Primeri su dati ispod za dva mešovita režima tretirana u analizi.

Dinamički scenariji za oba mešovita režima su dati u tabeli 22, uz napomenu da se vreme uključenja i isključenja instalacije menja tokom godine i zato nije definisano u tabeli. Da bi se ta vremena mogla odrediti za konkretan slučaj, priložena je tabela 31 sa vremenima uključenja/isključenja instalacije JO u testnom periodu prema važećem kalendaru dobijenom od JKP „Javno Osvetljenje“ za Grad Beograd, kao i sa realnim vremenima uključenja/isključenja testne instalacije u testnom periodu očitanih sa korisničke stranice telemenadžment sistema.

Tabela 31. Godišnji kalendar uključenja/isključenja instalacije JO dobijen od JKP “Javno Osvjetljenje” uz dodata realna vremena uključenja/isključenja za testnu instalaciju u testnom periodu

TABELA UKLUČENJA/ISKLUČENJA SVETILJKI										SREDNJE OČITANE VREDNOSTI					
Dan	HID			LED			KALENDAR JO ZA GRAD BEOGRAD			HID	LED	HID	LED	HID	LED
	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada
12.08.2015.	19:40:32	04:55:40	09:15:08	19:41:05	04:55:40	09:14:35	19:45:00	05:00:00	09:15:00	19:42:51	19:45:04	05:10:41	05:10:41	09:27:50	09:25:37
13.08.2015.	19:40:25	04:55:29	09:15:04	19:44:21	04:55:29	09:11:08									
14.08.2015.	19:40:13	06:54:19	11:14:06	19:44:04	06:54:19	11:10:15									
15.08.2015.	19:40:05	04:54:59	09:14:54	19:40:05	04:54:59	09:14:54									
16.08.2015.	19:39:56	04:54:53	09:14:57	19:44:40	04:54:53	09:10:13									
17.08.2015.	19:44:59	04:54:38	09:09:39	19:39:46	04:54:38	09:14:52									
18.08.2015.	19:45:52	05:00:42	09:14:50	19:48:41	05:00:42	09:12:01									
19.08.2015.	19:45:40	05:00:35	09:14:55	19:47:24	05:00:35	09:13:11									
20.08.2015.	19:45:33	05:00:26	09:14:53	19:50:12	05:00:26	09:10:14									
21.08.2015.	19:45:18	05:15:14	09:29:56	19:50:23	05:15:14	09:24:51									
22.08.2015.	19:30:08	05:15:04	09:44:56	19:34:42	05:15:04	09:40:22	19:30:00	05:15:00	09:45:00	19:32:46	19:35:26	05:34:53	05:34:53	10:02:06	09:59:26
23.08.2015.	20:04:01	05:14:52	09:10:51	20:04:27	05:14:52	09:10:25									
24.08.2015.	19:29:48	06:55:59	11:26:11	19:34:38	06:55:59	11:21:21									
25.08.2015.	19:29:35	05:14:33	09:44:58	19:30:28	05:14:33	09:44:05									
26.08.2015.	19:29:28	05:14:21	09:44:53	19:33:38	05:14:21	09:40:43									
27.08.2015.	19:29:16	05:14:14	09:44:58	19:31:21	05:14:14	09:42:53									
28.08.2015.	19:29:04	05:14:01	09:44:57	19:32:34	05:14:01	09:41:27									
29.08.2015.	19:29:01	05:13:50	09:44:49	19:29:34	05:13:50	09:44:16									
30.08.2015.	19:28:47	05:13:42	09:44:55	19:30:41	05:13:41	09:43:00									
31.08.2015.	19:28:37	06:58:12	11:29:35	19:32:20	06:58:12	11:25:52									
01.09.2015.	19:13:30	05:28:22	10:14:52	19:15:37	05:28:22	10:12:45	19:15:00	05:30:00	10:15:00	19:16:38	19:19:16	05:29:06	05:29:06	10:12:28	10:09:50
02.09.2015.	19:13:20	05:28:13	10:14:53	19:13:49	05:28:13	10:14:24									
03.09.2015.	19:12:56	05:28:02	10:15:06	19:13:25	05:28:02	10:14:37									
04.09.2015.	19:12:59	05:27:53	10:14:54	19:17:27	05:27:53	10:10:26									
05.09.2015.	19:12:51	05:27:40	10:14:49	19:16:49	05:27:40	10:10:51									
06.09.2015.	19:12:38	05:27:34	10:14:56	19:15:15	05:27:34	10:12:19									
07.09.2015.	19:11:47	05:27:20	09:35:33	19:56:05	05:27:20	09:31:15									
08.09.2015.	19:12:18	05:27:10	10:14:52	19:14:21	05:27:10	10:12:49									
09.09.2015.	19:12:10	05:26:58	10:14:48	19:17:05	05:26:58	10:09:53									
10.09.2015.	19:11:52	05:41:49	10:29:57	19:12:44	05:41:49	10:29:05									
11.09.2015.	18:56:48	05:41:35	10:44:47	19:00:36	05:41:35	10:40:59	18:45:00	05:45:00	11:00:00	19:21:32	19:23:42	05:42:08	05:42:08	10:20:37	10:18:27
12.09.2015.	18:56:34	05:41:27	10:44:53	18:59:21	05:41:27	10:42:06									
13.09.2015.	18:56:24	05:41:18	10:44:54	18:58:39	05:41:18	10:42:39									
14.09.2015.	19:39:00	05:41:10	10:02:10	19:41:30	05:41:10	09:59:40									
15.09.2015.	18:56:03	05:40:58	10:44:55	18:59:17	05:40:58	10:41:41									
16.09.2015.	18:55:51	05:40:44	10:44:53	18:58:31	05:40:44	10:42:13									
17.09.2015.	18:55:43	05:40:36	10:44:53	18:56:29	05:40:36	10:44:07									
18.09.2015.	18:55:23	05:40:26	10:45:03	18:59:12	05:40:26	10:41:14									
19.09.2015.	18:55:21	05:40:14	10:44:53	18:56:11	05:40:14	10:44:03									
20.09.2015.	18:55:13	05:40:07	10:44:54	18:55:13	05:40:07	10:44:54									
21.09.2015.	22:54:27	05:54:56	07:00:29	22:55:38	05:54:56	06:59:18									
22.09.2015.	18:24:50	05:54:43	11:29:53	18:27:55	05:54:43	11:26:48	18:30:00	06:00:00	11:30:00	18:34:30	18:37:00	06:00:37	06:00:37	11:26:07	11:23:38
23.09.2015.	19:57:54	05:54:37	09:56:43	20:01:53	05:54:37	09:52:44									
24.09.2015.	18:24:30	05:54:22	11:29:52	18:28:29	05:54:22	11:25:53									
25.09.2015.	18:24:18	05:54:13	11:29:55	18:25:54	05:54:13	11:28:19									
26.09.2015.	18:24:11	05:54:04	11:29:53	18:25:16	05:54:04	11:28:48									
27.09.2015.	18:23:57	05:53:51	11:29:54	18:26:06	05:53:51	11:27:45									
28.09.2015.	18:23:51	05:53:41	11:29:50	18:24:28	05:53:41	11:29:13									
29.09.2015.	18:23:37	05:53:30	11:29:53	18:28:19	05:53:30	11:25:11									
30.09.2015.	18:23:26	06:52:35	12:29:09	18:24:37	06:52:35	12:27:58									
01.10.2015.	18:08:19	06:08:10	11:59:51	18:08:19	06:08:10	11:59:51									
02.10.2015.	18:08:04	06:08:03	11:59:59	18:10:16	06:08:03	11:57:47	18:15:00	06:15:00	12:00:00	18:11:07	18:12:58	06:12:49	06:12:48	12:01:41	11:59:50
03.10.2015.	18:07:56	06:07:48	11:59:52	18:09:07	06:07:48	11:58:41									
04.10.2015.	18:07:49	06:07:42	11:59:53	18:12:05	06:07:41	11:55:36									
05.10.2015.	18:12:51	06:12:48	11:59:57	18:13:29	06:12:48	11:59:19									
06.10.2015.	18:12:45	06:12:29	11:59:44	18:15:17	06:12:28	11:57:11									
07.10.2015.	18:12:33	06:12:27	11:59:54	18:13:37	06:12:27	11:58:50									
08.10.2015.	18:12:20	06:12:10	11:59:50	18:12:43	06:12:10	11:59:27									
09.10.2015.	18:12:07	06:15:44	12:03:37	18:13:58	06:15:44	12:01:46									
10.10.2015.	18:16:28	06:30:45	12:14:17	18:20:50	06:30:45	12:09:55									
11.10.2015.	18:00:46	07:00:09	12:59:23	18:02:09	07:00:09	12:58:00									
12.10.2015.	17:45:43	06:30:43	12:45:00	17:46:08	06:30:43	12:44:35	17:45:00	06:30:00	12:45:00	17:49:52	17:52:24	06:37:23	06:37:23	12:47:31	12:44:59
13.10.2015.	17:45:46	06:30:39	12:44:53	17:50:48	06:30:40	12:39:52									
14.10.2015.	18:00:45	06:30:40	12:29:55	18:04:44	06:30:40	12:25:56									
15.10.2015.	17:46:23	07:00:21	13:13:58	17:49:02	07:00:20	13:11:18									
16.10.2015.	18:00:40	06:30:40	12:30:00	18:00:40	06:30:39	12:29:59									
17.10.2015.	17:45:44	06:30:38	12:44:54	17:50:15	06:30:38	12:40:23									
18.10.2015.	17:45:42	06:30:40	12:44:58	17:47:43	06:30:40	12:42:57									
19.10.2015.	17:45:43	06:30:24	12:44:41	17:48:38	06:30:23	12:41:45									
20.10.2015.	17:45:41	06:30:40	12:44:59	17:47:27	06:30:40	12:43:13									
21.10.2015.	17:45:43	06:45:38	12:59:55	17:48:50	06:45:38	12:56:48									
22.10.2015.	17:30:43	06:45:40	13:14:57	17:34:14	06:45:40	13:11:26									
23.10.2015.	17:24:37	06:45:41	13:21:04	17:28:33	06:45:41	13:17:08	17:30:00	06:45:00	13:15:00	16:51:20	16:54:03	06:00:40	06:00:40	13:09:20	13:06:37
24.10.2015.	17:40:33	05:45:39	12:05:06	17:44:26	05:45:39	12:01:13									
25.10.2015.	16:30:41	06:00:42	13:30:01	16:31:51	06:00:41	13:28:50									
26.10.2015.	16:38:21	05:45:41	13:07:20	16:38:47	05:45:40	13:06:53									
27.10.2015.	16:30:43	05:45:39	13:14:56	16:33:37	05:45:39	13:12:02									
28.10.2015.	16:30:43	05:45:41	13:14:58	16:32:58	05:45:41	13:12:43									
29.10.2015.	16:30:41	05:45:40	13:14:59	16:33:46	05:45:40	13:11:54									
30.10.2015.	16:45:42	05:45:40	12:59:58	16:48:17	05:45:40	12:57:23									
31.10.2015.	16:30:36	06:00:40	13:30:04	16:33:58	06:00:40	13:26:42									

Tabela 31. Nastavak

TABELA UKLJUČENJA/ISKLJUČENJA SVETILJKI										SREDNJE OČITANE VREDNOSTI					
Dan uključenja	HID			LED			KALENDAR JO ZA GRAD BEOGRAD			HID	LED	HID	LED	HID	LED
	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada
01.11.2015.	16:30:42	06:00:40	13:29:58	16:30:42	06:00:40	13:29:58									
02.11.2015.	16:15:42	06:00:38	13:44:56	16:18:47	06:00:38	13:41:51									
03.11.2015.	16:15:44	06:00:43	13:44:59	16:16:08	06:00:42	13:44:34									
04.11.2015.	16:15:43	05:59:58	13:44:15	16:15:44	05:59:58	13:44:14									
05.11.2015.	16:15:42	06:00:06	13:44:24	16:20:27	06:00:06	13:39:39									
06.11.2015.	16:15:43	06:00:12	13:44:29	16:19:26	06:00:12	13:40:46	16:15:00	06:00:00	13:45:00	16:18:42	16:20:47	06:00:18	06:00:18	13:41:36	13:39:31
07.11.2015.	16:30:43	06:00:04	13:29:21	16:33:23	06:00:04	13:26:41									
08.11.2015.	16:15:38	06:00:14	13:44:36	16:18:45	06:00:14	13:41:29									
09.11.2015.	16:15:43	06:00:19	13:44:36	16:16:18	06:00:19	13:44:01									
10.11.2015.	16:15:43	06:00:11	13:44:28	16:18:15	06:00:11	13:41:56									
11.11.2015.	16:15:40	06:00:26	13:44:46	16:18:12	06:00:26	13:42:14									
12.11.2015.	16:15:42	06:00:20	13:44:38	16:15:42	06:00:20	13:44:38									
13.11.2015.	16:30:42	06:00:18	13:29:36	16:32:09	06:00:18	13:28:09									
14.11.2015.	16:15:44	06:00:26	13:44:42	16:18:27	06:00:26	13:41:59									
14.11.2015.	16:15:44	06:00:26	13:44:42	16:19:51	06:00:26	13:40:35									
16.11.2015.	16:05:36	05:53:26	13:47:50	16:09:05	05:53:26	13:44:21	16:15:00	06:15:00	14:00:00	16:16:36	16:18:42	05:59:04	05:59:04	13:42:28	13:40:22
17.11.2015.	16:05:26	05:51:37	13:46:11	16:07:30	05:51:37	13:44:07									
18.11.2015.	16:30:44	06:00:39	13:29:55	16:33:29	06:00:39	13:27:10									
19.11.2015.	16:15:45	06:00:44	13:44:59	16:15:45	06:00:43	13:44:58									
20.11.2015.	16:15:45	06:00:45	13:45:00	16:19:15	06:00:45	13:41:30									
21.11.2015.	16:15:44	06:00:37	13:44:53	16:16:18	06:00:37	13:44:19									
22.11.2015.	16:00:45	06:00:53	14:00:08	16:03:34	06:00:53	13:57:19									
23.11.2015.	16:00:44	06:00:47	14:00:03	16:03:59	06:00:46	13:56:47									
24.11.2015.	16:00:42	05:59:53	13:59:11	16:00:42	05:59:53	13:59:11									
25.11.2015.	16:16:22	06:00:56	13:44:34	16:19:15	06:00:56	13:41:41									
26.11.2015.	16:00:43	06:00:49	14:00:06	16:02:04	06:00:49	13:58:45	16:00:00	06:30:00	14:30:00	15:59:40	16:01:00	05:59:22	05:59:22	13:59:42	13:58:22
27.11.2015.	16:00:43	06:00:01	13:59:18	16:00:43	06:00:01	13:59:18									
28.11.2015.	16:00:42	06:00:00	13:59:18	16:01:22	06:00:00	13:58:38									
29.11.2015.	15:48:18	05:59:58	14:11:40	15:48:41	05:59:57	14:11:16									
30.11.2015.	15:48:04	05:51:00	14:02:56	15:48:40	05:51:00	14:02:20									
01.12.2015.	15:48:03	05:49:10	14:01:07	15:48:39	05:49:10	14:00:31									
02.12.2015.	15:47:51	05:49:09	14:01:18	15:49:31	05:49:09	13:59:38									
03.12.2015.	15:47:40	05:49:05	14:01:25	15:48:59	05:49:05	14:00:06									
04.12.2015.	15:58:58	05:50:18	13:51:20	15:58:58	05:50:18	13:51:20									
05.12.2015.	15:58:40	05:59:22	14:00:42	16:00:06	05:59:21	13:59:15	16:00:00	06:45:00	14:45:00	15:55:16	15:56:38	05:54:47	05:54:47	13:59:32	13:58:09
06.12.2015.	15:58:39	05:59:22	14:00:43	15:59:10	05:59:22	14:00:12									
07.12.2015.	15:58:25	05:58:15	13:59:50	15:59:58	05:58:15	13:58:17									
08.12.2015.	15:58:18	05:58:27	14:00:09	16:00:58	05:58:27	13:57:29									
09.12.2015.	15:58:04	05:57:22	13:59:18	16:00:26	05:57:22	13:56:56									
10.12.2015.	15:57:57	05:57:21	13:59:24	15:59:33	05:57:20	13:57:47									
11.12.2015.	15:42:48	05:57:21	14:14:33	15:42:48	05:57:20	14:14:32									
12.12.2015.	15:42:36	05:57:28	14:14:52	15:44:20	05:57:28	14:13:08									
13.12.2015.	15:42:27	05:57:30	14:15:03	15:43:14	05:57:30	14:14:16									
14.12.2015.	15:42:13	05:56:44	14:14:31	15:43:05	05:56:44	14:13:39									
15.12.2015.	15:42:05	05:56:35	14:14:30	15:43:01	05:56:35	14:13:34									
16.12.2015.	15:41:55	05:56:36	14:14:41	15:41:55	05:56:36	14:14:41	15:45:00	07:00:00	15:15:00	16:15:03	16:17:01	05:56:45	05:56:45	13:41:42	13:39:44
17.12.2015.	16:44:35	05:57:48	13:13:13	16:46:24	05:57:48	13:11:24									
18.12.2015.	19:14:05	05:55:43	10:41:38	19:18:24	05:55:43	10:37:19									
19.12.2015.	15:41:22	05:56:53	14:15:31	15:46:54	05:56:53	14:09:59									
20.12.2015.	15:41:14	05:55:48	14:14:34	15:45:46	05:55:47	14:10:01									
21.12.2015.	17:10:17	05:55:50	12:45:33	17:11:21	05:55:50	12:44:29									
22.12.2015.	15:40:56	05:56:01	14:15:05	15:43:06	05:56:00	14:12:54									
23.12.2015.	15:40:44	05:55:57	14:15:13	15:42:57	05:55:57	14:13:00									
24.12.2015.	15:40:31	05:55:07	14:14:36	15:40:56	05:55:07	14:14:11									
25.12.2015.	15:44:36	05:59:07	14:14:31	15:46:25	05:59:07	14:12:42									
26.12.2015.	16:30:27	05:59:03	13:28:36	16:32:54	05:59:02	13:26:08	15:45:00	07:00:00	15:15:00	15:57:29	15:58:53	05:58:10	05:58:10	14:00:41	13:59:17
27.12.2015.	17:22:39	05:59:14	12:36:35	17:23:47	05:59:14	12:35:27									
28.12.2015.	15:43:59	05:59:16	14:15:17	15:44:59	05:59:16	14:14:17									
29.12.2015.	15:43:53	05:59:10	14:15:17	15:44:53	05:59:09	14:14:16									
30.12.2015.	15:43:41	05:59:20	14:15:39	15:44:53	05:59:20	14:14:27									
31.12.2015.	15:43:22	05:59:28	14:16:06	15:43:57	05:59:28	14:15:31									
01.01.2016.	21:58:23	05:58:26	08:00:03	21:58:23	05:58:26	08:00:03									
02.01.2016.	17:07:15	05:57:28	12:50:13	17:08:40	05:57:28	12:48:48									
03.01.2016.	16:58:41	05:57:23	12:58:42	17:01:31	05:57:23	12:55:52									
04.01.2016.	15:57:57	05:57:32	13:59:35	15:59:58	05:57:32	13:57:34									
05.01.2016.	15:57:47	05:57:29	13:59:42	15:57:47	05:57:29	13:59:42									
06.01.2016.	15:57:40	05:57:31	13:59:51	15:58:43	05:57:31	13:58:48	16:00:00	07:00:00	15:00:00	17:34:32	17:36:06	05:57:22	05:57:22	12:22:50	12:21:17
07.01.2016.	19:14:10	05:56:46	10:42:36	19:17:24	05:56:46	10:39:22									
08.01.2016.	20:38:40	05:56:46	09:18:06	20:40:19	05:56:46	09:16:27									
09.01.2016.	15:57:06	05:56:40	13:59:34	16:00:38	05:56:40	13:56:02									
10.01.2016.	15:57:40	05:57:42	14:00:02	15:57:34	05:57:42	14:00:08									

Tabela 31. Nastavak

TABELA UKLJUČENJA/ISKLUČENJA SVETILJKI							SREDNJE OČITANE VREDNOSTI								
Dan uključenja	HID			LED			KALENDAR JO ZA GRAD BEOGRAD			HID	LED	HID	LED	HID	LED
	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada	Uključenje	Isključenje	Vreme rada
11.01.2016.	16:11:45	05:56:56	13:45:11	16:12:29	05:56:56	13:44:27									
12.01.2016.	16:11:34	05:55:48	13:44:14	16:14:30	05:55:47	13:41:17									
13.01.2016.	16:11:27	05:55:58	13:44:31	16:13:19	05:55:57	13:42:38									
14.01.2016.	16:11:14	05:55:51	13:44:37	16:14:41	05:55:51	13:41:10									
15.01.2016.	16:11:02	05:56:03	13:45:01	16:13:27	05:56:03	13:42:36									
16.01.2016.	16:10:54	05:56:04	13:45:10	16:15:19	05:56:04	13:40:45	16:15:00	06:45:00	14:30:00	16:19:38	16:21:53	06:12:19	06:12:18	13:52:41	13:50:25
17.01.2016.	16:53:56	05:56:10	13:02:14	16:58:22	05:56:09	12:57:47									
18.01.2016.	16:56:25	06:41:06	13:44:41	16:56:25	06:41:05	13:44:40									
19.01.2016.	16:10:27	06:41:14	14:30:47	16:13:33	06:41:14	14:27:41									
20.01.2016.	16:13:42	06:40:08	14:26:26	16:13:42	06:40:07	14:26:25									
21.01.2016.	16:13:35	06:40:10	14:26:35	16:14:58	06:40:09	14:25:11									
22.01.2016.	16:28:24	06:43:18	14:14:54	16:32:55	06:43:17	14:10:22									
23.01.2016.	16:30:46	06:43:20	14:12:34	16:34:27	06:43:20	14:08:53									
24.01.2016.	16:30:40	06:43:23	14:12:43	16:32:13	06:43:23	14:11:10									
25.01.2016.	16:43:26	06:43:25	13:59:59	16:43:49	06:43:25	13:59:36									
26.01.2016.	16:43:33	06:43:32	13:59:59	16:45:11	06:43:32	13:58:21	16:30:00	06:45:00	14:15:00	16:39:00	16:40:50	06:43:28	06:43:28	14:04:29	14:02:38
27.01.2016.	16:43:31	06:43:32	14:00:01	16:44:51	06:43:32	13:58:41									
28.01.2016.	16:43:34	06:43:34	14:00:00	16:45:13	06:43:34	13:58:21									
29.01.2016.	16:43:26	06:43:39	14:00:13	16:43:59	06:43:39	13:59:40									
30.01.2016.	16:43:38	06:43:33	13:59:55	16:44:55	06:43:33	13:58:38									
13.04.2016.	19:30:42	05:45:38	10:14:56	19:32:36	05:45:38	10:13:02									
14.04.2016.	19:42:22	05:45:40	10:03:18	19:43:28	05:45:40	10:02:12									
15.04.2016.	19:28:07	05:43:03	10:14:56	19:31:15	05:43:03	10:11:49									
16.04.2016.	19:27:56	05:42:50	10:14:54	19:28:39	05:42:50	10:14:11									
17.04.2016.	19:30:42	05:45:40	10:14:58	19:33:43	05:45:40	10:11:57	19:15:00	05:30:00	10:15:00	19:31:24	19:33:18	05:43:23	05:43:23	10:11:59	10:10:05
18.04.2016.	19:30:41	05:45:39	10:14:58	19:31:44	05:45:38	10:13:55									
19.04.2016.	19:30:43	05:45:39	10:14:56	19:31:54	05:45:39	10:13:45									
20.04.2016.	19:30:42	05:45:40	10:14:58	19:34:34	05:45:40	10:11:06									
21.04.2016.	19:30:42	05:30:39	09:59:57	19:31:50	05:30:39	09:58:49									
22.04.2016.	19:45:42	05:30:40	09:44:58	19:47:27	05:30:40	09:43:13	19:30:00	05:15:00	09:45:00	19:45:42	19:47:27	05:30:40	05:30:40	09:44:58	09:43:13

Može se primetiti da realna uključenja/isključenja uglavnom značajnije ne odstupaju od važećeg kalendara za Grad Beograd, sa izuzecima u novembru, decembru i januaru, gde su odstupanja (dužina trajanja noći) veća i 1.5h (novembar, decembar) i čak 2.5h (januar). Ispod je data tabela 32 sa dva mešovita režima tretirana u analizi.

Tabela 32. Mešoviti režimi

REŽIM 1 - SCENARIO RADA ZA MEZOPSKE USLOVE				
SCENARIO RADA	LED		HID	
	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]
uključenje - 21:40	47	0.86	73	1
21:40 - 02:40	31	0.63	55	0.75
02:40 - 05:40	18	0.4	38	0.5
05:40 - isključenje	47	0.86	73	1
REŽIM 2 - SCENARIO RADA ZA FOTOPSKE USLOVE				
SCENARIO RADA	LED		HID	
	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]
uključenje - 21:40	60	1	73	1
21:40 - 02:40	39	0.75	55	0.75
02:40 - 05:40	23	0.5	38	0.5
05:40 - isključenje	60	1	73	1

U tabeli 22 se mogu videti periodi u kojima su bili aktivni mešoviti režimi (10.1-19.1. za fotopski i 20.1-30.1. za mezopski režim.). U tabeli 33 date su razlike u potrošnji električne energije (aktivne i ukupne) za oba mešovita režima rada (za fotopske i mezopske uslove).

Tabela 33. Relativna razlika u potrošnji električne energije (aktivne i ukupne) za mešovite režime rada prema prosečnoj vrednosti snage za jednu svetiljku

	Aktivna energija [Wh]			Ukupna energija [VAh]		
	NaVP	LED		NaVP	LED	
FOTOPSKI	1033.05	541.47		1057.74	623.48	
	1011.75	528.36		1036.24	609.07	
	1010.64	525.72		1034.87	606.16	
	1011.04	526.84		1035.28	607.40	
	1011.18	525.62		1035.42	606.05	
	1011.75	526.82		1036.00	607.37	
	1011.96	525.27		1036.22	605.67	
	951.07	489.36		974.08	566.21	
	1011.28	528.54	$\bar{\delta}$ [%]	1035.52	609.27	$\bar{\delta}$ [%]
		1076.66	564.50	47.91	1102.24	648.78
MEZOPSKI	1072.52	443.49		1101.73	539.56	
	1072.74	442.67		1101.95	538.64	
	1056.12	432.90		1085.00	527.53	
	1052.80	431.92		1081.61	526.42	
	1053.02	433.43		1081.83	528.13	
	1034.91	425.80		1063.35	519.46	
	1034.91	424.97		1063.35	518.52	
	1034.9537	425.19		1063.40	518.77	
	1034.93	424.97		1063.37	518.52	
	1035.23814	425.84	$\bar{\delta}$ [%]	1063.69	519.51	$\bar{\delta}$ [%]
	1034.81149	425.16	58.88	1063.25	518.73	51.20

Može se zaključiti da se zamenom postojećih NaVP svetiljki sa LED svetiljkama i kreiranjem odgovarajućih dinamičkih scenarija rada (mešovitih režima) mogu ostvariti uštede u potrošnji električne energije od 47.91 % za fotopske uslove i 58.88 % za mezopske uslove, uz jednake fotometrijske uslove na saobraćajnici. Takođe se može konstatovati da je ušteda u ukupnoj energiji (aktivnoj i reaktivnoj) niža zbog velikih varijacija faktora snage kod LED svetiljki.

5.3 Rezultati električnih merenja očitani kroz digitalna brojila

Podsećanja radi, merenja električnih veličina u testnoj instalaciji vrše se u ormanu Javnog osvetljenja gde je izvršeno prevezivanje tako da sve svetiljke istog tipa (NaVP ili LED) budu napajane preko iste faze. Ugrađena su dva brojila, po jedno za svaku fazu. Ova brojila predstavljaju tzv. „direktnu mernu grupu“, tj. uređaje koji na niskom naponu mere aktivnu i reaktivnu energiju, kao i vršnu snagu (maksimalna zabeležena srednja vrednost aktivne snage, merena u redovnim vremenskim intervalima od 15 minuta tokom obračunskog meseca - brojilo ima funkciju tzv. maksigrafa). Da bi se željeni rezultati merenja očitali i sačuvali na računaru putem specijalnog softvera (aktivna i reaktivna snaga i energija na mesečnom, dnevnom i satnom nivou, faktor snage, napon, struja i harmonijska izobličenja), zbog ograničene unutrašnje memorije uređaja neophodno je vršiti očitavanja na svakih 10 dana (merenja izvršena van tog intervala se brišu i više im nije moguće pristupiti i snimiti ih na računar).

Očitavanja električnih vrednosti sa brojila su usklađena sa očitavanjem vrednosti sa korisničke stranice telemenadžment sistema radi lakšeg praćenja i dalje komparativne analize. Ova paralelna merenja električnih veličina su vršena iz jednog osnovnog razloga: budući da su ENEL digitalna brojila validovana od strane EDB-a i JKP „Javno osvetljenje“ za merenja u njihovim ormanima, ovim putem se želeo ispitati kvalitet i pouzdanost merenja dobijenih iz telemenadžment sistema, radi moguće primene ovakvih sistema i u ove svrhe u budućnosti. Ukoliko se ispostavi (u poređenju sa digitalnim brojilima) da se električne veličine mere kroz telemenadžment sistem sa zadovoljavajućom preciznošću, vezivanjem sa dispečerskim centrom željeni podaci se mogu očitavati iz kontrolnog sistema, čime se njegovoj osnovnoj funkciji kontrole i nadzora instalacija JO pridodaje i merna funkcija koja može učiniti postavljanje brojila u ormane JO nepotrebnim i doneti dodatne investicione uštede.

Rezultati se iz brojila očitavaju tabelarno (u bazu podataka se snimaju već uređene excel tabele), a budući da je na kraju osmomesječnog perioda u bazu podataka pohranjen ogroman broj različitih merenja prikazanih u različitim oblicima (dnevni brojčanici, satni brojčanici, trenutne vrednosti električnih veličina u trenutku očitavanja i trenutne vrednosti električnih veličina očitavane na 1h, maksigraf...), rezultati su obrađeni i filtrirani i biće prikazani u obliku koji je najpodesniji za analizu.

U tabeli 34 prikazana su dnevna očitavanja brojčanika aktivne i reaktivne energije za sva 4 standardna režima (podešeno je da se očitavanje uvek vrši u ponoć), a u tabeli 35 satna očitavanja električnih veličina (U , I , P i $\cos\phi$) za standardni režim 0.5 cd/m^2 (očitavanje se vrši na svaki sat unazad od trenutka očitavanja za period od 40 dana).

Tabela 34. Izmerene vrednosti brojčanika za standardne (fotopske) režime

DNEVNA OČITAVANJA ENERGIJE					
LED SVETILJKE			HID SVETILJKE		
Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]	Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]
REŽIM 1 - SJAJNOST $L_{sr} = 0.5 \text{ cd/m}^2$					
10/11/15 00:00:00	1613740	530220	10/11/15 00:00:00	3435810	372660
09/11/15 00:00:00	1611640	528020	09/11/15 00:00:00	3428600	371270
08/11/15 00:00:00	1609540	525920	08/11/15 00:00:00	3421520	369880
07/11/15 00:00:00	1607440	523920	07/11/15 00:00:00	3414290	368480
06/11/15 00:00:00	1605340	521870	06/11/15 00:00:00	3407070	367070
05/11/15 00:00:00	1603240	519760	05/11/15 00:00:00	3400150	365730
04/11/15 00:00:00	1601140	517660	04/11/15 00:00:00	3392920	364320
03/11/15 00:00:00	1599040	515480	03/11/15 00:00:00	3385690	362910
02/11/15 00:00:00	1596940	513290	02/11/15 00:00:00	3378430	361530
01/11/15 00:00:00	1594840	511240	01/11/15 00:00:00	3367840	360290
29/10/15 00:00:00	1587840	504140	29/10/15 00:00:00	3351770	357840
28/10/15 00:00:00	1586140	502490	28/10/15 00:00:00	3344810	356480
27/10/15 00:00:00	1584260	500690	27/10/15 00:00:00	3337850	355110
26/10/15 00:00:00	1582550	498990	26/10/15 00:00:00	3330960	353760
25/10/15 00:00:00	1580570	497040	25/10/15 00:00:00	3323880	352370
24/10/15 00:00:00	1578890	495390	24/10/15 00:00:00	3316850	351030
23/10/15 00:00:00	1577180	493690	23/10/15 00:00:00	3309850	349650
22/10/15 00:00:00	1575480	491990	22/10/15 00:00:00	3302900	348280
21/10/15 00:00:00	1573850	490390	21/10/15 00:00:00	3296070	346940
REŽIM 2 - SJAJNOST $L_{sr} = 0.75 \text{ cd/m}^2$					
20/10/15 00:00:00	1571730	488840	20/10/15 00:00:00	3289380	345630
19/10/15 00:00:00	1569130	487290	19/10/15 00:00:00	3272800	343130
18/10/15 00:00:00	1566530	485740	18/10/15 00:00:00	3264510	341890
17/10/15 00:00:00	1563940	484190	17/10/15 00:00:00	3256380	340660
16/10/15 00:00:00	1561290	482600	16/10/15 00:00:00	3247750	339360
15/10/15 00:00:00	1558700	481050	15/10/15 00:00:00	3239600	338130
14/10/15 00:00:00	1556160	479530	14/10/15 00:00:00	3231300	336870
13/10/15 00:00:00	1553580	477970	13/10/15 00:00:00	3222990	335640
12/10/15 00:00:00	1550890	476350	12/10/15 00:00:00	3214530	334370
11/10/15 00:00:00	1548340	474830	11/10/15 00:00:00	3206550	333170
10/10/15 00:00:00	1545910	473360	10/10/15 00:00:00	3198700	331990
09/10/15 00:00:00	1543460	471900	09/10/15 00:00:00	3190870	330820
08/10/15 00:00:00	1541050	470440	08/10/15 00:00:00	3183090	329650
07/10/15 00:00:00	1538590	468970	07/10/15 00:00:00	3175290	328460
06/10/15 00:00:00	1536140	467490	06/10/15 00:00:00	3167490	327280
05/10/15 00:00:00	1533700	466040	05/10/15 00:00:00	3159710	326120
04/10/15 00:00:00	1531250	464580	04/10/15 00:00:00	3151930	324930
03/10/15 00:00:00	1528790	463120	03/10/15 00:00:00	3144140	323750
02/10/15 00:00:00	1526340	461660	02/10/15 00:00:00	3136350	322570
01/10/15 00:00:00	1523750	460100	01/10/15 00:00:00	3119240	320260

Tabela 34. Nastavak

DNEVNA OČITAVANJA ENERGIJE					
LED SVETILJKE			HID SVETILJKE		
Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]	Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]
REŽIM 3 - SJAJNOST Lsr = 1 cd/m²					
30/09/15 00:00:00	1520810	458640	30/09/15 00:00:00	3110240	319190
29/09/15 00:00:00	1517310	457140	29/09/15 00:00:00	3101250	318120
28/09/15 00:00:00	1513790	455650	28/09/15 00:00:00	3092270	317050
27/09/15 00:00:00	1510280	454160	27/09/15 00:00:00	3083290	315970
26/09/15 00:00:00	1506760	452680	26/09/15 00:00:00	3074320	314870
25/09/15 00:00:00	1503250	451180	25/09/15 00:00:00	3067520	314050
24/09/15 00:00:00	1499740	449670	24/09/15 00:00:00	3058550	312930
23/09/15 00:00:00	1497050	448540	23/09/15 00:00:00	3053060	312250
22/09/15 00:00:00	1493540	447010	22/09/15 00:00:00	3044670	311240
21/09/15 00:00:00	1491470	446120	21/09/15 00:00:00	3027940	309200
19/09/15 00:00:00	1484910	443330	19/09/15 00:00:00	3022100	308490
18/09/15 00:00:00	1482650	442370	18/09/15 00:00:00	3013720	307440
17/09/15 00:00:00	1479350	440960	17/09/15 00:00:00	3005340	306400
16/09/15 00:00:00	1476070	439540	16/09/15 00:00:00	2997500	305410
15/09/15 00:00:00	1472780	438120	15/09/15 00:00:00	2989110	304390
14/09/15 00:00:00	1469710	436810	14/09/15 00:00:00	2980730	303370
13/09/15 00:00:00	1466430	435410	13/09/15 00:00:00	2972340	302350
12/09/15 00:00:00	1463150	434020	12/09/15 00:00:00	2964130	301360
11/09/15 00:00:00	1459870	432620	11/09/15 00:00:00	2954270	300490
REŽIM 4 - SJAJNOST Lsr = 1.346 cd/m²					
10/09/15 00:00:00	1455980	431240	10/09/15 00:00:00	2944400	299620
09/09/15 00:00:00	1451440	429800	09/09/15 00:00:00	2935170	298800
08/09/15 00:00:00	1446880	428380	08/09/15 00:00:00	2925300	297950
07/09/15 00:00:00	1442630	427040	07/09/15 00:00:00	2915440	297080
06/09/15 00:00:00	1438070	425630	06/09/15 00:00:00	2905570	296220
05/09/15 00:00:00	1433520	424200	05/09/15 00:00:00	2895730	295350
04/09/15 00:00:00	1428960	422780	04/09/15 00:00:00	2885880	294480
03/09/15 00:00:00	1424380	421350	03/09/15 00:00:00	2876040	293610
02/09/15 00:00:00	1419800	419910	02/09/15 00:00:00	2865000	292580
01/09/15 00:00:00	1414580	418270	01/09/15 00:00:00	2855630	291760
31/08/15 00:00:00	1410240	416900	31/08/15 00:00:00	2855630	291760
30/08/15 00:00:00	1405890	415550	30/08/15 00:00:00	2846260	290930
29/08/15 00:00:00	1401540	414200	29/08/15 00:00:00	2836890	290110
28/08/15 00:00:00	1397210	412840	28/08/15 00:00:00	2827510	289270
27/08/15 00:00:00	1392870	411470	27/08/15 00:00:00	2818130	288450
26/08/15 00:00:00	1388540	410120	26/08/15 00:00:00	2808750	287620
25/08/15 00:00:00	1383460	408520	25/08/15 00:00:00	2797710	286590
24/08/15 00:00:00	1379140	407160	24/08/15 00:00:00	2788880	285820
23/08/15 00:00:00	1375040	405880	23/08/15 00:00:00	2779470	285000
22/08/15 00:00:00	1370720	404530	22/08/15 00:00:00	2770310	284200
21/08/15 00:00:00	1366620	403240	21/08/15 00:00:00	2761390	283420
20/08/15 00:00:00	1362520	401950	20/08/15 00:00:00	2752480	282640
19/08/15 00:00:00	1358400	400660	19/08/15 00:00:00	2743570	281880
18/08/15 00:00:00	1354340	399390	18/08/15 00:00:00	2734650	281110
17/08/15 00:00:00	1350230	398100	17/08/15 00:00:00	2725750	280330
16/08/15 00:00:00	1346120	396800	16/08/15 00:00:00	2716870	279530
15/08/15 00:00:00	1341110	395230	15/08/15 00:00:00	2706080	278510
14/08/15 00:00:00	1336990	393930	14/08/15 00:00:00	2697190	277720
13/08/15 00:00:00	1332870	392630	13/08/15 00:00:00	2688310	276950
12/08/15 00:00:00	1328730	391340	12/08/15 00:00:00	2679420	276180

Tabela 35. Primer satnog očitavanja električnih veličina za jedan standardni režim

TRENUTNE SATNE VREDNOSTI MERNIH VELIČINA - STANDARDNI REŽIMI									
LED SVETILJKE					HID SVETILJKE				
Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]	Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]
REŽIM 1 - SJAJNOST Lsr = 0.5 cd/m2									
10/11/15 07:38:38	223	0	x	0	10/11/15 07:52:34	226	0	x	0
10/11/15 06:38:47	225	0	x	0	10/11/15 06:52:43	227	0	x	0
10/11/15 05:38:55	224	0.81	0.69	120	10/11/15 05:52:51	228	2.32	0.98	510
10/11/15 04:39:04	225	0.81	0.7	120	10/11/15 04:53:00	229	2.31	0.98	510
10/11/15 03:39:13	226	0.82	0.69	120	10/11/15 03:53:09	229	2.32	0.98	510
10/11/15 02:39:22	228	0.82	0.68	120	10/11/15 02:53:18	230	2.3	0.98	510
10/11/15 01:39:32	227	0.81	0.69	120	10/11/15 01:53:28	228	2.31	0.99	510
10/11/15 00:39:42	226	0.82	0.7	120	10/11/15 00:53:38	227	2.33	0.98	510
09/11/15 23:39:51	227	0.81	0.7	120	09/11/15 23:53:47	227	2.33	0.98	510
09/11/15 22:40:01	227	0.81	0.7	120	09/11/15 22:53:57	229	2.32	0.98	510
09/11/15 21:40:11	228	0.81	0.69	120	09/11/15 21:54:07	229	2.3	0.98	510
09/11/15 20:40:21	228	0.81	0.69	120	09/11/15 20:54:17	227	2.33	0.98	510
09/11/15 19:40:30	226	0.81	0.69	120	09/11/15 19:54:26	226	2.34	0.98	510
09/11/15 18:40:40	224	0.81	0.71	120	09/11/15 18:54:36	224	2.35	0.99	520
09/11/15 17:40:50	223	0.81	0.7	120	09/11/15 17:54:46	224	2.36	0.98	510
09/11/15 16:41:00	222	0.81	0.71	120	09/11/15 16:54:56	225	4.4	1	990
09/11/15 15:41:11	226	0	x	0	09/11/15 15:55:07	229	0	x	0
09/11/15 14:41:24	229	0	x	0	09/11/15 14:55:20	229	0	x	0
09/11/15 13:41:37	229	0	x	0	09/11/15 13:55:33	229	0	x	0
09/11/15 12:41:49	227	0	x	0	09/11/15 12:55:45	229	0	x	0
09/11/15 11:42:01	224	0	x	0	09/11/15 11:55:57	228	0	x	0
09/11/15 10:42:13	224	0	x	0	09/11/15 10:56:09	227	0	x	0
09/11/15 09:42:22	225	0	x	0	09/11/15 09:56:18	227	0	x	0
09/11/15 08:42:31	223	0	x	0	09/11/15 08:56:27	227	0	x	0
09/11/15 07:42:38	226	0	x	0	09/11/15 07:56:34	227	0	x	0
09/11/15 06:42:44	224	0	x	0	09/11/15 06:56:40	226	0	x	0
09/11/15 05:42:50	225	0.81	0.7	120	09/11/15 05:56:46	227	2.34	0.98	520
09/11/15 04:42:56	226	0.81	0.7	120	09/11/15 04:56:52	229	2.34	0.97	510
09/11/15 03:43:03	227	0.81	0.69	120	09/11/15 03:56:59	231	2.3	0.98	520
09/11/15 02:43:09	227	0.81	0.7	120	09/11/15 02:57:05	229	2.31	0.98	510
09/11/15 01:43:16	226	0.81	0.7	120	09/11/15 01:57:12	228	2.32	0.98	520
09/11/15 00:43:22	227	0.81	0.7	120	09/11/15 00:57:18	227	2.33	0.98	520
08/11/15 23:43:29	227	0.82	0.69	120	08/11/15 23:57:25	230	2.31	0.98	520
08/11/15 22:43:35	225	0.81	0.7	120	08/11/15 22:57:31	229	2.32	0.98	520
08/11/15 21:43:42	228	0.82	0.69	120	08/11/15 21:57:38	225	2.34	0.98	510
08/11/15 20:43:49	227	0.81	0.7	120	08/11/15 20:57:45	225	2.36	0.98	520
08/11/15 19:43:56	225	0.81	0.69	120	08/11/15 19:57:52	223	2.37	0.98	520
08/11/15 18:44:04	224	0.81	0.7	120	08/11/15 18:58:00	223	2.37	0.98	520
08/11/15 17:44:12	223	0.81	0.71	120	08/11/15 17:58:08	224	2.37	0.98	510
08/11/15 16:44:22	222	0.81	0.71	120	08/11/15 16:58:18	224	3.15	0.99	690
08/11/15 15:44:31	227	0	x	0	08/11/15 15:58:27	228	0	x	0
08/11/15 14:44:40	229	0	x	0	08/11/15 14:58:36	228	0	x	0
08/11/15 13:44:49	228	0	x	0	08/11/15 13:58:45	227	0	x	0
08/11/15 12:44:58	228	0	x	0	08/11/15 12:58:54	227	0	x	0
08/11/15 11:45:07	227	0	x	0	08/11/15 11:59:03	227	0	x	0
08/11/15 10:45:16	227	0	x	0	08/11/15 10:59:12	226	0	x	0
08/11/15 09:45:25	227	0	x	0	08/11/15 09:59:21	228	0	x	0
08/11/15 08:45:33	226	0	x	0	08/11/15 08:59:29	229	0	x	0
08/11/15 07:45:40	226	0	x	0	08/11/15 07:59:36	230	0	x	0
08/11/15 06:45:47	225	0	x	0	08/11/15 06:59:43	230	0	x	0
08/11/15 05:45:54	226	0.81	0.69	120	08/11/15 05:59:50	230	2.3	0.98	510
08/11/15 04:46:01	228	0.82	0.68	120	08/11/15 04:59:57	230	2.3	0.98	510
08/11/15 03:46:08	227	0.81	0.7	120	08/11/15 04:00:04	230	2.31	0.98	520
08/11/15 02:46:15	228	0.82	0.68	120	08/11/15 03:00:11	229	2.32	0.98	520
08/11/15 01:46:22	227	0.83	0.69	130	08/11/15 02:00:18	230	2.31	0.98	510
08/11/15 00:46:30	227	0.81	0.7	120	08/11/15 01:00:26	228	2.32	0.98	510
07/11/15 23:46:37	228	0.81	0.68	120	08/11/15 00:00:33	228	2.32	0.99	520
07/11/15 22:46:44	225	0.82	0.7	120	07/11/15 23:00:40	230	2.3	0.98	510
07/11/15 21:46:50	225	2.41	0.95	510	07/11/15 22:00:46	228	2.33	0.98	520
07/11/15 20:46:57	226	0.81	0.7	120	07/11/15 21:00:53	226	2.35	0.98	520
07/11/15 19:47:04	226	0.81	0.69	120	07/11/15 20:01:00	226	2.35	0.98	520
07/11/15 18:47:10	225	0.81	0.7	120	07/11/15 19:01:06	224	2.36	0.99	520
07/11/15 17:47:17	223	0.81	0.7	120	07/11/15 18:01:13	224	2.36	0.99	520
07/11/15 16:47:25	224	0.81	0.69	120	07/11/15 17:01:21	228	2.33	0.98	520

U tabeli 36 prikazana su dnevna očitavanja brojčanika aktivne i reaktivne energije za sva 3 mezopska režima (podešeno je da se očitavanje uvek vrši u ponoć), a u tabeli 37 satna očitavanja električnih veličina (U, I, P i $\cos\phi$) za mezopski režim 0.86 cd/m² (očitavanje se vrši na svaki sat unazad od trenutka očitavanja za period od 40 dana).

Tabela 36. Izmerene vrednosti brojčanika za mezopske režime

MEZOPSKI REŽIM - DNEVNA OČITAVANJA ENERGIJE						
LED SVETILJKE				HID SVETILJKE		
Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]	Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]	
REŽIM 1 - $L_{HPS} = 1 \text{ cd/m}^2$ / $L_{MES} = 0.86 \text{ cd/m}^2$						
21/12/15 00:00:00	1730040	604350	21/12/15 00:00:00	3859380	427350	
20/12/15 00:00:00	1726690	602470	20/12/15 00:00:00	3848190	426070	
19/12/15 00:00:00	1723320	600580	19/12/15 00:00:00	3837020	424740	
18/12/15 00:00:00	1719930	598700	18/12/15 00:00:00	3828620	423760	
17/12/15 00:00:00	1716560	596820	17/12/15 00:00:00	3818210	422570	
16/12/15 00:00:00	1713210	594930	16/12/15 00:00:00	3807000	421280	
15/12/15 00:00:00	1709870	593030	15/12/15 00:00:00	3795800	419980	
14/12/15 00:00:00	1706540	591110	14/12/15 00:00:00	3784590	418670	
13/12/15 00:00:00	1703180	589210	13/12/15 00:00:00	3773390	417400	
12/12/15 00:00:00	1699800	587310	12/12/15 00:00:00	3762180	416110	
11/12/15 00:00:00	1696410	585460	11/12/15 00:00:00	3750990	414810	
10/12/15 00:00:00	1693030	583660	10/12/15 00:00:00	3739990	413540	
09/12/15 00:00:00	1689660	581890	09/12/15 00:00:00	3728990	412260	
08/12/15 00:00:00	1686310	580130	08/12/15 00:00:00	3717980	410970	
07/12/15 00:00:00	1682900	578330	07/12/15 00:00:00	3706990	409690	
06/12/15 00:00:00	1679520	576430	06/12/15 00:00:00	3696010	408430	
05/12/15 00:00:00	1676130	574560	05/12/15 00:00:00	3685010	407170	
04/12/15 00:00:00	1672730	572700	04/12/15 00:00:00	3674130	405910	
03/12/15 00:00:00	1669400	570850	03/12/15 00:00:00	3663130	404640	
02/12/15 00:00:00	1666050	568950	02/12/15 00:00:00	3652140	403360	
REŽIM 2 - $L_{HPS} = 0.75 \text{ cd/m}^2$ / $L_{MES} = 0.63 \text{ cd/m}^2$						
01/12/15 00:00:00	1662900	567830	01/12/15 00:00:00	3643000	402000	
30/11/15 00:00:00	1660600	566030	30/11/15 00:00:00	3633860	400630	
29/11/15 00:00:00	1658340	564270	29/11/15 00:00:00	3624610	399240	
28/11/15 00:00:00	1656110	562520	28/11/15 00:00:00	3615490	397850	
27/11/15 00:00:00	1653910	560740	27/11/15 00:00:00	3606350	396450	
26/11/15 00:00:00	1651660	558950	26/11/15 00:00:00	3597210	395070	
25/11/15 00:00:00	1649460	557100	25/11/15 00:00:00	3588230	393710	
24/11/15 00:00:00	1647060	555280	24/11/15 00:00:00	3579110	392330	
23/11/15 00:00:00	1644710	553480	23/11/15 00:00:00	3569990	390950	
22/11/15 00:00:00	1642410	551700	22/11/15 00:00:00	3560860	389580	
20/11/15 00:00:00	1640110	549950	20/11/15 00:00:00	3542960	386900	
19/11/15 00:00:00	1637860	548200	19/11/15 00:00:00	3534010	385550	
18/11/15 00:00:00	1635640	546400	18/11/15 00:00:00	3525230	384240	
17/11/15 00:00:00	1633390	544600	17/11/15 00:00:00	3516280	382900	
16/11/15 00:00:00	1630850	542650	16/11/15 00:00:00	3507300	381560	
REŽIM 3 - $L_{HPS} = 0.5 \text{ cd/m}^2$ / $L_{MES} = 0.4 \text{ cd/m}^2$						
23/04/16 00:00:00	2439780	713110	23/04/16 00:00:00	4980330	569210	
22/04/16 00:00:00	2438770	711930	22/04/16 00:00:00	4975180	568200	
21/04/16 00:00:00	2437720	710690	21/04/16 00:00:00	4969900	567170	
20/04/16 00:00:00	2436670	709450	20/04/16 00:00:00	4964480	566120	
19/04/16 00:00:00	2435600	708200	19/04/16 00:00:00	4959080	565030	
18/04/16 00:00:00	2434530	706950	18/04/16 00:00:00	4953700	563940	
17/04/16 00:00:00	2433460	705710	17/04/16 00:00:00	4948320	562850	
16/04/16 00:00:00	2432390	704470	16/04/16 00:00:00	4942940	561770	
15/04/16 00:00:00	2431320	703230	15/04/16 00:00:00	4937550	560690	
14/04/16 00:00:00	2430270	701990	14/04/16 00:00:00	4932260	559680	

Tabela 37. Primer satnog očitavanja električnih veličina za jedan mezopski režim

TRENUTNE SATNE VREDNOSTI MERNIH VELIČINA - MEZOPSKI REŽIMI									
LED SVETILJKE					HID SVETILJKE				
Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]	Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]
REŽIM 1									
$L_{MES} = 0.86 \text{ cd/m}^2$					$L_{HPS} = 1 \text{ cd/m}^2$				
21/12/15 13:32:54	225	0	x	0	21/12/15 13:07:54	227	0	x	0
21/12/15 12:33:01	224	0	x	0	21/12/15 12:08:01	228	0	x	0
21/12/15 11:33:09	222	0	x	0	21/12/15 11:08:09	225	0	x	0
21/12/15 10:33:17	223	0	x	0	21/12/15 10:08:17	223	0	x	0
21/12/15 09:33:25	222	0	x	0	21/12/15 09:08:25	224	0	x	0
21/12/15 08:33:32	225	0	x	0	21/12/15 08:08:32	225	0	x	0
21/12/15 07:33:40	224	0	x	0	21/12/15 07:08:40	225	0	x	0
21/12/15 06:33:47	223	0	x	0	21/12/15 06:08:47	226	0	x	0
21/12/15 05:33:55	227	1.24	0.87	240	21/12/15 05:08:55	230	3.42	1	780
21/12/15 04:34:02	228	1.24	0.87	250	21/12/15 04:09:02	229	3.42	1	780
21/12/15 03:34:09	227	1.23	0.87	240	21/12/15 03:09:09	228	3.45	0.99	780
21/12/15 02:34:17	227	1.24	0.87	240	21/12/15 02:09:17	228	3.44	1	780
21/12/15 01:34:24	225	1.24	0.88	240	21/12/15 01:09:24	226	3.48	1	780
21/12/15 00:34:31	224	1.24	0.89	240	21/12/15 00:09:31	226	3.46	1	780
20/12/15 23:34:38	224	1.25	0.87	240	20/12/15 23:09:38	225	3.46	1	780
20/12/15 22:34:45	223	1.23	0.88	240	20/12/15 22:09:45	224	3.52	1	790
20/12/15 21:34:51	222	1.23	0.87	230	20/12/15 21:09:51	223	3.52	1	780
20/12/15 20:34:58	221	1.24	0.87	230	20/12/15 20:09:58	222	3.53	1	780
20/12/15 19:35:06	224	1.24	0.87	240	20/12/15 19:10:06	225	3.49	1	780
20/12/15 18:35:13	224	1.24	0.89	240	20/12/15 18:10:13	225	3.5	0.99	780
20/12/15 17:35:20	223	1.24	0.88	240	20/12/15 17:10:20	225	3.49	1	780
20/12/15 16:35:28	224	1.24	0.88	240	20/12/15 16:10:28	224	3.54	0.99	780
20/12/15 15:35:35	224	0	x	0	20/12/15 15:10:35	225	0	x	0
20/12/15 14:35:43	225	0	x	0	20/12/15 14:10:43	226	0	x	0
20/12/15 13:35:50	224	0	x	0	20/12/15 13:10:50	225	0	x	0
20/12/15 12:35:57	224	0	x	0	20/12/15 12:10:57	225	0	x	0
20/12/15 11:36:04	225	0	x	0	20/12/15 11:11:04	225	0	x	0
20/12/15 10:36:10	225	0	x	0	20/12/15 10:11:10	226	0	x	0
20/12/15 09:36:17	226	0	x	0	20/12/15 09:11:17	227	0	x	0
20/12/15 08:36:24	227	0	x	0	20/12/15 08:11:24	229	0	x	0
20/12/15 07:36:32	228	0	x	0	20/12/15 07:11:32	228	0	x	0
20/12/15 06:36:38	227	0	x	0	20/12/15 06:11:38	229	0	x	0
20/12/15 05:36:45	227	1.24	0.87	240	20/12/15 05:11:45	229	3.43	1	780
20/12/15 04:36:52	227	1.24	0.87	250	20/12/15 04:11:52	229	3.43	0.99	780
20/12/15 03:36:59	227	1.23	0.87	240	20/12/15 03:11:59	229	3.44	0.99	780
20/12/15 02:37:06	228	1.22	0.87	240	20/12/15 02:12:06	227	3.45	0.99	770
20/12/15 01:37:06	227	1.24	0.88	240	20/12/15 01:12:06	229	3.44	0.99	780
20/12/15 00:37:13	226	1.24	0.89	240	20/12/15 00:12:13	227	3.45	1	780
19/12/15 23:37:19	227	1.25	0.87	240	19/12/15 23:12:19	229	3.42	1	780
19/12/15 22:37:26	227	1.23	0.88	240	19/12/15 22:12:26	229	3.43	0.99	770
19/12/15 21:37:32	226	1.23	0.87	230	19/12/15 21:12:32	228	3.46	1	780
19/12/15 20:37:39	228	1.24	0.87	230	19/12/15 20:12:39	230	3.4	1	780
19/12/15 19:37:46	227	1.25	0.87	240	19/12/15 19:12:46	229	3.44	0.99	780
19/12/15 18:37:53	227	1.24	0.89	240	19/12/15 18:12:53	229	3.42	1	780
19/12/15 17:38:00	227	1.24	0.88	240	19/12/15 17:13:00	228	3.45	1	780
19/12/15 16:38:07	226	1.24	0.88	240	19/12/15 16:13:07	228	3.46	1	780
19/12/15 15:38:14	226	0	x	0	19/12/15 15:13:14	226	0	x	0
19/12/15 14:38:20	226	0	x	0	19/12/15 14:13:20	229	0	x	0
19/12/15 13:38:28	227	0	x	0	19/12/15 13:13:28	228	0	x	0
19/12/15 12:38:35	226	0	x	0	19/12/15 12:13:35	227	0	x	0
19/12/15 11:38:42	226	0	x	0	19/12/15 11:13:42	227	0	x	0
19/12/15 10:38:50	223	0	x	0	19/12/15 10:13:50	224	0	x	0
19/12/15 09:38:57	225	0	x	0	19/12/15 09:13:57	226	0	x	0
19/12/15 08:39:04	223	0	x	0	19/12/15 08:14:04	223	0	x	0
19/12/15 07:39:12	224	0	x	0	19/12/15 07:14:12	225	0	x	0
19/12/15 06:39:19	225	0	x	0	19/12/15 06:14:19	227	0	x	0
19/12/15 05:39:27	225	1.24	0.88	240	19/12/15 05:14:27	227	3.46	0.99	780
19/12/15 04:39:34	226	1.24	0.89	240	19/12/15 04:14:34	227	3.45	1	780
19/12/15 03:39:42	227	1.25	0.87	240	19/12/15 03:14:42	229	3.42	1	780
19/12/15 02:39:50	228	1.23	0.88	240	19/12/15 02:14:50	230	3.4	1	780
19/12/15 01:39:58	227	1.23	0.87	230	19/12/15 01:14:58	228	3.44	1	780
19/12/15 00:40:05	225	1.24	0.87	240	19/12/15 00:15:05	227	3.46	1	780
18/12/15 23:40:12	226	1.25	0.87	240	18/12/15 23:15:12	228	3.44	1	780
18/12/15 22:40:18	228	1.24	0.89	240	18/12/15 22:15:18	226	3.47	0.99	780
18/12/15 21:40:25	225	1.24	0.88	240	18/12/15 21:15:25	227	3.48	0.99	780
18/12/15 20:40:31	225	1.24	0.88	230	18/12/15 20:15:31	226	3.48	1	780
18/12/15 19:40:38	228	1.22	0.89	240	18/12/15 19:15:38	230	3.43	0.99	780

U tabeli 38 prikazana su dnevna očitavanja brojačnika aktivne i reaktivne energije za oba mešovita režima sa definisanim scenarijima rada za mezopske i fotopske uslove (podešeno je da se očitavanje uvek vrši u ponoć), a u tabeli 39 satna očitavanja električnih veličina (U, I, P i $\cos\phi$) za režim 1 (očitavanje se vrši na svaki sat unazad od trenutka očitavanja za period od 40 dana).

Tabela 38. Izmerene vrednosti brojačnika za mešovite režime

MEŠOVITI REŽIMI - DNEVNA OČITAVANJA ENERGIJE					
LED SVETILJKE		HID SVETILJKE			
Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]	Vreme snimanja	Akt. energija [Wh]	Reakt. energija [Varh]
REŽIM 1					
30/01/16 00:00:00	1917250	681260	30/01/16 00:00:00	4244440	476920
29/01/16 00:00:00	1914650	679380	29/01/16 00:00:00	4234870	475610
28/01/16 00:00:00	1912100	677540	28/01/16 00:00:00	4225320	474280
27/01/16 00:00:00	1909540	675690	27/01/16 00:00:00	4215750	472960
26/01/16 00:00:00	1907490	674240	26/01/16 00:00:00	4208050	471930
25/01/16 00:00:00	1904910	672380	25/01/16 00:00:00	4198480	470620
24/01/16 00:00:00	1902360	670540	24/01/16 00:00:00	4188740	469310
23/01/16 00:00:00	1899800	668690	23/01/16 00:00:00	4179000	467980
22/01/16 00:00:00	1897270	666860	22/01/16 00:00:00	4169190	466650
21/01/16 00:00:00	1894590	664920	21/01/16 00:00:00	4159260	465290
20/01/16 00:00:00	1891790	662900	20/01/16 00:00:00	4139600	462620
REŽIM 2					
19/01/16 00:00:00	1888300	660750	19/01/16 00:00:00	4132070	461630
18/01/16 00:00:00	1885700	659140	18/01/16 00:00:00	4123270	460390
17/01/16 00:00:00	1882510	657170	17/01/16 00:00:00	4113920	459080
16/01/16 00:00:00	1879310	655190	16/01/16 00:00:00	4104580	457770
15/01/16 00:00:00	1876260	653310	15/01/16 00:00:00	4095240	456470
14/01/16 00:00:00	1873090	651350	14/01/16 00:00:00	4085910	455160
13/01/16 00:00:00	1869890	649370	13/01/16 00:00:00	4076600	453860
12/01/16 00:00:00	1866720	647420	12/01/16 00:00:00	4067280	452550
11/01/16 00:00:00	1863540	645460	11/01/16 00:00:00	4057770	451240
10/01/16 00:00:00	1860350	643490	10/01/16 00:00:00	4057770	451240
REŽIM 1 - SCENARIO RADA ZA MEZOPSKE USLOVE					
SCENARIO RADA	LED		HID		
	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	
15:40 - 21:40	47	0.86	73	1	
21:40 - 02:40	31	0.63	55	0.75	
02:40 - 05:40	18	0.4	38	0.5	
REŽIM 2 - SCENARIO RADA ZA FOTOPSKE USLOVE					
SCENARIO RADA	LED		HID		
	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	Kontrolni nivo [%]	Sjajnost [cd/m ²]	
15:40 - 21:40	60	1	73	1	
21:40 - 02:40	39	0.75	55	0.75	
02:40 - 05:40	23	0.5	38	0.5	

Tabela 39. Primer satnog očitavanja električnih veličina za jedan mešoviti režim

TRENUTNE SATNE VREDNOSTI MERNIH VELIČINA - MEŠOVITI REŽIMI									
LED SVETILJKE					HID SVETILJKE				
Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]	Vreme snimanja	U [V]	I [V]	PF	P [W]
REŽIM 1									
30/01/16 10:52:45	224	0	x	0	30/01/16 10:39:15	225	0	x	0
30/01/16 09:52:53	224	0	x	0	30/01/16 09:39:23	225	0	x	0
30/01/16 08:53:00	222	0	x	0	30/01/16 08:39:30	224	0	x	0
30/01/16 07:53:07	224	0	x	0	30/01/16 07:39:37	226	0	x	0
30/01/16 06:53:12	224	0	x	0	30/01/16 06:39:42	227	3.46	1	780
30/01/16 05:53:18	225	1.25	0.87	240	30/01/16 05:39:48	228	2.33	0.98	520
30/01/16 04:53:24	227	0.73	0.62	100	30/01/16 04:39:54	229	2.32	0.98	510
30/01/16 03:53:29	227	0.73	0.64	110	30/01/16 03:39:59	230	2.31	0.98	510
30/01/16 02:53:35	228	0.74	0.61	100	30/01/16 02:40:05	228	2.88	0.99	640
30/01/16 01:53:41	227	0.91	0.78	160	30/01/16 01:40:11	227	2.89	0.99	650
30/01/16 00:53:47	225	0.91	0.78	160	30/01/16 00:40:17	227	2.89	0.99	640
29/01/16 23:53:53	226	0.92	0.78	160	29/01/16 23:40:23	229	2.87	0.99	650
29/01/16 22:53:59	228	0.9	0.77	170	29/01/16 22:40:29	226	2.9	1	650
29/01/16 21:54:06	225	0.91	0.77	160	29/01/16 21:40:36	224	3.51	1	780
29/01/16 20:54:12	223	1.23	0.88	240	29/01/16 20:40:42	227	3.46	0.99	780
29/01/16 19:54:19	223	1.23	0.87	240	29/01/16 19:40:49	225	3.48	1	780
29/01/16 18:54:26	225	1.22	0.87	240	29/01/16 18:40:56	225	3.51	0.99	780
29/01/16 17:54:33	223	1.23	0.88	240	29/01/16 17:41:03	223	4.49	1	1000
29/01/16 16:54:40	223	1.23	0.88	240	29/01/16 16:41:10	229	0	x	0
29/01/16 15:54:48	226	0	x	0	29/01/16 15:41:18	230	0	x	0
29/01/16 14:54:55	226	0	x	0	29/01/16 14:41:25	229	0	x	0
29/01/16 13:55:03	226	0	x	0	29/01/16 13:41:33	228	0	x	0
29/01/16 12:55:11	226	0	x	0	29/01/16 12:41:41	226	0	x	0
29/01/16 11:55:17	226	0	x	0	29/01/16 11:41:47	226	0	x	0
29/01/16 10:55:24	225	0	x	0	29/01/16 10:41:54	227	0	x	0
29/01/16 09:55:30	226	0	x	0	29/01/16 09:42:00	227	0	x	0
29/01/16 08:55:36	223	0	x	0	29/01/16 08:42:06	224	0	x	0
29/01/16 07:55:42	224	0	x	0	29/01/16 07:42:12	224	0	x	0
29/01/16 06:55:49	222	0	x	0	29/01/16 06:42:19	225	0	x	0
29/01/16 05:55:55	224	1.24	0.88	240	29/01/16 05:42:25	226	3.48	1	780
29/01/16 04:56:00	229	0.73	0.59	100	29/01/16 04:42:30	227	2.33	0.98	520
29/01/16 03:56:06	227	0.73	0.64	110	29/01/16 03:42:36	228	2.32	0.98	510
29/01/16 02:56:12	227	0.74	0.61	100	29/01/16 02:42:42	230	2.33	0.97	510
29/01/16 01:56:17	227	0.91	0.78	160	29/01/16 01:42:47	228	2.88	0.99	640
29/01/16 00:56:23	228	0.91	0.78	160	29/01/16 00:42:53	229	2.85	0.99	640
28/01/16 23:56:30	228	0.92	0.78	160	28/01/16 23:43:00	229	2.87	0.98	640
28/01/16 22:56:36	227	0.9	0.77	170	28/01/16 22:43:06	228	2.88	0.98	640
28/01/16 21:56:42	227	0.91	0.77	160	28/01/16 21:43:12	227	2.89	0.99	640
28/01/16 20:56:48	225	1.23	0.88	240	28/01/16 20:43:18	227	3.47	1	780
28/01/16 19:56:54	224	1.21	0.86	230	28/01/16 19:43:24	227	3.46	1	780
28/01/16 18:57:01	225	1.22	0.87	240	28/01/16 18:43:31	226	3.49	1	780
28/01/16 17:57:08	224	1.23	0.88	240	28/01/16 17:43:38	225	3.51	1	790
28/01/16 16:57:17	225	1.23	0.88	240	28/01/16 16:43:47	227	3.48	1	780
28/01/16 15:57:26	229	0	x	0	28/01/16 15:43:56	229	0	x	0
28/01/16 14:57:36	229	0	x	0	28/01/16 14:44:06	229	0	x	0
28/01/16 13:57:45	227	0	x	0	28/01/16 13:44:15	228	0	x	0
28/01/16 12:57:54	226	0	x	0	28/01/16 12:44:24	227	0	x	0
28/01/16 11:58:02	226	0	x	0	28/01/16 11:44:32	227	0	x	0
28/01/16 10:58:10	227	0	x	0	28/01/16 10:44:40	226	0	x	0
28/01/16 09:58:17	226	0	x	0	28/01/16 09:44:47	227	0	x	0
28/01/16 08:58:23	226	0	x	0	28/01/16 08:44:53	226	0	x	0
28/01/16 07:58:29	225	0	x	0	28/01/16 07:44:59	224	0	x	0
28/01/16 06:58:34	223	0	x	0	28/01/16 06:45:04	228	0	x	0
28/01/16 05:58:41	223	1.25	0.87	240	28/01/16 05:45:11	229	3.5	1	790
28/01/16 04:58:47	228	0.73	0.63	110	28/01/16 04:45:17	226	3.48	1	790
28/01/16 03:58:53	227	0.73	0.61	100	28/01/16 03:45:23	227	2.34	0.98	520
28/01/16 02:58:59	228	0.74	0.61	100	28/01/16 02:45:29	231	2.31	0.97	520
28/01/16 01:59:05	227	0.91	0.78	160	28/01/16 01:45:35	229	2.84	0.99	640
28/01/16 00:59:11	229	0.91	0.78	160	28/01/16 00:45:41	227	2.88	0.99	640
27/01/16 23:59:17	226	0.92	0.78	160	27/01/16 23:45:47	226	2.89	1	650
27/01/16 22:59:23	225	0.9	0.77	170	27/01/16 22:45:53	227	2.87	1	650
27/01/16 21:59:29	226	0.91	0.77	160	27/01/16 21:45:59	229	2.88	0.99	650
27/01/16 20:59:35	226	1.23	0.88	240	27/01/16 20:46:05	229	3.45	0.99	780
27/01/16 19:59:41	226	1.23	0.87	240	27/01/16 19:46:11	227	3.45	1	780
27/01/16 18:59:48	225	1.22	0.87	230	27/01/16 18:46:18	228	3.46	0.99	780
27/01/16 17:59:55	225	1.23	0.88	240	27/01/16 17:46:25	226	3.46	1	780
27/01/16 17:00:04	228	1.23	0.88	240	27/01/16 16:46:34	222	3.57	1	790

Analizom rezultata iz tabela 34-39 mogu se izvesti sledeći zaključci:

- ukoliko se uporede vremena uključenja/isključenja iz tabele 31 očitana kroz korisničku stranicu telemenadžment sistema, može se zaključiti sa velikom verovatnoćom da se ta vremena poklapaju sa onim očitanim sa digitalnih brojila. Budući da su brojila predefinisana tako da vrše očitavanja u intervalu od 1 h, može se primetiti da se satni interval u kome je došlo do uključenja/isključenja instalacija savršeno poklapa se preciznijim merenjima iz telemenadžment sistema. Ova konstatacija takođe važi i za intervale u kojima je instalacija dimovana.
- slična konstatacija važi i za očitavanje snaga iz digitalnih brojila. Brojila su prilagođena većim potrošačima i očitavanja su data isključivo celim brojevima u rasponu od 10 W (smatra sa da je za merenja većih snaga i energija ovo zadovoljavajuća preciznost). Tako npr. za izmerenu snagu od 104.9 W brojilo će u tabeli prikazati snagu od 100 W, dok će za izmerenu snagu od 105.1 W brojilo u tabeli prikazati snagu od 110 W. Čak i uz ovaj nedostatak, rezultati merenja kroz telemenadžment sistem i kroz digitalna brojila veoma su bliski, što se može videti iz tabele 40 gde su date srednje vrednosti snaga na nivou čitave grupe (6 x LED i 9 x NavP).

Tabela 40. Poređenja očitavanja snaga i faktora snage kroz telemenadžment sistem i digitalna brojila

REŽIMI RADA (LED→HID)		TELEMENADŽMENT				DIGITALNA BROJILA			
		LED		HID		LED		HID	
		P [W]	cosφ	P [W]	cosφ	P [W]	cosφ	P [W]	cosφ
1.346 cd/m ²	1.346 cd/m ²	436.86	0.95	946.89	0.99	440	0.94	960	1.00
1 cd/m ²	1 cd/m ²	300.9	0.91	765.9	0.98	300	0.90	770	1.00
0.86 cd/m ²	1 cd/m ²	237.48	0.88	767.97	0.98	240	0.87	780	0.99
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	212.7	0.86	634.95	0.98	200	0.83	640	0.99
0.63 cd/m ²	0.75 cd/m ²	163.8	0.81	635.94	0.97	160	0.78	640	0.99
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	126.42	0.73	508.95	0.96	120	0.70	510	0.98
0.4 cd/m ²	0.5 cd/m ²	104.16	0.64	508.95	0.96	100	0.61	510	0.98

- Može se konstatovati da se vrednosti aktivnih snaga merenih kroz telemenadžment i putem digitalnih brojila razlikuju prosečno 2.9 % kod

LED i 0.75 % kod NaVP svetiljki, dok se faktor snage razlikuje prosečno 4.15 % kod LED i 1.59 % kod NaVP svetiljki.

- Poredeći potrošnju (aktivnih) energija iz tabele 30 i tabela 34, 36 i 38 na početku i na kraju svakog od perioda (standardnih, mezopskih ili mešovitih), a uzimajući u obzir određene nepreciznosti (digitalna brojila su fabrički podešena da očitavaju dnevnu potrošnju u ponoć, a ne sledećeg jutra kada se instalacija isključi), može se konstatovati da su razlike u ovom dužem vremenskom periodu u proseku manje od 5 %.

5.4 Primeri mogućih dinamičkih scenarija na godišnjem nivou

Došlo se na ideju da se pretpostave dva dinamička režima rada instalacije i da se, koristeći rezultate merenja (pre svega, izmerene aktivne i reaktivne snage po svetiljci u obe testne grupe, date u tabeli 30), izračuna kolike bi bile realne uštede na godišnjem nivou, imajući u vidu da se dužina trajanja noći menja tokom godine (od 9 h do 15 h). Posebno su se razmatrali režimi sa uvažavanjem, a posebno bez uvažavanja mezopskih efekata. Rađeno je za sva 3 prethodno tretirana fotopska ($1/0.75/0.5 \text{ cd/m}^2$) i 3 mezopska ($0.86/0.63/0.4 \text{ cd/m}^2$) nivoa sjajnosti. Scenariji su kreirani tako da su u jednom slučaju 3-stepeni (poslednji treći stepen (nivo sjajnosti) traje do isključenja), a u drugom 4-stepeni (u poslednjem četvrtom stepenu se u nekom trenutku pred svitanje (6 h) nivo vraća na 100 % i produžava do isključenja instalacije). Svi scenariji rada prikazani su u tabelama 41 i 42 - na osnovu prethodno definisanih uslova tretira se 8 različitih režima rada. Napominje se da se u 4-stepenim scenarijima, za slučaj da trenutak isključenja instalacije usledi pre 6 h ujutru (u zavisnosti od meseca u godini), praktično i ne postoji četvrti stepen (povratak nivoa sjajnosti na 100 % pred isključenje).

Tabela 41. Fotopski i mezopski scenariji rada za prvi režim

SCENARIO 1	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]	SCENARIO 2	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]
uključenje - 22:00h	1	1	uključenje - 22:00h	1	1
22:00h - 03:00h	0.75	0.75	22:00h - 03:00h	0.75	0.75
03:00h - 06:00h	0.5	0.5	03:00h - isključenje	0.5	0.5
06:00h - isključenje	1	1			
SCENARIO 1 MEZOPSKI	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]	SCENARIO 2 MEZOPSKI	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]
uključenje - 22:00h	0.86	1	uključenje - 22:00h	0.86	1
22:00h - 03:00h	0.63	0.75	22:00h - 03:00h	0.63	0.75
03:00h - 06:00h	0.4	0.5	03:00h - isključenje	0.4	0.5
06:00h - isključenje	0.86	1			

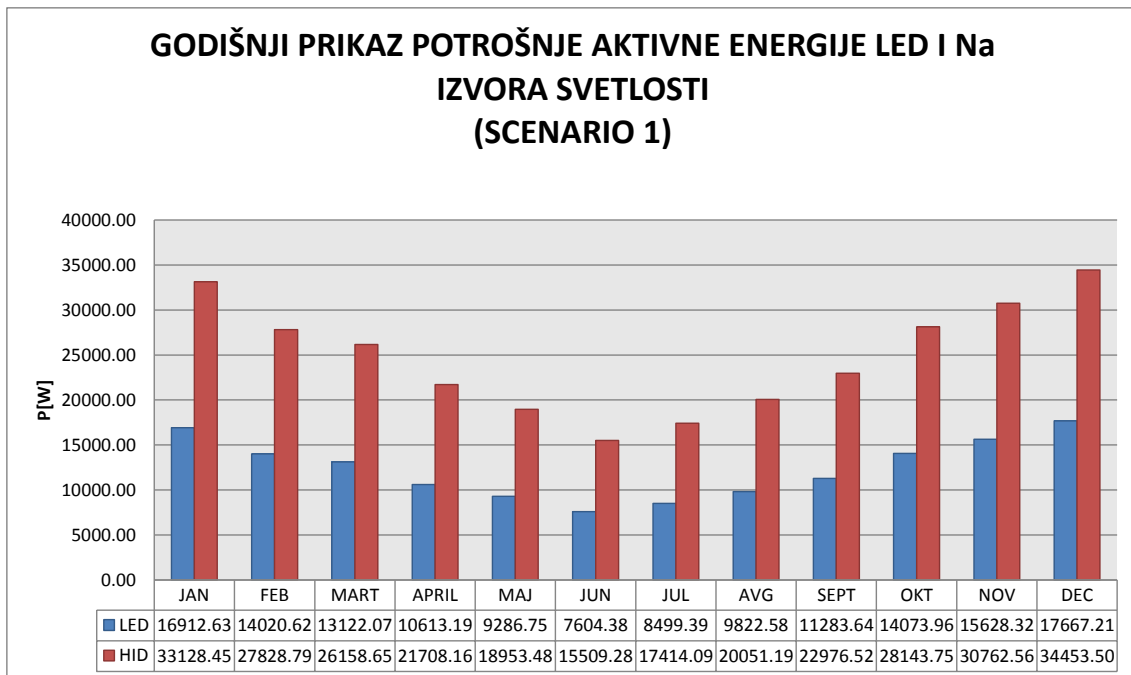
Tabela 42. Fotopski i mezopski scenariji rada za drugi režim

SCENARIO 3	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]	SCENARIO 4	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]
uključenje - 21:00h	1	1	uključenje - 21:00h	1	1
21:00h - 01:00h	0.75	0.75	21:00h - 01:00h	0.75	0.75
01:00h - 06:00h	0.5	0.5	01:00h - isključenje	0.5	0.5
06:00h - isključenje	1	1			
SCENARIO 3 MEZOPSKI	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]	SCENARIO 4 MEZOPSKI	LED [cd/m ²]	HID [cd/m ²]
uključenje - 21:00h	0.86	1	uključenje - 21:00h	0.86	1
21:00h - 01:00h	0.63	0.75	21:00h - 01:00h	0.63	0.75
01:00h - 06:00h	0.4	0.5	01:00h - isključenje	0.4	0.5
06:00h - isključenje	0.86	1			

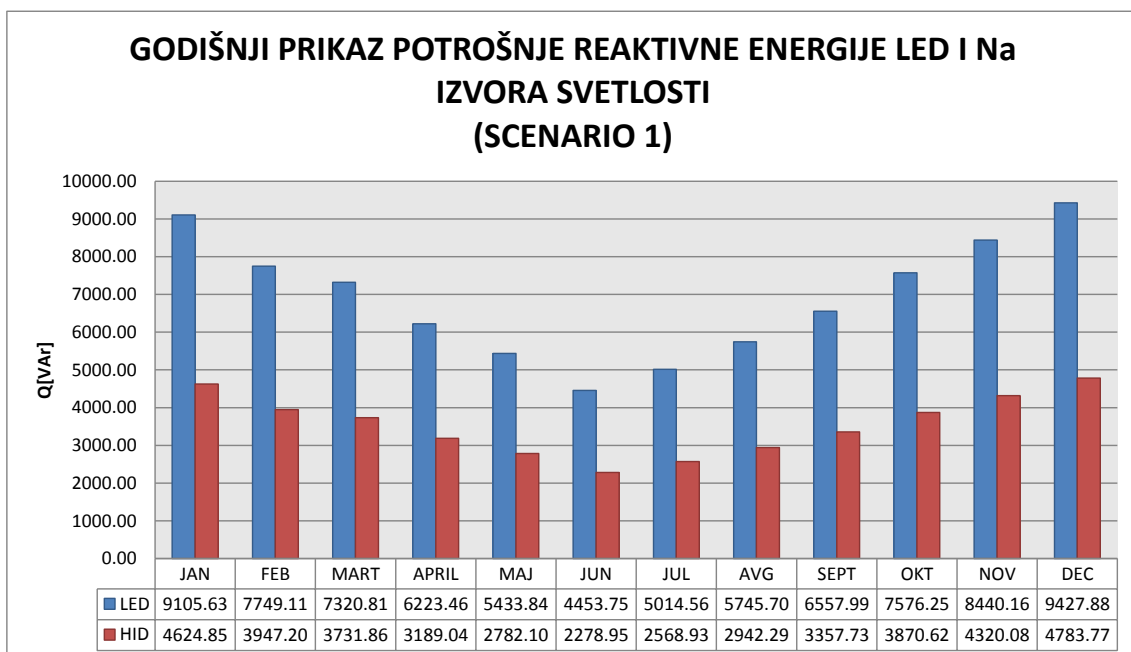
U daljem tekstu su predstavljeni samo grafikoni komparativne potrošnje aktivne i reaktivne energije za svaki scenario rada, bez prikazivanja proračuna koji su do njih doveli (slična analiza je primenjena u poglavljima 5.2 i 5.3, a jedina razlika je u drugačije definisanim režimima rada za čitavu kalendarsku godinu). Podsećanja radi, u tabeli 43 biće prikazan važeći kalendar uključenja/isključenja za Grad Beograd dobijen od JKP „Javno osvetljenje“, ovog puta bez vrednosti uključenja/isključenja dobijenih sa korisničke stranice telemenadžment sistema prikazanih uporedno u tabeli 31.

Tabela 43. Važeći kalendar uključenja/isključenja za Grad Beograd

p.б	MESEЦ	ДАТУМ ОД-ДО	ПАЉЕЊЕ У САТИ (h:min)	ГАШЕЊЕ У САТИ (h:min)	Време горења сијалица			
					ДАНА	ДНЕВНО (h:min)	10- ДНЕВНО (h:min)	Месечно (h:min)
1.	ЈАНУАР	01-10	16,00	07,00	10	15:00	150:00	452:00
		11-21	16,15	06,45	11	14:30	159:30	
		22-31	16,30	06,45	10	14:15	142:30	
2.	ФЕБРУАР	01-10	16,45	06,30	10	13:45	137:30	372:30 (385:15)
		11-21	17,00	06,15	11	13:15	145:45	
		22-28(29)	17,15	06,00	7 (8)	12:45	89:15 (102:00)	
3.	МАРТ	01-10	17,30	05,45	10	12:15	122:30	364:15
		11-21	17,45	05,30	11	11:45	129:15	
		22-31	18,00	05,15	10	11:15	112:30	
4.	АПРИЛ	01-10	19,00	06,00	10	11:00	110:00	310:30
		11-21	19,15	05,30	11	10:15	112:45	
		22-30	19,30	05,15	9	09:45	87:45	
5.	МАЈ	01-10	19,45	05,00	10	09:15	92:30	271:15
		11-21	20,00	04,45	11	08:45	96:15	
		22-31	20,15	04,30	10	08:15	82:30	
6.	ЈУН	01-10	20,30	04,15	10	07:45	77:30	222:30
		11-21	20,45	04,00	11	07:15	79:45	
		22-30	20,45	04,00	9	07:15	65:15	
7.	ЈУЛ	01-10	20,45	04,15	10	07:30	75:00	248:00
		11-21	20,30	04,30	11	08:00	88:00	
		22-31	20,15	04,45	10	08:30	85:00	
8.	АВГУСТ	01-10	20,00	04,45	10	08:45	87:30	286:45
		11-21	19,45	05,00	11	09:15	101:45	
		22-31	19,30	05,15	10	09:45	97:30	
9.	СЕПТЕМБАР	01-10	19,15	05,30	10	10:15	102:30	327:00
		11-21	18,45	05,45	11	11:00	121:00	
		22-30	18,30	06,00	9	11:30	103:30	
10.	ОКТОБАР	01-10	18,15	06,15	10	12:00	120:00	392:45
		11-21	17,45	06,30	11	12:45	140:15	
		22-31	17,30	06,45	10	13:15	132:30	
11.	НОВЕМБАР	01-10	16,15	06,00	10	13:45	137:30	422:00
		11-21	16,15	06,15	11	14:00	154:00	
		22-30	16,00	06,30	9	14:30	130:30	
12.	ДЕЦЕМБАР	01-10	16,00	06,45	10	14:45	147:30	467:45
		11-21	15,45	07,00	11	15:15	167:45	
		22-31	15,45	07,00	10	15:15	152:30	
УКУПНО ЗА ГОДИНУ (h:min):					365			4137:15
(УКУПНО ЗА ПРЕСТУПНУ ГОДИНУ) (h:min):					(366)			(4150:00)

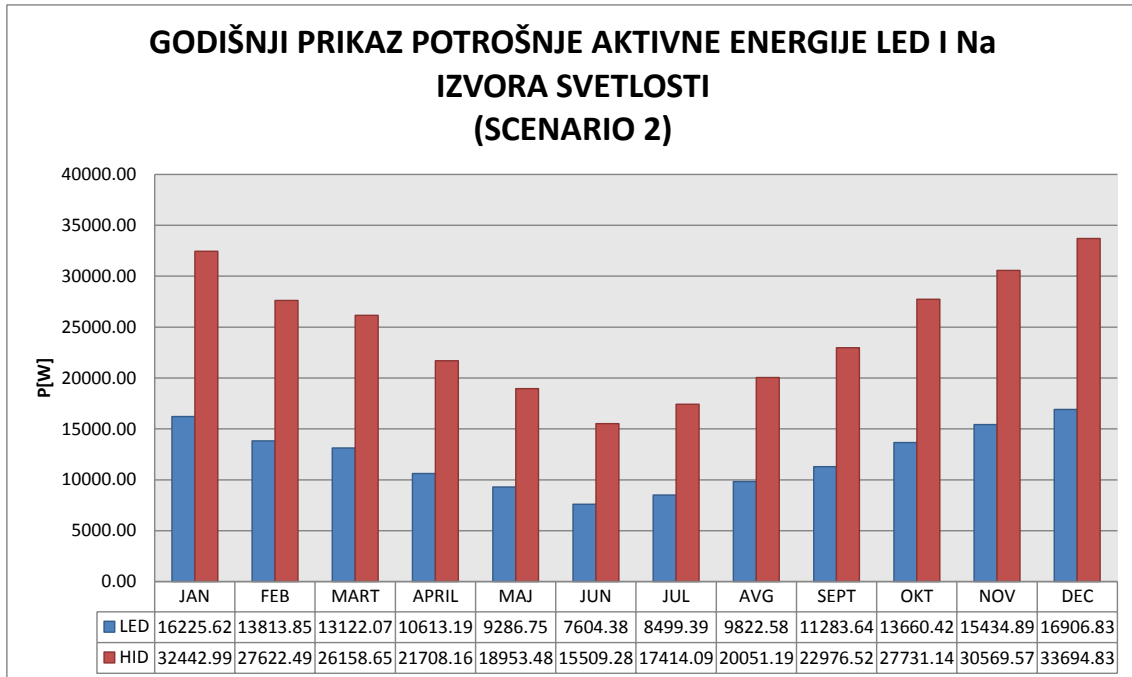


Grafikon 1. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED i NaVP – Scenario 1

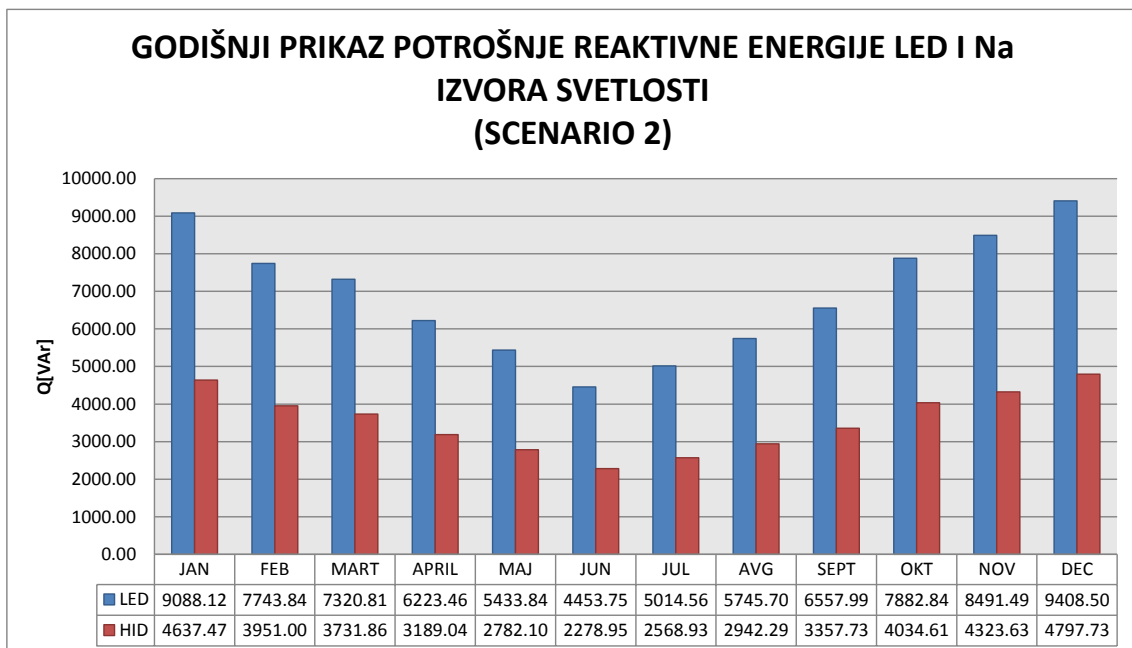


Grafikon 2. Komparativni prikaz potrošnje reaktivne energije za LED i NaVP – Scenario 1

Može se konstatovati da je za scenario 1 50 % manja potrošnja aktivne električne energije, kao i da je za 48.95 % veća potrošnja reaktivne električne energije kod LED izvora na godišnjem nivou.

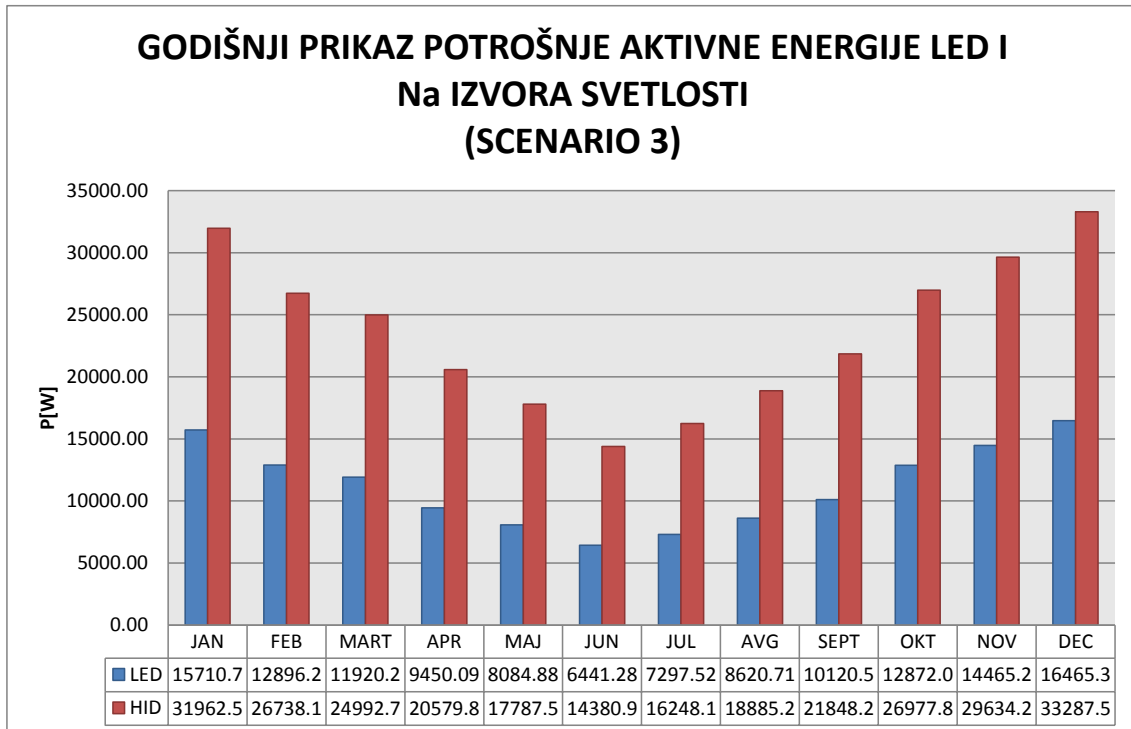


Grafikon 3. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED i NaVP – Scenario 2

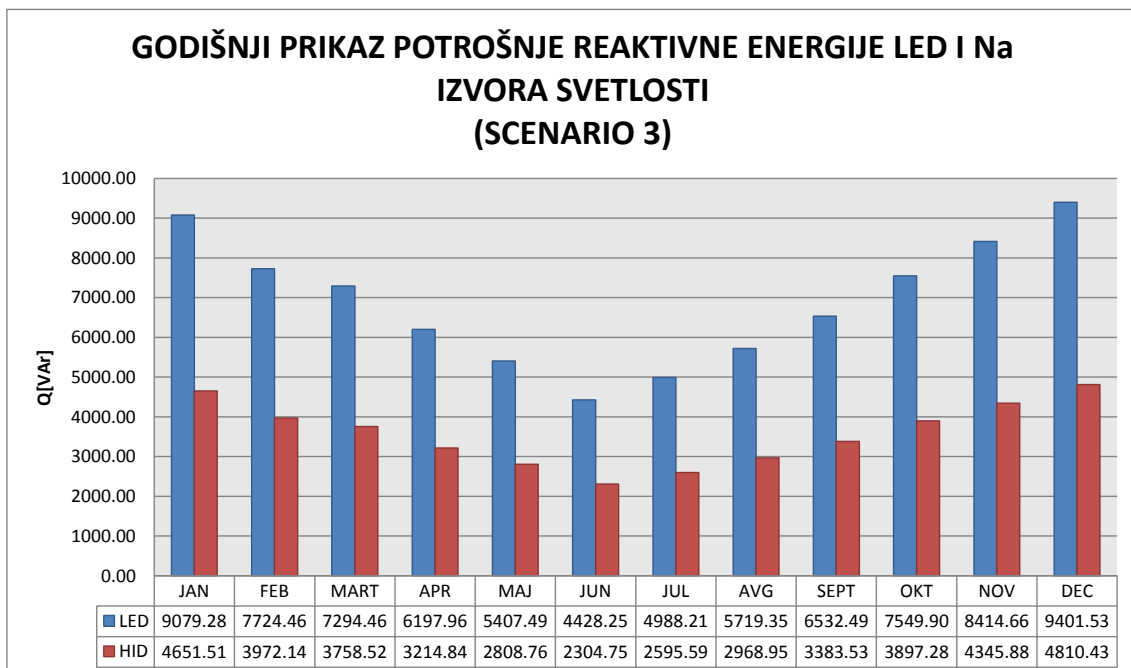


Grafikon 4. Komparativni prikaz potrošnje reaktivne energije za LED i NaVP – Scenario 2

Može se konstatovati da je za scenario 2 50.39 % manja potrošnja aktivne električne energije, kao i da je za 48.9 % veća potrošnja reaktivne električne energije kod LED izvora na godišnjem nivou.

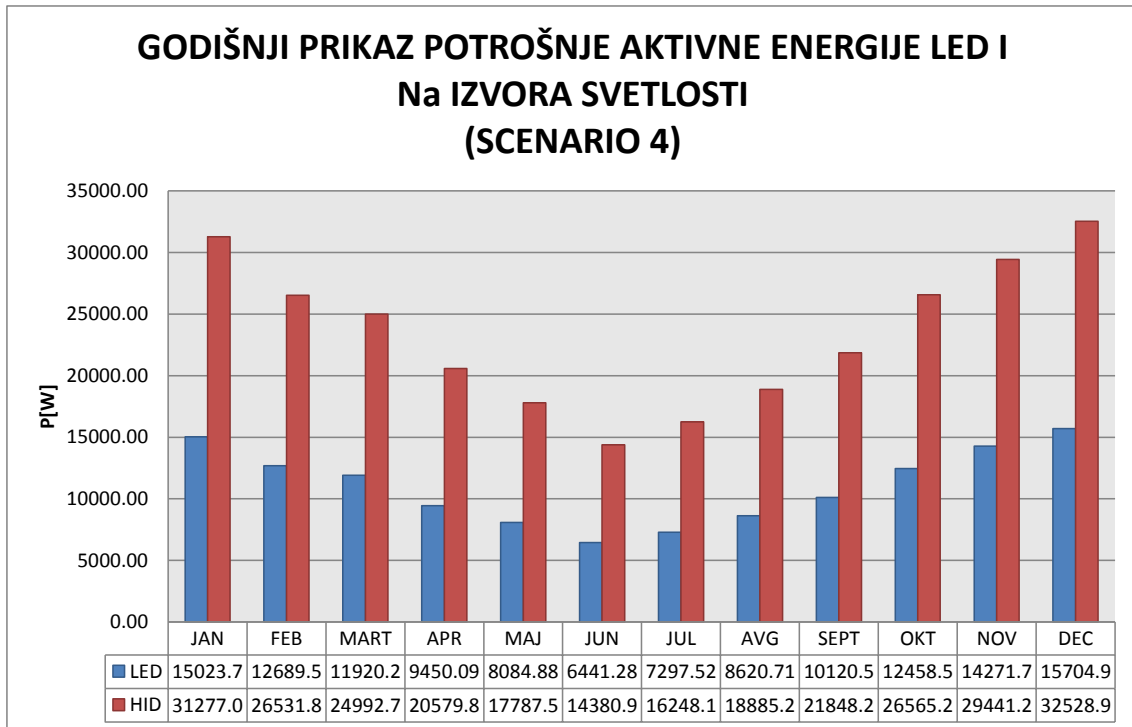


Grafikon 5. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED i NaVP – Scenario 3

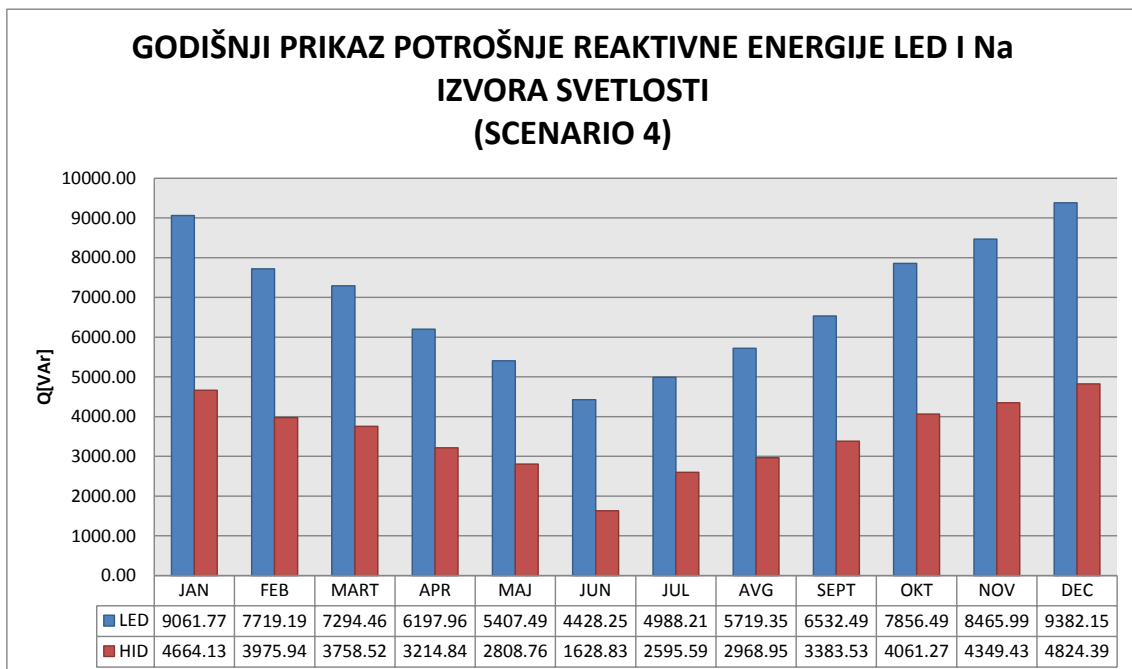


Grafikon 6. Komparativni prikaz potrošnje reaktivne energije za LED i NaVP – Scenario 3

Može se konstatovati da je za scenario 3 52.58 % manja potrošnja aktivne električne energije, kao i da je za 48.38 % veća potrošnja reaktivne električne energije kod LED izvora na godišnjem nivou.



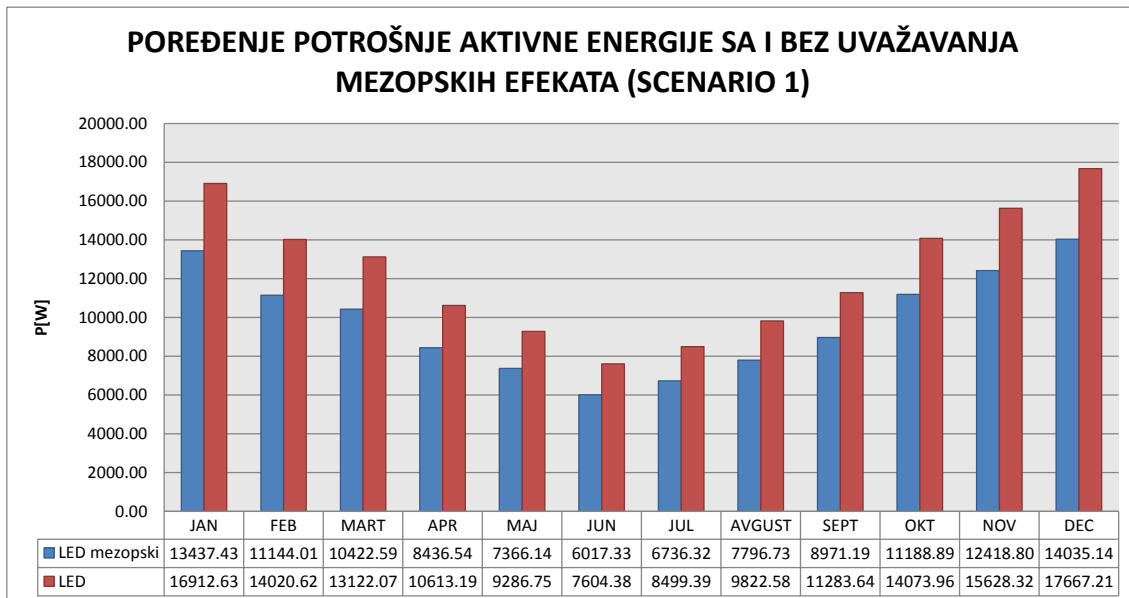
Grafikon 7. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED i NaVP – Scenario 4



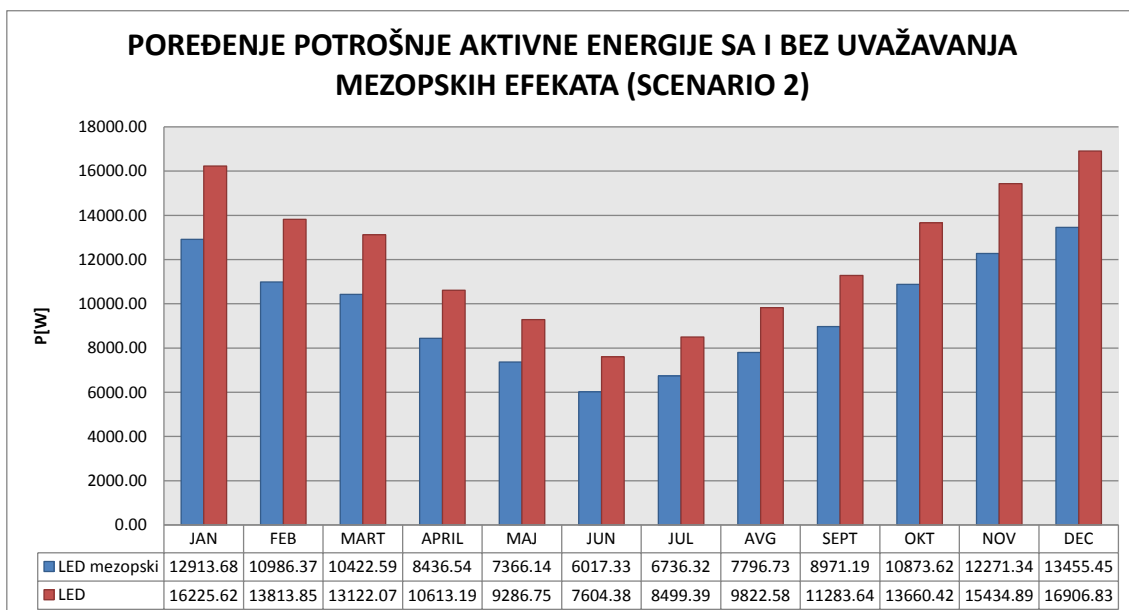
Grafikon 8. Komparativni prikaz potrošnje reaktivne energije za LED i NaVP – Scenario 4

Može se konstatovati da je za scenario 4 53.01 % manja potrošnja aktivne električne energije, kao i da je za 49.15 % veća potrošnja reaktivne električne energije kod LED izvora na godišnjem nivou.

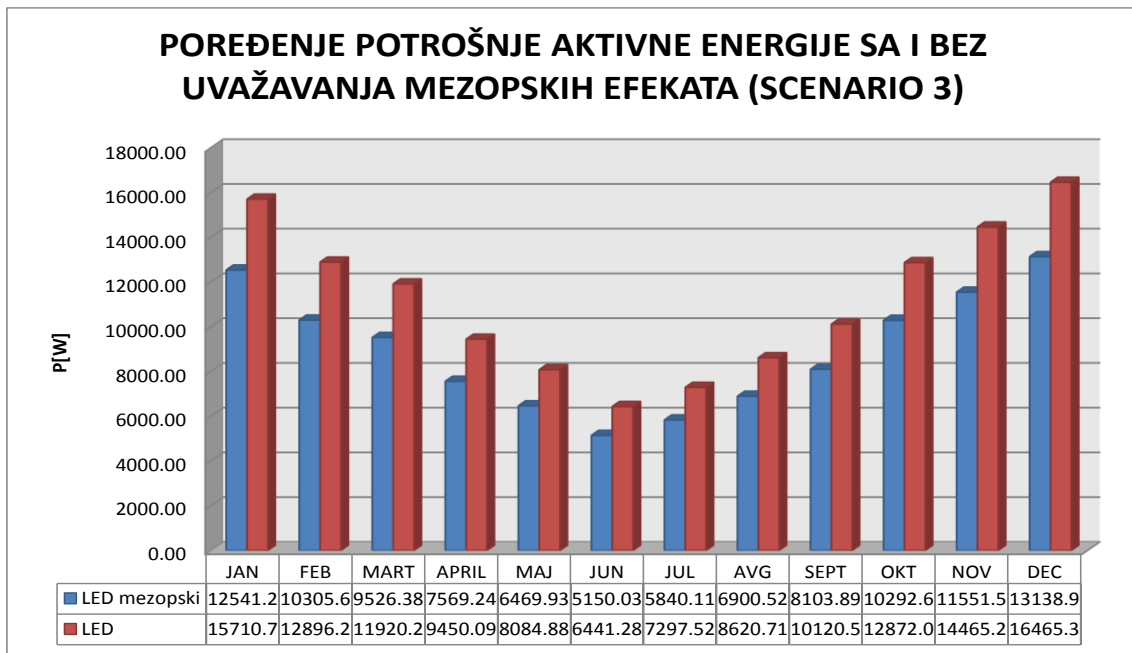
Pošto se uvažavanjem mezopskih efekata potrošnja reaktivne energije povećava u proseku za 3.26 %, biće prikazani samo grafikoni aktivne energije za mezopske scenarije. Poređenje nije vršeno sa NaVP izvorima jer je to urađeno u prethodna 4 scenarija, već samo između LED svetiljki sa i bez uvažavanja mezopskog efekta.



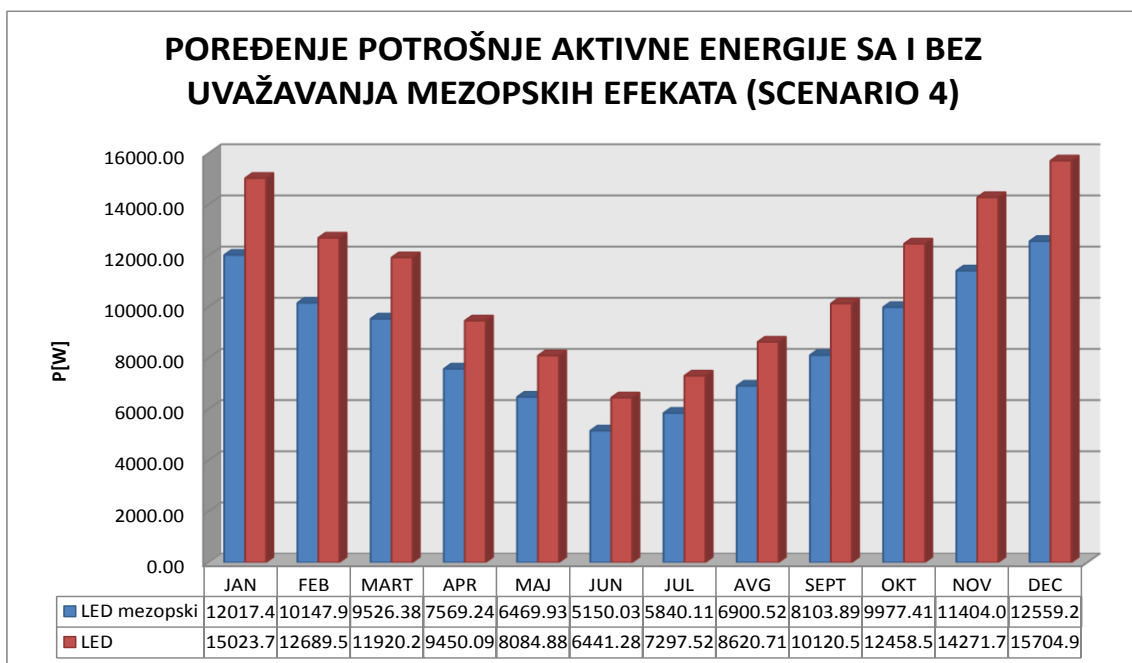
Grafikon 9. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED sa i bez uvažavanja mezopskih efekata – Scenario 1 mezopski



Grafikon 10. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED sa i bez uvažavanja mezopskih efekata – Scenario 2 mezopski

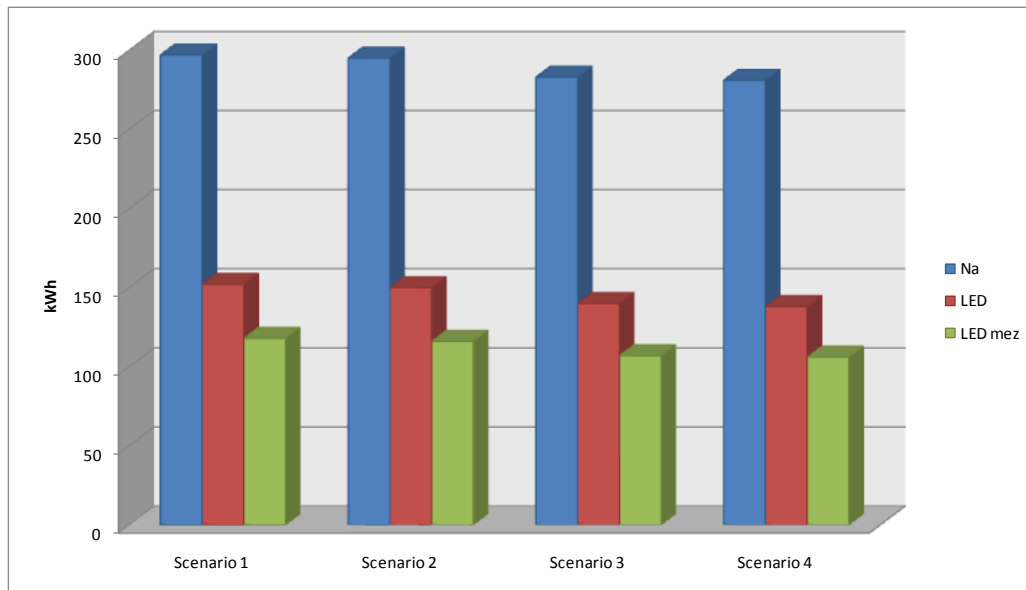


Grafikon 11. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED sa i bez uvažavanja mezopskih efekata – Scenario 3 mezopski



Grafikon 12. Komparativni prikaz potrošnje aktivne energije za LED sa i bez uvažavanja mezopskih efekata – Scenario 4 mezopski

Može se konstatovati da se potrošnja aktivne energije smanjuje prosečno za 20.29 % sa uvažavanjem mezopskih efekata, što navodi na zaključak da uvažavanje mezopskih efekata može biti značajan činilac u projektovanju instalacija JO.



Grafikon 13. Godišnja potrošnja aktivne energije Na i LED izvora svetlosti bez i sa uvažavanjem mezopskih efekata za različite scenarije promena režima nivoa sjajnosti

Analizirajući grafikon 13 koji daje potrošnju aktivne energije za svaki od definisanih scenarija rada, može se konstatovati da je ušteda aktivne energije na godišnjem nivou koja se postiže primenom LED umesto NaVP izvora:

- **Scenario 1** – bez uvažavanja mezopskih efekata 50 %, sa uvažavanjem mezopskih efekata 60.29 %
- **Scenario 2** – bez uvažavanja mezopskih efekata 50.39 %, sa uvažavanjem mezopskih efekata 60.74 %
- **Scenario 3** – bez uvažavanja mezopskih efekata 52.58 %, sa uvažavanjem mezopskih efekata 63.12 %
- **Scenario 4** – bez uvažavanja mezopskih efekata 53.01 %, sa uvažavanjem mezopskih efekata 63.61 %

Ušteda u energiji primenom scenarija 1 u odnosu na scenario 2, odnosno scenarija 3 u odnosu na scenario 4, je zanemarljiva. Kako od ranih jutarnjih časova počinju sa radom državne ustanove, industrija, privatna preduzeća, škole i prodavnice, jasno je da se povećava gustina saobraćaja i broj pešaka na ulicama. Zbog opšte bezbednosti u saobraćaju i sigurnosti građana, zaključak je da u ranim jutarnjim časovima treba povećati nivo sjajnosti, primenom scenarija 1 i scenarija 3.

5.5 Rezultati merenja harmonijskih izobličenja

Harmonici ¹ se odnose na struje i napone čije učestanosti predstavljaju celobrojne umnoške osnovne (mrežne) učestanosti (npr., treći harmonik ima učestanost od 150 Hz). Strujni harmonici nastaju usled nelinearnog opterećenja mreže koje proizvodi struju nesinusoidalnog talasnog oblika. Strujni harmonici dalje generišu naponske harmonike u skladu sa Omovim zakonom. Može se reći da harmonik predstavlja sinusoidalni doprinos određene učestanosti ukupnim periodičnim oscilacijama sistema (one jesu periodične, ali ne i harmonijske, jer se izraz harmonijske odnosi samo na sinusoidalne promene). Svaka periodična promena se matematički može predstaviti pomoću više sinusoidalnih (harmonijskih) funkcija, gde svaki od pojedinačnih sabiraka predstavlja jedan harmonik (napon na NaVP sijalici i LED modulu nije sinusoidalan i predstavlja složenoperiodičnu funkciju koja se može razložiti u Furijeov red).

THD je mera izobličenja u struji opterećenja i izražena je formulom ³:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}{I_1^2}} \quad (2)$$

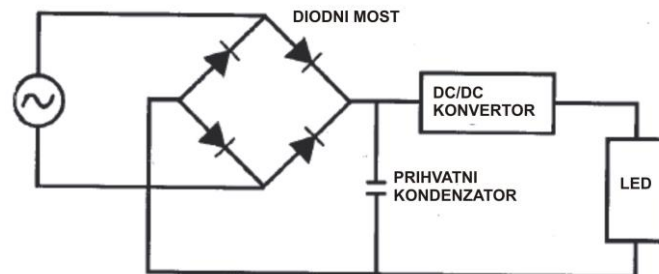
gde je:

I_1 – efektivna vrednost struje osnovnog harmonika

I_n – efektivna vrednost n-tog harmonika

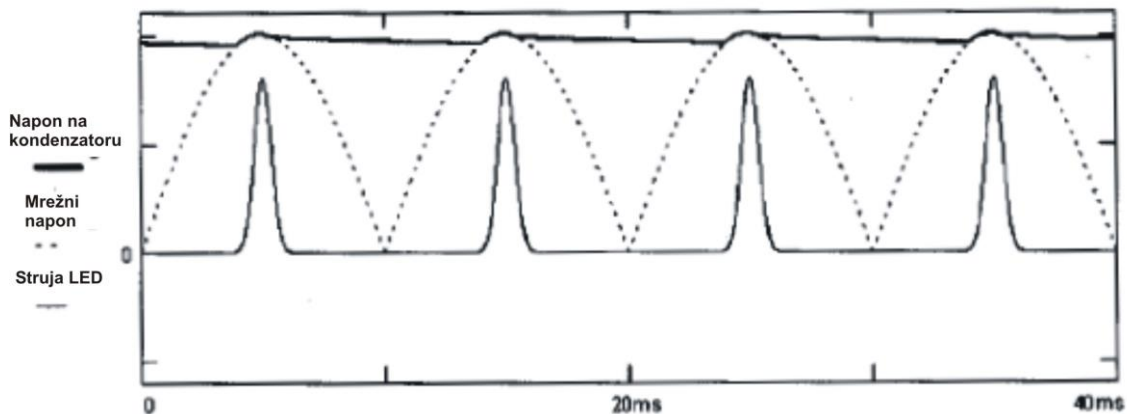
Pošto struja elektronskog balasta (LED drajvera) određuje struju u električnom kolu NaVP ili LED izvora, ona može imati samo neparne harmonike (funkcija koja ima stepen simetrije takav da je $f(t+T/2) = -f(t)$ može imati samo neparne harmonike ¹). Aktivna opterećenja (npr. inkandescentni izvori) nemaju harmonike, dok oprema koja se nalazi u prekidačkom režimu rada proizvodi harmonijska izobličenja. Sva pretvaračka kola svoj rad zasnivaju na tehnici impulsno-širinske modulacije (Pulse Width Modulation – PWM). Elektronski balasti i LED drajveri (kao i sva SMPS prekidačka elektronika) imaju značajna harmonijska izobličenja usled prisustva diodnih mostova sa kondenzatorima koji stvaraju prekidnu struju (diskontinualni DCM režim rada - struja balasta (drajvera) jednaka je nuli u određenom delu prekidačkog ciklusa (na početku je nula, zatim dostiže maksimalnu vrednost i ponovo pada na nulu tokom svakog

prekidačkog ciklusa). Kolo ispravljača, koje se sastoji od 4 diode (u Grecovom spoju) i kondenzatora, proizvodi pulsirajući jednosmerni napon koji zatim prolazi kroz kondenzatorski filter koji smanjuje naizmeničnu komponentu napona (slika 69⁸³).



Slika 69. Prekidačko kolo sa izdvojenim ispravljačkim delom⁸³

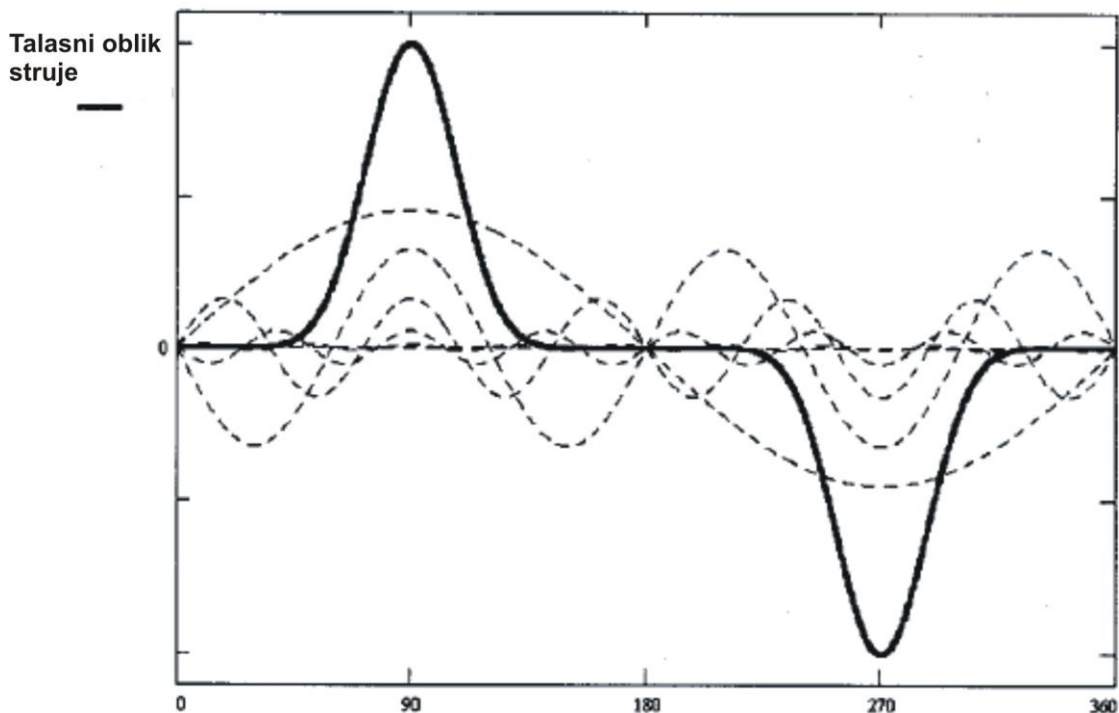
Kada se mrežni napon prvi put dovede na električno kolo svetiljke, punjenje kondenzatora je praćeno pojavom velike udarne struje sve dok se kondenzator ne napuni na maksimalnu vrednost ispravljenog napona (kondenzator se ponaša kao kratak spoj kada je ispražnjen). Kada udarna struja opadne, diode provode struju i pune kondenzator samo ako je ispravljeni sinusoidalni napon na izlasku iz punomostnog ispravljača sa slike 69 viši od napona na kondenzatoru (kada je niži od napona na kondenzatoru, protok struje je blokiran i ona se ne isporučuje opterećenju - slika 70).



Slika 70. Talasni oblici mrežnog napona, napona na kondenzatoru i struje LED drajvera⁸³

Nakon četvrtine periode, kada napon na ispravljaču dostigne maksimalnu vrednost, kondenzator je maksimalno napunjen. Nakon ovoga, napon na ispravljaču počinje da opada. To izaziva pražnjenje kondenzatora kroz opterećenje. Ako je kapacitivnost kondenzatora dovoljno velika, kondenzator će se sporije prazniti nego što opada napon

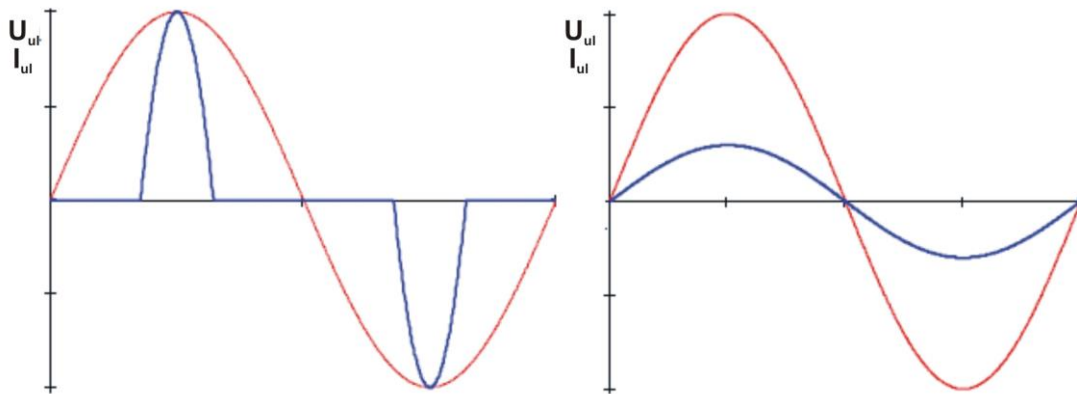
na ispravljaču. Tako potrošač dobija napajanje sa manjom „talasnošću“ - ukoliko je kapacitivnost kondenzatora veća, talasanje napona će biti manje (to je „ispeglani“ napon na izlasku iz punomostnog ispravljača prikazan na slici 70). Punjenje kondenzatora na piknu ispravljenog sinusoidalnog ulaznog napona čini da AC struja teče kroz kondenzator u uzastopnim uskim strujnim impulsima. Ovo stvara nelinearnu AC ulaznu struju koja je bogata harmonicima. Talasni oblik struje je posledica prisustva viših (neparnih) harmonika (slika 71).



Slika 71. Talasni oblik ulazne struje LED drajvera sa višim (neparnim) harmonicima ⁸³

Na frekvencijama viših harmonika stvara se značajna energija koja se javlja oko naponskih pikova (struja je uvek u fazi i na istoj frekvenciji sa naponom). Ova energija smanjuje faktor snage, pa svi kvalitetniji elektronski balasti imaju i stepen za korekciju faktora snage (PFC blok). Najčešće se kod kvalitetnih LED drajvera (i elektronskih balasta) koji se koriste u spoljnom osvetljenju (posebno u instalacijama JO) koristi aktivni PFC blok za popravku faktora snage (slika 72). U inženjerskoj praksi se može koristiti formula $THD = 1 - PF^2$ (uz značajne aproksimacije i primenljiva samo na THD struje, ne i THD napona) koja jasno kaže da je nizak THD direktna posledica visokog faktora snage (i obratno) ⁸⁴. Npr., za $PF = 0.9$, procenjena vrednost THD iznosi 19 %.

Problem sa prekidačkim uređajima nastupa prilikom dimovanja (tj. prilikom manjih opterećenja od nominalnih), a ovaj problem nije još uvek dobro pokriven standardima i stručnom literaturom. Aktivni PFC blok predstavlja najbolje rešenje za prekidačke uređaje, ali zahteva veću investiciju i skuplje uređaje koji sa zasnovani na 1-10 V ili PWM arhitekturama regulacije izlaznih veličina (struje, napona, svetlosnog fluksa i snage).



Slika 72. Tipičan talasni oblik ulazne struje bez (levo) i sa (desno) aktivnim PFC blokom ⁸⁵

Vrednosti za pojedinačne harmonike su date standardom IEC 61000-3-2 ⁸⁵, klasa C za svetlosnu opremu (tabela 44).

Tabela 44. Granice harmonijskog izobličenja za opremu klase C (osvetljenje) ⁸³

Viši harmonici (n)	Maksimalno dozvoljena vrednost harmonika struje izražena kao procenat ulazne struje na osnovnoj frekvenciji (%)
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

(samo neparni harmonici)

* λ je faktor snage električnog kola

Tabela 44 se odnosi na svetiljke snage preko 25 W, dok se za snage ispod 25 W (koje konkretno nisu od značaja) kaže da struja trećeg harmonika ne sme preći 86 %, a struja petog harmonika 61 % od struje osnovnog harmonika (ili se kao alternativa koristi

druga kolona u tabeli za uređaje klase D (računarska tehnika, radio ili TV prijemnici). Takođe, ove granične vrednosti se odnose na distributivne sisteme 230 V (monofazno) ili 400 V (trofazno) na 50 Hz, za svu elektronsku i električnu opremu sa nominalnim strujama manjim od 16 A.

ANSI standard C82.11⁸⁶ zahteva da maksimalna vrednost THD za elektronske balaste ne prelazi 32 %, dok ANSI standard C82.77-10⁸⁷ definiše maksimalnu vrednost THD za LED drajvere od 20 %. Većina novih elektronskih balasta ili LED drajvera je tako konstruisana da THD ne prelazi 20, 15 ili čak (kod najkvalitetnije opreme) 10 %! Za snage manje od 25 W, kaže se da je zadovoljavajuće imati $PF > 0.5$ i $THD < 70$ %, sa efikasnošću sistema do 80 %. Za snage veće od 25 W, kaže se da su minimalni kriterijumi $PF > 0.9$, $THD < 20$ %, a efikasnost sistema (LED drajvera) veća od 85 %.

Postoje i standardi koji se bave prisustvom harmonika u mrežnom naponu, a prema standardu EN 50160⁸⁹, THD mrežnog napona se računa prema formuli:

$$THD_u = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}{U_1^2}} \quad (3)$$

gde je:

U_1 – efektivna vrednost napona osnovnog harmonika

U_h – efektivna vrednost n-tog harmonika (do 40-tog)

Zahteva se $THD_U < 8$ %⁹⁰ ($THD_U < 2$ % prema EN 61000-3-3⁹¹), a dozvoljene vrednosti za sve neparne harmonike do 40-tog reda su date u tabeli 45.

Tabela 45. Granice harmonijskog izobličenja mrežnog napona prema standardu EN 50160⁹⁰

Neparni harmonici				Parni harmonici	
nisu deljivi sa 3		deljivi sa 3			
Harmonik h	Relativni napon	Harmonik h	Relativni napon	Harmonik h	Relativni napon
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					

Napomena: nisu date vrednosti za harmonike iznad 25-tog jer su obično mali i veoma nepredvidljivi usled efekata rezonancije

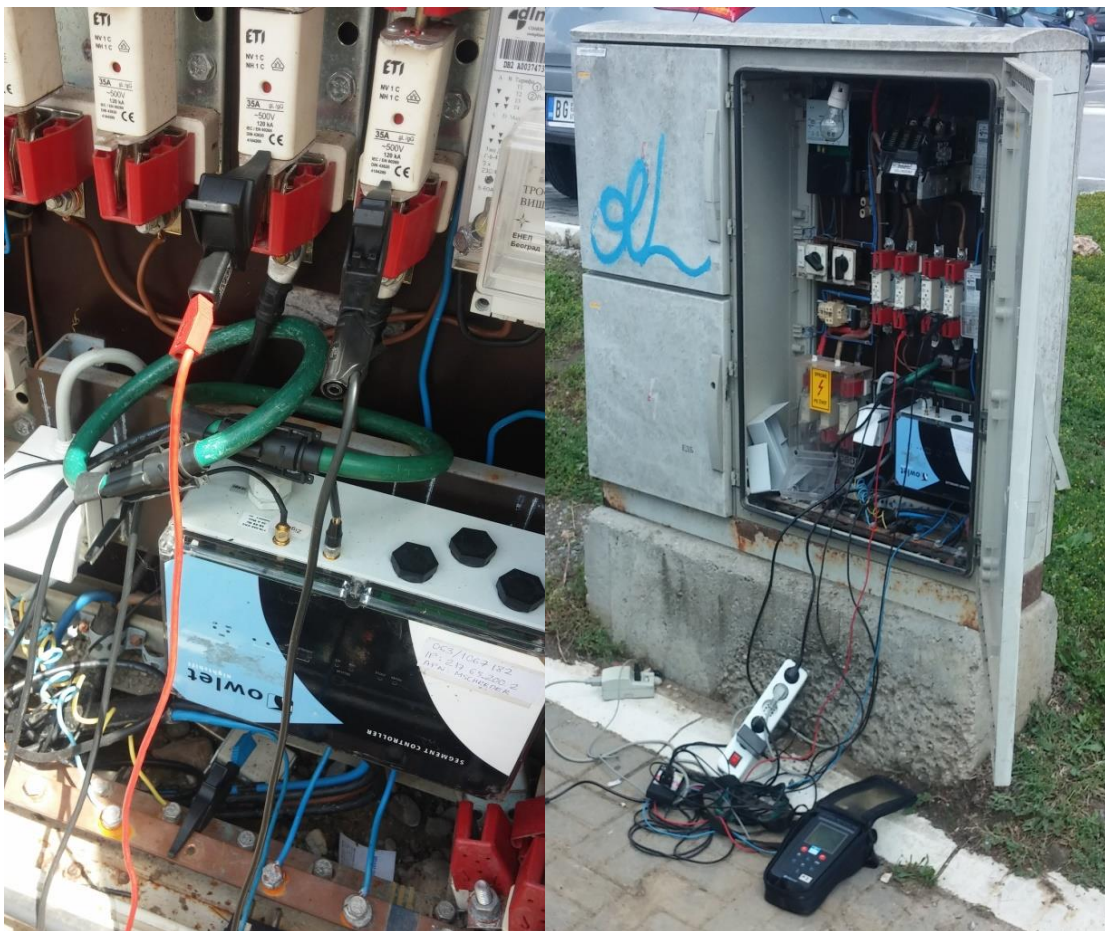
U analizi harmonijskih izobličenja, posebno treba obratiti pažnju na trofazni sistem napajanja (sa zajedničkim neutralnim provodnikom). Kroz neutralni provodnik protiče struja koja predstavlja vektorski zbir faznih struja. U ujednačenom trofaznom sistemu osnovni harmonici faznih struja se potiru, ali su zato treći, deveti i petnaesti harmonik u fazi pa se njihove vrednosti sabiraju. Može se očekivati da kroz neutralni provodnik protiče struja koja je najmanje $3 \times 20 = 60 \%$ vrednosti fazne struje, dok u slučaju nesimetričnog opterećenja faza ova struja može porasti do vrednosti veće od vrednosti fazne struje (u instalacijama JO u Srbiji primenjuje se dvofazni sistem napajanja). Iz tog razloga, presek neutralnog provodnika mora biti isti kao i za fazne provodnike. Prethodno navedena ograničenja vrednosti viših harmonika struje su validna samo ukoliko mrežni napon ima neznatno izobličen sinusoidalni talasni oblik.

U konkretnom slučaju, za merenje harmonijskih izobličenja struje i napona na testnoj instalaciji korišćen je mrežni analizator Circutor AR5⁸⁸. AR5 mrežni analizator je uređaj koji u sebi sadrži tehnološki najnaprednije komponente u mikroelektronici i na tržištu predstavlja lidera u merenju i snimanju električnih veličina u industrijskoj energetske mreži. To je programabilni instrument koji meri, računa i memoriše glavne parametre za sve 3 faze električne mreže. Merenje podrazumeva 3 naponska i 3 strujna ulaza (preko.../2V A.C. strujnih klešta) i omogućava simultanu analizu napona, struje i aktivne snage za sve 3 faze i frekvenciju merene napojne mreže, a na osnovu ovih vrednosti se u internom procesoru proračunavaju i ostale električne veličine (između standardnih, i harmonijska izobličenja napona i struje).



Slika 73. Mrežni analizator Circutor AR5

Merenja su izvršena 14.5.2016, u trajanju od 30 min (sa okidanjem (snimanjem) svih veličina na svakih 30 sekundi) za svaki od 4 fotopska i 3 mezopska režima. Pošto je napajanje u ormanu JO (bez prenosnog odnosa), uređaj se priključuje na obe faze (strujno i naponski) preko CP-5 strujnih klješta koja mere u opsegu 50 mA – 5 A (ne očekuje se da maksimalna struja u NaVP zoni pređe 4 A). Uređaj je povezan kao na slici 74, sva merenja su snimana, a zatim prebačena na računar radi dalje obrade u korisničkom softveru Power Vision, proizvođača Circutor (Španija).



Slika 74. Povezivanje mrežnog analizatora u ormanu JO

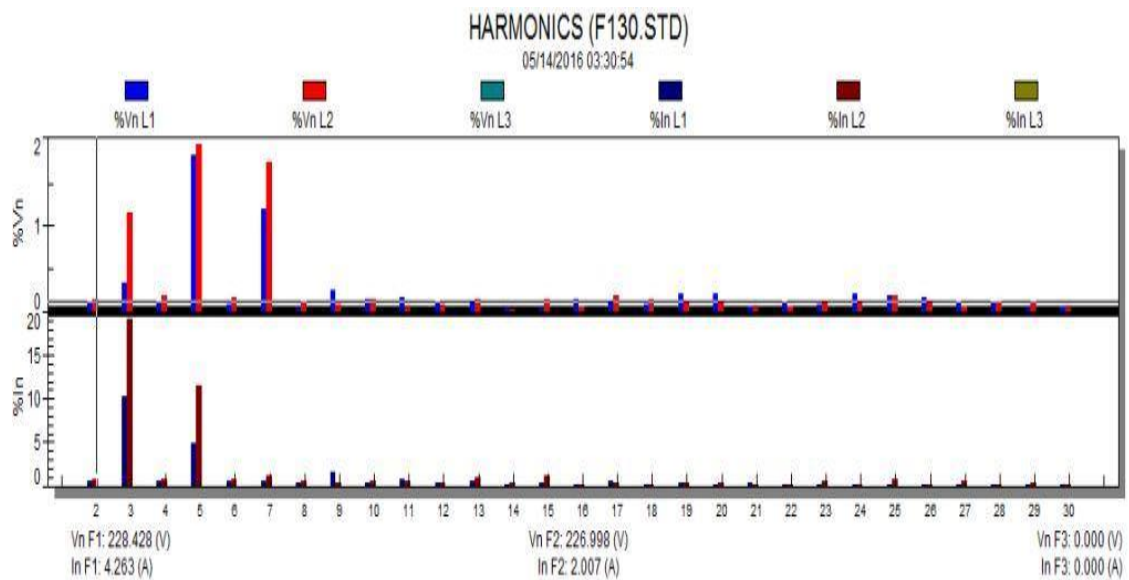
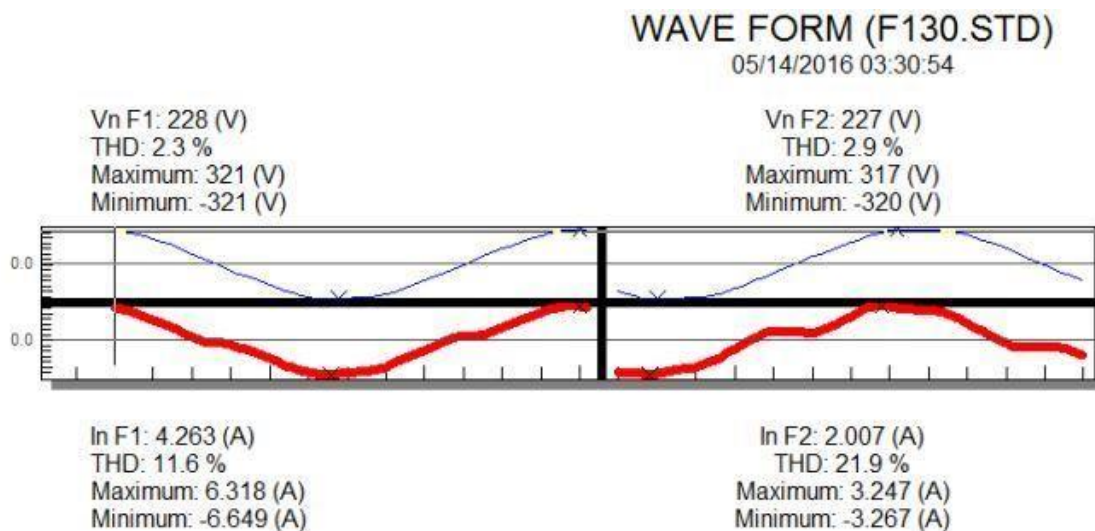
Naponske klemme su povezane na metalne pločice nožastih osigurača, strujne obujmice su zatvorene oko provodnika na izlazu iz nožastih osigurača (kasnije je ovaj tip strujnih obujmica predviđenih za struje do 200 A zbog nepreciznosti merenja zamenjen manjim tipa CP-5 za struje do 5 A), a klemma za nulti provodnik je direktno zakačena na bakarnu sabirnicu za povezivanje N i PE provodnika (TN sistem zaštite). Nažalost, ovaj uređaj nema mogućnost merenja harmonika u neutralnom provodniku.

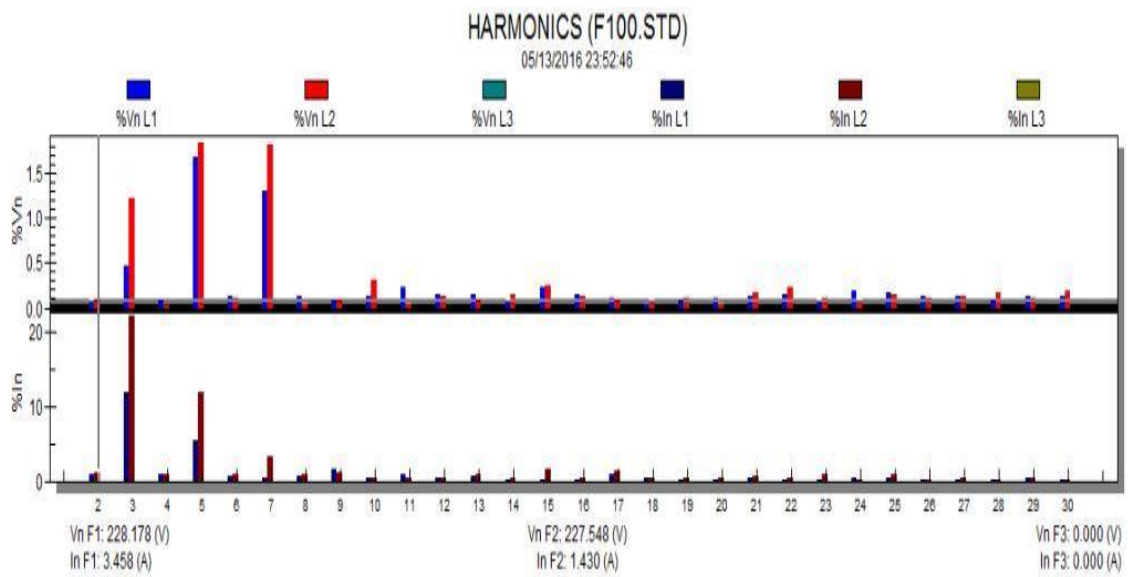
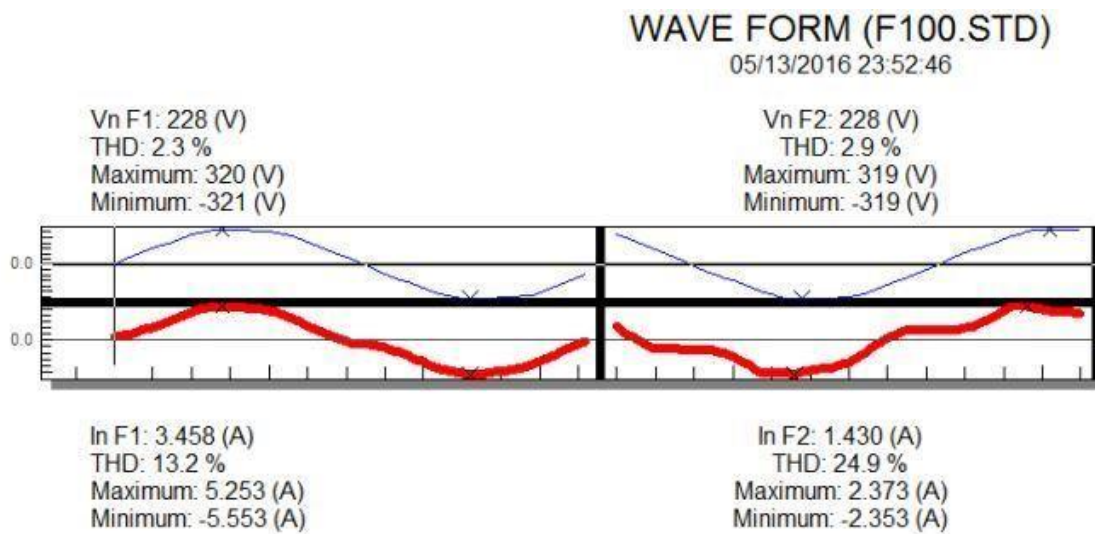
Na slikama 75, 77, 79, 81, 83, 85 i 87 prikazane su procentualne efektivne vrednosti harmonika napona i struje (do 30-tog harmonika) u odnosu na efektivne vrednosti napona i struje osnovnog harmonika, za svaki od 7 analiziranih režima (4 fotopska i 3 mezopska). Na apscisi su prikazani brojevi harmonika do 30-og, dok se na ordinati može očitati procentualni udeo svakog od harmonika u odnosu na efektivne vrednosti osnovnih harmonika napona i struje. Iznad grafikona se može videti vreme snimanja i legenda sa različitim bojama za napone i struje sve 3 faze. Ispod grafikona su date efektivne vrednosti napona i struje osnovnog harmonika za sve 3 faze.

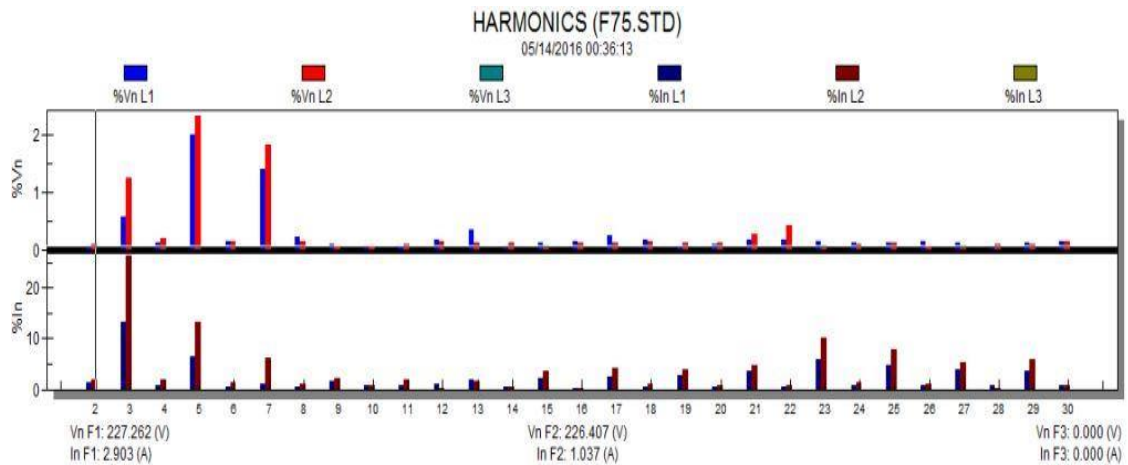
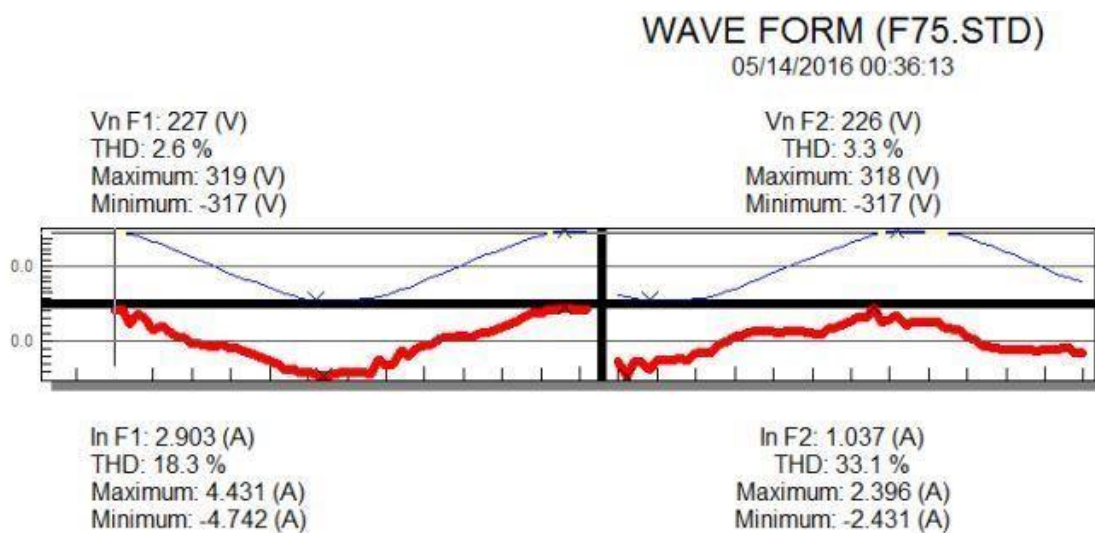
Na slikama 76, 78, 80, 82, 84, 86 i 88 prikazani su talasni oblici napona i struja u svim režimima. Iznad grafikona se mogu videti vreme snimanja, efektivna vrednost napona osnovnog harmonika, maksimalna vrednost THD_U za period snimanja od 30 minuta i maksimalne izmerene vrednosti napona u obe poluperiode. Ispod grafikona se mogu videti efektivna vrednost struje osnovnog harmonika, maksimalna vrednost THD_I za period snimanja od 30 minuta i maksimalne izmerene vrednosti struje u obe poluperiode.

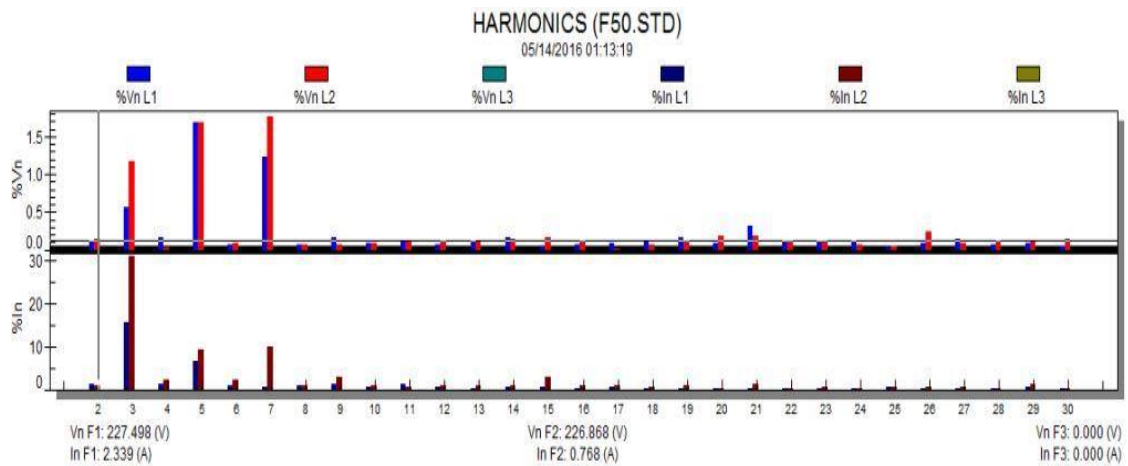
Na fazu 1 mrežnog analizatora su povezane LED svetiljke, a na fazu 2 NaVP svetiljke (faza 3 nije korišćena). Prikaz vrednosti je na svim slikama razdvojen po vertikali, pri čemu se u gornjoj polovini nalaze rezultati naponskih merenja, a u donjoj polovini rezultati strujnih merenja.

Sve slike su direktno uvezene iz softverskog paketa Power Vision koji se isključivo koristi za obradu rezultata merenja snimljenih mrežnim analizatorom. Numeričke vrednosti koje su takođe očitane kroz softverski paket korišćene se u daljoj analizi. Pored harmonijskih izobličenja i talasnih oblika napona i struje, uređaj omogućava merenje i snimanje vrednosti napona, struje, faktora snage, aktivne, reaktivne i prividne snage za sve 3 faze (konkretno, za faze 1 i 2 na koje su bile priključene grupe LED i NaVP svetiljki).

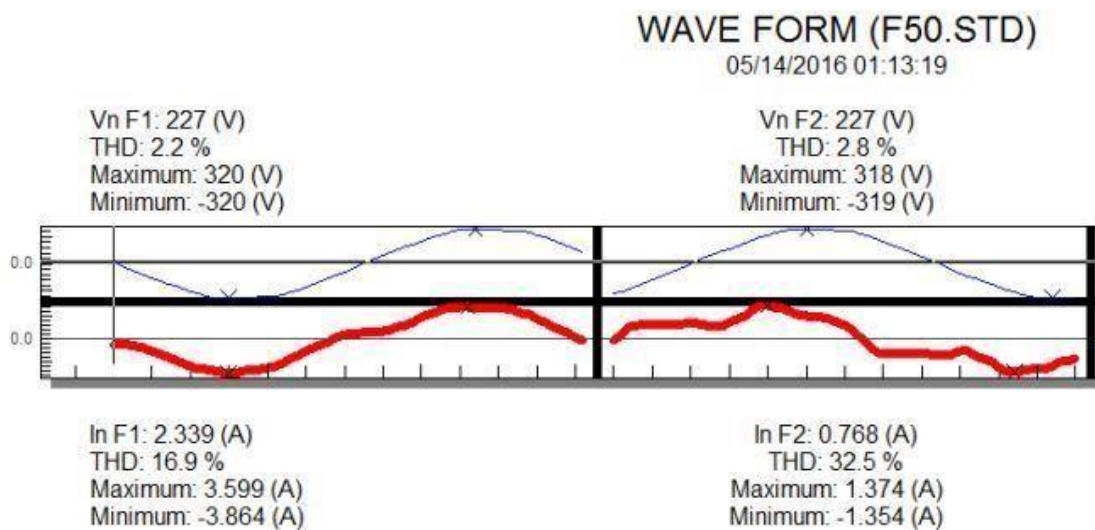
Slika 75. Harmonici napona i struje za REŽIM 1 Lsr = 1.346 cd/m²Slika 76. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 1 Lsr = 1.346 cd/m²

Slika 77. Harmonici napona i struje za REŽIM 2 $L_{sr} = 1 \text{ cd/m}^2$ Slika 78. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 2 $L_{sr} = 1 \text{ cd/m}^2$

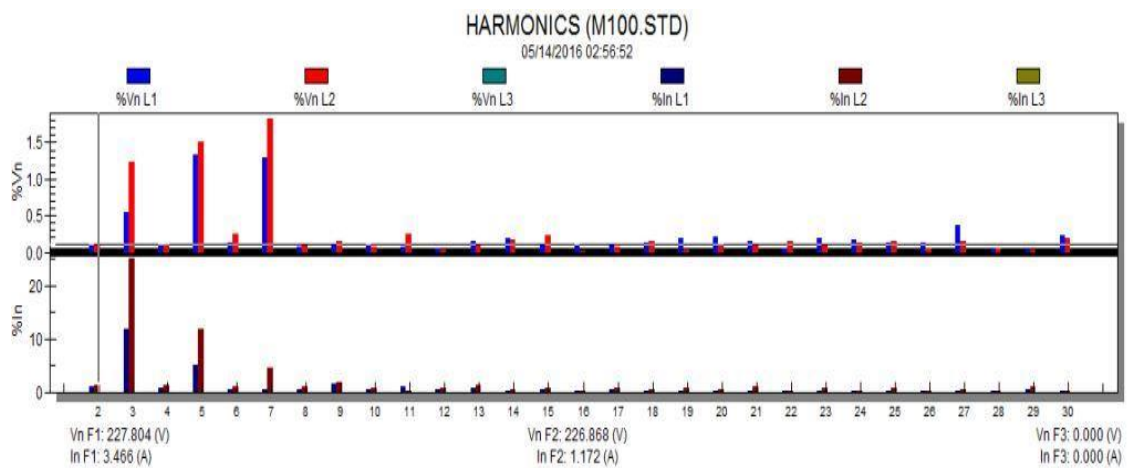
Slika 79. Harmonici napona i struje za REŽIM 3 Lsr = 0.75 cd/m²Slika 80. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 3 Lsr = 0.75 cd/m²



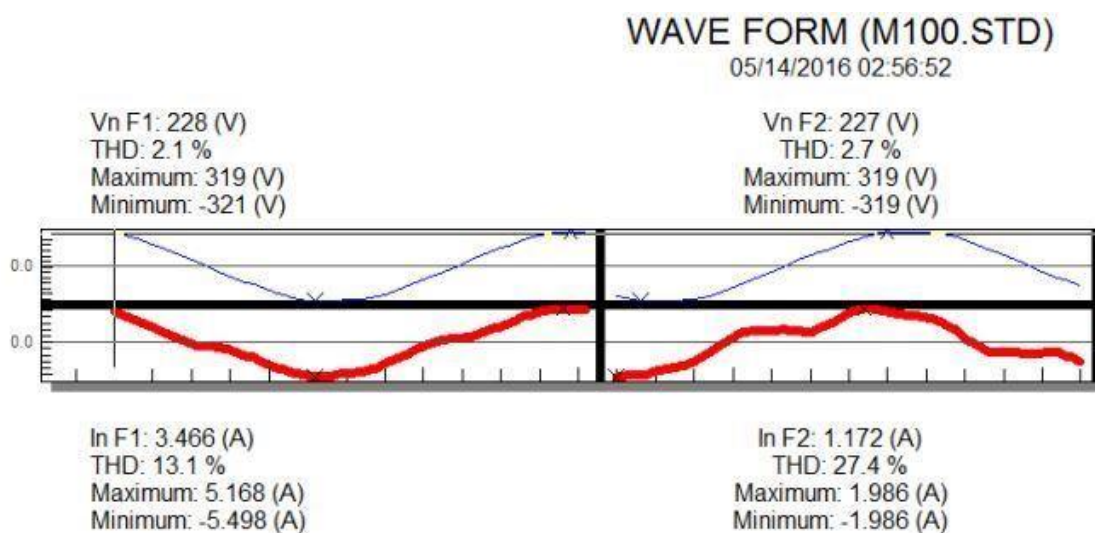
Slika 81. Harmonici napona i struje za REŽIM 4 Lsr = 0.5 cd/m²



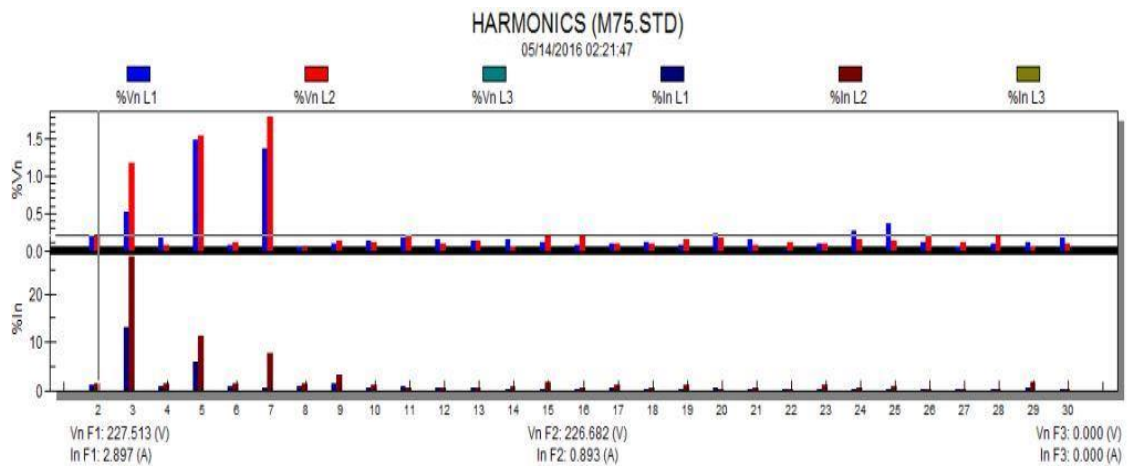
Slika 82. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 4 Lsr = 0.5 cd/m²



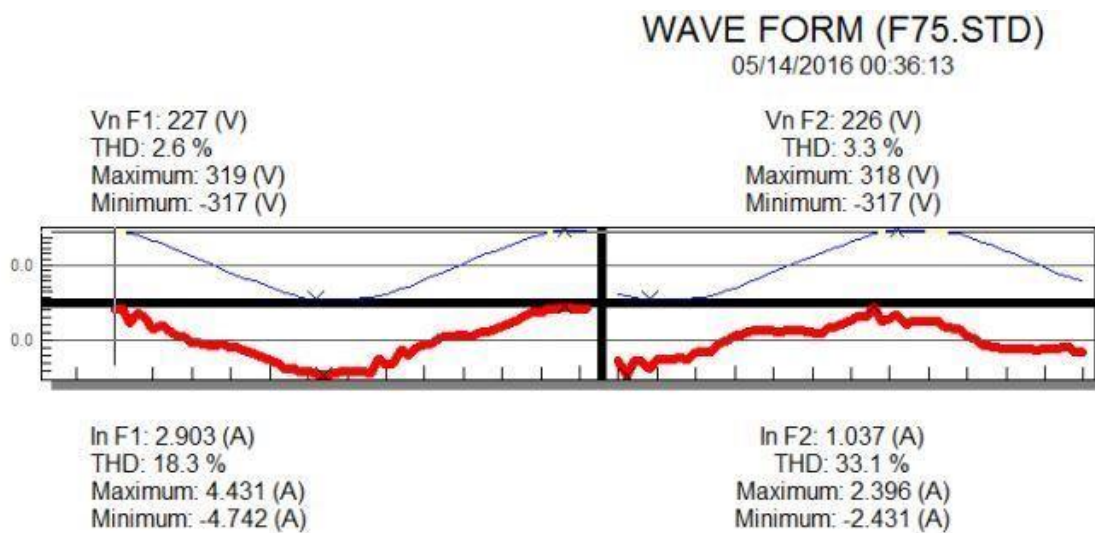
Slika 83. Harmonici napona i struje za REŽIM 5 $L_{sr} = 1/0.86 \text{ cd/m}^2$



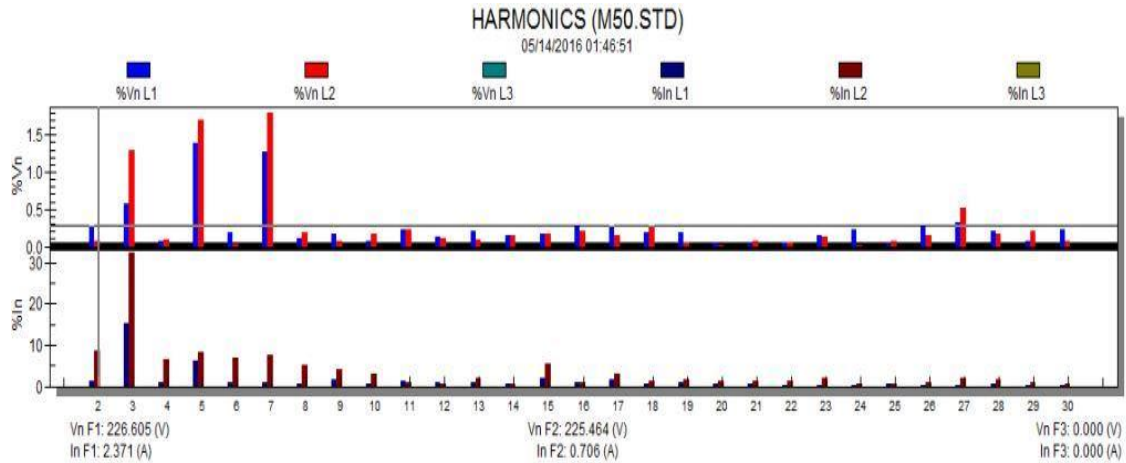
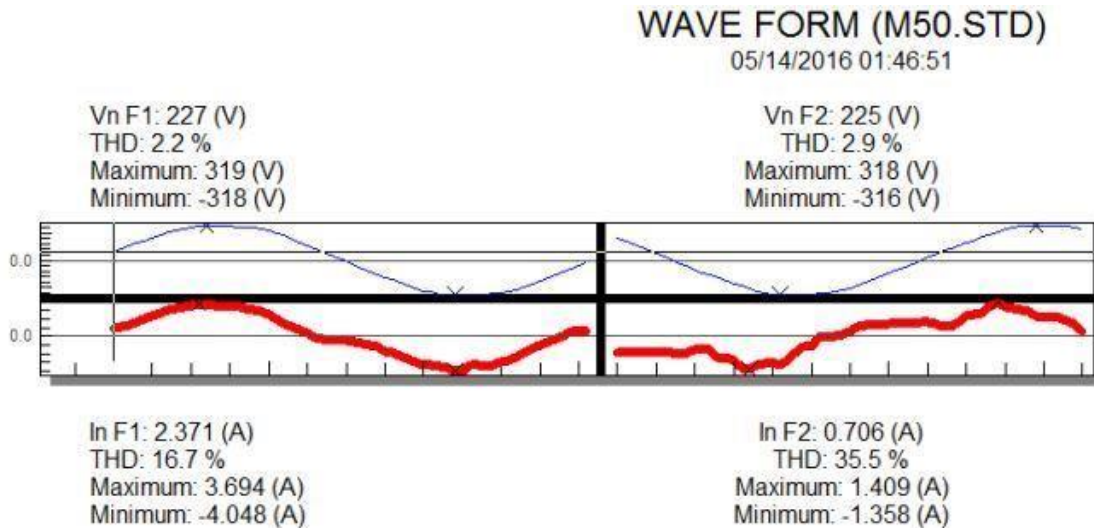
Slika 84. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 5 $L_{sr} = 1/0.86 \text{ cd/m}^2$



Slika 85. Harmonici napona i struje za REŽIM 6 $Lsr = 0.75/0.63 \text{ cd/m}^2$



Slika 86. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 6 $Lsr = 0.75/0.63 \text{ cd/m}^2$

Slika 87. Harmonici napona i struje za REŽIM 7 $L_{sr} = 0.5/0.4 \text{ cd/m}^2$ Slika 88. Talasni oblici napona (plavo) i struje (crveno) za REŽIM 7 $L_{sr} = 0.5/0.4 \text{ cd/m}^2$

U tabeli 46 prikazane sve merene električne veličine za svih 7 režima rada, uključujući i THD napona i struja. Može se konstatovati da NaVP uglavnom zadovoljavaju (sa izuzetkom režima 3), dok LED svetiljke ne zadovoljavaju (ni za jedan režim) granične vrednosti za harmonike struje propisane standardom EN 61000-3-2. Sa obaranjem nivoa sjajnosti (dimovanje), THD raste, a faktor snage opada, sve do čak 0.59 za LED svetiljke u režimu 7. Oba tipa svetiljki zadovoljavaju po kriterijumu granične vrednosti za THD napona propisane standardom EN 50160. Crvenom bojom u tabeli 46 su označene merene THD vrednosti koje ne zadovoljavaju uslove standarda.

Tabela 46. Električne veličine očitane iz mrežnog analizatora

FOTOPSKI REŽIMI							
MERENE ELEKTRIČNE VELIČINE	U_{sr} [V]	I_{sr} [A]	P_{sr} [W]	PF_{sr}	S_{sr} [VA]	$THD_{U_{max}}$ [% U_1]	$THD_{I_{max}}$ [% I_1]
REŽIM 1 $L = 1.346 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	228.00	4.29	974.00	0.99	978.01	2.80	12.20
FAZA 2 - LED	227.00	2.06	433.00	0.92	466.81	3.60	22.30
REŽIM 2 $L = 1 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	226.50	3.51	788.50	0.98	797.66	2.80	17.40
FAZA 2 - LED	225.50	1.49	294.50	0.87	337.05	3.30	30.60
REŽIM 3 $L = 0.75 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	227.50	2.93	654.00	0.97	666.14	2.60	22.40
FAZA 2 - LED	226.00	1.10	196.50	0.79	249.19	3.30	40.80
REŽIM 4 $L = 0.5 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	227.50	2.37	523.00	0.97	537.25	2.40	17.70
FAZA 2 - LED	226.00	0.81	123.00	0.67	183.07	2.90	33.20
MEZOPSKI REŽIMI							
MERENE ELEKTRIČNE VELIČINE	U_{sr} [V]	I_{sr} [A]	P_{sr} [W]	PF_{sr}	S_{sr} [VA]	$THD_{U_{max}}$ [% U_1]	$THD_{I_{max}}$ [% I_1]
REŽIM 5 $L = 1/0.86 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	227.50	3.49	786.50	0.98	794.20	2.50	13.50
FAZA 2 - LED	226.50	1.22	233.50	0.84	276.56	3.10	27.70
REŽIM 6 $L = 0.75/0.63 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	227.50	2.92	652.00	0.98	661.93	2.30	14.90
FAZA 2 - LED	226.00	0.93	159.00	0.76	210.18	2.90	30.30
REŽIM 7 $L = 0.5/0.4 \text{ cd/m}^2$							
FAZA 1 - NaVP	226.50	2.38	523.50	0.97	538.85	2.30	17.00
FAZA 2 - LED	225.50	0.75	98.50	0.59	168.45	2.90	35.50

Takođe, ispod je data tabela 47 u kojoj se date granične vrednosti za pojedinačne harmonike struje (harmonici reda 2 – 30).

Tabela 47. Limiti za pojedinačne više harmonike struja (3,5,7,9 i 11-39) za sve režime rada propisane standardom EN 61000-3-2

		LIMITI PREMA IEC 61000 - 3 - 2					
		2	30 · λ	10	7	5	3
		I_2 [% I_1]	I_3 [% I_1]	I_5 [% I_1]	I_7 [% I_1]	I_9 [% I_1]	I_{11-39} [% I_1]
REŽIM 1	FAZA 1 - NaVP	0.598	10.343	4.952	0.454	1.481	< 1
	FAZA 2 - LED	0.649	19.171	11.446	1.107	0.346	< 1
REŽIM 2	FAZA 1 - NaVP	0.79	11.919	5.381	0.419	1.526	< 1
	FAZA 2 - LED	0.976	22.229	11.975	3.227	1.155	< 2
REŽIM 3	FAZA 1 - NaVP	1.232	13.366	6.43	0.942	1.609	> 5
	FAZA 2 - LED	1.827	26.385	13.288	6.172	2.054	> 10
REŽIM 4	FAZA 1 - NaVP	1.265	15.548	6.595	0.603	1.13	< 2
	FAZA 2 - LED	0.752	31.129	9.146	9.781	2.874	< 3
REŽIM 5	FAZA 1 - NaVP	0.835	11.938	5.026	0.46	1.453	< 1
	FAZA 2 - LED	1.15	25.102	11.927	4.5	1.869	< 2
REŽIM 6	FAZA 1 - NaVP	1.045	13.054	5.738	0.481	1.483	< 1
	FAZA 2 - LED	1.254	27.607	11.322	7.742	3.001	< 2
REŽIM 7	FAZA 1 - NaVP	1.166	15.169	6.102	0.927	1.46	< 1
	FAZA 2 - LED	8.631	32.297	8.078	7.386	4.179	> 5

Na kraju se može konstatovati da zaista postoje značajnija harmonijska izobličenja kada LED drajveri ne rade u nominalnom režimu (podsećanja radi, čak ni u najvišem režimu LED ne rade na 100 % kontrolnog signala, već na 87 %), pa čak i u režimu 1 koji je uzet za nominalan, harmonici petog reda kod LED svetiljki prelaze granične vrednosti propisane standardom. Kod NaVP svetiljki problemi praktično i ne postoje. Kao što je u ovom poglavlju pomenuto, faktor snage i THD struje su u direktnoj vezi pa se problemi sa harmonicima javljaju upravo tamo gde je i faktor snage ispod propisane vrednosti ($PF > 0.9$, ide se i na $PF > 0.95$), a to je slučaj sa LED svetiljkama u svim režimima izuzimajući nominalni režim 1 (čak i u tom režimu je THD struje nešto malo iznad propisanih vrednosti – tabela 46). Ovo je upravo najveći problem koji se može javiti u instalacijama JO gde se želi ići na povezivanje LED tehnologije i kontrolnih (telemenadžment) sistema. Detaljnije pojašnjenje ovog problema biće dato u poglavlju sa diskusijom i zaključcima, bitno je napomenuti da glavni razlog za drugačije reagovanje dva prekidačka uređaja (elektronskog balasta i LED drajvera) na dimovanje leži u širini dozvoljenog opsega ulaznog napona (208-277 VAC za elektronski balast 120-277 VAC za LED drajver).

6. SUBJEKTIVNI POKAZATELJI KVALITETA OSVETLJENJA USTANOVLJENI KROZ ANKETNO ISPITIVANJE

Nakon što su analizirani rezultati merenja na testnoj instalaciji sa fotometrijskog i energetskog aspekta, kao i sa aspekta kvaliteta električne energije, objektivni inženjerski pristup je upotpunjen subjektivnim doživljajem kvaliteta osvetljenja zasnovanim na anketnom ispitivanju. Smatra se da se samo sintezom ova dva pristupa može doći do pravog odgovora o opravdanosti rekonstrukcije JO i kvalitetu razmatranih LED izvora svetlosti kao tehnologije budućnosti. Napominje se da je ova analiza isključivo usmerena na instalacije uličnog osvetljenja jer se zaključci koji iz nje proističu mogu značajno razlikovati od onih koji bi bili rezultat istraživanja i anketnog ispitivanja u instalacijama ambijentalnog osvetljenja. Primera radi, objektivni pristup u konkretnom projektu je podrazumevao identičnost početnih uslova sa fotometrijskog aspekta (zadovoljenost uslova za istu svetlotehničku klasu i, što je najvažnije, identični ili gotovo identični nivoi sjajnosti na kolovozu u obe testne zone sa NaVP i LED svetiljkama). Međutim, budući da preporuke i standardi kroz zahteve svetlotehničkih klasa definišu samo minimalne preporučene vrednosti za nivo sjajnosti, opštu i poduznu ravnomernost sjajnosti (jedino je prag fiziološkog blještanja TI definisan maksimalno dozvoljenom vrednošću), korišćenjem odgovarajućih softvera za fotometrijske proračune se može doći do većeg broja rešenja od kojih svako zadovoljava zadate fotometrijske uslove. Prilikom izrade fotometrijskog proračuna nemoguće je podesiti da svi ovi parametri budu identični, pa se opravdano kreće od nivoa sjajnosti kao mere svetlosnog utiska vozača koji se kreće kolovozom određenih refleksionih karakteristika. Ako se uporede rezultati fotometrijskog proračuna iz tabele 4 (poglavlje 4.2), može se videti da se gotovo svi parametri manje ili više razlikuju, iako nominalno obe testne zone pripadaju istoj svetlotehničkoj klasi. Ipak, čestim posmatranjem instalacije tokom brojnih merenja mogao se steći utisak da je deo testne zone sa LED svetiljkama primetno mračniji uz suprotnu ivicu kolovoza, kao i da je u LED zoni bolja poduzna ravnomernost sjajnosti i da je blještanje izraženije nego u NaVP zoni. Može se konstatovati da iako brojevi govore da obe grupe svetiljki obezbeđuju uslove iste svetlotehničke klase M3, subjektivni doživljaj kvaliteta osvetljenja na kolovozu može biti različit od objektivnih pokazatelja. U tu svrhu je testna instalacija iskorišćena i za subjektivnu analizu putem anketnog ispitivanja.

Podsećanja radi, testna instalacija - niz od 15 svetiljki (6 x LED + 9 x NaVP) - postavljena je u Bulevaru Milutina Milankovića na Novom Beogradu, na deonici između ukrštanja sa Bulevarom umetnosti i Ulicom Đorđa Stanojevića. Sve svetiljke su opremljene kontrolerima što omogućava da se svakom pojedinačnom svetiljkom upravlja nezavisno od ostatka instalacije (uključivanje/dimovanje/ isključivanje). Pošto je testna instalacija već bila u pogonu duže od godinu dana pre nego što je sprovedeno anketno ispitivanje, može se konstatovati da su izbor adekvatne lokacije i podešavanje svih fotometrijskih parametara već bili prilagođeni uslovima anketnog ispitivanja. Ispitivanje je izvršeno za jedan standardnei (fotopski) nivo sjajnosti, ali i za odgovarajući mezopski nivo uvažavajući teoriju mezopskog viđenja koja se bavi subjektivnim doživljajem nivoa sjajnosti. Teorija kaže da pri istim fotopskim (objektivnim) uslovima, LED izvori svetlosti stvaraju subjektivni utisak višeg nivoa sjajnosti od NaVP izvora zbog prirode svetlosti koju emituje LED izvor (bela boja, veći udeo plave komponente), a koja omogućava da se sa manje lumena (izračene količine svetlosti) postigne ista vizuelna efikasnost u zoni mezopskog viđenja ($0.001 \text{ cd/m}^2 < L < 3 \text{ cd/m}^2$). Ovaj fenomen je značajan jer se upravo preporučeni nivoi sjajnosti za osvetljenje saobraćajnica nalaze u mezopskom opsegu. To znači da se za fotopski nivo sjajnosti postignut u delu sa NaVP svetiljkama uzima niža vrednost nivoa sjajnosti u LED zoni (tabela 2, poglavlje 1.8) koja odgovara vrednosti pri kojoj će ispitanik imati subjektivni osećaj jednakih nivoa sjajnosti u obe zone. Budući da je teorija mezopskog viđenja relativno nova stvar (CIE preporuka se pojavila 2010) i da je njena primena još uvek retka u projektantskoj praksi, sa posebnim interesom će se pratiti deo anketnog ispitivanja koji se bavi mezopskim efektima.

6.1 Izbor metoda istraživanja

U metode koje se najčešće koriste u ovakvim istraživanjima ubrajaju se anketa, različiti tipovi intervjua i posmatranje ponašanja i reakcija ljudi na terenu (sa ili bez neposrednog učešća istraživača). U konkretnom slučaju je iz objektivnih razloga (brzine prikupljanja, obrade i analize podataka) odabrana anketa kao istraživačka metoda pomoću koje se u kratkom vremenskom roku mogu prikupiti standardizovani podaci od velikog broja ispitanika ⁹².

Osnovni element ankete je anketni upitnik pomoću koga se u pisanoj formi od ispitanika traži da odgovore na pitanja relevantna za istraživanje. Upitnik koji je korišćen u anketi nudi unapred ponuđene odgovore od kojih ispitanik bira samo jedan. Organizatori ankete su kreirali inicijalni anketni upitnik u skladu sa procedurom predloženom u referencama ^{93,94,95}, a koji je zatim finalizovan kroz rad fokus grupe. Fokus grupa je kvalitativna tehnika istraživanja koja predstavlja veoma podesno sredstvo da se predmet istraživanja ispituje u uslovima dijaloga i unutargrupne interakcije. Prednost metodologije fokus grupa u odnosu na uobičajene standardne metode je u sledećem: homogena je jer uključuje osobe sličnih karakteristika/interesovanja (visokog obrazovnog profila sa poznavanjem osnovnih pojmova iz tehnike osvetljenja) i fleksibilna je jer obezbeđuje dobru konverzaciju o zadatoj temi.

U konkretnom slučaju, za obradu rezultata ankete nisu korišćene statističke metode iz sledećih razloga:

- ispitanici treba da daju odgovor na pitanje koja im se instalacija (LED ili NaVP) čini kao bolji izbor po raznim kriterijumima definisanim kroz anketna pitanja, zbog čega nije od presudnog značaja da se statistički odredi u kojoj meri im se osvetljenje u jednoj ili drugoj zoni više sviđa. Upravo iz tog razloga nije bilo potrebno da se subjektivni utisak određuje nekom numeričkom skalom, već se u svim pitanjima izbor vrši između jednog ili drugog tipa svetiljki
- za razliku od ambijentalnog osvetljenja gde su ispitanici pešaci, u uslovima vožnje nema dovoljno vremena da se sagledaju svi parametri i numerički vrednuju, imajući u vidu da vožnja pri brzini od 50 km/h kroz testnu zonu u jednom smeru traje oko 30 sekundi.

Fokus grupa je bila obrazovana od 8 stručnih ljudi koji se u većoj ili manjoj meri bave problemima osvetljenja (iskusne arhitekta, projektanti električnih instalacija, projektanti uličnog osvetljenja). Na sastanku organizatora ankete sa fokus grupom, članovima fokus grupe su podeljeni anketni upitnici i objašnjeni značaj i cilj istraživanja i na koji način je planirano da istraživanje bude izvedeno. Kroz rad fokus grupe je inicijalni anketni upitnik neznatno korigovan, jer članovi fokus grupe nisu imali primedbe na plan izvođenja ankete niti su imali predlog novih pitanja.

Nakon što je anketni upitnik finalizovan, održano je uvodno predavanje na Elektrotehničkom fakultetu za studente Elektrotehničkog i Arhitektonskog fakulteta, kao buduće ispitanike. Ispitanicima je predložen značaj i cilj istraživanja, a zatim se prošlo kroz osnovne pojmove iz tehnike osvetljenja relevantne za analizu (većina studenata nije imala nastavu iz predmeta Električno osvetljenje). Studenti su mogli da postavljaju pitanja sve dok kroz širu diskusiju u potpunosti nije postalo jasno šta se od njih očekuje i na koji način treba da sagledavaju subjektivne faktore tokom ankete da bi se njihovi odgovori mogli smatrati relevantnim. Pošto je reč o ispitanicima visokog obrazovnog profila koji su kroz uvodno predavanje dobili sve neophodne informacije, može se smatrati da postoji samo jedna grupa ispitanika, čija je karakteristika posedovanje predznanja iz oblasti osvetljenja. S obzirom na specifičnost predmeta ispitivanja, od ispitanika se tražilo da imaju položen vozački ispit.

6.2 Plan i sprovođenje ankete

Anketiranje je izvršeno 30.10.2015, a plan anketnog ispitivanja bio je definisan na sledeći način:

- instalacija osvetljenja se sastojala od 2 zone sa po 6 NaVP i LED svetiljki dok su tri središnja stuba sa NaVP svetiljkama (brojevi 7-9 na slici 37 u poglavlju 4.1) bila isključena tokom ankete (slika 89). Ovim se želeo izbeći svaki uticaj jedne zone na drugu i obezbediti tampon zona između dve grupe svetiljki - vozač prolazi kroz jednu zonu, nailazi na mračnu zonu i zatim ulazi u drugu zonu stvarajući svoj subjektivni utisak o doživljaju kvaliteta osvetljenja,
- nekoliko svetiljki pre i posle onih koje pripadaju testnoj zoni su takođe isključene za vreme trajanja anketnog ispitivanja,
- definisana je brzina vožnje od 50 km/h koja odgovara realnim uslovima u urbanim sredinama sa većom gustinom saobraćaja,
- obezbeđeno je jedno vozilo sa dizalicom JKP „Javno osvetljenje“ za slučaj bilo kakvih nepredviđenih komplikacija,

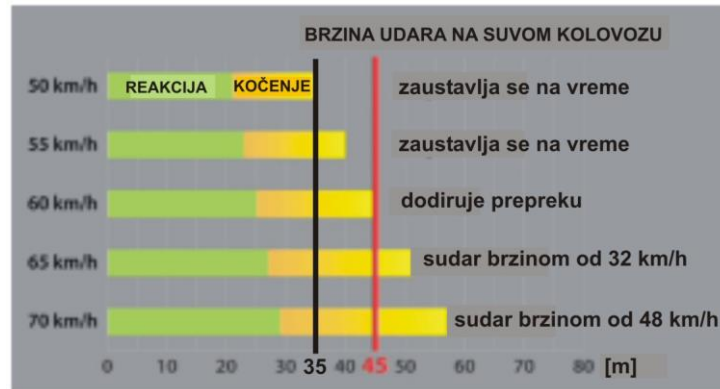


Slika 89. Testna instalacije pred početak anketnog ispitivanja

- u saradnji sa Sekretarijatom za saobraćaj obezbeđena je dozvola za zatvaranje dela ulice u periodu od sumraka do ponoći – procenjeno je da će anketa trajati barem 4-5 h. U tom periodu su na raspolaganju bila dva patrolna vozila MUP Beograd koja su obezbeđivala da željena zona bude obezbeđena (upotrebljeni su i ostali saobraćajni rekviziti za zatvaranje ulice),
- planirano je anketno ispitivanje za dva režima: 1) normalni režim u kojem se ima nivo sjajnosti od 1 cd/m^2 u obe testne zone, i 2) mezopski režim u kojem se ima nivo sjajnosti od 1 cd/m^2 u NaVP zoni i 0.86 cd/m^2 u LED zoni,
- podešavanje režima je omogućeno zahvaljujući upotrebi telemenadžment sistema,
- ispitanici su podeljeni u dve grupe (32+34) jer je procenjeno da nije neophodno da svi budu prisutni od početka anketa. Prva grupa je testirana za približno 2.5 h, nakon čega su bili slobodni, a na lokaciju je stigla druga grupa ispitanika,
- farovi na automobilima su bili uključeni,

- na raspolaganju su bila dva automobila, a vožnja je zamišljena tako što su se u vozilima nalazili vozač i suvozač. Pre polaska vozila, suvozač (koji je kod sebe imao anketni upitnik) treba da pročita pitanja vozaču koji treba da ih zapamti. Nakon toga prvi automobil kreće, prolazi kroz testnu lokaciju krećući se od NaVP ka LED zoni (start je definisan na početku NaVP zone), okreće krug i kreće ka startnoj poziciji. Planirano je da drugo vozilo krene istog trenutka kad prvo vozilo pređe pored njega iz suprotnog smera. Vozač i suvozač menjaju mesta i čekaju dok se drugo vozilo ne pojavi na startnoj poziciji, nakon čega kreću u još jedan krug. Nakon toga u vozila ulaze novi ispitanici (vozač i suvozač) i proces se nastavlja na isti način. Ispitanici koji su završili sa vožnjom odmah popunjavaju anketni upitnik, dok su im utisci još sveži, i predaju popunjen upitnik organizatorima ankete,
- jedno od pitanja se bavi i problemom uočavanja pešaka pod različitom svetlošću tokom vožnje. Nekoliko učesnika ispitivanja je u tamnoj odeći stajalo pored ivice kolovoza, a vozači je trebalo da ih primete u oba režima i u obe testne zone. U referenci ⁹⁶ se kaže da se čak i put osvetljen sjajnošću od 1 cd/m^2 u mračnom okruženju (ukoliko se na rubu kolovoza prekoputa svetiljki nema barem 40 % srednje osvetljenosti kolovoza) može smatrati loše osvetljenim, a efekat koji ovo osvetljenje daje nije ništa bolji od onog koji se ima u vožnji mračnim putem osvetljenim samo farovima automobila,
- predviđeno je i ispitivanje uočavanja malih prepreka na putu i njihove vidljivosti (kontrasta) u obe testne zone u oba režima rada (STV – koncept vidljivosti male mete ⁹⁶).

Prema referenci ⁹⁶, STV koncept je zasnovan na konceptu nivoa vidljivosti VL, a pod metom se podrazumeva mala i teško uočljiva prepreka na putu koja može predstavljati opasnost za vozača (slika 89). Koncept predviđa kocku ivice 18 cm izrađene od glatkog materijala sa faktorom refleksije 0.5 (za vozača starosti 60 godina), pri čemu je vozač udaljen 83 m od prepreke i posmatra je sa visine od 1.45 m. U konkretnom slučaju, za brzinu od 50 km/h vozač treba da bude udaljen od prepreke približno 35 m ⁹⁷ (slika 90).

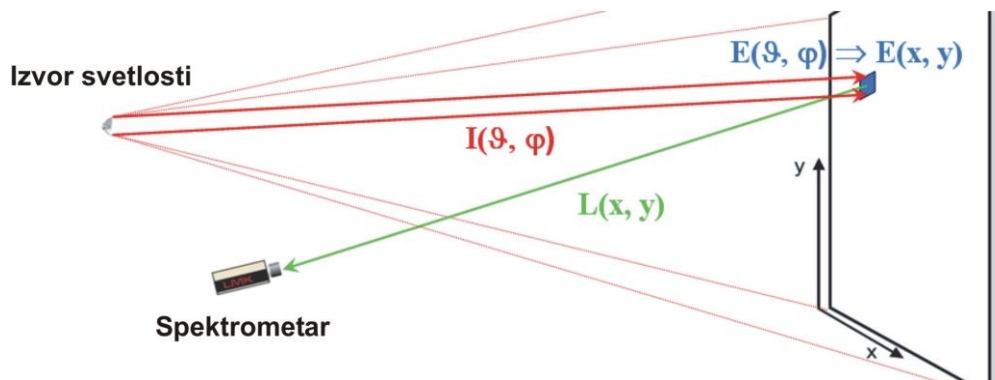


Slika 90. Dužina zaustavnog puta u funkciji brzine vožnje ⁹⁷

Pošto se zna da vozač prednju površinu kocke vidi pod uglom od $7.5'$ ($1 \text{ rad} = 180/\pi \cdot 60'$), a kada se primene određene matematičke aproksimacije (za male uglove u jednakokrakom trouglu ima se $\text{tg} \alpha \approx \alpha \Rightarrow \alpha = a/d$, gde je α - ugao obuvatanja površine kocke od strane vozača, a - ivica kocke, a d - udaljenost vozača od prepreke), dobija se da je za ovaj slučaj potrebna kocka dimenzija $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ (zapravo se dobija $a = 7.64 \text{ cm}$, ali budući da su svi ispitanici mladi i da je moguće da će se kretati brže od propisane brzine, uzeta je nešto veća vrednost). Takođe, pošto su svi ispitanici mladi (20-25 godina), sa dobrim vidom, odlučeno je da se tretiraju dva faktora refleksije, odnosno da se za potrebe ankete pripreme dve kocke: prva tamnoplave boje ($\rho \approx 0.2$) i druga svetlozelene boje ($\rho \approx 0.5$). Ovo su bile pretpostavljene vrednosti faktora refleksije za korišćene materijale od kojih su napravljene kocke, ali su provere radi oni odneti u Laboratoriju za merenje svetlosnih veličina Centra za Motorna Vozila AMSS i izmerene su drugačije vrednosti.

Merenje koeficijenta refleksije je izvršeno u postavci kao na slici 91. Ekran na kome su pričvršćivani uzorci je postavljen na fotometrijsku klupu. Uzorci su osvetljavani pomoću kvarc halogene sijalice temperature boje 2854 K , sa stabilnim napajanjem. Merenje je vršeno spektrometrom GL Spectis, sa ulaznim optičkim sistemom koji definiše vidni ugao od 2° . U okviru mernog polja definisanog ovim vidnim poljem mernog uređaja, osvetljenost uzorka se mogla smatrati uniformnom. S obzirom na činjenicu da je refleksiona karakteristika ispitivanih uzoraka difuzne prirode (kocke su izrađene od hamera), koeficijent refleksije se može smatrati jednakim u svim pravcima posmatranja. Merenje je vršeno pod uglom od 10° u odnosu na beli uzorak. Boja merenih uzoraka nije imala uticaj na merenje koeficijenta refleksije, imajući u vidu da je

merenje vršeno spektralno, a zatim izvršeno ponderisanje prema krivoj $V(\lambda)$. Merenje je izvršeno u laboratorijskim uslovima u potpunom mraku, gde su sve površine obojene u mat crnu boju, a temperatura ambijenta je 23° .



Slika 91. Postavka za merenje koeficijenta refleksije u laboratorijskim uslovima

Za zeleni hamer je izmeren koeficijent refleksije 42.52 % (pretpostavljeno 50 %), dok je za plavi hamer izmeren koeficijent refleksije 12.02 % (pretpostavljeno 20 %). Na slici 92 su prikazane plava i zelena kocka postavljene u osi puta u obe testne zone tokom ankete.



Slika 92. Prepreke na putu tokom anketnog ispitivanja u LED zoni

6.3 Anketna pitanja i obrada rezultata ankete

Anketni upitnik sadrži 8 osnovnih pitanja na koja se odgovara zaokruživanjem odgovarajućeg slova (A ili B).

OSNOVNA PITANJA

- 1. Veći intenzitet osvetljenja kolovoza karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 2. Veći intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 3. Bolja ravnomernost osvetljenja kolovoza karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 4. Prijatnija boja svetlosti karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 5. Manje blještanje koje izazivaju svetiljke karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 6. Bolje uočavanje pešaka karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

- 7. Bolje uočavanje prepreke na kolovozu karakteriše:**
 - A Instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti
 - B Instalaciju sa LED izvorima svetlosti

8. Integralno, bolje je osvetljenje koje stvara:

- A Instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti
- B Instalacija sa LED izvorima svetlosti

Pored osnovnih, na anketnom upitniku se nalaze i dva dodatna pitanja na koja se odgovara zaokruživanjem broja ispred samo jednog parametra.

DODATNA PITANJA

1. Šta je, u okviru 7 navedenih parametara najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti?

1. Intenzitet osvetljenja kolovoza
2. Intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara
3. Ravnomernost osvetljenja kolovoza
4. Boja svetlosti
5. Manje blještanje
6. Bolje uočavanje pešaka
7. Bolje uočavanje prepreka na kolovozu

2. Šta je, u okviru 7 navedenih parametara najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa LED izvorima svetlosti?

1. Intenzitet osvetljenja kolovoza
2. Intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara
3. Ravnomernost osvetljenja kolovoza
4. Boja svetlosti
5. Manje blještanje
6. Bolje uočavanje pešaka
7. Bolje uočavanje prepreka na kolovozu

Svi obrađeni anketni upitnici se prema režimu (nominalnom ili mezopskom) i koeficijentu refleksije prepreke na putu (zelena ili tamnoplava kocka) mogu sortirati u 2 tabele (tabele 48 i 49).

Tabela 48. Odgovori ispitanika iz prve i druge grupe koji su vozili pod osvetljenjem u nominalnom režimu (ukupno 52 ispitanika)

Ocena Redni broj pitanja	NaVP		LED		Ne mogu da odluče		
	1	2	3	4	5	6	7
1	11		41				0
2	25		27				0
3	20		29				3
4	17		35				0
5	30		20				2
6	33		16				3
7 a ($\rho = 12.02\%$)	14		14				4
7 b ($\rho = 42.52\%$)	2		17				1
8	21		30				1
Dodatna pitanja							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	11	8	5	7	14	6
2	8	8	6	14	4	3	9

Tabela 49. Odgovori ispitanika iz prve i druge grupe koji su vozili u mezopskom režimu (ukupno 56 ispitanika)

Ocena Redni broj pitanja	NaVP		LED		Ne mogu da odluče			
	1	2	3	4	5	6	7	
1	30		23				3	
2	40		15				1	
3	26		22				8	
4	21		32				3	
5	24		24				8	
6	41		12				3	
7 a ($\rho = 12.02\%$)	15		6				2	
7 b ($\rho = 42.52\%$)	11		20				2	
8	31		24				1	
Dodatna pitanja								
	1	2	3	4	5	6	7	x
1	0	16	6	2	6	17	7	2
2	8	5	6	18	7	2	6	4

Analizom tabela 48 i 49 može se konstatovati sledeće:

NOMINALNI REŽIM ($L_{sr} = 1 \text{ cd/m}^2$)
--

Pitanje 1 – značajno veći broj ispitanika (41 naspram 11) je odgovorio da *veći intenzitet osvetljenja kolovoza* karakteriše instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 2 – neznatno veći broj ispitanika (27 naspram 25) je odgovorio da *veći intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara* karakteriše instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 3 – veći broj ispitanika (29 naspram 20, uz 3 neodlučna) je odgovorio da *bolja ravnomernost osvetljenja kolovoza* karakteriše instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 4 – značajno veći broj ispitanika (35 naspram 17) je odgovorio da *prijatnija boja svetlosti* karakteriše instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 5 – veći broj ispitanika (30 naspram 20, uz 2 neodlučna) je odgovorio da *manje blještanje koje izazivaju svetiljke* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 6 – značajno veći broj ispitanika (33 naspram 16, uz 3 neodlučna) je odgovorio da *bolje uočavanje pešaka* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 7 – na pitanje koju instalaciju karakteriše *bolje uočavanje prepreke na kolovozu*, u slučaju tamnoplave kocke ($\rho = 12.02 \%$) oba tipa instalacije su dobila jednak broj pozitivnih odgovora (14 naspram 14, uz 4 neodlučna), dok se u slučaju zelene kocke ($\rho = 42.52 \%$) značajno veći broj ispitanika (17 naspram 2, uz 1 neodlučnog) se izjasnio za instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 8 – veći broj ispitanika (30 naspram 21, uz 1 neodlučnog) je odgovorio da je *integralno, bolje osvetljenje koje stvara instalacija sa LED izvorima svetlosti*.

Dodatno pitanje 1 – najveći broj ispitanika (14 od 52) je odgovorio da je *bolje uočavanje pešaka* najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti (na drugom mestu, 11 ispitanika se odlučilo za *intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara*).

Dodatno pitanje 2 – najveći broj ispitanika (14 od 52) je odgovorio da je *boja svetlosti* najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa LED izvorima svetlosti (na drugom mestu, 9 ispitanika se odlučilo za *bolje uočavanje prepreka na kolovozu*).

Generalno, može se zaključiti da je instalacija sa LED izvorima svetlosti subjektivno doživljena kao bolji izbor po pitanju intenziteta osvetljenja (nivoa sjajnosti) kolovoza, ravnomernosti osvetljenja (sjajnosti) kolovoza, prijatnosti boje svetlosti (4000K) i boljeg uočavanja svetlih prepreka na kolovozu. Očigledno je da je u slučaju tamnoplave kocke ($\rho = 12.02\%$) presudio negativni kontrast (sjajnost kocke u odnosu na njenu pozadinu), pa udeo komponente ove boje u spektru NaVP i LED izvora nije imao značajniju ulogu. Kod zelene kocke ($\rho = 42.52\%$), udeo komponente ove boje (procenjene talasne dužine 500-550 nm) je izuzetno mali u spektru natrijumovog izvora (slika 3, poglavlje 1.1), dok je komponenta ove boje značajno prisutnija u spektru LED izvora (slika 12, poglavlje 1.4). Pretpostavlja se da je ovo bio glavni razlog zašto su se ispitanici mahom odlučili za bolje uočavanje ove prepreke u LED zoni. Takođe, veći broj ispitanika je konstatovao da je veće blještanje u delu instalacije sa LED svetiljkama, što se moglo i očekivati. Kod NaVP svetiljki izvor svetlosti je više uvučen u kućište svetiljke, zbog čega se deo svetlosti prema kolovozu emituje posle višestrukih refleksija od ogledala (reflektora) svetiljke. Za vozača je NaVP izvor gotovo neprimetan dok se ne približi samoj svetiljci, dok je u slučaju LED svetiljki situacija drugačija. LED čipovi zrače svetlost samo u donji poluprostor, te kod modularnog koncepta nije moguće koristiti dodatne reflektore koji bi svetlost odbili i usmerili ka kolovozu. Iz tog razloga su LED moduli primaknuti što je moguće više protektoru (donjoj ravni) svetiljke pa nema odsecanja svetlosne karakteristike za uglove koji bi mogli biti kritični sa stanovišta neprijatnog blještanja za vozača. Takođe, svetlost se kod LED svetiljki generiše po principu aditivnosti, tj. sabiranja svetlosti sa pojedinačnih čipova koji su opremljeni sočivima istog tipa svetlosne raspodele, za razliku od natrijumove tubularne sijalice gde sva svetlost dolazi iz jednog izvora (gorionika sijalice). Upravo je prvi slučaj sa LED svetiljkama mnogo nepovoljniji po pitanju blještanja jer više malih izvora kreira veliku količinu svetlosti sa izuzetno malih površina (površina gorionika sijalice je veća od zbira površina svih malih LED čipova, pojedinačne površine $2 \times 2 \text{ mm}^2$). Sa druge strane, LED čipovi se mogu tretirati kao gotovo idealan tačkasti izvor svetlosti što omogućuje bolju kontrolu i raspodelu svetlosti. U ovom slučaju to nije bila prednost jer

LED svetiljke imaju odsečeniju karakteristiku od NaVP svetiljki koje rasipaju više svetlosti u okolni prostor što je uticalo na odgovor ispitanika da je bolje uočavanje pešaka u delu instalacije sa natrijumovim izvorima. Generalno, većina ispitanika je konstatovala da je bolje osvetljenje koje stvara instalacija sa LED svetiljkama.

MEZOPSKI REŽIM ($L_{srNaVP} = 1 \text{ cd/m}^2$, $L_{srLED} = 0.86 \text{ cd/m}^2$)

Pitanje 1 – veći broj ispitanika (30 naspram 23, uz 3 neodlučna) je odgovorio da *veći intenzitet osvetljenja kolovoza* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 2 – značajno veći broj ispitanika (40 naspram 15, uz jednog neodlučnog) je odgovorio da *veći intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 3 – veći broj ispitanika (26 naspram 22, uz 8 neodlučnih) je odgovorio da *bolja ravnomernost osvetljenja kolovoza* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 4 – veći broj ispitanika (32 naspram 21, uz 3 neodlučna) je odgovorio da *prijatnija boja svetlosti* karakteriše instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 5 – ispitanici (24 naspram 24, uz 8 neodlučnih) nisu mogli da se odluče po pitanju *manjeg blještanja koje izazivaju svetiljke* u jednoj ili drugoj zoni.

Pitanje 6 – značajno veći broj ispitanika (41 naspram 12, uz 3 neodlučna) je odgovorio da *bolje uočavanje pešaka* karakteriše instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti.

Pitanje 7 – na pitanje koju instalaciju karakteriše *bolje uočavanje prepreke na kolovozu*, u slučaju tamnoplave kocke ($\rho = 12.02 \%$) značajno veći broj ispitanika (15 naspram 6, uz 2 neodlučna) se odlučio za instalaciju sa natrijumovim izvorima svetlosti, dok se u slučaju zelene kocke ($\rho = 42.52 \%$) veći broj ispitanika (20 naspram 11, uz 2 neodlučna) izjasnio za instalaciju sa LED izvorima svetlosti.

Pitanje 8 – veći broj ispitanika (31 naspram 24, uz 1 neodlučnog) je odgovorio da je *integralno, bolje osvetljenje koje stvara instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti*.

Dodatno pitanje 1 – najveći broj ispitanika (17 od 56) je odgovorio da je *bolje uočavanje pešaka* najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti (na drugom mestu, 16 ispitanika se odlučilo za *intenzitet osvetljenja kolovoza i trotoara*).

Dodatno pitanje 2 – najveći broj ispitanika (18 od 56) je odgovorio da je *boja svetlosti* najbolje kod osvetljenja koje stvara instalacija sa LED izvorima svetlosti (na drugom mestu, 9 ispitanika se odlučilo za *intenzitet osvetljenja kolovoza*).

Za mezopski režim, rezultati su (iznenađujuće) drugačiji nego u slučaju nominalnog režima. Instalacija sa natrijumovim izvorima svetlosti subjektivno je doživljena kao bolji izbor po pitanju intenziteta osvetljenja (nivoa sjajnosti) kolovoza i trotoara, ravnomernosti osvetljenja (sjajnosti) kolovoza i boljeg uočavanja prepreka na kolovozu. Po pitanju blještanja, ispitanici nisu mogli da se odluče, što znači da se sa dimovanjem LED svetiljki i smanjenjem intenziteta osvetljenja smanjio i osećaj neprijatnog blještanja za vozača. Po pitanju uočavanja prepreka na kolovozu, u slučaju tamnoplave kocke ($\rho = 12.02\%$) veći broj ispitanika je bolje uočio prepreku u delu instalacije sa natrijumovim svetiljkama (može se pretpostaviti da je razlog za to smanjivanje kontrasta između prepreke i kolovoza posle dimovanja LED svetiljki). U slučaju zelene kocke ($\rho = 42.52\%$), veći broj ispitanika je opet bolje uočio prepreku u delu instalacije sa LED izvorima svetlosti. Generalno, većina ispitanika je konstatovala da je bolje osvetljenje koje stvara instalacija sa natrijumovim svetiljkama.

Prema konkretnom anketnom ispitivanju, razlika u odgovorima u dva režima rada instalacije govori o tome da teorija mezopskog viđenja još nije u dovoljnoj meri ispitana i potvrđena, jer je očigledno da nije postojao uticaj mezopskih efekata na ispitanike koji su u mezopskom režimu ocenili deo instalacije sa LED svetiljkama kao manje osvetljen. Iako je LED instalacija tek neznatno dimovana (14 % manji svetlosni fluks), ova razlika je primećena. Treba uzeti u obzir i zamor ispitanika jer je anketa bila koncipirana tako da mezopski režim dolazi posle nominalnog režima, imajući u vidu da je veći broj ispitanika učestvovao u anketiranju za oba režima. Može se zaključiti da se u nominalnim uslovima instalacija sa LED svetiljkama pokazala kao bolje rešenje, dok je u mezopskim uslovima postojeća instalacija sa NaVP svetiljkama doživljena kao bolji izbor.

7. EKONOMSKO POREĐENJE FOTOMETRIJSKIH REŠENJA PRIMENOM METODE AKTUELIZACIJE TROŠKOVA

Metoda aktuelizacije troškova je opšteprihvaćena metoda koja se može primeniti i za ekonomsko poređenje NaVP i LED svetiljki u instalacijama JO. Opis metode i odgovarajuće formule preuzeti su iz literature⁹⁸. Razmatraju se ukupni troškovi unutar istog amortizacionog perioda T, koji uključuju kako inicijalne (investicione), tako i troškove eksploatacije. Inicijalni troškovi uključuju troškove opreme (uključujući i troškove montaže), dok eksploatacioni troškovi podrazumevaju troškove za utrošenu električnu energiju i održavanje instalacije osvetljenja (čišćenje svetiljki i zamenu dotrajalih izvora svetlosti i predspojne opreme u električnom kolu svetiljke). Na osnovu poznatih ekonomskih parametara za Srbiju (stopa inflacije, diskontna stopa (stopa aktuelizacije troškova), indeks porasta cene električne energije, cena električne energije), može se odrediti period otplate investicije, tj. opravdanost ovakve rekonstrukcije i primene daljinskog sistema upravljanja. Inicijalni troškovi uključuju i troškove izrade projekta (čiji je deo i fotometrijski projekat), troškove opreme i materijala (TS, razvodnih ormara, kablova, stubova, lira, svetiljki, izvora svetlosti...), troškove svih neophodnih radova, kao i troškove testiranja novoizvedene instalacije osvetljenja. Budući da su mnogi od ovih troškova praktično jednaki u oba slučaja (cena projekta, transformatorske stanice, razvodnih ormara, testiranja, montaže opreme...), ***poređenje se vrši isključivo na nivou svetiljki.***

Ekonomsko poređenje će se vršiti za ***zamenu postojećih NaVP svetiljki novim LED svetiljkama sa i bez opreme za telemenadžment.*** Postojala je ideja da se proverbi kakve bi efekte dala samo reparacija postojećih NaVP svetiljki sa elektromagnetskom predspojnom opremom, tako što se ne bi menjale svetiljke već bi se postojeća elektromagnetska oprema zamenila dimabilnim elektronskim balastom i dodao kontroler svetiljke u električno kolo. Međutim, očigledno je da ovakva intervencija ne može biti isplativa iz sledećih razloga:

- cena elektronskih dimabilnih balasta je još uvek veoma visoka (za izvore snage 100 W iznosi 10.900 din), dok za veće snage cene ovih balasta značajno više rastu nego cene samih svetiljki. Npr., za 150 W cena balasta je 13.350 din, a za

250 W ona iznosi 16.600 din, dok cena svetiljke praktično ostaje ista – kućište je isto, a menja se prema snazi izvora samo cena elektromagnetske predspojne opreme koja je veoma jeftina (razlika manja od 1000 din). Da bi se jedna klasična natrijumova svetiljka renomiranog proizvođača reparirala, potrebno je demontirati svetiljku (reparaciju nije moguće izvršiti iz korpe), izvaditi elektromagnetsku predspojnu opremu, ubaciti elektronski balast i kontroler svetiljke, prilagoditi svetiljku radu sa telemenadžment sistemom (izvući antenu iz kućišta u otvoren prostor, uz napomenu da se svetiljka mora bušiti ukoliko nema postojećih otvora) i na kraju montirati svetiljku ponovo na stub. Kada se troškovi svih pobrojanih aktivnosti saberu, oni iznose približno 60 % vrednosti nove svetiljke. Treba imati u vidu da se ovde radi o svetiljci ONYX 2 koja je svetiljka visoke klase, dok bi kod jeftinijih svetiljki ovakva intervencija mogla premašiti i cenu nove svetiljke,

- ovakva intervencija može imati smisla ako je postojeća instalacija relativno novijeg veka, pa se u daljoj eksploataciji ova investicija može isplatiti. Pošto se procenjuje da prosečan životni vek natrijumovih svetiljki iznosi 20 godina ¹, postojeća instalacija ne sme biti starija od 5 godina da bi se tokom eksploatacionog perioda od 20 godina uloženi novac mogao vratiti, imajući u vidu još uvek jeftinu električnu energiju u Srbiji (među najjeftinijim u Evropi),
- većina instalacija sa natrijumovim svetiljkama u Srbiji (pa čak i u Beogradu) je starija od 5 godina, jer se usled teške ekonomske situacije nije uradila nijedna veća rekonstrukcija na nivou opština od 2008,
- postavlja se pitanje da li uopšte treba ulagati u natrijumove svetiljke, imajući u vidu da je promocija LED tehnologije tako agresivna da će velike kompanije sa jakim političkim vezama koje se bave proizvodnjom LED komponenti u potpunosti potisnuti drugu opremu u narednih 10 godina, i
- velika većina standardnih LED svetiljki već ima LED drajvere koji omogućavaju rad sa telemenadžment sistemom. To smanjuje investiciju za jednu relativno skupu komponentu, a dobija se nova svetiljka koja kataloški (analizirajući

podatke iz tehničkih specifikacija za LED drajvere i LED module) ima izuzetno dug životni vek.

Pošto su u slučaju koji tretira predmetna analiza (zamena NaVP svetiljki LED svetiljkama) nepromenjeni dužina napajane trase i broj stubova na njoj, ***metodu aktuelizacije troškova moguće je primeniti na samo jednu svetiljku.***

Ekonomska analiza je zamišljena tako da se postojeće NaVP svetiljke koje su već neko osetnije vreme u eksploataciji (10 ili 15 godina) zamene sa novim LED svetiljkama. Smatra se da NaVP instalacije mlađe od 10 godina nema smisla menjati, jer su tek na polovini (ili ispod polovine) svog projektovanog eksploatacionog ciklusa, a uglavnom je reč o kvalitetnoj opremi renomiranih proizvođača čije su radne performanse i dalje praktično nepromenjene (pod uslovom da se vrši koliko-toliko redovno održavanje, čišćenje protektora, zamena dotrajalih izvora i neispravnih komponenti). Za potrebe analize pretpostavljen je eksploatacioni ciklus od 10 (ili 5) godina (od trenutka zamene postojećih NaVP svetiljki LED svetiljkama), iako armature (kućišta svetiljki) mogu trajati i mnogo duže (postoje primeri funkcionalnih svetiljki starijih od 30 godina u instalacijama JO u Srbiji). Ipak, dosadašnja praksa je pokazala da se, bez obzira na ispravnost instalacije, većina svetiljki za JO menja na 20 godina. Isti princip će se primeniti i na LED svetiljke, iako su komponente u svetiljkama dužeg životnog veka od onih u klasičnim NaVP svetiljkama (i preko 20 godina).

Izvršiće se poređenja troškova za sledeće slučajeve:

1. ***postojeće NaVP svetiljke stare 10 godina menjaju se LED svetiljkama bez implementacije telemenadžment sistema*** - za eksploatacioni ciklus od 10 godina, porede se eksploatacioni troškovi postojeće NaVP instalacije (utrošena električna energija, periodična grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti, periodično čišćenje) koja bi nastavila da radi do kraja eksploatacionog ciklusa (kraj desete godine se uzima kao početak eksploatacionog ciklusa od 10 godina, pri čemu se u tom trenutku vrši i zamena kondenzatora) i zbirni troškovi nove LED instalacije (investicioni troškovi i eksploatacioni troškovi u trajanju od 10 godina).

2. ***postojeće NaVP svjetiljke stare 10 godina menjaju se LED svjetilkama sa implementacijom telemenadžment sistema*** - za eksploatacioni ciklus od 10 godina, porede se eksploatacioni troškovi postojeće NaVP instalacije (utrošena električna energija, periodična grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti, periodično čišćenje) koja bi nastavila da radi do kraja eksploatacionog ciklusa (kraj desete godine se uzima kao početak eksploatacionog ciklusa od 10 godina, pri čemu se u tom trenutku vrši i zamena kondenzatora) i zbirni troškovi nove LED instalacije sa sistemom telemenadžmenta (investicioni troškovi i eksploatacioni troškovi u trajanju od 10 godina).
3. ***postojeće NaVP svjetiljke stare 15 godina menjaju se LED svjetilkama bez implementacije telemenadžment sistema*** - za eksploatacioni ciklus od 5 godina, porede se eksploatacioni troškovi postojeće NaVP instalacije (utrošena električna energija, periodična grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti, periodično čišćenje) koja bi nastavila da radi do kraja eksploatacionog ciklusa (kraj petnaeste godine se uzima kao početak eksploatacionog ciklusa od 5 godina, pri čemu je početku eksploatacionog ciklusa prethodila zamena kondenzatora nakon desete godine i grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti nakon dvanaeste godine) i zbirni troškovi nove LED instalacije (investicioni troškovi i eksploatacioni troškovi u trajanju od 5 godina).
4. ***postojeće NaVP svjetiljke stare 15 godina menjaju se LED svjetilkama sa implementacijom telemenadžment sistema*** - za eksploatacioni ciklus od 5 godina, porede se eksploatacioni troškovi postojeće NaVP instalacije (utrošena električna energija, periodična grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti, periodično čišćenje) koja bi nastavila da radi do kraja eksploatacionog ciklusa (kraj petnaeste godine se uzima kao početak eksploatacionog ciklusa od 5 godina, pri čemu je početku eksploatacionog ciklusa prethodila zamena kondenzatora nakon desete godine i grupna zamena dotrajalih izvora svetlosti nakon dvanaeste godine) i zbirni troškovi nove LED instalacije sa sistemom telemenadžmenta (investicioni troškovi i eksploatacioni troškovi u trajanju od 5 godina).

Napominje se da će se slučajevi 3 i 4 obrađivati isključivo ako se pokaže da je zamena predviđena slučajevima 1 i 2 ekonomski opravdana.

Praktično, želi se proveriti sledeće: da li će novac koji je ušteđen smanjenom potrošnjom električne energije (instalirana snaga LED svetiljki je približno 30 % manja od instalirane snage NaVP svetiljki sa elektromagnetskom predspojnom opremom) i manjim eksploatacionim troškovima (duži životni vek svake od komponenti LED svetiljke), u zbiru biti dovoljan da pokrije investicione troškove (kupovina i montaža novih LED svetiljki), i to u kratkom periodu od trenutka zamene svetiljki do kraja projektovanog eksploatacionog ciklusa?

Da bi se odredili inicijalni troškovi, posmatra se napajana trasa sa NaVP svetiljkama, na kojoj se nakon 10 (15) godina vrši grupna zamena svih svetiljki, dok se stubovi, temelji i kablovi ne menjaju. Na osnovu informacija dobijenih od JKP “Javno osvetljenje”, prosečan životni vek stubova u instalacijama JO je približno 20 godina, pa se smatra da ih u ovoj fazi još uvek ne treba menjati. Budući da su raspored i visina stubova isti u oba slučaja, *inicijalni (investicioni) troškovi su demontaža postojećih NaVP svetiljki i nabavka i montaža novoprojektovanih LED svetiljki*. Ovde se treba podsetiti životnog veka svake od električnih komponenti u svetiljci ¹:

- elektromagnetski balast – 20 godina
- kondenzator – 10 godina
- upaljač – 20 godina
- sijalica – 4 godine
- LED drajver – 20 godina
- LED modul – 20 godina
- kontroler svetiljke – 10 godina
- segmentni kontroler – 10 godina
- ostali delovi svetiljke – 20 godina.

Životni vek svih komponenti dat je u skladu sa kalendarom godišnjeg uključanja/isključanja svetiljki za Grad Beograd (instalacije JO uključene 4137.25 h/god – tabela 43, poglavlje 5.4). Takođe, životni vek je ograničen na 20 godina jer se tada planira zamena kompletnih svetiljki.

U tabeli 50 date su projektantske cene opreme i usluga dobijene od JKP „Javno osvetljenje“, kao i cene svetiljki i svih uređaja dobijene od kompanije Minel-Schröder.

Kao što je to već objašnjeno u poglavlju 1.6, segmentni kontroler kao koordinator sistema može upravljati sa do 150 svetiljki, a ovde je data cena koja je ravnomerno podeljena i dodata na cenu pojedinačnih svetiljki da bi se mogla tretirati u ekonomskoj analizi (ta svedena cena je data u tabeli 50).

Tabela 50. Cene opreme i usluga

Opis opreme i usluga	Cena [din]
svetiljka VOLTANA 3/24 LED/80W/NW	32.617,00
montaža novih i demontaža starih svetiljki	5.615,00
redovno održavanje – zamena neispravnog balasta	1.871,67
redovno održavanje – zamena neispravnog kondenzatora	1.871,67
redovno održavanje – zamena neispravnog upaljača	1.871,67
redovno održavanje – zamena neispravne sijalice	1.684,50
redovno održavanje - zamena neispravnog LED modula	1.871,67
redovno održavanje - zamena neispravnog LED drajvera	1.871,67
redovno održavanje – zamena kontrolera za telemenadžment	1.871,67
kondenzator za 100 W	250,00
segmentni kontroler / cena po svetiljci	1.600,00
kontroler svetiljke LuCo NXP	10.750,00
sijalica MASTER SON-T Pia Plus 100 W	2.250,00

7.1 Zamena NaVP sa LED svetiljkama bez primene telemenadžment sistema

Inicijalni troškovi (C_{in}) odnose se na cenu zamene postojeće svetiljke (u okviru grupne zamene svetiljki):

$$C_{in} = C_{sv} + C_{msv}, \quad (4)$$

gde:

- C_{sv} predstavlja cenu LED svetiljke (LED modul je već uračunat u cenu svetiljke). Prema podacima dobijenim od kompanije Minel-Schröder, cena svetiljke Voltana 3/24 LED/80W iznosi $C_{sv} = 32.617,00$ din., i
- C_{msv} predstavlja cenu demontažu postojeće NaVP i montažu LED svetiljke na stub. Prema podacima dobijenim od JKP “Javno osvetljenje”, uzima se da je $C_{msv} = 5.615,00$ din.

Eksploatacioni troškovi obuhvataju troškove za utrošenu električnu energiju i troškove održavanja, koji pre svega uključuju troškove čišćenja svetiljke i troškove zamene

izvora svetlosti i predspojne opreme. Troškovi za utrošenu električnu energiju svjetiljke u toku jedne godine mogu da se izračunaju primenom formule:

$$C_{elen} = P_l \cdot T_g \cdot C_{kWh} \quad , \quad (5)$$

gde su:

- P_l (kW) ukupna snaga izvora svetlosti i predspojne opreme - u nominalnom režimu (bez regulacije snage), $P_{LED} = 80 \text{ W}$, a $P_{NaVP} = 113.6 \text{ W}$ (elektromagnetski balast),
- T_g broj časova rada izvora svetlosti u toku jedne godine (u ovoj analizi je usvojeno $T_g = 4137.25 \text{ h}$, pre svega jer su rezultati analize bazirani upravo na ovoj vrednosti dobijenoj u godišnjem kalendaru uključenja/isključenja od JKP “Javno osvetljenje”), i
- C_{kWh} cena jednog kWh električne energije – cena će se računati prema novom obračunu koji je već stupio na snagu i podrazumeva uključene troškove mrežarine i taksu za obnovljive izvore energije. Nova cena iznosi $C_{kWh} = 9.907 \text{ din/kWh}$.

Pošto optimalna procedura održavanja instalacije JO pretpostavlja periodičnu grupnu zamenu izvora svetlosti, kao i da se svjetiljke čiste samo onda kada se vrši grupna zamena izvora svetlosti, troškovi zamene izvora i čišćenja svjetiljki (C_{GR}) pri grupnoj zameni izvora mogu se izračunati po formuli:

$$C_{GR} = C_{Icl} + C_{L.s.} + C_v + C_{ch} \quad (6)$$

gde:

- C_{Icl} predstavlja cenu čišćenja svjetiljke (uzima se da je $C_{Icl} = 100 \text{ din.}$),
- $C_{L.s.}$ predstavlja cenu izvora svetlosti (uzima se da je $C_{L.s.} = 2.250 \text{ din.}$),
- C_v predstavlja cenu rada i angažovanja dizalice prilikom zamene jednog izvora svetlosti pri grupnoj zameni, i
- C_{ch} predstavlja cenu provere izvora svetlosti pre transporta. Prema podacima dobijenim od JKP “Javno osvetljenje”, uzima se da je $C_v + C_{ch} = 1.684,50 \text{ din.}$

Pored grupne zamene izvora, treba uzeti u obzir i grupnu zamenu kondenzatora u slučaju elektromagnetske predspojne opreme (C_{GRC}). Imajući u vidu da je u predmetnoj analizi usvojen period eksploatacije od 10 (5) godina, pre početka eksploatacionog ciklusa biće izvršena 1 grupna zamena kondenzatora (u analizi je uzeto da je životni vek

kondenzatora 10 godina), a početku eksploatacionog ciklusa od 10 (5) godina prethodi rad NaVP svetiljki od 10 (15) godina. Troškovi grupne zamene kondenzatora određuju se primenom formule:

$$C_{GRC} = C_{kond} + C_{vc} + C_{chc}, \quad (7)$$

gde:

- C_{kond} predstavlja cenu kompenzacionog kondenzatora ($C_{kond} = 250 \text{ din.}$),
- C_{vc} predstavlja cenu rada i angažovanja dizalice prilikom zamene kondenzatora pri grupnoj zameni, i
- C_{chc} predstavlja cenu provere uređaja pre transporta (jednaka vrednosti C_{ch}). Prema podacima dobijenim od JKP "Javno osvetljenje", uzima se da je $C_{vc} + C_{chc} = 1.871,67 \text{ din.}$

Budući da se na kraju eksploatacionog ciklusa od 10 (5) godina menjaju kompletne svetiljke (sa izvorima), cena zamene kompletne elektromagnetske predspojne opreme neće biti predmet analize.

U slučaju instalacije sa LED svetiljkama, sve komponente imaju životni vek od 20 godina, pa se u toku definisanog eksploatacionog perioda od 10 (5) godina neće izvršiti nijedna grupna zamena tih uređaja. *Ipak, treba predvideti periodično čišćenje protektora LED svetiljki na svake 4 godine (jednom ili dvaput u zavisnosti od dužine eksploatacionog ciklusa). U tom slučaju, formula 6 se svodi na $C_{GR} = C_{lcl} + C_v$ ($C_{GR} = 1.784,50 \text{ din.}$).*

U predmetnoj analizi neće biće tretirani i troškovi pojedinačne zamene rano pregorelih izvora svetlosti, jer njihov uticaj na ukupne troškove svetiljke može da se zanemari.

Ukupni aktuelizovani troškovi zamene jedne svetiljke i njenog rada, C_T , svedeni na kraj perioda eksploatacije, T , mogu da se odrede primenom sledeće formule:

$$C_T = C_{ink} + C_{elenk} + C_{GRk} + C_{GRck}, \quad (8)$$

u kojoj su:

C_{ink} - inicijalni (investicioni) troškovi svedeni na kraj perioda eksploatacije:

$$C_{ink} = C_{in} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^T, \quad (9)$$

(i je stopa aktuelizacije),

C_{elenk} - ukupni troškovi za utrošenu električnu energiju, svedeni na kraj perioda eksploatacije:

$$C_{elenk} = C_{elen} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^T - 1}{\frac{i}{100}}, \quad (10)$$

C_{GRk} - ukupni troškovi svih grupnih zamena izvora svetlosti i čišćenja svetiljki pri grupnoj zameni izvora tokom perioda eksploatacije, svedeni na kraj tog perioda:

$$C_{GRk} = C_{GR} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_R T_{GR}} - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} - 1} \quad (11)$$

gde:

- $T_{GR} = 4$ god. predstavlja period grupne zamene (period održavanja), odnosno vek trajanja izvora svetlosti tipa MASTER SON-T PIA Plus,

- n_R predstavlja ukupan broj grupnih zamena u toku perioda eksploatacije T :

$$n_R = \frac{T}{T_{GR}} - 1, \quad (12)$$

C_{GRck} - troškovi zamene kondenzatora tokom perioda eksploatacije, svedeni na kraj tog perioda:

$$C_{GRck} = C_{GRC} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_C T_{GRC}} - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} - 1}. \quad (13)$$

($T_{GRC} = 10$ god. predstavlja period grupne zamene kondenzatora, a $n_C = 1$ broj zamena u toku perioda eksploatacije T).

Saglasno savremenim izvorima, u okviru ekonomske analize su razmatrane tri različite stope aktuelizacije: $i = 2.5 \%$, 5% i 7.5% .

Izračunavaju se ukupni (svedeni) troškovi svetiljke za sve tri vrednosti stope aktuelizacije i period eksploatacije od $T = 10$ godina (zamena svetiljki posle 10 godina rada) i $T = 5$ godina (zamena svetiljki posle 15 godina rada).

7.2 Zamena NaVP sa LED svetiljkama sa primenom telemenadžment sistema

Inicijalni troškovi (C_{in}) odnose se na cenu zamene postojeće svetiljke (u okviru grupe zamene svetiljki):

$$C_{in} = C_{sv} + C_{msv}, \quad (14)$$

gde:

- C_{sv} predstavlja cenu svetiljke, uvećanu za kontroler svetiljke (10.750 din) i svedenu cenu segmentnog kontrolera po svetiljci (1.600 din), pri čemu je LED modul već uračunat u cenu svetiljke ($C_{sv} = 44.967$ din.), i
- C_{msv} predstavlja cenu montaže svetiljke na stub ($C_{msv} = 5.615,00$ din.).

Troškovi eksploatacije obuhvataju troškove za utrošenu električnu energiju i troškove održavanja, koji pre svega uključuju troškove čišćenja svetiljke i troškove zamene izvora svetlosti i predspojne opreme. Troškovi za utrošenu električnu energiju svetiljke u toku jedne godine mogu da se izračunaju primenom formule:

$$C_{elen} = P_l \cdot T_g \cdot C_{kWh}, \quad (15)$$

gde:

- P_l (kW) predstavlja ukupnu snagu izvora svetlosti i predspojne opreme – na osnovu definisanog scenarija 3 za fotopski režim u poglavlju 5.4, može se izračunati da je srednja snaga LED svetiljke na godišnjem nivou $P_{1LED} = 32.13$ W, dok za NaVP ona iznosi $P_{1NaVP} = 113.6$ W (elektromagnetski balast),
- T_g je broj časova rada izvora svetlosti u toku jedne godine (u ovoj analizi je usvojeno $T_g = 4137.25$ h, pre svega jer su rezultati analize bazirani upravo na ovoj vrednosti dobijenoj u godišnjem kalendaru uključenja/isključenja od JKP “Javno osvetljenje”), i

- C_{kWh} je cena jednog kWh električne energije – cena će se računati prema novom obračunu koji je već stupio na snagu i podrazumeva uključene troškove mrežarine i taksu za obnovljive izvore energije. Nova cena iznosi **9.907 din/kWh**.

U slučaju instalacije sa LED svetiljkama, sve komponente osim kontrolera svetiljke imaju životni vek od 20 godina, pa se u toku definisanog eksploatacionog perioda od 10 (5) godina neće izvršiti nijedna grupna zamena tih uređaja. Za kontroler svetiljke je uzeto da je životni vek 10 godina, pa se u toku eksploatacionog ciklusa ne predviđa ni njegova zamena. Ipak, treba predvideti periodično čišćenje protektora LED svetiljki na svake 4 godine (jednom ili dvaput u zavisnosti od dužine eksploatacionog ciklusa).

7.3 Analiza rezultata ekonomskog poređenja NaVP i LED svetiljki

Rezultati poređenja aktuelizovanih troškova rada postojeće instalacije sa NaVP svetiljkama i novoprojektovane sa LED svetiljkama dati su tabelarno (tabele 51 i 52), i to bez i sa implementiranim sistemom telemenadžmenta za zamenu postojećih NaVP svetiljki nakon 10 godina.

Tabela 51. Aktuelizovani troškovi stare NaVP i nove LED instalacije bez sistema telemenadžmenta za trenutak zamene nakon 10 godina eksploatacije

LED SVETILJKE BEZ TELEMENADŽMENTA - ZAMENA NAKON 10 GODINA			
ONYX 2	VOLTANA 3	Ušteda [%]	Stopa aktuelizacije
Ukupni (aktuelizovani) troškovi		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
C_1 NaVP	C_2 LED		
71,800	88,706	23.5%	2.5
82,572	106,942	29.5%	5
95,181	129,045	35.6%	7.5

Tabela 52. Aktualizovani troškovi stare NaVP i nove LED instalacije sa sistemom telemenadžmenta za trenutak zamene nakon 10 godina eksploatacije

LED SVETILJKE SA TELEMENADŽMENTOM - ZAMENA NAKON 10 GODINA			
ONYX 2	VOLTANA 3	Ušteda [%]	Stopa aktualizacije
Ukupni (aktuelizovani) troškovi		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
C_1 NaVP	C_2 LED		
71,800	82,533	14.9%	2.5
82,572	102,380	24.0%	5
95,181	126,741	33.2%	7.5

Analizirajući rezultate u tabelama 51 i 52, može se konstatovati da zamena NaVP svetiljki LED svetiljkama nije opravdana sa ekonomskog aspekta kada se vrši za NaVP instalaciju staru 10 godina, što znači da eksploatacioni ciklus od 10 godina nije dovoljan da se investicija otplati kroz uštede u potrošnji električne energije i održavanju. Budući da se pokazalo da zamena nije ekonomski opravdana za slučajeve 1 i 2, ekonomska analiza nije rađena za slučajeve 3 i 4.

Može se konstatovati da, iako se investicija nije pokazala kao opravdana, ukupni aktuelizovani troškovi nisu toliko veći koliko bi se moglo očekivati (najviše 35.6 % za stopu aktualizacije 7.5 %). U slučaju implementacije sistema telemenadžmenta (daljinskog upravljanja i nadzora), ova razlika je nešto manja (najviše 33.2 % za stopu aktualizacije 7.5 %), pre svega zbog činjenice da se primenom takvog sistema i definisanja odgovarajućeg dinamičkog scenarija rada, prosečna (ekvivalentna) snaga LED svetiljke na godišnjem nivou može spustiti na 32.13 W, što predstavlja smanjenje instalisane snage od 71.72 % u odnosu na NaVP svetiljke!

Imajući u vidu da je cena električne energije u Srbiji među najnižima u regionu i Evropi, kroz smanjenje potrošnje električne energije u eksploatacionom periodu od 10 godina nije bilo moguće u potpunosti kompenzovati investicione troškove (nabavka i montaža LED svetiljki). Glavni razlog za to što razlika u ukupnim aktuelizovanim troškovima nije još veća od dobijene, leži u visokoj ceni usluga održavanja (montaže/demontaže svetiljki i zamene dotrajalih izvora svetlosti i komponenti svetiljki). Važno je naglasiti

da su cene korišćene u analizi dobijene direktno od tehničkog sektora JKP „Javno osvetljenje“, uz uveravanje da se radi o cenama usluga iz zvaničnog cenovnika za tekuću godinu. Pošto je kompletan pilot projekat organizovan na teritoriji Grada Beograda, a sve analize rađene za realno stanje instalacija JO upravo u Beogradu, autor smatra da su dobijene cene jedine validne za ekonomsko poređenje NaVP i LED svetiljki. Takođe, treba reći da su sve predložene komponente relevantne za analizu (izvori svetlosti i kondenzatori) visokog kvaliteta, što povlači i nešto veću cenu (pre svega se misli na natrijumov izvor visokog pritiska Philips Master SON-T Pia Plus koji je čak 3-struko skuplji od nekih NaVP sijalica nižeg kvaliteta koje se pojavljuju na tržištu).

Izvršena je još jedna analiza – povećavana je cena električne energije ne bi li se ustanovilo koja bi to vrednost učinila da ovakva rekonstrukcija bude ekonomski opravdana. Ustanovljeno je da je cena električne energije od 23 din/kWh (postojeća cena 9.907 din/kWh) u najnepovoljnijem slučaju za stopu aktuelizacije 7.5 % bez sistema telemenadžmenta dovoljna da bi se takva investicija isplatila. Treba imati u vidu da je cena električne energije u Srbiji niska i da se očekuje porast u narednih 5-10 godina, kao i činjenicu da će cene LED svetiljki još padati (ne drastično, ali sigurno do 20 %).

Imajući sve to u vidu, a uzevši u obzir i činjenicu da se sa rekonstrukcijama JO u Srbiji najverovatnije neće krenuti još barem 5 godina zbog teške ekonomske situacije (najveći deo rekonstrukcija JO izvršen je do 2008. godine, pre svetske ekonomske krize), može se pretpostaviti da, ukoliko bi se u rekonstrukcije JO na nivou gradova krenulo za 5 godina, LED svetiljke budu bolje rešenje i sa ekonomskog aspekta.

8. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Osnovni zadatak ovog istraživanja koje je poslužilo kao osnov za izradu doktorske disertacije bio je da se pokaže opravdanost rekonstrukcije instalacija JO i zamene postojećih NaVP svetiljki sa LED svetiljkama. Da bi se ispitale brojne spekulacije, neproverene tvrdnje iz marketinških brošura i generalno čitava fama koja prati LED tehnologiju, sprovedeno je obimno terensko istraživanje koje je imalo za cilj da pruži odgovor na neka od brojnih pitanja. Postavljena je testna instalacija sa NaVP i LED svetiljkama na kojoj su vršena različita električna i fotometrijska merenja, nakon kojih je usledilo i anketno ispitivanje po pitanju subjektivnog doživljaja kvaliteta osvetljenja u obe zone testne instalacije, a na kraju i ekonomska analiza opravdanosti upotrebe LED izvora u uličnom osvetljenju.

Kao dobar putokaz za definisanje koncepta ovakvog komparativnog istraživanja poslužili su fotometrijski proračuni koji su rađeni u cilju izbora svetiljki odgovarajućih karakteristika, kako postojećih NaVP koje su se morale reparirati (100 W umesto 150 W), tako i novih zamenskih LED svetiljki. Proračuni su pokazali da je moguće zadovoljiti iste fotometrijske uslove (svetlotehnička klasa M3) koristeći LED svetiljke približno 26 % manje instalisane snage od NaVP svetiljki (80 W naspram 108.5 W). Posebno je interesantna činjenica da je ova komparativna prednost ostvarena za najnepovoljniji slučaj, tj. za radnu struju od 1000 mA pri kojoj je svetlosna iskoristivost LED svetiljki najmanja (tabela 53 je preuzeta sa internog sajta kompanije Schröder).

Tabela 53. Fotometrijske karakteristike svetiljke Voltana 3

LED count	Colour code	Colour name	CCT (K)	CRI	Current (mA)	Luminaire power (W)	Source flux (lm)	Luminaire output flux (lm)	Luminaire efficacy (lm/W)	Peak (cd)	BUG Rating	Voltage (V)
Ambient temp = 25°												
24	WW	Warm White	3000	70	350	28	3480	3080	110	2376	B1 U0 G1	230
24	WW	Warm White	3000	70	500	41	4698	4158	101	3207	B2 U0 G1	230
24	WW	Warm White	3000	70	700	55	6194	5482	100	4229	B2 U0 G1	230
24	WW	Warm White	3000	70	1000	80	7760	6868	86	5298	B2 U0 G1	230
24	NW	Neutral White	4000	70	350	28	3552	3144	112	2425	B1 U0 G1	230
24	NW	Neutral White	4000	70	500	41	4795	4244	104	3274	B2 U0 G1	230
24	NW	Neutral White	4000	70	700	55	6323	5596	102	4316	B2 U0 G1	230
24	NW	Neutral White	4000	70	1000	80	7921	7010	88	5408	B2 U0 G1	230

Ovde se može videti (korišćeni tip je naznačen u tabeli) da se sa fluksom LED čipova svetiljke od 7.921 lm dobija približno jednak nivo sjajnosti kolovoza kao sa NaVP svetiljkom kod koje je fluks sijalice 10.700 lm. Fotometrijski proračuni dokazuju da je efikasnost LED svetiljki, kontrola i raspodela svetlosnog fluksa bolja nego kod NaVP svetiljki, pa se sa 26 % manjim ulaznim fluksom izvora dobijaju približno jednake fotometrijske performanse. Takođe, zanimljivo je primetiti da je svetlosna efikasnost ove LED svetiljke (88 lm/W) relativno mala u odnosu na neke očekivane vrednosti za kvalitetne svetiljke (preko 100 lm/W), pre svega jer sa povećanjem radne struje pada svetlosna efikasnost LED čipa (za druge struje iznad u tabeli (350/500/700 mA), ta efikasnost je iznad 100 lm/W). U ovom slučaju je napravljen tehno-ekonomski balans jer se sa povećanjem struje smanjuje broj LED čipova na štampanoj ploči, manji broj čipova podrazumeva manji radni napon i posledično jeftiniji LED drajver, manji LED modul znači svetiljku manjih gabarita, a sve to zajedno donosi jeftiniju svetiljku zadovoljavajuće snage i svetlosnog fluksa. Bolji rezultati su se mogli postići da se koristila svetiljka sa većim brojem LED čipova sa manjom radnom strujom (za istu snagu bi se dobio barem 10-15 % veći svetlosni fluks), ali bi i cena takve svetiljke bila značajno viša što bi uticalo na ekonomsku opravdanost investicije. Treba reći i da je priložena tabela data za LED čipove generacije 2 jer je ovaj projekat krenuo još pre skoro 2 godine. Sada se u istim svetiljkama nepromenjenih gabarita (i cene) nalaze LED čipovi generacije 4 (4x4 mm²) koji daju 10-15 % veći izlazni fluks za istu radnu struju.

Može se konstatovati da visoka svetlosna efikasnost sama po sebi nije prednost, kao i da LED svetiljke mogu parirati ili čak dati i bolje rezultate od NaVP svetiljki ukoliko se odgovarajućom optikom ostvari kvalitetna kontrola i raspodela svetlosnog fluksa. Treba naći pravi balans između fotometrijskih i ekonomskih karakteristika za LED svetiljke, ali ovi proračuni nedvosmisleno pokazuju da je LED tehnologija napravila pomak i da može uspešno zameniti NaVP svetiljke i do 30-40 % većih snaga.

Pre nego što se izašlo na teren, u fabrici su izvršena merenja električnih i fotometrijskih karakteristika izabranih LED i NaVP svetiljki, gde se došlo do interesantnog zaključka: zahvaljujući dimabilnim elektronskim balastima i LED drajverima, snaga svetiljki se održava približno konstantnom u širokom opsegu ulaznog napona (kod NaVP sve do 170 VAC, a kod LED i do 120 VAC). Ovo je značajno imajući u vidu da su fluktuacije

mrežnog napona prilično prisutne u instalacijama JO u Srbiji (postoje saznanja da se po obodnim naseljima grada u instalacijama JO često ima napon od 180-200 VAC). Podsećanja radi, promene napona od $\pm 5\%$ kod natrijumovih izvora visokog pritiska izazivaju promene svetlosnog fluksa od $\pm 17\%$ ².

Može se konstatovati da elektronski uređaji koji podržavaju rad u širokom opsegu ulaznog napona mogu biti od velike koristi u mrežama sa nestabilnim naponom. Prednost LED tehnologije leži u tome da se takvi LED drajveri podrazumevaju u standardnoj izvedbi, dok se u NaVP svetiljkama uglavnom nalazi elektromagnetska predspojna oprema što zahteva dodatna značajna ulaganja u prilagođenje istih.

Ipak, treba reći i da širok opseg ulaznog napona nije uvek prednost, već može predstavljati i značajan problem o čemu će biti više reči u daljem tekstu.

Drugi set fabričkih merenja je imao za cilj da odredi zavisnost odnosa svetlosnog fluksa i snage od radne struje NaVP sijalice ili LED modula (dimovanje izvora). Za natrijumove izvore je odavno poznato da svetlosni fluks i snaga ne opadaju u istom odnosu (fluks opada brže od snage), dok se za LED tehnologiju tvrdi da su snaga i svetlosni fluks direktno proporcionalni sa strujom i da opadaju u istom odnosu. Merenja su ovo i potvrdila i došlo se do sledećeg zaključka - dok je pri nominalnim vrednostima svetlosnog fluksa NaVP svetiljka imala 23.53 % veću nominalnu snagu, za nivo od npr. 40 % svetlosnog fluksa snaga NaVP svetiljke je čak za 103.45 % veća od snage LED svetiljke.

Svetlosni fluks kod NaVP svetiljki opada značajno brže nego snaga, dok kod LED svetiljki svetlosni fluks opada neznatno sporije nego snaga (ovaj odnos je blizak jedinici). To znači da će na nižim vrednostima prilikom dimovanja za dobijanje iste količine svetlosnog fluksa LED svetiljkama trebati proporcionalno još manja snaga nego u nominalnom režimu! Ovo je značajna prednost LED tehnologije jer se u radu sa kontrolnim sistemima (ili programabilnim uređajima kojima se može zadati dinamički scenario rada) mogu ostvariti dodatne uštede i do 50 % u zavisnosti od definisanog dinamičkog scenarija rada instalacije.

Nakon postavljanja svetiljki na testnu lokaciju, izvršena su podešavanja osvetljenja tako da u obe zone (sa NaVP ili LED svetiljkama) nivoi sjajnosti budu identični ili gotovo identični. Upravo ovaj *koncept približno jednakih fotometrijskih uslova* predstavlja najveći doprinos ove disertacije, stvarajući zdrave osnove za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Iako je koncept jednostavan, analizom raspoložive stručne literature koja se bavila komparativnom analizom LED i NaVP svetiljki, ustanovljeno je da je za sve pronađene eksperimentalne postavke zajedničko to da merenja nisu rađena na osnovu približno identičnih fotometrijskih uslova (jednakih nivoa sjajnosti). Prema saznanjima kandidata (uz dodatne konsultacije i provere sa eminentnim stručnjacima iz oblasti tehnike osvetljenja), može se konstatovati da ovo nisu izolovani slučajevi, već da zapravo ne postoji stručna tehnička (ili tehno-ekonomska) analiza koja istraživanje bazira na kriterijumu ekeperimentalno podešenih jednakih nivoa sjajnosti postojećih NaVP i novopostavljenih LED svetiljki. Iznenadujuća je činjenica da je veliki broj istraživanja u ovoj oblasti rađen uz vrlo paušalne pretpostavke o snagama LED svetiljki koje zamenjuju NaVP svetiljke, gde je jedini kriterijum bio da se smanji instalisana snaga na instalaciji. Takođe, čak i ako su vršena fotometrijska poređenja, ona su najčešće vršena prema kriterijumu osvetljenosti što se može smatrati neadekvatnim pristupom za instalacije uličnog osvetljenja namenjenog motorizovanom ili mešovitom saobraćaju.

Podešavanje fotometrijskih uslova, koje podrazumeva korišćenje odgovarajuće visokotehnološke opreme, realizovano je u 3 koraka:

- 1) fotometrijskim proračunima su određeni tipovi NaVP i LED svetiljki koji na saobraćajnici zadate geometrije daju približno iste pogonske nivoe sjajnosti (početni nivoi sjajnosti su veći usled uvažavanja faktora održavanja),
- 2) izvršena su merenja sjajnosti mobilnim luminansmetrom i luksmetrom u cilju provere projektovanih vrednosti (ovaj proces je trajao nekoliko meseci dok svi parametri nisu bili podešeni na pravi način – opisano u poglavlju 5.1), i
- 3) udruženim radom kontrolnog sistema implementiranog za čitavu testnu instalaciju i mobilnog luminansmetra izvršena je fina regulacija fotometrijskih uslova (nakon izmerenog nivoa sjajnosti u polju vrednovanja, iterativnim postupkom se kroz sistem daljinskog upravljanja nivo sjajnosti (fluksa, radne

struje) spuštao sve do trenutka dok nije izmerena željena vrednost srednje sjajnosti na kolovozu).

Bitno je istaći da se pokazalo da refleksiona svojstva kolovoza ne odgovaraju pretpostavljenoj refleksionoj klasi (R3007), već da su izmereni nivoi sjajnosti viši od očekivanih početnih vrednosti, u LED zoni čak i značajno viši. Nakon dužih ispitivanja (merenja sjajnosti i osvetljenosti u različitim poljima vrednovanja, ponovne provere nagiba svetiljki, merenja spektralne raspodele zračenja izvora korišćenjem spektrometra, promene optičkog bloka i sijalica kod NaVP svetiljki, pranja kolovoza u nekoliko navrata, provere ispravnosti mernih uređaja...), ustanovljeno je da je kolovoz takvih karakteristika da pripada istoj refleksionoj klasi (R3008), ali sa višim srednjim koeficijentom sjajnosti.

Generalno, može se konstatovati da kolovozne površine (kao nehomogene strukture) imaju nehomogene refleksione karakteristike duž istog puta, pa je teorijske postavke veoma teško potvrditi u praksi. Ipak, autor smatra da bi korišćenje mobilnih reflektometara (ili merenja refleksionih karakteristika kolovoza na neki drugi način) trebalo da postane obavezna praksa u projektovanju instalacija JO, naročito za saobraćajnice većeg značaja. Ukoliko se ovakva provera ne izvrši, prava refleksiona klasa kolovoza može biti takva da vozač percipira osetno više nivoe sjajnosti (nepotrebno povećan trošak električne energije) ili osetno niže nivoe sjajnosti od projektovanih (smanjen vidni komfor i ugrožena bezbednost u saobraćaju).

Merenja električnih veličina su vršena paralelno sa 3 različita tipa uređaja ili sistema: vrednosti očitane u bežičnim kontrolerima svetiljki i raspoložive na korisničkoj stranici telemenadžment sistema, vrednosti očitane sa digitalnih brojila instaliranih u orman JO i vrednosti očitane mrežnim analizatorom za sve režime rada (najpre fiksne režime gde je svaki od definisanih nivoa sjajnosti bio konstantan tokom noćnih sati, a zatim i mešovite režime gde su kreirani odgovarajući dinamički scenariji rada instalacije u kojima se nivo sjajnosti menja od nominalnog ka najnižem definisanom tokom noćnih sati u određenim vremenskim intervalima). Merenja kroz telemenadžment sistem i kroz digitalna brojila su vršena 9 meseci, dok je mrežni analizator samo poslužio da se ispitaju harmonijska izobličenja napona i struje (očitan su i svi ostali električni parametri radi daljeg poređenja sa ostalim mernim sistemima). Definisano je nekoliko

standardnih režima rada i nekoliko režima sa uvažavanjem efekata mezopskog viđenja (teorija mezopskog viđenja opisana je u poglavlju 1.8). Na osnovu velikog broja merenja u periodu avgust 2015 - april 2016, sređene su vrednosti svih merenih i izračunatih električnih parametara (U , I , $\cos\phi$, P , Q , W_a , W_r) za svaki od definisanih fotopskih i mezopskih režima rada. Najpre su analizirane vrednosti dobijene kroz telemenadžment sistem, imajući u vidu da su kontroleri svetiljki opremljeni mernim kolima visoke klase tačnosti 1. Zaključeno je da:

- *za postizanje istih referentnih fotopskih nivoa sjajnosti od 1.346 cd/m^2 potrebne su LED svetiljke instalisane snage manje za 30.8 %,*
- *zbog osobine LED svetiljki da sa dimovanjem snaga opada brže od svetlosnog fluksa, za svaki niži fotopski režim potrebna snaga LED svetiljki je proporcionalno još manja u odnosu na odgovarajuće snage NaVP svetiljki - 41.07 % za nivo sjajnosti 1 cd/m^2 , 49.75 % za nivo sjajnosti 0.75 cd/m^2 i 62.74 % za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 ,*
- *za mezopske nivoe sjajnosti ove razlike u instalisanoj snazi su još veće - 53.62 % za nivo sjajnosti 0.86 cd/m^2 , 61.36 % za nivo sjajnosti 0.63 cd/m^2 i 69.3 % za nivo sjajnosti 0.4 cd/m^2 ,*
- *sa obaranjem nivoa sjajnosti (snage i svetlosnog fluksa), faktor snage kod NaVP svetiljki se veoma malo menja (opada) – od 0.99 za nivo sjajnosti 1.346 cd/m^2 do 0.96 za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 ,*
- *sa obaranjem nivoa sjajnosti (snage i svetlosnog fluksa), faktor snage kod LED svetiljki drastično opada - od 0.95 za nivo sjajnosti 1.346 cd/m^2 do 0.73 za nivo sjajnosti 0.5 cd/m^2 , i*
- *za mezopske nivoe sjajnosti faktor snage kod LED svetiljki još drastičnije opada - od 0.88 za nivo sjajnosti 0.86 cd/m^2 do 0.64 za nivo sjajnosti 0.4 cd/m^2 .*

Poredeći ove vrednosti sa onim očitanim kroz digitalna brojila, ustanovljeno je da se apsolutne vrednosti snaga merenih kroz telemenadžment i putem digitalnih brojila razlikuju 2.9 % kod LED i 0.75 % kod NaVP svetiljki, dok se faktor snage razlikuje 4.15 % kod LED i 1.59 % kod NaVP svetiljki. Takođe, poredeći potrošnju aktivne energije, može se konstatovati da su razlike u ovom dužem vremenskom periodu su u proseku manje od 5 %.

Budući da predmetno istraživanje nije imalo za cilj samo da prikaže komparativnu analizu NaVP i LED svetiljki, već i da analizira efekte implementacije sistema daljinskog upravljanja u instalacijama JO, može se konstatovati da telemenadžment sistem predstavlja izvanredno rešenje za kontrolu i nadzor uličnog osvetljenja, donoseći velike uštede u potrošnji električne energije, ali i povratne informacije o radu i statusu svake od pojedinačnih svetiljki (uključujući i ukupne sate rada), što može dovesti da značajno lakšeg održavanja ovih instalacija. Takođe, imajući u vidu da se merene električne veličine neznatno razlikuju od onih izmerenih kroz digitalna brojila koja predstavljaju standardno rešenje za ovu namenu, treba razmotriti i mernu funkciju ovakvih sistema koja bi donela dalje investicione uštede i učinila postavljanje dodatnih brojila nepotrebnim.

Ako se ovim rezultatima pridodaju i rezultati merenja mrežnim analizatorom, dobija se sledeća tabele uporednih vrednosti aktivnih snaga i faktora snage iz kojih proizlaze i sve ostale električne veličine (tabela 54). Ako se digitalna brojila uzmu kao referentni merni sistem (što jeste trenutna realnost), može se konstatovati da vrednosti očitane kroz telemenadžment sistem i mrežni analizator ne odstupaju više od 5 % od referentnih vrednosti.

Tabela 54. Komparativna tabela merenih električnih veličina kroz 3 merna sistema

1		TELEMENADŽMENT			
		LED		HID	
REŽIMI RADA (LED→HID)		P [W]	cosφ	P [W]	cosφ
1.346 cd/m ²	1.346 cd/m ²	436.86	0.95	946.89	0.99
1 cd/m ²	1 cd/m ²	300.9	0.91	765.9	0.98
0.86 cd/m ²	1 cd/m ²	237.48	0.88	767.97	0.98
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	212.7	0.86	634.95	0.98
0.63 cd/m ²	0.75 cd/m ²	163.8	0.81	635.94	0.97
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	126.42	0.73	508.95	0.96
0.4 cd/m ²	0.5 cd/m ²	104.16	0.64	508.95	0.96
2		DIGITALNA BROJILA			
		LED		HID	
REŽIMI RADA (LED→HID)		P [W]	cosφ	P [W]	cosφ
1.346 cd/m ²	1.346 cd/m ²	440	0.94	960	1.00
1 cd/m ²	1 cd/m ²	300	0.90	770	1.00
0.86 cd/m ²	1 cd/m ²	240	0.87	780	0.99
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	200	0.83	640	0.99
0.63 cd/m ²	0.75 cd/m ²	160	0.78	640	0.99
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	120	0.70	510	0.98
0.4 cd/m ²	0.5 cd/m ²	100	0.61	510	0.98
3		MREŽNI ANALIZATOR			
		LED		HID	
REŽIMI RADA (LED→HID)		P [W]	cosφ	P [W]	cosφ
1.346 cd/m ²	1.346 cd/m ²	433	0.92	974	0.99
1 cd/m ²	1 cd/m ²	294.5	0.87	788.5	0.98
0.86 cd/m ²	1 cd/m ²	233.5	0.84	786.5	0.98
0.75 cd/m ²	0.75 cd/m ²	196.5	0.79	654	0.97
0.63 cd/m ²	0.75 cd/m ²	159	0.76	652	0.98
0.5 cd/m ²	0.5 cd/m ²	123	0.67	523	0.97
0.4 cd/m ²	0.5 cd/m ²	98.5	0.59	523.5	0.97

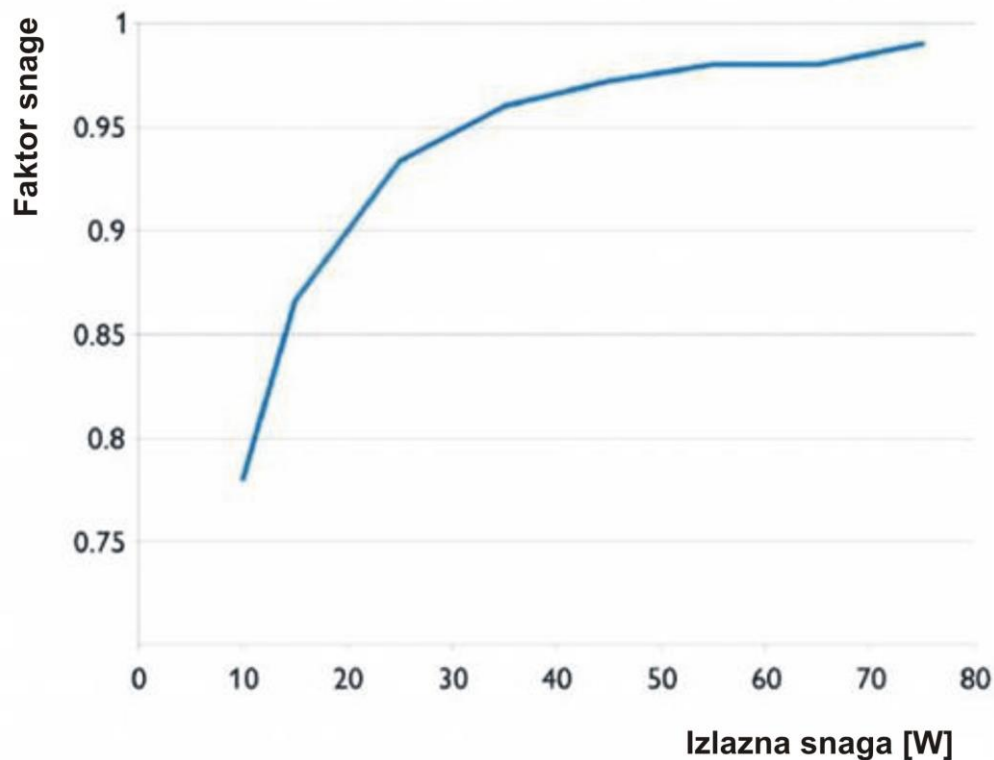
Ipak, od većeg značaja za predmetnu analizu su mešoviti režimi rada jer ulaganje sredstava u postavljanje telemenadžment sistema ima smisla samo ukoliko su predviđene promene nivoa sjajnosti tokom noći. Zbog toga su, a koristeći vrednosti električnih veličina izmerenih kroz digitalna brojila, definisani standardni i mezopski scenariji rada instalacije JO na godišnjem nivou. Ovo će biti pravi pokazatelj mogućih ušteda jer su sva merenja vršena u periodu kraćem od kalendarske godine što nije dovoljno da se ima kompletna slika, budući da se dužina noći i broj sati uključenja instalacije JO menja tokom godine u širokom rasponu od 9 h do 15 h. Za ovu svrhu je

iskorišćen kalendar godišnjih uključenja/isključenja svetiljki dobijen od JKP „Javno osvetljenje“. Ova komparativna analiza godišnje potrošnje električne energije zasnovana je na pretpostavljenim režimima rada koji se realno mogu primeniti u uličnom osvetljenju i upotpunila je jedan opšti zaključak koji predstavlja rezultat svih prethodno analiziranih električnih merenja:

- *LED svetiljke su efikasno rešenje za instalacije JO. One donose uštede u instalisanoj nominalnoj snazi (a posledično i potrošnji električne energije) od oko 30 % u odnosu na NaVP svetiljke, uz uvažavanje kriterijuma jednakih fotometrijskih uslova,*
- *za standardne (fotopske) dinamičke režime rada, potrošnja aktivne energije je za približno 50 % manja, a potrošnja reaktivne energije za približno 50 % veća nego kod NaVP svetiljki na godišnjem nivou,*
- *sa uvažavanjem mezopskih efekata potrošnja aktivne energije se smanjuje za dodatnih 20 % (povećanje potrošnje reaktivne energije je 3 %) u odnosu na standardne dinamičke režime sa LED svetiljkama, što navodi na zaključak da uvažavanje mezopskih efekata može biti značajan činilac u projektovanju instalacija JO,*
- *zbog značajnog opadanja faktora snage kod LED svetiljki, problem se mora razmatrati i sa aspekta održanja kvaliteta električne energije – kompenzacija reaktivne energije nije efikasna za niže režime rada, i*
- *nizak faktor snage dovodi u pitanje suštinsku prednost LED tehnologije da se ti izvori mogu dimovati čak do 10 % nominalnog svetlosnog fluksa. Ta komparativna prednost nije od značaja ukoliko to istovremeno podrazumeva faktor snage bliži vrednosti 0.5 nego 0.9.*

Faktor snage je kao veličina direktno povezan sa prisustvom harmonika u mreži, te stoga ne iznenađuje činjenica da su merenja harmonijskih izobličenja mrežnim analizatorom za sve standardne i mezopske režime rada pokazala da LED svetiljke u gotovo svim slučajevima ne ispunjavaju uslove propisane odgovarajućim standardima (maksimalno dozvoljene vrednosti THD napona i struje, kao i limite za svaki harmonik

do 40-og reda). Istovremeno, NaVP svetiljke, kod kojih se visok faktor snage održava kroz sve režime, nemaju problem sa prekomernim prisustvom viših harmonika. Za autora je pitanje faktora snage bilo od posebnog interesa jer je bilo teško pronaći stručnu literaturu koja bi dala objašnjenje zašto postoji takva razlika između elektronskih balasta i LED drajvera po ovom pitanju. Naizgled, ova dva uređaja zasnovana na prekidačkoj (SMPS) tehnologiji imaju slično konstruktivno rešenje u delu kola gde se reguliše izlazna vrednost napona ili struje. Najveća dilema je bila da li je ova slabost LED drajvera posledica određenih tehničkih ograničenja koja ne dozvoljavaju da se napravi efikasan uređaj kroz čitav operativni opseg, ili je takvo rešenje ekonomski neprihvatljivo zbog većeg broja elektrolitskih kondenzatora koji bi povećali cenu i gabarit, a smanjili pouzdanost zbog kraćeg životnog veka. Dalja istraživanja su pokazala da su oba razloga jednako uticala na sadašnju arhitekturu ovih uređaja. Glavni razlog za nizak faktor snage leži u širokom opsegu ulaznog napona kod LED drajvera, ali istovremeno i u širokom opsegu izlaznih napona i struja. Veoma je teško konstruisati uređaj koji može da održi vrednost faktora snage u tako širokom operativnom opsegu. Ipak, može se primetiti da je opseg ulaznog napona kod elektronskih balasta dosta uži (208-277 VAC) nego kod LED drajvera (120-277 VAC), pa se i tu krije jedan od razloga zašto je elektronski balast efikasniji po tom pitanju. Detaljnije objašnjenje za nizak faktor snage i pojavu harmonika je dato u poglavlju 5.5. Postavlja se pitanje opravdanosti implementacije telemenadžment sistema sa LED svetiljkama ukoliko se ne može garantovati visok faktor snage kroz najveći deo operativnog opsega. Možda su razmišljanja išla i u smeru da LED svetiljke koje su manjih snaga od NaVP svetiljki i ne treba dimovati na manje od 50 %, a do te vrednosti je faktor snage i dalje veći od 0.9. Ipak, došlo se do saznanja da će i ovaj problem veoma brzo biti prevaziđen – kao što je u prethodnim godinama strateška odluka najvećih proizvođača bila da nude manji broj tipova koji mogu raditi u širokom operativnom opsega sa osrednjim performansama, novi globalni trend je da se nudi širok asortiman proizvoda uže primene, ali visokih performansi. U toku je razvoj novih LED drajvera namenjenih isključivo evropskom tržištu kod svih većih proizvođača, a koji će raditi u uskom opsegu ulaznog napona 220-240 VAC. U tom slučaju, biće moguće održati visok faktor snage iznad 0.9 čak i do 20 % nominalne snage (slika 93 je deo poverljivog dokumenta jednog od vodećih proizvođača LED komponenti i odnosi se na LED drajver snage 75 W).



Slika 93. Zavisnost faktora snage od izlazne snage za LED drajvere koji rade u opsegu ulaznog napona 220-240 VAC

Anketno ispitivanje (sa 66 ispitanika) je sprovedeno u cilju da se objektivni inženjerski pristup upotpuni subjektivnim doživljajem kvaliteta osvetljenja, jer se samo kroz oba ova pristupa može doći do pravog odgovora o opravdanosti rekonstrukcije JO i kvalitetu razmatranih LED izvora svetlosti kao tehnologije budućnosti. Dva režima za koje je vršeno anketno ispitivanje dala su oprečne zaključke – dok je u standardnom režimu LED instalacija ocenjena kao bolje rešenje od strane većine ispitanika po većem broju pitanja relevantnih za istraživanje (sem neprijatnog blještanja za vozača i uočavanja pešaka pored puta), dotle je u mezopskom režimu rada instalacija sa NaVP ocenjena kao pravi izbor (sa izuzetkom boje svetlosti i blještanja koje je subjektivno (neočekivano) doživljeno kao manje sa neznatnim dimovanjem LED svetiljki (samo 14 %). Prema konkretnom anketnom ispitivanju, razlika u odgovorima koji se odnose na dva režima rada instalacije govori o tome da teorija mezopskog viđenja još nije u dovoljnoj meri ispitana i potvrđena, jer je očigledno da nije postojao uticaj mezopskih efekata na ispitanike koji su ocenili deo instalacije sa LED svetiljkama kao slabije osvetljen. Iako je LED instalacija tek neznatno dimovana (14 % manji svetlosni fluks), ova razlika je primećena. Treba uzeti u obzir i zamor ispitanika jer je anketa bila koncipirana tako da

mezopski režim dolazi posle nominalnog režima, imajući u vidu da je veći broj ispitanika učestvovao u anketiranju za oba režima.

Može se zaključiti da je u nominalnim uslovima instalacija sa LED svetiljkama ocenjena kao bolje rešenje, dok je u mezopskim uslovima kao bolja ocenjena postojeća instalacija sa NaVP svetiljkama.

Ekonomsko poređenje fotometrijskih rešenja sa NaVP i LED svetiljkama ostavljeno je za kraj ovog istraživanja i zasnovano je na opšteprihvaćenoj metodi aktuelizacije troškova. Razmatraju se ukupni troškovi unutar istog amortizacionog perioda od 10 (5) godina, koji uključuju kako inicijalne (investicione), tako i eksploatacione troškove. Ekonomska analiza je tretirala 4 slučaja – isplativost zamene postojećih NaVP svetiljki sa novoprojektovanim LED svetiljkama, i to bez i sa implementiranim sistemom telemenadžmenta za dva različita trenutka zamene postojećih NaVP svetiljki (nakon 10 ili 15 godina eksploatacije). Pokazalo se da ovakva investicija nije ekonomski opravdana za eksploatacioni ciklus od 10 godina, a za eksploatacioni ciklus od 5 godina analiza nije ni rađena, jer bi dobijeni rezultati mogli biti samo gori.

Izvršena je još jedna analiza – povećavana je cena električne energije ne bi li se ustanovilo koja bi to vrednost učinila da ovakva rekonstrukcija bude ekonomski opravdana. Ustanovljeno je da je cena električne energije od 23 din/kWh (postojeća cena 9.907 din/kWh) u najnepovoljnijem slučaju za stopu aktuelizacije 7.5 % bez sistema telemenadžmenta dovoljna da bi se takva investicija isplatila. Treba imati u vidu da je cena električne energije u Srbiji niska i da se očekuje porast u narednih 5-10 godina, kao i činjenicu da će cene LED svetiljki još padati (ne drastično, ali sigurno do 20 %).

Imajući sve navedeno u vidu, a uzevši u obzir i činjenicu da se sa rekonstrukcijama JO u Srbiji najverovatnije neće krenuti još barem 5 godina zbog teške ekonomske situacije (najveći deo rekonstrukcija JO izvršen je do 2008. godine, pre svetske ekonomske krize), može se pretpostaviti da, ukoliko bi se u rekonstrukcije JO na nivou gradova krenulo za 5 godina, LED svetiljke budu bolje rešenje i sa ekonomskog aspekta.

Sagledavajući rezultate ove obimne analize, može se zaključiti da LED izvori zaista predstavljaju budućnost uličnog osvetljenja, i to ne sa marketinškog aspekta, već gotovo po svim tehničkim i ekonomskim parametrima. Ostaje otvoreno pitanje termičkog dizajna svetiljki, jer je visoka temperatura koja se generiše na PN spoju LED čipa jedan od najvećih problema sa kojim se susreće LED tehnologija (kao uostalom i sva elektronska oprema). Ipak, kod renomiranih proizvođača je svaki proizvod pokriven odgovarajućim testnim izveštajima, među kojima je i termički test koji garantuje funkcionalnost proizvoda u određenom opsegu temperatura ambijenta koji se mora poštovati. Drugo pitanje je pitanje visokog udela plave komponente u spektru LED izvora što može biti štetno po zdravlje građana, ali su u analizi korišćene LED svetiljke sa izvorima neutralne bele boje (temperature boje 4000K) koje imaju povoljniji spektar zračenja i smanjen udeo plave komponente u odnosu na LED izvore hladne boje svetlosti. Treće pitanje je pitanje neprijatnog blještanja koje je direktna posledica minijaturnih izvora svetlosti koji sa male površine izračuju veću količinu svetlosti. Ovim pitanjem se bavi i konzorcijum proizvođača LED svetlosne opreme „Zhaga“⁹⁹, koji promoviše LED izvore većih površina čime bi se značajno smanjilo blještanje i „ublažila“ svetlosna raspodela (ne bi više bilo oštih odsecanja svetlosne karakteristike čija je posledica slabije sagledavanje okruženje puta, što vozači smatraju neprijatnim). Takođe, Zhaga konzorcijum insistira na razvoju aluminijumskih reflektora (odsijača) za LED module nasuprot sada najrasprostranjenijoj primeni PMMA sočiva za svaki LED čip, čime se i LED tehnologija vraća na stari koncept - jedan izvor svetlosti + reflektor.

I na kraju, može se zaključiti da LED tehnologija sa pravom predstavlja ozbiljnog pretendenta na mesto najdominantnijeg izvora u uličnom osvetljenju u bliskoj budućnosti, i to po svim tehničkim pokazateljima obrađenim u doktorskoj disertaciji. Ako se pretpostavi da će pitanje niskog faktora snage (i harmonijskih izobličenja) u režimima dimovanja biti rešeno sa novom generacijom LED drajvera, a imajući u vidu i objektivne tržišne okolnosti gde se žele vratiti ogromna sredstva uložena u razvoj LED tehnologije u najkraćem vremenskom roku, autor je mišljenja da ne postoje objektivne prepreke da LED svetiljke (opravdano) postanu dominantne i u instalacijama JO u Srbiji, a vrlo verovatno i sistemi daljinskog upravljanja i nadzora.

9. LITERATURA

1. Djuretic AV., "Techno-economic analysis of the justification of the use of electronic ballasts instreet lighting“, Master’s thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, 2012 (in Serbian), <http://home.etf.rs/kostic/docs/Document1.pdf>
2. Kostić MB., "Vodič kroz svet tehnike osvetljenja“, Minel-Schreder, Beograd, 2000.
3. "Application Guide to HID lamp control gear“, Philips Lighting, 2012. www.italux.pt/appl_guide_hid.pdf
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Gas-discharge_lamp
5. <http://www.answers.com/topic/sodium-vapor-lamp>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-vapor_lamp
7. Trifunović J., "Tehnički, ekonomski i ekološki faktori koji utiču na definisanje optimalne strategije za masovno uvođenje kompaktnih fluorescentnih izvora svetlosti u Srbiji", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2008.
8. "HID lamps – technical information on reducing the wattage“, 2009, www.osram.com
9. ELTAM Ein Hashofet Ltd., "Electronic Ballast for High Intensity Discharge Lamps (HID)", 2008.
10. Jiang Y., "Three Dimensional Passive Integrated Electronic Ballast for Low Wattage HID Lamps", Doctoral Dissertation, Blacksburg, VA, 2009. www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd.../Dissertation_YanJiang_0327.pdf
11. Philips internal PPT presentation "Electronic – a look inside“, 2010.

12. Melis J., " HID ballast overview", 1998,
<http://www.ballastdesign.com/overview>
13. Campbell JH., "Initial characteristics of high-intensity discharge lamps on high-frequency power", IES Transaction, Vol. 64, pp. 711-722, 1969.
14. "LEDs for lighting & signage applications", The Brussels Enterprise Agency, 2006.
15. „LED Academy“, OMS Lighting Ltd., 2015.
http://www.omslighting.com/data/images/ledacademy/pdf/led_academy.pdf
16. „White SMD LED H35C1 series 3535 G2“, Product Family Datasheet, LG Innotek, 2015,
<http://led.lginnotek.com>
17. "LEDs for lighting & signage applications", The Brussels Enterprise Agency, 2006.
18. „Thermal management of LED luminaires“, Internal PPT, Schreder LED Seminar, Liege, 2009.
19. „Technical characteristics of LED“, Schröder internal PPT, 2010.
20. „OSRAM LED Fundamentals: Driving LEDs – Resistors and Linear drivers“, OSRAM presentation, 2011.
http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Driving-LEDs-Resistors-and-Linear-Drivers_v2_8-11-11_SCRIPT.pdf
21. „OSRAM LED Fundamentals: Driving LEDs – Switch Mode drivers“, OSRAM presentation, 2011.
http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Driving_LEDs_Switch_Mode_Drivers_v6_12-23-11_SCRIPT.pdf

22. „Dimming Techniques for Switch-mode LED drivers“, Power Electronics Technology, November 2010.,
www.powerelectronics.com
23. „OSRAM LED Fundamentals: Driving LEDs – AC-DC Power Supplies“, OSRAM presentation, 2012.
http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Driving_LEDs_AC-DC_Power_Supplies_06-26-2012_SCRIPT.pdf
24. Yilmaz H., “Design, application and comparison of single stage flyback and SEPIC PFC AC/DC converters for power LED lighting application”, Master thesis, Middle East Technical University, September 2012.
25. „Light Control & Telemangement Product & Marketing Review“, Schröder internal PPT, Februar 2009.
26. „Introduction to the LonWorks® Platform, revision 2“, Echelon Corporation, 2009., www.echelon.com
27. Bumiller G., Lampe L., Hrasnica H., „Power Line Communication Networks for Large-Scale Control and Automation Systems“, IEEE Communications Magazine (Volume:48 , Issue: 4), April 2010.
28. „Cree XLamp XP-G2 LEDs“, Product family datasheet CLD-DS51 Rev 12, Copyright © 2012-2016 Cree, Inc.
<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/Data-and-Binning/XLampXPG2.pdf>
29. LED colour mixing: Basics and Background, Technical article CLD-AP38 REV 1C, Cree May 2013,
http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LE-Components-and-Modules/XLamp/XLamp-Application-Notes/LED_color_mixing.pdf
30. „Shedding Light - A survey of local authority approaches to lighting in England“, April 2014, p. 22

<http://www.cpre.org.uk/resources/countryside/dark-skies/item/3776-shedding-lightleaflet?highlight=WyJzaGVkZGluZyIsIidzaGVkZGluZyIsImxpZ2h0IiwibGlnaHQnIiwJ2xpZ2h0Iiwic2hlZGRpbmcgbGlnaHQiXQ>

31. „Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting“, International Dark-Sky Association, May 2010, str. 2,15,16
http://darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/8_IDA-BLUE-RICH-LIGHT-WHITE-PAPER.PDF
32. Kostic AM., Kremic MM., Djokic MS., Kostic MB., „Light-emitting diodes in street and roadway lighting – a case study involving mesopic effects“, Lighting Research and Technology, 2013, 45: 217–229, Str. 219
33. <http://www.ledsmagazine.com/articles/2010/09/nichia-claims-record-efficacy-for-1a-operation.html>
34. <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>
35. <http://www.ledsmagazine.com/ugc/2016/01/11/samsung-achieves-173-lm-w-light-efficacy-in-high-power-packaged-leds.html>
36. Ryu H., „Analysis on the Luminous Efficiency of Phosphor-Conversion White Light-Emitting Diode“, Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 17, No. 1, Februar 2013, pp. 22-26
37. Murphy TW., „Maximum spectral luminous efficacy of white light“, Journal of Applied Physics 111, 104909, 2012.
38. Product Leaflet “Master SON-T Pia Plus 100W”, Philips Lighting 2016.,
http://download.p4c.philips.com/lfb/f/fp-928151709230/fp-928151709230_pss_en_aa_001.pdf
39. Đuretić A., " Istine i Zablude o LED tehnologiji", DOS, Savetovanje 2007, Kopaonik, 2007.

40. „Outdoor lighting – Visual efficacy“, ASSIST publication, Lighting Research Center, Volume 6, issue 2, Januar 2009.
41. https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect
42. Kostić MB., „Osvetljenje puteva“, Minel-Schröder, Beograd, 2006.
43. CIE, „Mesopic Photometry: History, Special Problems and Practical Solutions“, Publication CIE 81, 1989.
44. CIE, „Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance“, CIE Publication 191-2010, Vienna: CIE, 2010.
45. Kostić MB., Đokić LS., „A modified CIE mesopic table and the effectiveness of white light sources“ *Lighting Research and Technology* (2012) 44: 416–426
46. Rea MS., Bullough JD., Freyssinier-Nova JP., Bierman A., „A proposed unified system of photometry“, *Lighting Research and Technology*, 2004; 36: 85–111.
47. Adrian W., „The influence of spectral power distribution for equal visual performance in roadway lighting levels“, *Proceedings of the 4th International Lighting Research Symposium: Vision at Low Light Levels*. Orlando, 1998.
48. He Y., Rea MS., Bierman A., Bullough JD., „Evaluating light source efficacy under mesopic conditions using reaction times“, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 1997; 26: 125–138
49. He Y., Bierman A., Rea MS., „A system of mesopic photometry“, *Lighting Research and Technology*, 1998; Volume 30: 175–181
50. Lewis AL., „Equating light sources for visual performance at low luminances“, *IES Journal* 1998; 27: 80–84

51. Lewis AL., „Visual performance as a function of spectral power distribution of light sources at luminances used for general outdoor lighting“, IES Journal, 1999; 28: 37–42
52. Bullough JD., Rea MS., “Simulated driving performance and peripheral detection at mesopic and low photopic light levels“, Lighting Research and Technology 2000; 32: 194–198
53. Lingard R., Rea M., „Off-axis detection at mesopic light levels in a driving context“, IES Journal 2002; 31: 33–39
54. Lewin I., „Lumen effectiveness multipliers for outdoor lighting design“, IES Journal 2001; 30: 40–52
55. Goodman T., Forbes A., Walkey H., Eloholma M., Halonen L., Alferdinck J., Freiding A., Bodrogi P., Varady G., Szalmas A., „Mesopic visual efficiency IV: A model with relevance to night-time driving and other applications“, Lighting Research and Technology 2007; 39: 365–392.
56. CIE, „Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic“, CIE Publication 115-2010, 2nd edition, Vienna: CIE, 2010.
57. Bullough JD., Radetsky LC., „Analysis of new highway lighting technologies – final report Prepared for National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of The National Academies” - Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, Project No. 20-7/305, August 2013.
58. Jiang Y., Li S., Guan B., Zhao G., Thompson A., „Cost- and Energy-Efficient (LED, Induction and Plasma) Roadway Lighting“, Joint transportation research program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, 2013.

59. Kinzey BR., Royer MP., Hadjian M., Kauffman R., „Demonstration of LED Street Lighting in Kansas City, MO“, Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC05-76RL01830, Pacific Northwest National Laboratory, June 2013.
60. Hunt K., Potter E., Vu H., Waldo J., „Evaluating LED Street Lighting“, Nantucket Project Center, Dec. 2014.
61. Bullough JD., „Guide for Optimizing the Effectiveness and Efficiency of Roadway Lighting“, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Project Nos. 21151 / C-10-14, 2012.
62. „LED Roadway Luminaires Evaluation“, A National University Transportation Center at Missouri University of Science and Technology, Feb. 2012.
63. Brons J., „Field Test DELTA Post-Top Photovoltaic Pathway Luminaire“, Lighting Research center, Field test, issue 4, 2009.
64. Brons J. „Field Test DELTA Snapshots LED Street Lighting“ Lighting Research Center, Field test Snapshots, issue 4, 2010.
65. Rodrigues C., Almeida P., Soares G., Jorge J., Pinto D. and Braga H., „An Experimental Comparison Between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps“, Industrial Electronics (ISIE), IEEE International Symposium 2011.
66. Laperrière A., „LED street lighting in the municipality of Saint-Gédéon-de-Beauce within the framework of advanced lighting technologies“, Hydro-Québec Research Institute, May 2011.
67. Nogueira FJ., Vitoi LA., Gouveia LH., Casagrande CG., Pinto DP. and Braga HAC., „Street Lighting LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps: Study of Case“, NIMO – Modern Lighting Research Group – Federal University of Juiz de Fora, IEEE 2014.

68. „Seattle LED adaptive lighting-study“, Clanton & Associates, Inc., May 29, 2014,
<https://neca.org/docs/default-source/reports/seattle-led-adaptive-lighting-study.pdf>
69. Ylinen A., Tähkämö L., Puolakka M. and Halonen L., „Road lighting quality, energy efficiency, and mesopic design – LED street lighting case study“, LEUKOS, The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, volume 8, number 1, pages 9-24, 2011.
70. „Assessment of LED Technology in Ornamental Post-Top Luminaires, Host Site: Sacramento, California“, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory, Dec. 2011.
71. „DynaVision Programmable Xtreme for SON - HID-DV PROG Xt 100 SON Q 208-277V“, Philips brochure, © Philips Lighting Holding B.V., 2016.
http://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/hid/hid-electronic-outdoor/dynavision-programmable-xtreme-for-son/913700693566_EU/product
72. „Heavy Duty BSN 100W L33-TS 230V 50Hz“, Philips datasheet, © Philips Lighting Holding B.V., 2016.
http://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/hid/hid-electromagnetic/hid-heavyduty-bsn-semi-parallel-for-son-cdo-mh-hpi/913700226726_EU/product
73. CIE, „Road Lighting Calculations“, Publication CIE 140, 2000.
74. CEN, „Road lighting - Part 3: Calculation of performance“, Evropski standard EN 13201-3, 2003.
75. „Master SON-T Pia PLUS 100W“, Philips datasheet, © Philips Lighting Holding B.V., 2016.
www.philips.com/lighting
76. „PISE-A110A 110W Output Power“, LG datasheet, LGInnotek, 2014.,
www.lginnotek.com

77. „DB2 – Direktno trofazno aktivno brojilo“, Katalog proizvođača, ENEL d.o.o. Beograd, 2007.
http://www.enel.co.rs/katalozi_catalogues/katalozi.htm
78. „OWLET NightShift® - telemanagement system“ Schréder brochure 2012.,
<http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Additional-content/Schreder-Owlet-Control-Systems-V2.pdf>
79. „LMK 98-4 high-quality digital CCD camera“, technical brochure, Techno Team 2010.,
http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/products/index_eng.html
80. Štrbac-Hadžibegović N., „Osnovne razlike u definisanju proračunskog polja i položaja posmatrača između preporuka CIE 30.2 i CIE 140:2000“, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2002.
81. „GOSSEN – Light Measuring“, Technical guide MAVOLUX 5032 C/B USB, GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH, 2011.,
http://www.gossen-photo.de/pdf/GOSSEN_Lichtmesstechnik_english.pdf
82. „Lucalox LU100/10/XO/T/40“, Datasheet, General Electric Company, 2016.
www.gelighting.com
83. „Agilent AN 1273 - Compliance Testing to the IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) and IEC 1000-3-3 (EN 61000-3-3) Standards“, Application Note, Copyright © Agilent Technologies 1995, 2000.
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5964-1917E.pdf>
84. „Power Factor, THD, Energy and Power Savings – Revisited“, Lumenique Inside Solid State Lighting, January 2012.
<https://lumeniquessl.com/2012/01/09/failure-to-address-power-factor-creates-a-false-picture-of-power-savings/>
85. „Harmonic Current Emissions - Guidelines to the standard EN 61000-3-2“, European Power Supply Manufacturers Association, 2010.
www.epsma.org

86. „ANSI C82.11-2011 - American National Standard for Lamp Ballasts-High Frequency Fluorescent Lamp Ballasts“, ANSI, 2011.
87. „ANSI C82.77-10-2014 - American National Standard for Lighting Equipment-Harmonic Emission Limits-Related Power Quality Requirements“ ANSI, 2014.
88. „Portable Power Analyzer Circutor AR5“, Manual, Circutor, 2006.
<http://circutor.com/en/products/measurement-and-control/portable-power-analyzers/portable-power-analyzers-port/ar5l-series-detail#documentation>
89. Markiewicz H., Klajn A., „Voltage Disturbances Standard EN 50160 - Voltage Characteristics in Public Distribution Systems“, Wroclaw University of Technology, July 2004.
<http://www.cdtechnics.be/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf>
90. European Standard, „EN 50160 - Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems“, CENELEC, 2005.
91. European Standard, „EN 61000-3-3 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection“, CENELEC, 2013.
92. Čabarkapa AM., „Upoređivanje kvaliteta ambijentalnog osvetljenja izvedenog primenom metal-halogenih i LED izvora svetlosti“, Doktorska Disertacija, Arhitektonski Fakultet, Beograd, 2015.
93. Krueger RA., “Designing and Conducting Focus Group Interviews”, University of Minnesota, USA, October 2002.
<http://www.eiu.edu/ihec/Krueger-FocusGroupInterviews.pdf>
94. „Procena stavova zdravstvenih radnika o rodno uslovljenom Nasilju – Fokus grupe“, Autonomni Ženski Centar, Beograd, Jul 2006.

95. „Metod Fokus Grupa“, Godišnjak Fakulteta za Kulturu i Medije „Komunikacije, mediji, kultura“, 2009.
96. Van Bommel W., „Road Lighting – Fundamentals, Technology and Application“, © Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
97. „Braking Distance“, Australian Mathematical Sciences Institute, 2011.
http://www.amsi.org.au/teacher_modules/pdfs/Maths_delivers/Braking5.pdf
98. Kostić MB, “Relevantni aspekti kvaliteta, energetske efikasnosti, ekonomičnosti i održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja ”, Studija ETF-a, Beograd, 2007.
99. <http://www.zhagastandard.org/>

Prilog A. Izvod iz fotometrijskog proračuna za svjetiljku Voltana 3/24 LED/80W

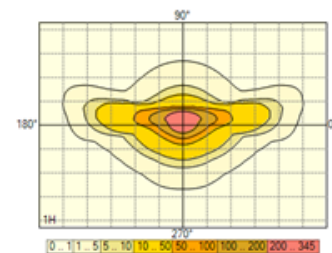
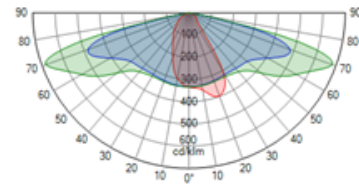
1. Fixtures

1.1. VOLTANA 3 24 LEDS 1000mA NW Glass Extra Clear Flat Smooth 5136 346552



Type	VOLTANA 3
Reflector	5136
Source	24 LEDS 1000mA NW
Protector	Glass Extra Clear Flat Smooth
Setting	
Flux	7.9 klm
G-Class	3

Luminaire wattage	80.0 W
Source wattage	68.6 W
MF	1.00
Matrix	346552

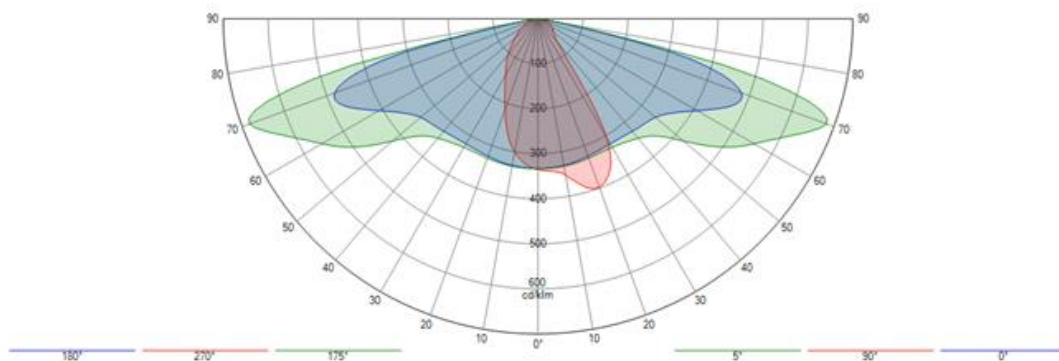


2. Photometric documents

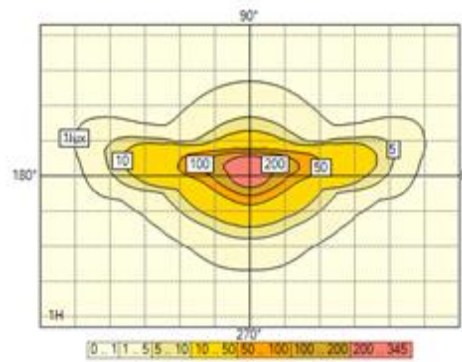
2.1. VOLTANA 3 24 LEDS 1000mA NW Glass Extra Clear Flat Smooth 5136 346552

346552

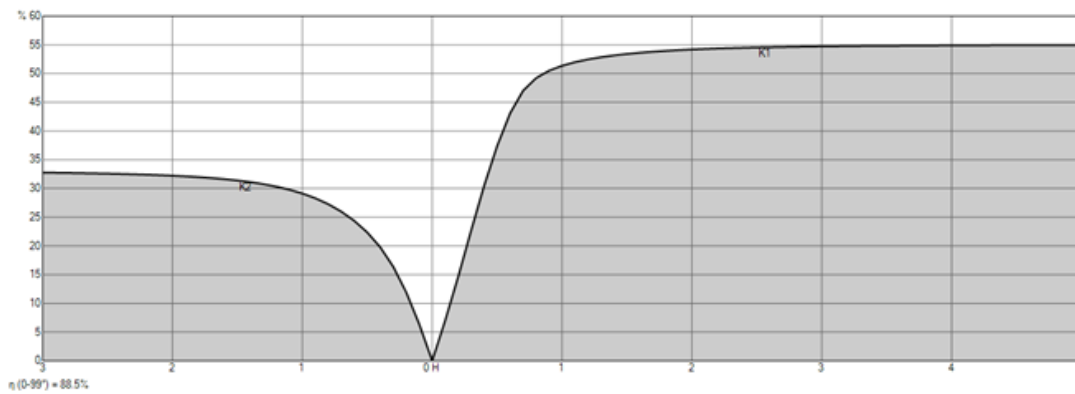
Polar/Cartesian diagram



Isolux



Utilization curve



3. Standard

3.1. Standard summary

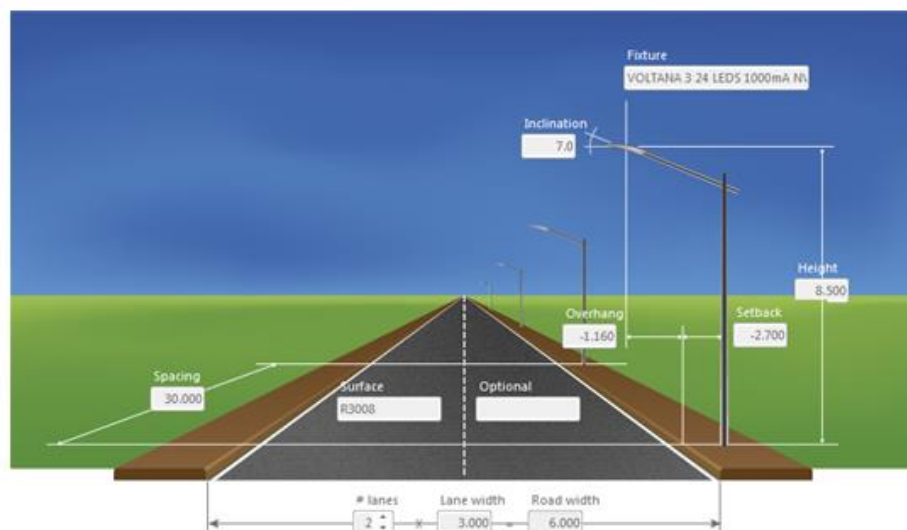
Calculations according to: CIE 140

Selected lighting class: M3

Constraints: LU : Ave = 1.00 cd/m² Uo = 40 % UI = 60 % UoW = 15 % TI : 15 SR : 0.50

Selected lighting class (HS): -

Constraints (HS): -



3.2. Results

Power per km : 2.667 kW

- Road (LU) - M3

Luminance

Ave	1.47 cd/m ²	✓	1.00 cd/m ²
Min	0.71 cd/m ²	N/A	
Uo	46 %	✓	40.00 %
Ul 1	91 %	✓	60.00 %
Ul 2	82 %	✓	60.00 %

- Road (IL-HS) - M3

Illuminance

Ave	19.8 l _{sp}	N/A	
Min	11.1 l _{sp}	N/A	
Uo	56 %	N/A	

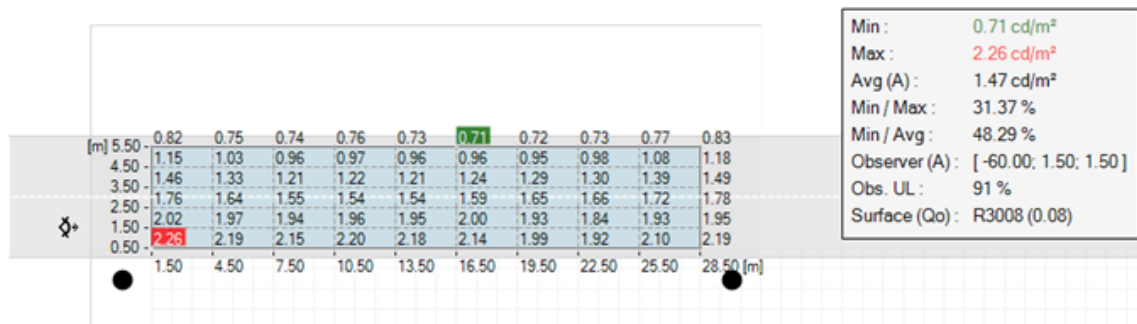
- Values - M3

SR	0.5	✓	0.5
TI	11.4	✓	15.0

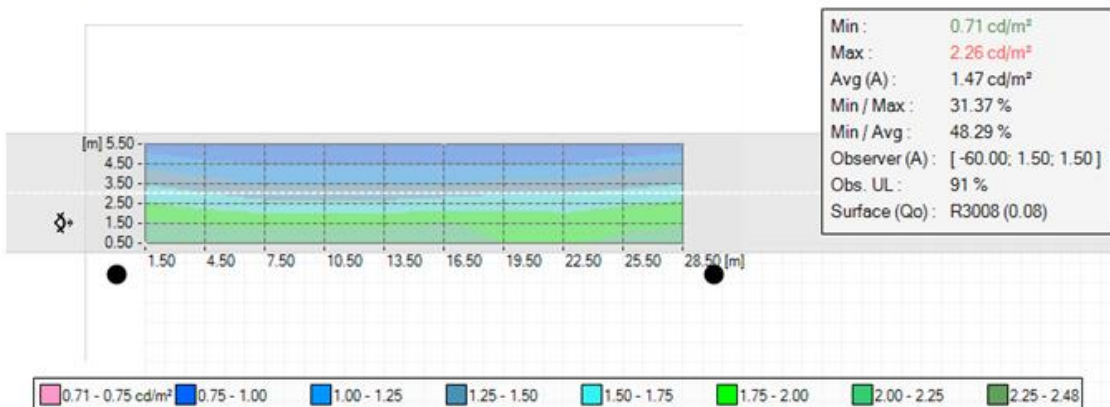
4.1. Road (LU) - R3008 - Luminance

4.1.1. Road (LU) - Luminance - RTable - Observer absolute

Values

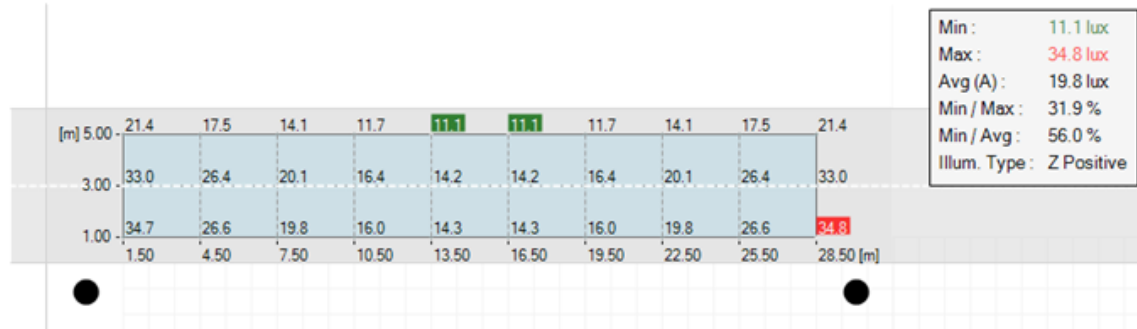


Shading

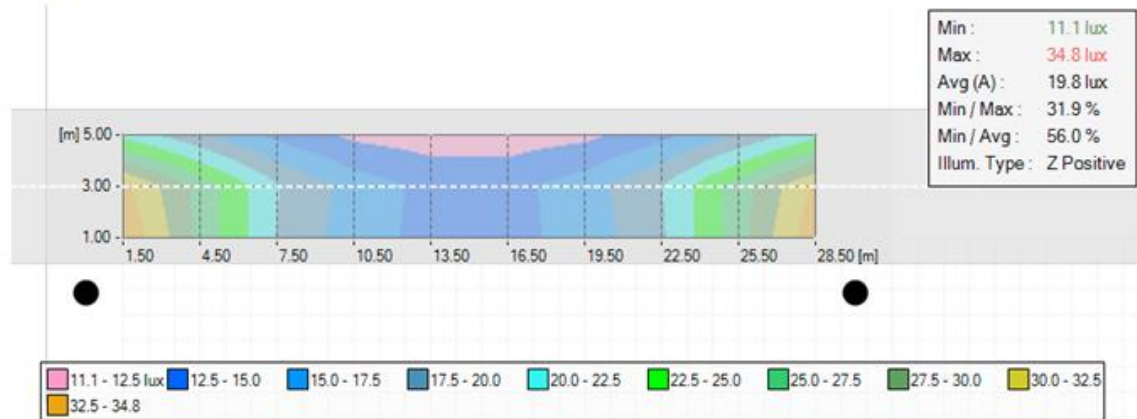


4.2. Road (IL-HS) - Z positive illuminance

Values



Shading



Prilog B. Izvod iz fotometrijskog proračuna za svetiljku Onyx 2N/100W

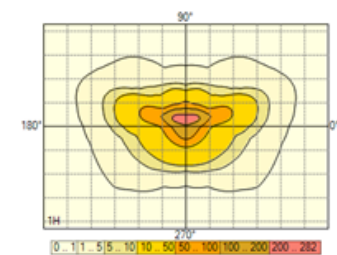
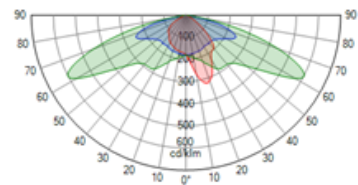
1. Fixtures

1.1. ONYX 2 HPS 100W Glass Bended Smooth 1419 ON/-21.0/105.0/10/0 93233A



Type	ONYX 2
Reflector	1419
Source	HPS 100W
Protector	Glass Bended Smooth
Setting	ON/-21.0/105.0/10/0
Flux	10.7 klm
G-Class	2

Luminaire wattage	100.0 W
Source wattage	100.0 W
MF	1.00
Matrix	93233A

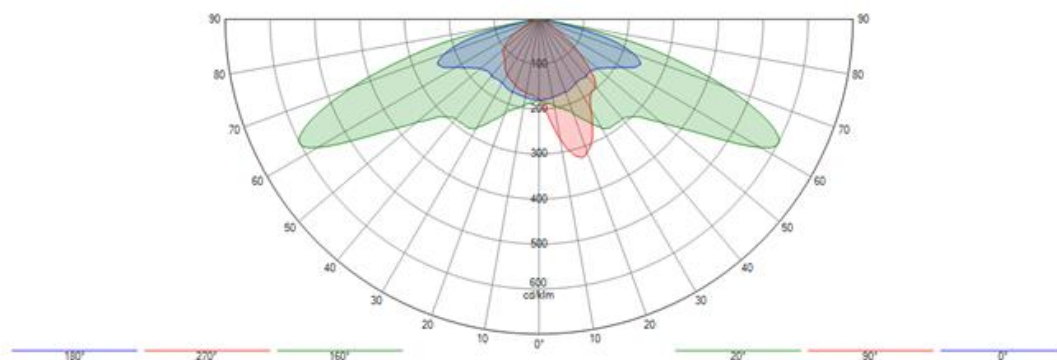


2. Photometric documents

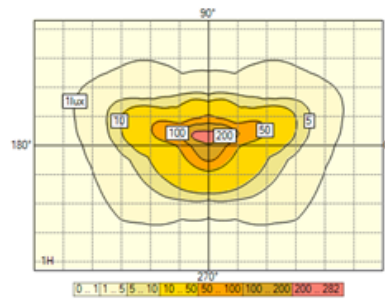
2.1. ONYX 2 HPS 100W Glass Bended Smooth 1419 ON/-21.0/105.0/10/0 93233A

93233A

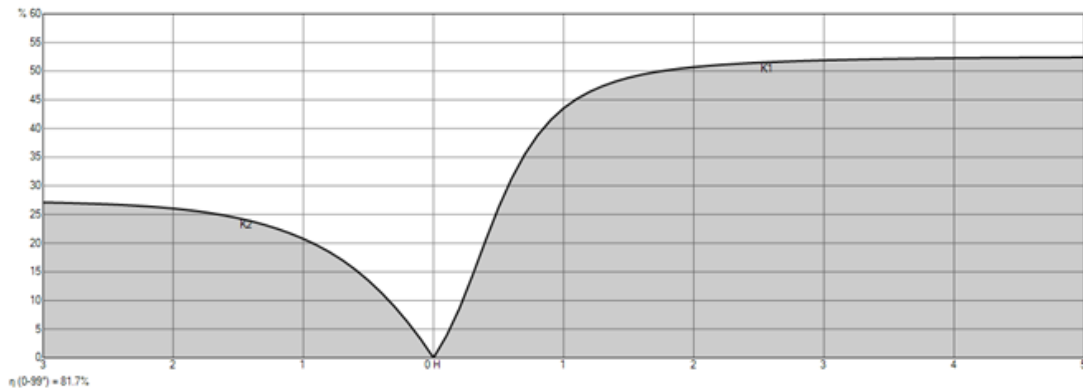
Polar/Cartesian diagram



Isolux



Utilization curve



3. Standard

3.1. Standard summary

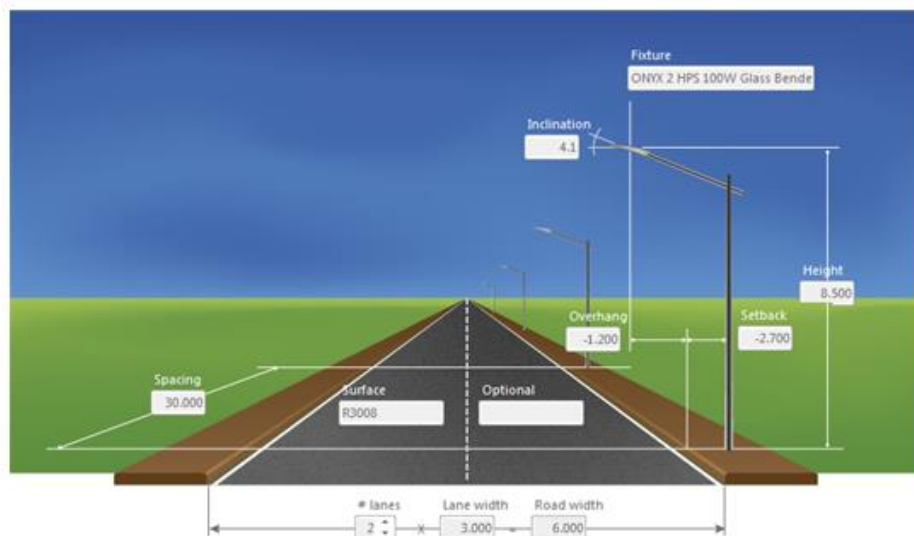
Calculations according to: CIE 140

Selected lighting class: M3

Constraints: LU : Ave = 1.00 cd/m² Uo = 40 % UI = 60 % UoW = 15 % TI : 15 SR : 0.50

Selected lighting class (HS): -

Constraints (HS): -



3.2. Results

Power per km : 3.333 kW

- Road (LU) - M3

Luminance

Ave	1.37 cd/m ²	✓	1.00 cd/m ²
Min	0.68 cd/m ²	$N_{\%}$	
Uo	47 %	✓	40.00 %
UI 1	76 %	✓	60.00 %
UI 2	67 %	✓	60.00 %

- Road (IL-HS) - M3

Illuminance

Ave	20.6 lux	$N_{\%}$	
Min	13.1 lux	$N_{\%}$	
Uo	64 %	$N_{\%}$	

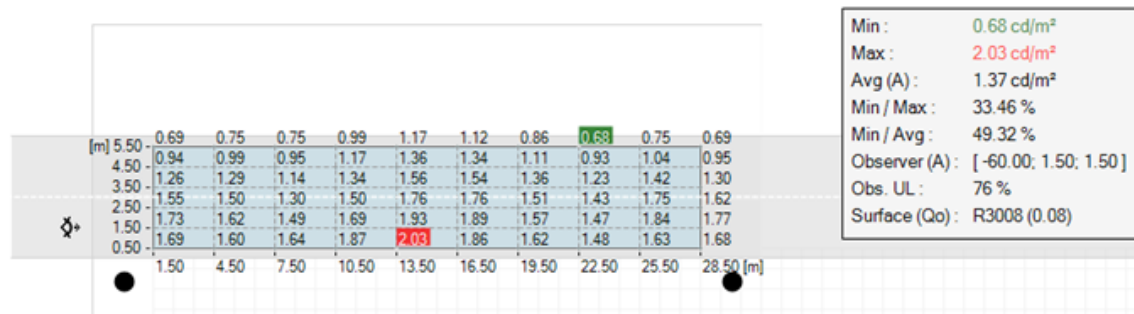
- Values - M3

SR	0.5	✓	0.5
TI	8.8	✓	15.0

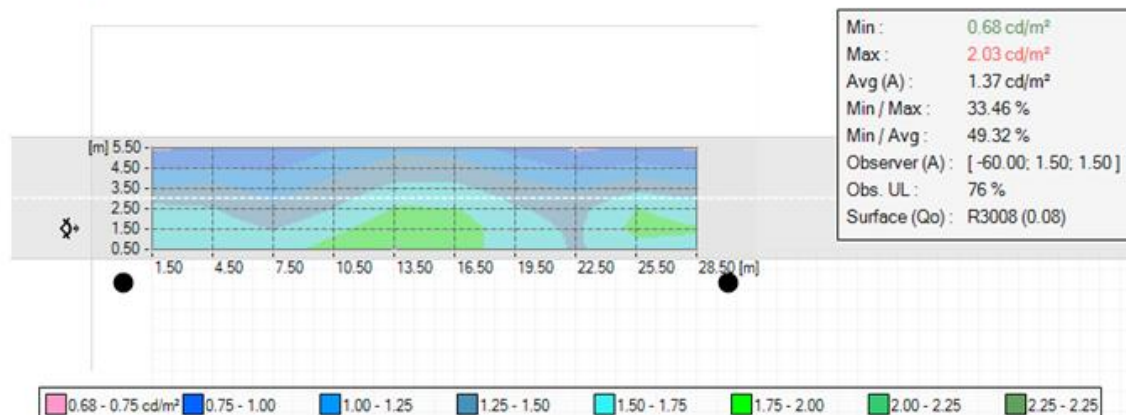
4.2. Road (LU) - R3008 - Luminance

4.2.1. Road (LU) - Luminance - RTable - Observer absolute

Values

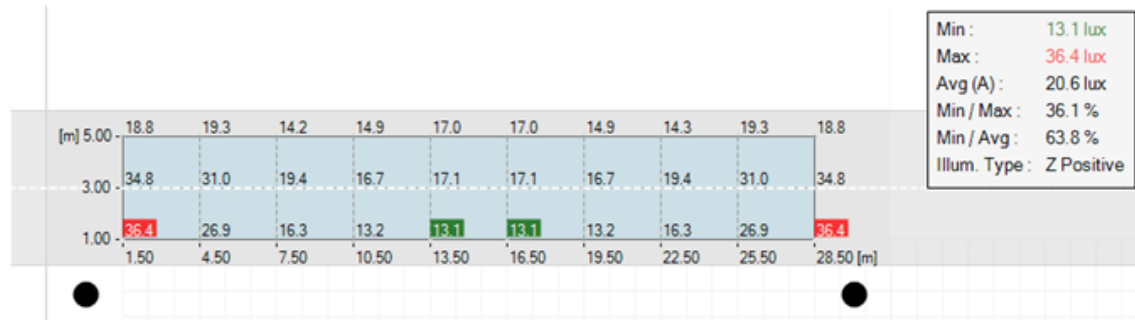


Shading

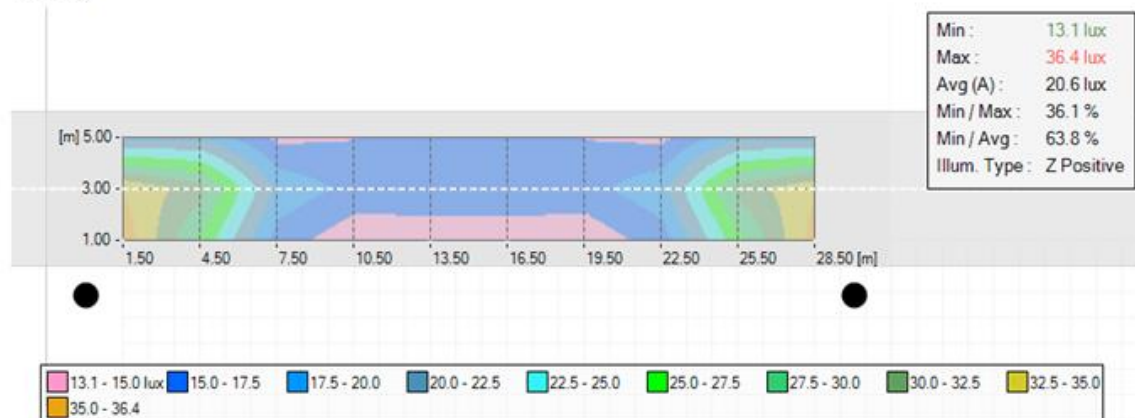


4.3. Road (IL-HS) - Z positive illuminance

Values



Shading



Prilog C. Tehnički opis kontrolera svetiljki LuCo NXP

Owlet Wireless Outdoor
Lumencontroller and -meter LuCo-NXP 1-10V/DALI
Datasheet



Lumen Controller NXP
with Power Supply



Product Information

General Description

The Lumencontroller LuCo-NXP is a luminaire-based controller that monitors and controls luminaires based LED-Drivers or HID-Ballasts. The controller controls the driver/ballast by switching the mains and by the means of either DALI or 1-10V interfaces. A built-in utility grade meter offers the highest metering accuracy available on the market today, better than 1% over the complete dimming range.

The LuCo-NXP offers as well a sensor power supply and input, compatible with the dry contacts of a wide range of presence, movement or traffic detectors to adjust the light levels on demand and the patent-pending LightSync™ technology ensuring dusk/dawn operation in unswitched power grids, as a failsafe function in case of disruption of the control network or the dusk/dawn switching in un-commissioned installations. The controller monitors and stores electrical characteristics from the Led-Driver/Ballast. In addition to the above it offers driver / ballast independent energy saving algorithms, Constant Lumen Output CLO which compensates the luminance depreciation over time and VPO which equalizes wattage jumps in a luminaire range to prevent over lighting.

Based on the wireless industry standard ZigBee, the LuCo-NXP forms together with Segment Controller SeCo a robust and reliable mesh network which ranges from a couple of luminaires to tens of thousands of luminaires.

Owlet Wireless Outdoor Lumencontroller and -meter LuCo-NXP 1-10V/DALI Datasheet

Application

The LuCo-NXP controls LED-Driver/Ballast units according to the wiring diagrams below. It is designed for use inside outdoor luminaires for residential, road and urban applications including Ambiance, Sport, Industry and Campus.



1	ZigBee SMA antenna connection
2	Dimming Interface 1-10V/DALI
3	Sensor Input (dry contact)
4	Sensor Power Supply (12 Vdc / 2 mA max)
5	Switched Power Output, 110 V - 220 V 50/60 Hz
6	Power Supply, 110 V - 220 V 50/60 Hz
7	LightSync connector

The LuCo-NXP is able to drive up to eight DALI or 1-10V drivers with a maximum load current of 5 A (550VA@110V, 1,2kVA@240V, 1,38kVA@277V). An un-commissioned LuCo-NXP will switch ON its output at max. level on power up. If the optional LightSync™ is attached an un-commised LuCo-NXP will operate in dusk/dawn switching based on ambient light conditions.

General operation

The LuCo-NXP is designed to perform four major tasks.

1. Controlling and sensing

The LuCo receives the incoming commands (group commands, manual override, detection events) from the segment controller SeCo or sister controllers in the mesh network and acts accordingly to regulate the light output of the luminaire using its 1-10V/DALI interface (ON, OFF, 0..100% Light). In case of a sensor attached to the sensor input the LuCo sends a detection event to RF mesh net and all to the event associated light points will act accordingly to the event and idle dim profile stored in the LuCo's.

Fail-safe

In case of a disrupted RF communication the LuCo falls back to dusk/dawn switching based on astronomic sunset/sunrise calculations. With the optional LightSync™ attached the fallback scenario can be extended to dusk/dawn switching based on ambient light conditions.

2. Energy Saving

The LuCo Firmware has two inbuilt remote configurable energy savings algorithms:

Constant Lumen Output CLO compensates the luminance depreciation over time according to the maintenance factor of the luminaire/lamp/LED assembly and VPO equalizes wattage jumps in a luminaire range to prevent over lighting.

3. Monitoring

The monitoring function in the controller measures mains voltage, current, power factor, burning hours and accumulative energy consumption of the connect lamp/LED driver assembly and transmits its value on request to the SeCo.

4. Reporting

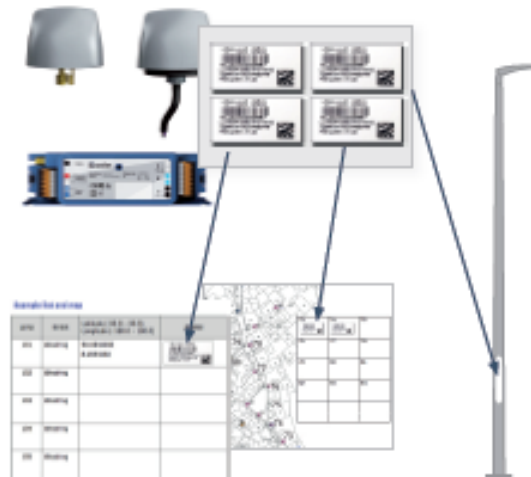
Based on these measurements and/or the information received through DALI the controller determines if the luminaire/lamp/LED assembly is operating in the configured threshold. Violations of these thresholds will be reported to the SeCo and an alarm will be created. This includes as well the energy consumption measurements.

Owlet Wireless Outdoor Technical Data



ZigBee/IEEE address

The Luco-NXP will become a node in a large mesh network of nodes, all controlled from one or multiple SeCos. To represent the controller in a map and address it individually, the SeCo need to know the geographic position and the unique ZigBee address. This address is printed on four barcode labels on the controller. After installation on-site, the barcode must be scanned during configuration of the system.



Operating conditions	
Ambient temperature (ta)	-40°C to +80°C -40°F to 175 °F
Relative humidity	10% to 90%
Max. housing temp.	(tc) 80°C

Non-operating conditions	
Temperature	-30°C to +80°C -22°F to 175 °F
Relative humidity	5% to 90%

Mains connection	
Mains voltage	110-277VAC ±10%
Mains frequency	50/60 Hz ± 5%
Maximum load current	5 A
Maximum power at 8A	(550VA@110V, 1,2kVA@240V, 1,38kVA@277V)
Required external fuse	≤ 10A

Power consumption	
Stand-by wattage	< 0,7W
Operating wattage	< 0,8W
Accuracy integrated powermeter	1% (between 0% and 100% dimming)

DALI output Interface	
DALI Compliant to IEC62386 part 101, 102, 201, 203, 207	
Load capacity	8 DALI lampdrivers
Protection	Interface is short circuit proof
DALI voltage	11.5 to 20.5Vdc
DALI current	16 mA

Installation terminal	
<ul style="list-style-type: none"> - Tension clamp connection with a 135° outlet direction - lever for simple opening of terminal point - Solid, flexible 0.13-2.5mm²(IEC)/26-14AWG(UL) with wire end ferrule DIN 46228 pt 1 min 0,25mm² – 1,5mm² stripping length 6mm 	

1-10V interface	
Compliant to 1-10VDC IEC60929 (Annex E)	
Load capacity	eight 1-10V lampdrivers
Load current	Interface is current sinking max 16mA

Sensor Power Supply	
12 Vdc ± 0,5 V, 2 mA max.	

Radio Frequency	
Protocol	IEEE802.15.4 / ZigBee Pro Meshnet
Frequency band	2,4 GHz (2400,0...2483,5 MHz)

Housing	
Material	PPE+PS, RESIN: SABIC NORYL N800X
Protection class	IP20 (installed condition) provides insulation Class II

Standards & Legislation	
Approvals:	UL 916 (E359905) R&TTE directive 1999/5/EC EMC directive 2004/108/EC LV directive 2006/95/EC RoHS directive 2002/95/EC
	EN301489-17 EN61000-5-2 EN61000-6-3 EN55022
Conducted emission	FCC Part 15 (MCQ-XB52Q)
Radiated emission	FCC Part 15 (MCQ-XB52Q)
Safety:	EN60950-1 / EN 61347-2-11



Prilog D. Tehnički opis segmentnog kontrolera SeCo

Owlet Wireless Outdoor SeCo SegmentController Datasheet



SeCo SegmentController



Product information

General description

The SeCo (segment controller) relays information between the Nightshift cloud and the controllers. It controls up to 150 assigned controllers and receives the consumption data.

The SeCo is Python-programmed. The required control programs are saved in the SeCo as firmware.

The SeCo saves the configuration data, sends the control signals to the controller via ZigBee, receives feedback signals from the controllers and analyses them. The SeCo requests the consumption data from all controllers at regular intervals and forwards them to the cloud.

The SeCo can be configured and adapted to requirements via the integrated web server. This configuration is only required once and can be carried out nearby (direct PC connection) or over the internet.

The SeCo is connected to the internet via a cable or mobile communication card. All parameters are adjustable, enabling them to be adapted to any network environment.

The integrated ZigBee unit establishes the wireless connection to the controllers.

All configuration data is saved in the SeCo so that the controllers can be controlled even without an internet connection.

DS_SeCo_24.07.15_001

Owlet Wireless Outdoor SeCo SegmentController Datasheet



Application

The SeCo can be installed indoors or as splashproof. It requires a power supply and ethernet or mobile communication connection, according to the connection diagram below. The antennas must be mounted optimally for the wireless connection:
 ZigBee antenna: wireless connection to the controllers. GSM antenna: wireless connection to the mobile communications network.



Antenna:

- Combined antenna, 1m cable
- optional 2, 3, 5, 7 and 10m cable



14PIN Input Connector



Digital Input 01 : PIN 7; 9
 Digital Input 02 : PIN 10; 12

1	14Pin Input Connector (inside)
2	serial interface (inside)
3	Ethernet (inside)
4	GSM
5	ZigBee
6	Main 100-240VAC, 50-60Hz

General operation

The SeCo has the following functions.

1. Integrated control program

The SeCo is a Python-programmed controller. The Nightshift firmware contains the entire program for controlling and monitoring the controller.

The SeCo saves its own configuration data and that of all other connected controllers. The SeCo controls the assigned controllers: it sends the control signals as a group or single command and controls the execution using the feedback received. It also calls up the consumption and error data at regular intervals and forwards it to the cloud.

2. Connection with the cloud (ethernet or mobile communication)

The SeCo can be connected to the Internet via ethernet or mobile communication. Using configuration, it can be integrated in any network environment. Connection via VPN is also possible. All connections and entry points are password-protected. The connection can also be restricted to individual IPs.

3. Connection to the controllers (ZigBee)

The SeCo also has an integrated ZigBee module which enables a wireless connection to the controllers. ZigBee is an industry standard for wireless networks that works in the 2.4 GHz range (similar to WiFi). The ZigBee wireless connection has a guaranteed distance of 100m. This is sufficient in most cases, even for supplying large networks. The ZigBee standard forms a network to forward the control signals to the entire network, meaning distant controllers can also be accessed easily.

4. Open interfaces

The SeCo has two digital inputs, which can be used for switching or connection to a motion sensor, for example. Two digital inputs can be used individually if required (optional).

A SeCo can control up to 150 controllers. For configuration, the internet connection must be set up and the controllers assigned. The SeCo is only ready for operation once this has been done.

Owlet Wireless Outdoor
Technical Data

Features	
Enclosure	NEMA 4X/IP66 rated
Network Protocols	UDP/TCP, DHCP
LEDs	Ethernet status, power, cellular link/activity, signal strength (5 bars), ZigBee link/activity
Security	SSL tunnels, SSHv2, FIPS 197 (Psec, HTTPS)
Real-Time Clock	Yes
Routing Features	NAT, Port forwarding, Access control lists (P filtering)
VPN	IPsec with IKE/ISAKMP; Multiple tunnel support; DES, 3DES and up to 256-bit AES encryption; VPN pass-through, GRE forwarding
Management	HTTP/HTTPS web interface, Password access control, IP service port control, Optional secure enterprise management via iDigi or Digi Connectware® Manager
Antenna Types	ZigBee/802.15.4 external antenna, Cellular: 2" dual band dipole, magnetic mount
Antenna Connector Type	XBee: 1 x 50 Ω SMA, male (on gateway), Cellular: 1 x 50 Ω SMA, female (on gateway)
Dimensions (L x W x H)	7.60 in x 5.63 in x 2.72 in (193 mm x 143 mm x 69 mm) 3.10 lb (1.41 kg)

Power Requirements	
Power Input Rating	90 - 254VAC
Power Consumption	Approx. 15W
Surge Protection	2 kV burst (EFT) (with included power supply)
Interfaces	
Serial	Software-selectable RS-232/485, screw terminal block connection; Throughput up to 230 Kbps; Full signal support for TXD, RXD, RTS, CTS, DTR, DSR and DCD; Hardware and software flow control
USB	1 powered USB Type-A connector (1 host)
Analog I/O	4 ports to connect sensors or other devices; Digital I/O option available upon request
Ethernet	1 RJ-45 port; Standard: IEEE 802.3; Physical Layer: 10/100Base-T; Data rate: 10/100 Mbps (auto-sensing); Mode: full or half duplex (auto-sensing)
ZigBee/802.15.4	XBee-PRO® module, 2.4 GHz
Cellular (via PCI Express Module)	GSM/GPRS 2G (HSPA and EV-DO 3G modules can be supported)

Environmental	
Operating Temperature	-30o C to +70o C (-22 F to +158 F) with selected PCIe module
Relative Humidity	N/A – enclosure is water-tight
Ethernet Isolation	1500VAC min per IEEE 802.3/WGSI X3.263
Serial Port Protection (ESD)	+15 kV Air Gap and +8 kV contact discharge per IEC 1000-4-2

General	
Safety	UL 60950, CSA 22.2 No. 60950, EN60950
Emissions/Immunity	CE, FCC Part 15 (Class A), AS/NZS CISPR 22, EN55024, EN55022, Class A
Mobile Certifications (GSM/UMTS)	PTCRB, NAPRD.03, GCF-CC, B2TTE, EN 301.511

Prilog E. Tehnički opis svetiljke VOLTANA 3



KARAKTERISTIKE >>> CHARACTERISTICS >>>

Tip: Type:	Voltana 1, 2, 3, 4, 5	
Broj LED: Number of LEDs:	Voltana 1: 8 Voltana 2: 16 Voltana 3: 24 Voltana 4: 32 Voltana 5: 44	
Nominalni fluks⁽¹⁾: Nominal flux ⁽¹⁾ :	1584-2786 lm	
Temperatura boje: CRI:	WW 4000K	
Iscelje reprodukcije boje: CRI:	WW 70	
Fotometrija: Photometry:	Svjetlost raspoređena za ulična rasvjetla, od veoma uskih do veoma širokih snova i putova. Light is distributed as spot or from very narrow to extra wide streets and roads.	
Srednji fluks nakon 100.000 h @ T_a=25°C (% početnog fluksa): LED lumen depreciation after 100.000 h @ T _a =25°C (% initial flux):	350/500 mA: 90% 700 mA: 80% 1000 mA: 70%	
Snaga svetiljke: Luminative power:	10-212 W	
Struja: Electric current:	100-1000 mA	
Nominalni napon: Nominal voltage:	230V AC	
Klasa energetske inozivlja: Energy efficiency class:	I III II I or II	
Pratipisna zaštita: Surge protection:	4 kV (opciono 10 kV) 4 kV (optional 10 kV)	
Stopa zaštite od vode⁽²⁾: Lightness level ⁽²⁾ :	općinski blok: optical compartment:	IP 66
	od 000 sa omotačima: cover or gear compartment:	IP 66

(1) Nominalni fluks je fluks LED izvora @ T_a 25°C. Realni (izlazni) fluks svetiljke zavisi od efikasnosti upaljnog bloka i ambijentalnih uslova (temperatura, zagađenje).

(2) The nominal flux is a LED flux @ T_a 25°C. The real (output) flux of the luminaire depends on the optical system of luminaire and environmental conditions (e.g. temperature and pollution).

Familija Voltana predstavlja efikasno, ekonomično i održivo rešenje za sve potrebe u javnom osvetljenju jednog grada.
The Voltana range is efficient, cost-effective and sustainable solution for all the needs of a city public lighting.

 otpornost na udarce^(*): Impact resistance ^(*) :	skala: glass:	IK 06
 otpornost na vlagu (IK51): Atmospheric resistance:	Voltana 1: 0,015 m ² Voltana 2: 0,019 m ² Voltana 3: 0,021 m ² Voltana 4: 0,032 m ² Voltana 5: 0,040 m ²	
Masa: Weight:	Voltana 1: 3,5 kg Voltana 2: 4,4 kg Voltana 3: 5,4 kg Voltana 4: 7,5 kg Voltana 5: 12,2 kg	
Materijal: Materials:	kućica i poklopac: body and cover:	anodizirani aluminijum anodized aluminium
	preklopac: protector:	ekstrudirano limeno ravno staklo extruded aluminium flat glass
Boja: Colour:	RAL 7030 light grey druga boja dostupna na zahtev other colours available on request	
Memorija: Memory:	horizontalna memorija (142-60mm); možeće postavljanje nagiba svetiljke; na raspodagjanju je nosač za vertikalnu memoriju horizontal memorisation (142-60mm); possible adjustment of inclination; post- distributing arm holder	
Regulacija svetla: Lighting regulation:	Telemenažment Dimmer, na dlnsko upravljanje (0-10V). Telemenažment Dimmer, remote control (0-10V).	
Opција: Option:	Temperatura boje WW Prenaponska zaštita 10 kV Autonomna regulacija, avostapana regulacija (50%), Constant Lumen Output TM , fotočujnik - do 7000lx CRI WW Surge protection 10 kV Autonomous Dimming, 0/1-Power Relay (50%), Constant Lumen Output, Photocell - up to 7000lx.	

(*) prema standardu / according to IEC - EN 60598

(*) prema standardu / according to IEC - EN 60528

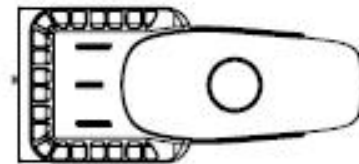
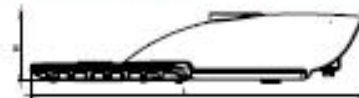
Zbog stalnih inovacija i razvoja, zadržavamo pravo izmene specifikacija bez prethodnog obaveštenja.
Due to continuous research and development, we reserve the right to alter the specifications without notice.



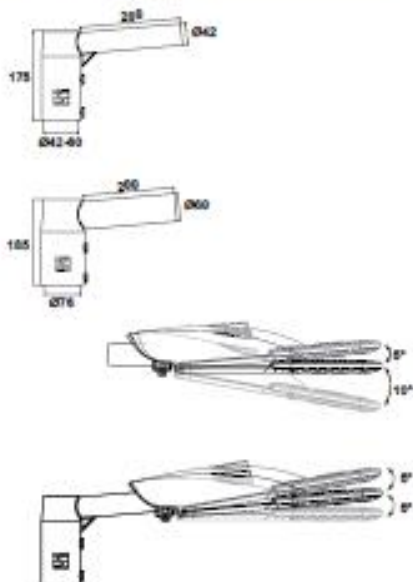
DIMENZIJE>>
DIMENSIONS>>

	Voltana 1	Voltana 2	Voltana 3
L	501 mm	538 mm	641 mm
W	181 mm	240 mm	240 mm
H	87 mm	108 mm	111 mm
	Voltana 4	Voltana 5	
L	555 mm	705 mm	
W	380 mm	480 mm	
H	112 mm	109 mm	

VOLTANA



MONTAŽA>>
MOUNTING>>



INSTALACIJA>>
INSTALLATION>>



Prilog F. Tehnički opis svetiljke ONYX 2

ONYX 2



1. Poklopac
2. Kucista
3. Ogledalo
4. Makaza
5. Zatvarač
6. Nosac predspojnog uređaja
7. Montirana podesivog nosača grla
8. Podesivi nosač grla

NAMENA

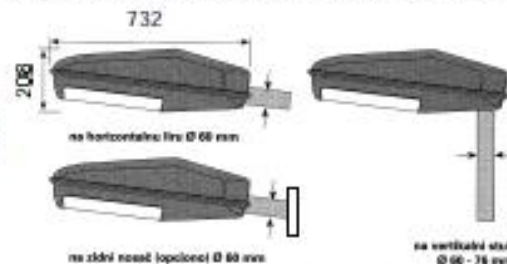
Svetiljka ONYX 2 je namenjena za korišćenje u javnom osvetljenju. Može biti opremljena sijalicama natrijuma visokog pritiska i metal halogenim sijalicama snage do 250 W. Svetiljka Onyx je izrađena od najkvalitetnijih materijala i uz veliki izbor boja veoma lepo se uklapa u okolinu.

OPIS SVETILJKE

Onyx 2 se sastoji od: kucista i poklopca izrađenih od aluminijumske legure livene pod pritiskom; optičkog bloka, koji čini zaptivena celina; ogledalo izrađeno od aluminijuma visoke čistoće polirano i anodno zaštićeno i protektor od termički i mehanički veoma otpornog stakla; jednostavno izmenljivog nosača predspojnog uređaja sa predspojnim uređajem. Optički blok je Sealsafe sistema (IP 66), što znači da je onemogućeno prodiranje vode, prašine i drugih nepoželjnih čestica unutar optičkog bloka. Stepen zaštite dela predspojnog uređaja je IP44. Profilisani zaptivač na nosaču grla garantuje potpunu zaptivenost u toku celavog veka trajanja svetiljke. Zahvaljujući Sealsafe sistemu obezbeđena je stalna fotometrijska karakteristika, a svetlosni gubici i starenje opreme svedeni su na minimum.

MONTAZA

Svetiljka ONYX 2 se može postaviti vertikalno na stub, horizontalno na liru ili na specijalni zidni nosač. Zglobni deo, izrađen od aluminijumske legure livene pod pritiskom, snabdeven sa dva vijka, omogućava pouzdano prilevscenje.



ODRZAVANJE

Pristup predspojnom uređaju je omogućen jednostavnim pritiskanjem opruge zatvarača i podizanjem poklopca, bez upotrebe alata. Makaze od nerđajućeg čelika drže poklopac otvorenim u toku intervencije. Predspojni uređaj je montiran na lako izmenljivoj ploči. Pristup sijalici je omogućen obrtanjem podesivog nosača grla za četvrtinu kruga i njegovim izvlačenjem. Sealsafe sistem obezbeđuje trajnu zaptivenost optičkog bloka što čini čišćenje unutrašnjosti optičkog bloka nepotrebnim.

KARAKTERISTIKE

Stepen zaštite:

- * Optički blok IP 66
- * Deo predspojnog uređaja IP43

Otpor vazduha CxS (boeni vetar): 0,058 m²

Masa svetiljke:

- * bez predspojnog uređaja: 7,8 kg
- * sa predspojnim uređajem: videti tabelu sijalica

Standardna boja: Siva

SIJALICE

Natrijum visokog pritiska

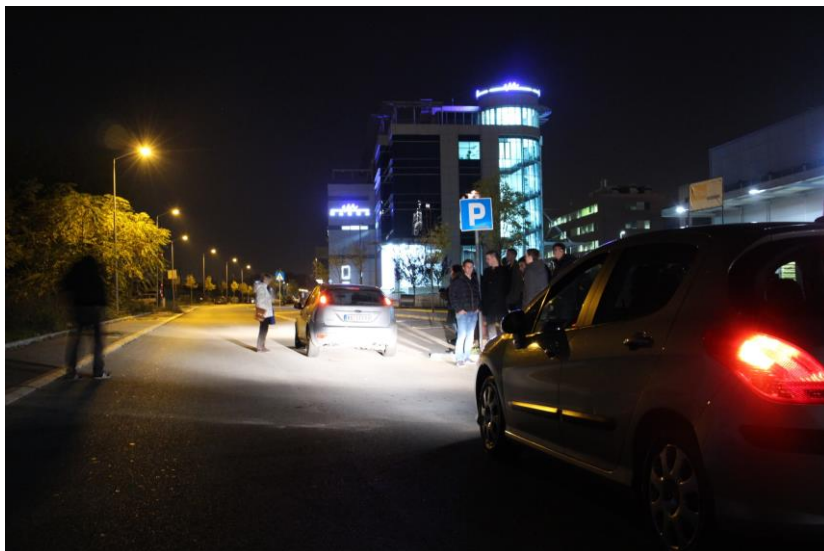
70 W	100 W	150 W	250 W
9,4 kg	9,8 kg	10,6 kg	11,2 kg

Metal - halogena

250W
11,2 kg

Prilog G. Fotografije instalacije tokom merenja i anketnog ispitivanja





Prilog H. Anketni upitnik

ИМЕ И ПРЕЗИМЕ	
МАТИЧНИ БРОЈ	
БРОЈ ГОДИНА	
Студент сам _____ факултета	
ПОТПИС	

**АНКЕТНИ УПИТНИК ЗА СУБЈЕКТИВНУ ОЦЕНУ ПОЈЕДИНИХ
ПАРАМЕТАРА КВАЛИТЕТА ДВА ТИПА УЛИЧНОГ ОСВЕТЉЕЊА**

На свако од 8 основних питања одговара се заокруживањем одговарајућег слова (А или Б).

ОСНОВНА ПИТАЊА

1. Већи интензитет осветљења коловоза карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

2. Већи интензитет осветљења коловоза и тротоара карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

3. Боља равномерност осветљења коловоза карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

4. Пријатнија боја светлости карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

5. Мање бљештање које изазивају светиљке карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

6. Боље уочавање пешака карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

7. Боље уочавање препреке на коловозу карактерише:
 - A Инсталацију са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталацију са LED изворима светлости

8. Интегрално, боље је осветљење које ствара:
 - A Инсталација са натријумовим изворима светлости
 - Б Инсталација са LED изворима светлости

ДОДАТНА ПИТАЊА:

3. Шта је, у оквиру 7 наведених параметара **најбоље** код осветљења које ствара инсталација са **натријумовим** изворима светлости? Заокружити број испред **само једног** параметра.

8. интензитет осветљења коловоза
9. интензитет осветљења коловоза и тротоара
10. равномерност осветљења коловоза
11. боја светлости
12. мање бљештање
13. боље уочавање пешака
14. боље уочавање препрека на коловозу

4. Шта је, у оквиру 7 наведених параметара **најбоље** код осветљења које ствара инсталација са **LED** изворима светлости? Заокружити број испред **само једног** параметра.

1. интензитет осветљења коловоза
2. интензитет осветљења коловоза и тротоара
3. равномерност осветљења коловоза
4. боја светлости
5. мање бљештање
6. боље уочавање пешака
7. боље уочавање препрека на коловозу

Ако имате неки коментар, упишите га.

BIOGRAFIJA KANDIDATA

Andrej Đuretić je rođen 9.4.1974. u Beogradu, gde je završio osnovnu i srednju školu (IX Beogradsku Gimnaziju). Diplomirao je 2002. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na Energetskom odesku, smer Energetski Pretvarači i Pogoni. Zvanje Magistra nauka stekao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu odbranivši 10.07.2012. godine tezu pod imenom „Tehnoekonomska analiza opravdanosti upotrebe elektronskih predspojnih uređaja u uličnom osvetljenju“ Višegodišnje iskustvo u fotometrijskom projektovanju stekao je radeći u kompaniji Minel-Schröder najpre kao inženjer projektant, zatim kao vodeći inženjer i od 2008. godine do danas kao Rukovodilac Biroa za marketing. Poslednjih godina aktivno se bavi praćenjem razvoja predspojnih uređaja u svetiljkama i implementacijom kontrolnih sistema za daljinsko upravljanje instalacija osvetljenja u zemlji i inostranstvu (Grčka, Hrvatska, BiH, Slovenija, Bugarska, Izrael, Estonija, Švedska). Ispred Schröder Grupe je postavljen kao jedan od nekoliko inženjera (Senior Field Application Engineer) koji izvode projekte daljinskog upravljanja. Učestvovao je kao nosilac projekta u postavljanju prve instalacije daljinskog upravljanja u javnom osvetljenju u Srbiji (Kovin), čemu su prethodili brojni pilot projekti. Od samog početka primene LED izvora u spoljnom osvetljenju kandidat aktivno prati razvoj tehnologije u učestvuje i razvoju i dizajnu LED svetiljki u svojoj kompanije gde obavlja funkciju vodećeg inženjera za nove tehnologije. Učestvuje u dizajniranju autonomnih solarnih sistema. Autor većeg broja stručnih radova, kako u istaknutim međunarodnim časopisima, tako i na međunarodnim i domaćim konferencijama. Ispred matične kompanije Schröder zadužen je i za tunnelske kontrolne sisteme za region Jugoistočne Evrope. Član Upravnog odbora Srpskog Društva za osvetljenje.

BIBLIOGRAFIJA

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

- Djuretic, M.Kostic „Comparison of electronic and conventional ballasts used in roadway lighting“, *Lighting Research and Technology*, 2014, 46, 407-420 (M21)

Rad u časopisu međunarodnog značaja (M23)

- A.Djuretic, N.Arsic „Lighting technology in underground mines“, Metalurgia International, 2013, Vol XVIII Special issue No. 8, 294-299 (M23)

Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu (M34)

- V. Škerović, M. Gordić, N. Galović, A. Đuretić “Parametri vidljivosti kao ključni aspekt bezbednosti pešačkih prelaza”, 9. Međunarodna Konferencija, “Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici”, Zaječar, Srbija, 9-11. April 2014.
- Djuretic, N. Strbac-Hadzibegovic “Implementation of dynamic lighting in illumination of Main post office building in Belgrade”, The 5th Balkan Conference on Lighting, Balkan Light 2012, Belgrade, Serbia, October 3-6, 2012.
- A.Djuretic, M.Smilic „Implementation of wireless control systems in public lighting installations“, 22nd International Electrotechnical and Computer Science Conference, ERK 2013, Portorož, Slovenia, 16-18 September 2013.
- Djuretic, N.Arsic, M.Petrovic „LED Technology in public lighting installations – facts or fiction“, XLVIII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy systems and Technologies, iCEST 2013, Ohrid, Macedonia, 26-29 June 2013.
- A.Djuretic, Z.Spalevic, N.Arsic, M.Smilic „Energy saving in outdoor lighting installations based on integration of telemanagement systems“, International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials, ENEFM 2013, Kemer-Antalya, Turkey, October 9-12, 2013.

Saopštenja na skupu nacionalnog značaja štampana u izvodu (M64)

- A.Đuretić „Poređenje LED i natrijumovih izvora u instalacijama javnog osvetljenja“, Sajam Energetske Efikasnosti, Obnovljivi izvori energije, SDIT, Požarevac, Srbija, 2013.

Ostali stručni radovi i konferencije

- A.Đuretić „Najnoviji trendovi u tunelskom osvetljenju“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Tara, 2004.
- A.Đuretić „Osvetljenje pešačkih prelaza“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Kopaonik, 2005.
- A.Đuretić „“Solid State“ osvetljenje – novi trendovi u tehnologiji osvetljenja“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Ivanjica, 2007.
- A.Đuretić „“Telemenadžment“ – Pregled sistema za daljinsko upravljanje i nadzor u javnom osvetljenju“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Divčibare, 2009.
- A.Đuretić „Istine i zablude o LED tehnologiji“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Kopaonik, 2010.
- A.Đuretić „Solarno napajanje u tehnici osvetljenja“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Kladovo, 2011.
- A.Đuretić „Primena dinamičkih scenarija u dekorativnom osvetljenju Glavne pošte u Beogradu“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Trebinje, 2012.
- A.Đuretić „Primena sistema daljinskog upravljanja u javnom osvetljenju u Opštini Kovin“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Borsko jezero, 2014.
- A.Đuretić „Prenaponska zaštita u instalacijama sa LED svetiljkama“, Savetovanje Srpskog Društva za Osvetljenje, Zlatibor, 2015.
- Dan svetlosne tehnike na Sajmu Energetike - prezentacije 2006, 2007, 2009 i 2010.
- Konferencija o energetski efikasnom osvetljenju, Podgorica, Crna Gora, 28. April 2011.
- Energetski dani, Banja Luka, BiH, 2010.
- Konferencija o energetski efikasnom osvetljenju u opštinama, Sofija, Bugarska, 2012.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а ЂУРЕТИЋ АНДРЕЈ
број индекса (ПО СТАРОМ ПРОГРАМУ)


Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА СВЕТЛОСНИХ ИЗВОРА У ИНСТАЛАЦИЈАМА
ЈАВНОГ ОСВЕТЉЕЊА КАО ОСНОВ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОПРАВДАНОСТИ
ЗАМЕНЕ НАТРИЈУМОВИХ СИЈАЛИЦА ВИСОКОГ ПРИТИСКА ЛЕД ИЗВОРИМА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда



У Косовској Митровици, 01.06.2016._____

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора ЂУРЕТИЋ АНДРЕЈ
Број индекса (ПО СТАРОМ ПРОГРАМУ)
Студијски програм _____

Наслов рада

ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА СВЕТЛОСНИХ ИЗВОРА У ИНСТАЛАЦИЈАМА
ЈАВНОГ ОСВЕТЉЕЊА КАО ОСНОВ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОПРАВДАНОСТИ
ЗАМЕНЕ НАТРИЈУМОВИХ СИЈАЛИЦА ВИСОКОГ ПРИТИСКА ЛЕД ИЗВОРИМА

Ментор ПРОФ. ДР НЕБОЈША АРСИЋ

Потписани/а ЂУРЕТИЋ АНДРЕЈ

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици.

Потпис докторанда



У Косовској Митровици, 01.06.2016._____

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА СВЕТЛОСНИХ ИЗВОРА У ИНСТАЛАЦИЈАМА ЈАВНОГ ОСВЕТЉЕЊА КАО ОСНОВ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОПРАВДАНОСТИ ЗАМЕНЕ НАТРИЈУМОВИХ СИЈАЛИЦА ВИСОКОГ ПРИТИСКА ЛЕД ИЗВОРИМА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

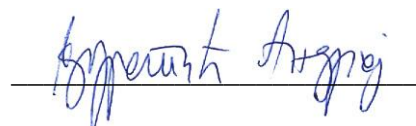
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

① Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда



У Косовској Митровици, 01.06.2016.

1. Ауторство - Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
