

Energetska učinkovitost vanjske rasvjete

Ključarić, Igor

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:842751>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-11**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Stručni studij

ENERGETSKA UČINKOVITOST VANJSKE RASVJETE

Završni rad

Igor Ključarić

Osijek, 2018.

1. UVOD	1
1.1. Što omogućuje javna rasvjeta?	1
1.2. Kriterij kvalitete javne rasvjete	1
2. SVJETLOTEHNIČKE VELIČINE	2
2.1. Svjetlosni tok	3
2.2. Jakost svjetlosti	4
2.3. Rasvijetljenost	5
2.4. Sjajnost ili luminancija	6
2.5. Svjetlosna iskoristivost	7
3. IZVORI SVJETLOSTI U VANJSKOJ RASVJETI	8
3.1. Izvori svjetlosti sa žarnom niti	10
3.2. Visokotlačna živina žarulja	10
3.3. Visokotlačne metalhalogene žarulje	11
3.4. Niskotlačne natrijev cijevi	12
3.5. Visokotlačna natrijeva žarulja	12
3.6. LED žarulja	13
4. ENERGETSKA UČINKOVITOST JAVNE RASVJETE	14
5. TEHNOLOGIJA I ELEMENTI SUSTAVA ZA JAVNU RASVJETU	15
5.1. Zatezno uže	16
5.2. Stupovi javne rasvjete	17
5.3. Brojilo za utrošenu električnu energiju	18
5.4. Upravljanje javnom rasvjetom	18
5.4.1 Ručno upravljanje	18
5.4.2. Vremensko upravljanje	18
5.4.3. Upravljanje razinom svjetlosti	20
5.4.4. Kombinacija različitog upravljanja	20
5.4.5. Računalno upravljanje	21
6. SVJETLOSNO ZAGAĐENJE	21
7. POKAZATELJI KVALITETE RASVJETE	22
7.1. Razina sjajnosti	23
7.2. Ravnomjernost sjajnosti	24
7.3. Ograničeno blještanje	24
7.4. Optičko vođenje	24

8. ANALIZA MJERENJA METREL POWERVIEW SOFTWAREM	25
9. ZAKLJUČAK	34
10. ABSTRACT	35
11. LITERATURA	36
12. ŽIVOTOPIS	37
1. UVOD	1
1.1. Što omogućuje javna rasvjeta?	1
1.2. Kriterij kvalitete javne rasvjete	1
2. SVJETLOTEHNIČKE VELIČINE	2
2.1. Svjetlosni tok	3
2.2. Jakost svjetlosti	4
2.3. Rasvijetljenost	5
2.4. Sjajnost ili luminancija	6
2.5. Svjetlosna iskoristivost	7
3. IZVORI SVJETLOSTI U VANJSKOJ RASVJETI	8
3.1. Izvori svjetlosti sa žarnom niti	9
3.2. Visokotlačna živina žarulja	10
3.3. Visokotlačne metalhalogene žarulje	11
3.4. Niskotlačne natrijev cijevi	12
3.5. Visokotlačna natrijeva žarulja	12
3.6. LED žarulja	13
4. TEHNOLOGIJA I ELEMENTI SUSTAVA ZA JAVNU RASVJETU	14
4.1. Zatezno uže	15
4.2. Stupovi javne rasvjete	16
4.3. Brojilo za utrošenu električnu energiju	17
4.4. Upravljanje javnom rasvjetom	17
4.4.1. Ručno upravljanje	17
4.4.2. Vremensko upravljanje	17
4.4.3. Upravljanje razinom svjetlosti	19
4.4.4. Kombinacija različitog upravljanja	20
4.4.5. Računalno upravljanje	20
5. SVJETLOSNO ZAGAĐENJE	20
6. POKAZATELJI KVALITETE RASVJETE	22
6.1. Razina sjajnosti	22

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Font: (Default) +Body (Calibri), Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

<u>6.2. Ravnomjernost sjajnosti.....</u>	<u>23</u>
<u>6.3. Ograničeno blještanje.....</u>	<u>23</u>
<u>6.4. Optičko vođenje.....</u>	<u>24</u>
<u>7. ANALIZA MJERENJA METREL POWERVIEW SOFTWAREM.....</u>	<u>24</u>
<u>8. ZAKLJUČAK.....</u>	<u>33</u>
<u>9. ABSTRACT.....</u>	<u>34</u>
<u>10. LITERATURA.....</u>	<u>35</u>
<u>11. ŽIVOTOPIS.....</u>	<u>36</u>

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font, Check spelling and grammar

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

Formatted: Default Paragraph Font

1. UVOD

Oduvijek su naši preci smišljali rješenje kako osvijetliti vanjske prostore kada prirodna svjetlost nije dostupna, odnosno kada Sunce zađe. Rješenja su postojala i prije otkrića električne energije, u skladu s mogućnostima doba u kojem su živjeli. U početku je to bila vatra na baklama koje su bile postavljene na zidovima palača i trgovima gdje su živjeli vladari. Stoga je vidljivo da javna rasvjeta u prošlosti nije bila omogućena svima, već povlaštenom sloju ljudi koji su vladali u tom vremenu. Nakon otkrivanja električne energije to se promijenilo te je danas javna rasvjeta dostupna svima. Time se ljudima omogućuje lakše kretanje ulicama u bilo koje doba noći, stvara im se osjećaj sigurnosti, ali posljedica je znatna potrošnja električne energije.

1.1. Što omogućuje javna rasvjeta?

Javna rasvjeta je definirana kao umjetna svjetlost koja se koristi u svrhu rasvjetljavanja otvorenih područja, poboljšava ljudske aktivnosti i njihovu učinkovitost noću. Danas se javna rasvjeta koristi i kao vizualni efekt, odnosno rasvjetom se uljepšavaju ulice, trgovini ili fontane, kako bi se istaknuo neki objekt s ciljem poboljšanja općeg ugođaja.

1.2. Kriterij kvalitete javne rasvjete

Javna rasvjeta bitna je za unaprjeđenje sigurnosti na prometnicama jer pruža preciznu i ugodnu vidljivost vozačima motornih vozila, biciklistima i pješacima.

Problematika javne rasvjete za prometnice s motornim prometom unutar i izvan naselja temeljena je normama Hrvatskim normama za javnu rasvjetu HRN EN 13201-2015.

Oznake klasifikacija norme EN 13201-2015

- M
- C
- P + HS
- SC + EV

M- razred za urbane ceste s motornim prometom gdje je moguće izračunati rasvjetljenost

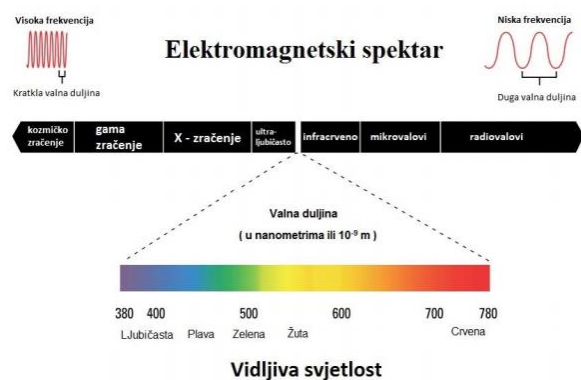
C- razred za motorne i pješačke ceste gdje postoji zona sukoba istih ili nije moguće izračunati vrijednost rasvjetljenosti

P + HS- razred za područja kojim se uglavnom koriste pješaci ili biciklisti, odnosno područje parkinga i nogostup

SC + EV- dodatan razred gdje je potrebno izračunati vertikalnu rasvjetljenost

2. SVJETLOTEHNIČKE VELIČINE

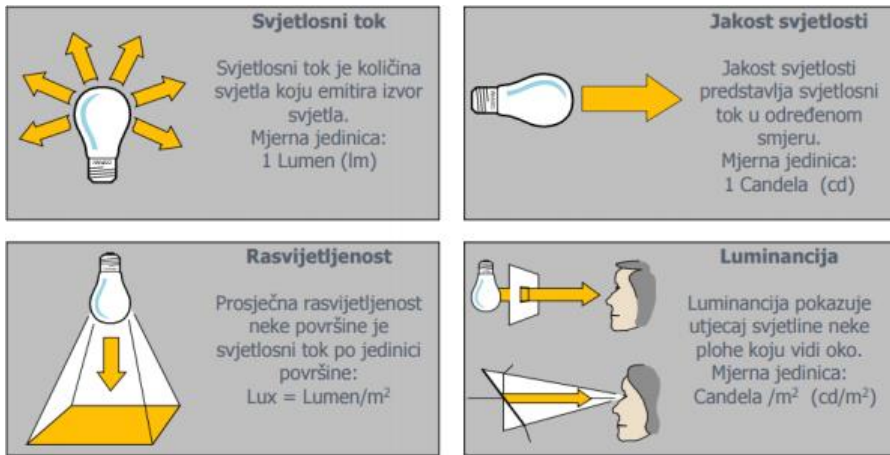
Svjetlo je po definiciji elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Za svjetlost možemo reći da je dualne prirode te iako je spektar zračenja širok, zbog ograničenja, ljudskom oku je vidljiv samo spektar od 380 nm do 780 nm.



Slika 2.1. Elektromagnetski spektar [1]

Osnovne svjetlo-tehničke jedinice su:

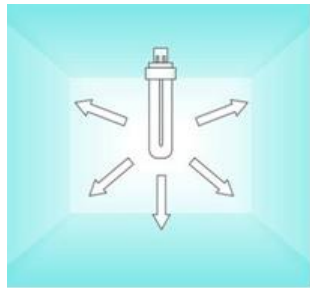
- Svjetlosni tok
- Jakost svjetlosti
- Rasvjetljenost
- Sjajnost ili luminancija



Slika 2.2. Prikaz svjetlotehničkih veličina [1]

2.1. Svjetlosni tok

Svjetlosni tok se definira kao ukupni iznos zračenja koje emitira neki umjetni izvor u svim smjerovima. Mjerna jedinica je lumen (lm), dok je oznaka veliko grčko slovo Φ .



Slika 2.3. Prikaz svjetlosnog toka [6]

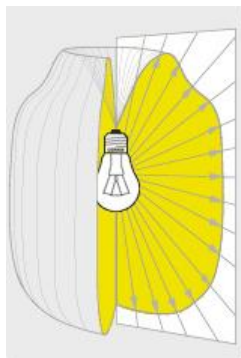
Tablica 2.1. Svjetlosni tok različitih žarulja

SVJETLOSNI TOK	VRIJEDNOST KARAKTERISTIČNIH IZVORA
Klasična žarulja sa žarnom niti	100 W \approx 1300 lm
Niskotlačna natrijeva žarulja	90 W \approx 13500 lm
Fluorescentna žarulja	58 W \approx 5200 lm
Visokotlačna natrijeva žarulja	100 W \approx 10000 lm

2.2. Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti (intenzitet zračenja - I) nije vlastito svojstvo izvora, već ovisi o smjeru promatranja pa se definira kao svjetlosni tok po jedinici prostornog kuta koji je emitira iz točkastog izvora.

Mjerna jedinica je kandela (Cd), odnosno svjetlosna jakost u danom smjeru izvora koji emitira monokromatsko zračenje frekvencijom $f = 540 \times 10^{12}$ Hz. Kandela je jedna od osnovnih mjernih jedinica SI sustava.



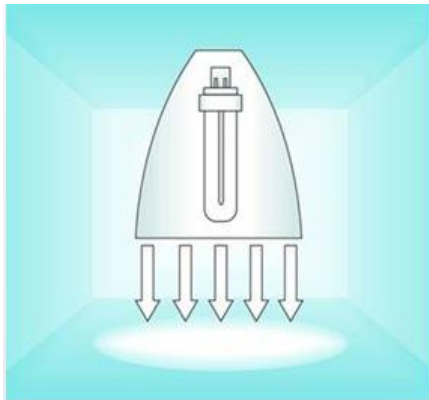
Slika 2.4. Prikaz jakosti svjetlosti [6]

Tablica 2.2. Primjer jakosti svjetlosti

JAKOST SVJETLOSTI	VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA
Svijeća	od 0,6 do 1 cd
Klasična žarulja sa žarnom niti	100 W \approx 110 cd
Visokotlačna natrijeva žarulja	70 W \approx 500 cd
Sunce- izvan atmosfere	3 x 1027 cd

2.3. Rasvjetljenost

Rasvjetljenost je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Mjerna jedinica je lux (lx) koja je definirana kao rasvjetljenost 1 m² na koji pada svjetlosni tok od 1 lm. Lumen je isključivo računaska veličina koje naše oko ne primjećuje.



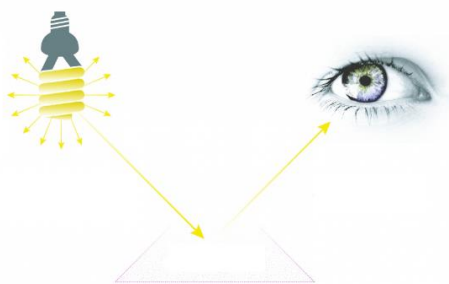
Slika 2.5. Primjer rasvjetljenost [6]

Tablica 2.3. Primjeri vrijednosti rasvijetljenosti

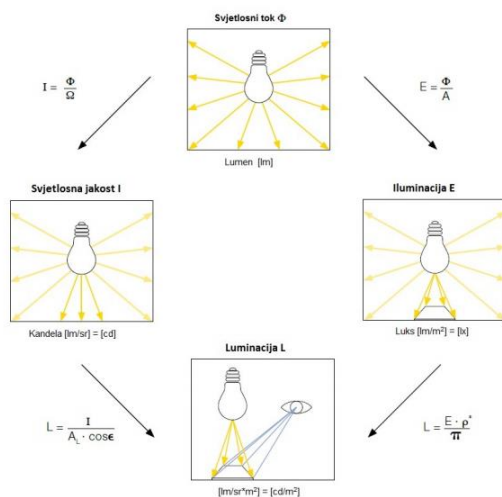
RASVIJETLJENOST	PRIMJERI
Površina na dnevnoj svjetlosti	do 100 000 lx
Površina u sjeni	do 10 000 lx
Radna ploha u zatvorenoj prostoriji	od 300 do 500 lx
Cesta rasvijetljena javnom rasvjetom	od 2 do 10 lx

2.4. Sjajnost ili luminancija

Luminancija (L) je sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine koje vidi ljudsko oko. Mjeri se u kandelima po površini [Cd/m^2]. Ljudsko oko posebno vidi razliku između luminancija te je ona jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti.



Slika 2.6. Primjer luminancije [6]



Slika 2.7. Odnos svjetlotehničkih veličina [6]

Tablica 2.4. Različite vrijednosti sjajnosti

SJAJNOST	VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA
Sunce	1 600 000 cd/m ²
Klasična žarulja sa žarnom niti	15 000 cd/m ²
Fluorescentna žarulja	10 cd/m ²
Svijeća	8 cd/m ²

2.5. Svjetlosna iskoristivost

Svjetlosna iskoristivost je izvedena veličina koja se definira kao omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti (lm) i snage (W) koju izvor svjetla koristi za stvaranje tog svjetlosnog toka. Na taj način uspoređujemo učinkovitost svjetiljki. Najveća teoretska svjetlosna iskoristivost je 683 lm/W i to kada je cijela snaga pretvorena u svjetlost. U praksi je to dosta manje te se vrijednosti kreću između 10 i 150 lm/W.

Jednadžba prikazuje svjetlosnu iskoristivost:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

gdje je: - Φ jakost svjetlosnog toga

-P snaga žarulje

3. IZVORI SVJETLOSTI U VANJSKOJ RASVJETI

Osnova svake rasvjete je izvor koji električnu, toplinsku ili elektromagnetsku energiju pretvara u svjetlosnu energiju. Svjetiljke su izvori svjetlosti koji električnu energiju pretvaraju u svjetlosnu i zrače u obliku elektromagnetskih valova koji imaju duljinu od 380 nm do 780 nm. Duljinu elektromagnetskih valova čovjek doživljava kao svjetlost.

U današnje vrijeme za umjetnu rasvjetu se koristi električna energija. Samo takav izvor svjetlosti može osigurati izvor svjetla koji zadovoljava kriterije rasvjete.

Današnji izvori svjetlosti se dijele u tri skupine

- Izvori sa žarnom niti
- Izvori s plemenitim plinovima ili metalnim parama
- Poluvodički izvori (LED)

Princip termičkog zračenja je prolazak električne struje kroz žarnu nit (od volframa), dok se ona ne zagrije do određene temperature kojom dobivamo vidljiv spektar. Žarulje na izboj rade na principu luminiscentnog zračenja.

Električni izboj unutar staklene cijevi napunjenoj plinom ili parom za rezultat daje kretanje elektrona koji se pod utjecajem magnetskog polja sudaraju s atomima plina. Različitim vrstama žarulja i premazima dobije se vidljivu svjetlost. Jačina struje se regulira prigušnicom.

Najveću svjetlosnu iskoristivost imaju žarulje na izboj plina te se one najviše koriste u javnoj rasvjeti.

Prema podatku iz izvora [5] OSRAM Vialox NAV SUPER 4Y žarulje pružaju svjetlosnu iskoristivost do 150 lm/W. Ekonomični su izvor svjetlosti zbog svog dugog vijeka trajanja

(>95% žarulja svijetli i nakon 4 godine korištenja u javnoj rasvjeti) smanjuju troškove održavanja.

U današnje vrijeme sve je veća upotreba LED-a u javnoj rasvjeti, jedan od razloga je to što razvojem dostignuta svjetlosna iskoristivost od 230 lm/W, dok je radni vijek LED žarulje veći od 35 000 radnih sati. Neke LED žarulje koje su projektirane za vanjsku rasvjetu imaju radni vijek i do 150 000 radnih sati. Svjetleća dioda je poluvodički element koji se sastoji od dva poluvodička sloja (P i N sloj) između kojih je energetska barijera. Davne 1962. godine LED tehnologija se počela ubrzano razvijati i primjenjivati u širokim poljima, prve svjetleće diode su bile monokromatske LED diode (crvena, žuta, zelena), dok je 1993. godine japanski znanstvenik Shuji Nakamura razvio LED diodu plave boje. Postizanje bijele boje postiže se na dva načina: svjetlećom diodom plave boje na čiju se površinu nanosi sloj fosfora te se tada snop plave boje pretvara u snop bijele boje, te složeniji način koji koristi sve tri svjetleće diode. Ravnomjernim miješanjem sve tri svjetleće diode (crvena, plava, žuta) dobiva se bijela boja, takav princip se koristi u televizorima i mobilnim uređajima.

U sustavima vanjske rasvjete uglavnom se koriste električni izvori svjetlosti koji rade na principu elektroluminiscencije, tj. direktno pretvaraju energiju u svjetlo bez izboja plina i to su:

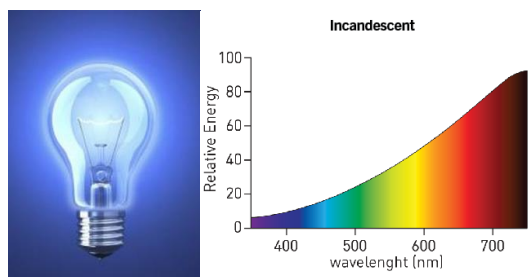
- Visokotlačna natrijeva žarulja- NAV
- Visokotlačna živina žarulja- HQL
- Visokotlačna metalhalogena žarulja- HQI
- Niskotlačna natrijeva cijev- SOX-E
- Niskotlačna fluorescentna cijev- L
- Poluvodički elementi (LED)

Standardni izvori svjetlosti sa žarnom niti generiraju svjetlost dovodeći nit od volframove žice do visoke temperature prolaskom električne struje kroz nju.

3.1. Izvori svjetlosti sa žarnom niti

Izvori svjetlosti s užarenom niti, odnosno standardne žarulje, su najstarija skupina žarulja. Karakteristike standardnih žarulja su odličan uzvrat boje, kompaktnost oblika, niski faktor svjetlosne iskoristivosti i kratka trajnost.

Princip rada ovakvih žarulja se temelji na prolazak struje kroz žarnu nit sve dok se ona ne zagrije do temperature na kojoj se dobiva vidljivi spektar svjetlosti. Ovakve žarulje imaju direktan spoj na mrežu, pale se trenutno te su lako zamjenjive. Prosječni radni vijek žarulje sa žarnom niti iznosi oko 1000 sati. Jako su osjetljive na promjenu napona te taj uzrok smanjuje trajanje žarulje. Iskoristivost je oko 9 – 17 lm/W, od ukupno utrošene energije samo 5% daje svjetlost dok su 95% toplinski gubici.

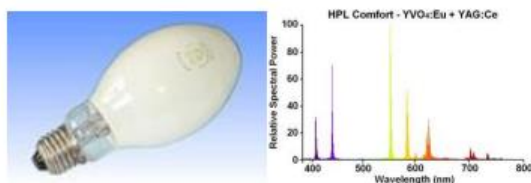


Slika 3.1. Prikaz žarulje sa žarnom niti i njen spektralni dijagram [4]

3.2. Visokotlačna živina žarulja

Visokotlačne živine žarulje (HQL) su jedne od prvih izvora svjetlosti koje su se koristile u sustavima javne rasvjete. Princip rada visokotlačnih živinih žarulja se bazira na izbijanju kroz živine pare visokog tlaka u žišku žarulje te pri tome nastaje vidljivi i nevidljivi dio ultraljubičastog zračenja. Najčešće ova žarulja daje neutralnu bijelu boju svjetlosti te ima vrlo slab indeks uzvrata boje. Električna snaga visokotlačne živine žarulje je u rasponu od 50 W do 1000 W, njena svjetlosna iskoristivost je od 40 do 60 lm/W te životni vijek oko 10 000 sati. Boja

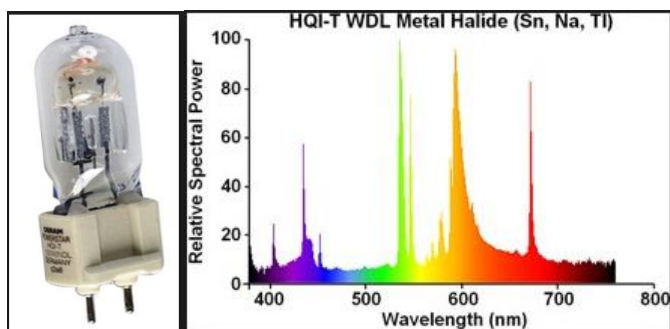
živine žarulje je monokromatska te je zbog toga njihova primjena ograničena na mjesta gdje nije potrebno raspoznavanje boja već je bitno postići kvalitetnu rasvjetljenost na velikim površinama.



Slika 3.2. Visokotlačna živina žarulja i njen spektralni dijagram [4]

3.3. Visokotlačne metalhalogene žarulje

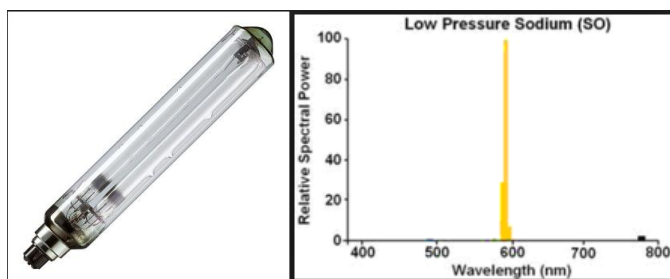
Visokotlačne metalhalogene žarulje (HQL) predstavljaju posebnu izvedbu visokotlačnih živinih žarulja. Razlog njihovog nastajanja je to što se dobio izvor svjetlosti s poboljšanim spektrom. Kao i kod živinih žarulja u žižak se dodaje živa, međutim postoje i drugi spojevi poput joda s natrijem ili indija s talijem. Ova žarulja je suvremeni izvor svjetlosti s visokom svjetlosnom iskoristivosti i dugom trajnosti. Vijek trajanja ovakve žarulje je oko 15 000 sati, a učinkovitost se kreće između 67 i 95 lm/W. U javnoj rasvjeti se koristi uglavnom u urbanim sredinama gdje je potrebna dobra reprodukcija boja.



Slika 3.3. Visokotlačna metalhalogena žarulja i njen spektralni dijagram [4]

3.4. Niskotlačne natrijev cijevi

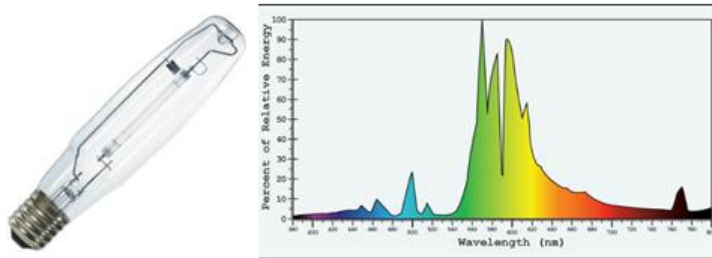
Niskotlačna natrijeva žarulja je prema načinu rada slična živinim žaruljama, ali umjesto žive koristi se natrij. Cijevi s niskotlačnim natrijem imaju samo jednu spektralnu liniju valne duljine iznosa 589 nm te zato žarulja ima indeks uzvrata boje jednak 0. Životni vijek niskotlačnih natrijevih žarulja je 16 000 sati, a električna snaga doseže vrijednost 180 W. Glavna prednost niskotlačnih žarulja je visoka svjetlosna učinkovitost, može se postići 180 lm/W. Niskotlačne natrijeve žarulje su relativno velike, a to je, u kombinaciji s niskim indeksom uzvrata boje, jedan od razloga zbog kojih se ove žarulje gotovo ne koriste.



Slika 3.4. Prikaz niskotlačne natrijeve žarulje i njen spektralni dijagram [4]

3.5. Visokotlačna natrijeva žarulja

Visokotlačne natrijeve žarulje (NAV) su izvori svjetlosti koji rade na principu izbijanja kroz natrijevu paru visokog tlaka do veličina 10 milibara, pri čemu se emitira žuta svjetlost. Svjetlosna učinkovitost takve žarulje je, prema podacima izvora [3] između 80 i 140 lm/W, životni vijek je do 24 000 sati, električna snaga 1000 W. Žarulja se sastoji od staklenog balona unutar kojeg se nalazi keramički žižak. Vanjski stakleni balon je proziran, cjevastog oblika koji na unutrašnjoj strani ima tanki bijeli sloj koji propušta luminanciju na svega 4 do 30 cd/cm² što je sastavim dovoljno za primjenu na cestovnoj rasvjeti.



Slika 3.5. Visokotlačna natrijeva žarulja i njen spektralni dijagram [4]

3.6. LED žarulja

Svjetleće diode su uređaji koji su upravljani strujom, a ne naponom. Svjetlećim dioda treba osigurati zaštitu od provođenja u suprotnom smjeru jer im je povratni napon kod kojeg izgaraju 5 V. Odnos napona i struje nije proporcionalan već je eksponencijalan, te se Ohmov zakon ne provodi. Najvažniji tehnički podaci svjetlećih dioda su: radni napon, nazivna struja, temperaturno područje rada, najveća dozvoljena temperatura na poluvodiču, svjetlosni tok i kut emitiranja. Napajanje dioda postiže se na tri načina:

- Napajanje preko otpornika
- Napajanje izvorom konstantnog napona
- Napajanje izvorom konstantne struje

Tablica 3.1. Usporedba LED žarulje s konvencionalnim žaruljama

Tehničke karakteristike	Žarulja sa žarnom niti	Štedna žarulja	LED žarulja
Nazivni napon	230 V	230 V	230 V
Nazivna snaga	60 W	15 W	6 W
Svjetlosni tok	710 lm	820 lm	650 lm
Radni vijek	1 000 h	6 000 h	>30 000 h
Tip grla	E27	E27	E27
Temperatura boje	2 700 K	2 700 K	3 500 K

4. ENERGETSKA UČINKOVITOST JAVNE RASVJETE

Na javnu rasvjetu otpada oko 3% ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj.^[8] Javna rasvjeta obično je u vlasništvu lokalnih jedinica i njeno održavanje i unaprjeđivanje financira se iz lokalnog proračuna. Promjenjivom regulacijom (smanjivanjem intenziteta) javne rasvjete moguće je uštedjeti i do 50% energije, a sustavom daljinskog upravljanja i nadzora značajno smanjiti troškove održavanja. S druge strane, zamjena svjetiljki i prilagodba rasvjetnih tijela također može osigurati značajne uštede. Na mjestima gdje sustavi javne rasvjete nisu dovoljno razvijeni odnosno ne postoji pristup elektroenergetskoj mreži, moguće je kombinirati javnu rasvjetu s obnovljivim izvorima energije.

Osnovne preporuke za učinkovitu javnu rasvjetu i dinamičke uštede su korištenje energetske učinkovitih izvora svjetla (napredne tehnologije – ne nužno LED), korištenje energetske učinkovitih svjetiljki (izbjegavanje svjetlosnog zagađenja), projektiranje javne rasvjete u skladu s normama, učinkovito upravljanje javnom rasvjetom, praćenje troškova te redovno održavanje.

Energetska učinkovitost je suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije dok razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane. Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači upotrijebiti manju količinu energije za obavljanje istog posla.

Važno je istaknuti kako se energetska učinkovitost nikako ne smije promatrati kao štedna energija. Pod štednjom se podrazumjeva odricanje, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i življenja.

Ušteda uvođenjem novog rasvjetnog sustava sa štednim žaruljama, sastoji se od nekoliko elemenata: ušteda električne energije zbog smanjene potrošnje rasvjetnog sustava, ušteda na troškovima nabave zbog duljeg vijeka trajanja žarulja, ušteda električne energije zbog smanjenja dodatnog zagrijavanja prostora uzrokovanog rasvjetom, povećanja udobnost i sigurnost zbog veće pouzdanosti rasvjetnog sustava, smanjenje opterećenja napojnih vodova.^[8]

5. TEHNOLOGIJA I ELEMENTI SUSTAVA ZA JAVNU RASVJETU

Javnu rasvjetu čini kombinacija više rasvjetnih tijela. Elementi javne rasvjete čine: žarulje (izvori svjetlosti), svjetiljke, vodiči, upravljački sklopovi i potporna struktura koja je sačinjena od stupova i nosača. Prilikom odabira žarulja treba obratiti pozornost na niz faktora, a to su: spektar svjetla, utjecaj na okoliš, učinkovitost, intenzitet svjetlosti, karakteristike paljenja, troškovi i slično.

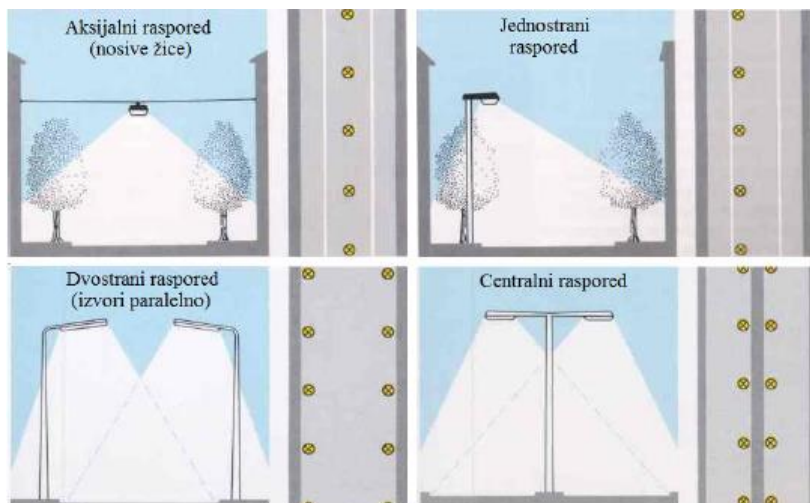
Jako bitan faktor je i funkcionalnost kako bi željeni dio površine bio jasno vidljiv uz što manje štetnih utjecaja.

Neovisno o kojem rasvjetnom tijelu je riječ (žarulje, izbojni rasvjetni element ili LED), postoje četiri osnovna dijela električnih svjetiljki:

- Potporna struktura na koju je emitirajući dio fiksiran unutar same lampe
- Vanjski balon ili omotač koji štiti dio koji emitira svjetlo
- Dio koji emitira svjetlo
- Električni vodovi i kontakti koji služe za povezivanje lampe na izvor struje

Pojam javna rasvjeta najčešće nas asocira na rasvjetu ulica i prometnica, postoje četiri osnovna rasporeda

- 1) Aksijalni raspored
- 2) Centralni raspored
- 3) Jednostrani raspored
- 4) Dvostrani raspored



Slika 5.1. Prikaz četiri osnovna rasporeda rasvjete ulica i prometnica

Elementi koji su potrebni da se izvede sigurna i pouzdana javna rasvjeta su:

1. Stupovi, nosači i zatezno uže
2. Kabel
3. Brojilo za utrošenu električnu energiju
4. Svjetiljka ili rasvjetno tijelo javne rasvjete
5. Upravljački sklop (fotočelija, vremenski relej ili prekidač)

5.1. Zatezno uže

Zatezno uže se koristi u urbanim sredinama gdje se pocinčano uže postavi na krovne nosače na objekte koji se nalaze na suprotnim stranama ulice ili prometnice. Nosivost užeta mora biti zadovoljavajuće vrijednosti kako bi izdržalo težinu rasvjetnog tijela i opreme, ali i drugih predvidivih opterećenja u obliku vjetra, ledene kiše, snijega. Uže mora biti opremljeno odvojnima izolatorima kako se potencijal ne bi mogao prenijeti s jednog krovnog uporišta na drugo, ali isto tako i s rasvjetnog tijela na krovne nosače.

5.2. Stupovi javne rasvjete

Stupovi javne rasvjete se izrađuju u rasponu od 3 – 12 metara (visina postavljanja svjetiljke), te su namjenjeni za rasvjetu gradskih ulica, parkinga, magistralnih cesta, autobusnih i željezničkih stanica, raskrižja, mostova i slično. Izrađuju se s cijevnim završetkom Ø48, Ø60, Ø76 i Ø89 mm za montažu svjetiljke ili odgovarajuće cijevne lire. Predviđena je i priključna ploča u stubu izrađena od pertinaksa ili nekog drugog izolacijskog materijala.



Slika 5.2. Prikaz stupova javne rasvjete

5.3. Brojilo za utrošenu električnu energiju

Postoje dvije vrste brojila električne energije, digitalno i mehaničko. Digitalno brojilo ima mogućnost mjerenja više faktora te omogućava i daljinsko očitavanje, dok se kod mehaničkog brojila mjeri samo utrošena električna energija.

5.4. Upravljanje javnom rasvjetom

Upravljanje javnom rasvjetom može biti izvedeno na sljedeće načine:

1. Ručno upravljanje
2. Pomoću vremenskog releja
3. Pomoću fotoćelije
4. Kombinacijom različitog upravljanja
5. Računalno upravljanje

5.4.1 Ručno upravljanje

Ručno upravljanje se koristi za prekidanje strujnog kruga energetskog kabela (za manja električna opterećenja) ili upravljačke faze napajanja javne rasvjete pomoću grebenastog prekidača (za veća električna opterećenja)

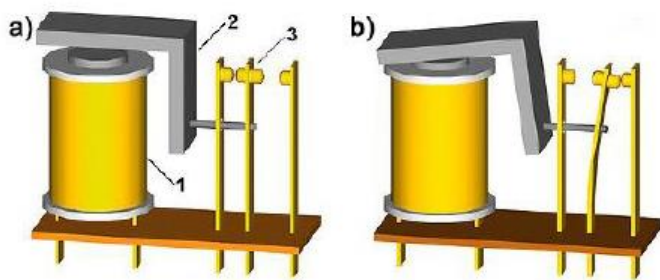
5.4.2. Vremensko upravljanje

Jedan od najčešće korištenih električnih komponenti koje se koriste u suvremenoj automatizaciji. Od niza prednosti izdvajamo rad na opsegu temperatura od -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$ kao i lako održavanje.

Princip rada releja:

Relej je naprava koja se koristi za uspostavljanje ili prekidanje strujnog kruga putem elektromagneta koji otvara i zatvara strujne kontakte. Elektromagnet se najčešće sastoji od mnogobrojnih namotaja bakrene žice na željeznoj jezgri. Prilikom protjecanja struje kroz žicu (primarnu krug), oko elektromagneta se stvara magnetsko polje koje privlači željeznu kotvu. Kotva na sebi nosi električne kontakte koji se onda otvaraju ili zatvaraju u sekundarni krug.

Prekidanjem struje kroz elektromagnet, elektromagnet više ne privlači željeznu kotvu i ona se vraća u početni položaj, obično uz pomoć opruge. Tada se električni kontakti prekidaju ili uspostavljaju strujni krug, ovisno o tipu kontakta.



Slika 5.3. a) isključen b) uključen

Na slici 4.3. a) relaj je isključen, kontakti blizu elektromagneta (žuti cilindar) su zatvoreni, dok su kontakti dalje od elektromagneta otvoreni. Na slici 4.3. b) elektromagnetsko polje privlači kotvu koja pomjera srednji kontakt i uspostavlja se veza s desnim, a prekida vezu s lijevim kontaktom, što znači da je relaj uključen.

Na slici 4.3. su prikazani i osnovni dijelovi relaja:

1. Elektromagnet
2. Kotva
3. Kontakti

Prednosti relaja:

- Jednostavno održavanje
- Temperaturna nezavisnost (raspon rada od -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$)
- Lako se prilagođava različitim naponima
- Visoki otpor između isključenih kontakata
- Mogućnost uključivanje/isključivanje većeg broja nezavisnih električnih krugova
- Galvansko odvajanje između upravljačkog i glavnog (radnog) električnog kruga

Mane releja:

- Dodani prostor u upravljačkom ormaru
- Ograničena brzina reagiranja releja (3-17 ms)
- Javljanje šumova pri reagiranju (električno zagađenje mreže)
- Osjetljivost na prašinu

5.4.3. Upravljanje razinom svjetlosti

Fotočelija reagira na veliko smanjenje ili potpuni nestanak svjetlosti, na način da aktivira (uključuje) upravljačku fazu i na taj način pomoću releja uključuje javnu rasvjetu. Fotočelije se, radi uštede, kombiniraju sa sensorima pokreta koji bi bili dodatni uvjet za rad javne rasvjete, odnosno rasvjeta bi svijetlila prilikom nečijeg kretanja, dok bi ostalo vrijeme bila isključena.

Fotoelektrični senzor procjenjuje i reagira na osnovu svjetlosnih zraka izvora svjetlosti projektora koji je djelomično ili potpuno zaklonjen predmetom. Izvor svjetlosti i prijemnik se nalaze jedan nasuprot drugog, predmet koji prolazi između njih prekida tok svjetlosti i time se aktivira prijemnik. Difuzna reflektivna fotočelija u sebi ima integrirani izvor i prijemnik svjetlosti. Svjetlost koja zrači iz fotočelije odbija se od predmeta i vraća na prijemnik, tako se detektira predmet. Povratna reflektivna fotočelija ima integrirani izvor i prijemnik, tada reflektirajuća površina – ogledalo odbija svjetlost k prijemniku.

Kada se predmet nađe između fotočelije i reflektirajuće površine, odbijena svjetlost se smanjuje, mijenja ili nestaje i tako se detektira predmet.

5.4.4. Kombinacija različitog upravljanja

Kombiniranim upravljanjem dobivamo velike mogućnosti kao što su paljenje i gašenje rasvjete kada je potrebna, odnosno nepotrebna. Moguće je staviti manji broj žarulja u rad (radi uštede), te prilikom prolaska kroz prostor uključiti ostale žarulje koje rasvjeta pokriva.

5.4.5. Računalno upravljanje

Mjera koja se može primjeniti kako bi se povećala energetska učinkovitost sustava rasvjete je primjena inteligentnih elemenata upravljanja rasvjetom. —Zahvaljujući razvojem elektornike i senzora, moguće je primjeniti različite oblike računalnog upravljanja, a neki od najčešćih su putem detektiranja dnevnog svjetla, detekcijom poktera te prisutnosti u prostoriji. Detektiranjem razine dnevnog svjetla te gašenjem ili smanjenjem razine rasvjetljenja u prostoriji ili ulici moguće je postići odgovarajuću razinu svjetlosti po danu bez nepotrebnog rasipanja električne energije. Senzor sustava upravljanja mjeri razinu dnevnog svjetla te ovisno o razini uključuje i prilagođava razinu svjetlosti ili isključuje rasvjetna tijela.

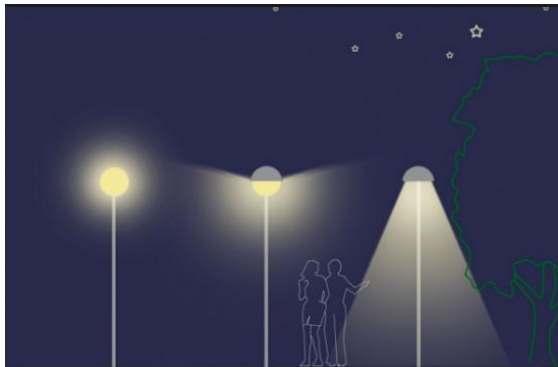
6. SVJETLOSNO ZAGAĐENJE

Posljedica loše primjene tehnologije upravljanja javnom rasvjetom pojavljuje se u obliku svjetlosnog zagađenja. Svako rasipanje umjetne svjetlosti izvan područja koje je potrebno osvijetliti (prekomjerna ili nepotrebna rasvjeta), odnosno promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima, nazivamo svjetlosno zagađenje. Ono uzrokuje mnoge štetne pojave kao što su narušavanje ekosustava te zdravstveni problemi. Svjetlosno onečišćenje je popratna pojava industrijske civilizacije, lošeg planiranja te nedostatka stručnosti i svijesti. Problem prekomjerne rasvjete je i ekonomske prirode iz razloga prekomjernog trošenja električne energije koja se plaća. Izvori svjetlosnog onečišćenja su nepropisno ugrađenje svjetiljke, nezasjenjene svjetiljke, osvijetljeni ulični reklamni panoi. Posebno štetna je uporaba svjetiljki koje svijetle u nebo ili u tlo. Za smanjenje svjetlosnog zagađenja se koriste svjetiljke koje ne svijetle vodoravno.

Ekološka rasvjeta mora biti:

- energetska učinkovita
- zasjenjena i usmjerena
- odgovarajuće boje svjetlosti
- umjerenog inteziteta
- opravdana

Energetska učinkovitost često je sinonim za ekološku rasvjetu. Financijske uštede su važne, međutim svjetljkica koja rasipa svjetlost iznad razine horizonta u nebo, okoliš ili sobu, i dalje će biti neekološka te uzrokovati onečišćenje uz narušavanje ljudskog zdravlja i remećenje ekosustava.



Slika 6.1. Prikaz raspršivanja svjetlosti [1]

Neekološka rasvjeta većinu svjetlosti rasipa iznad horizonta dok ekološki ispravno postavljena rasvjeta svijetli u pravcu horizonta manje od 2%.

Svjetlosnim onečišćenjem se nepotrebno troši energija, stvara se dodatni financijski trošak te nepotrebno dolazi do onečišćenja okoliša emisijom ugljikovog dioksida (CO₂).

7. POKAZATELJI KVALITETE RASVJETE

Pokazatelji kvalitete svjetlotehničkih kriterija vezanih za javnu rasvjetu vidljiv je iz pokazatelja: za promet motornih vozila kriterij osvjetljenja proizlazi iz vidnih uvjeta vozača, odnosno temelji se na sjajnosti. Razinu kvalitete javne rasvjete motornih vozila označavaju sljedeći pokazatelji:

- Razina sjajnosti
- Ravnomjernost sjajnosti
- Ograničeno blještanje
- Optičko vođenje

Za promet pješaka kriterij kvalitete rasvjete proizlazi iz vidnih uvjeta pješaka, te se temelji na rasvjetljenosti. Razinu kvalitete javne rasvjete pješaka označavaju sljedeći pokazatelji:

- Razina rasvjetljenosti
- Ravnomjernosti rasvjetljenosti
- Ograničeno blještanje

7.1. Razina sjajnosti

Razina sjajnosti osnovni je faktor kvalitete rasvjetljenosti cestovnog prometa. Sjajnost je svjetlotehnička veličina koju oko prepoznaje te je zato od velikog značaja za svjetlosni dojam u prometu. Sa svjetlotehničkog gledišta poželjna je što veća razina sjajnosti jer taj faktor kvalitete neposredno utječe na vidljivost i vidni komfor, te je nužan za dobre vidne uvjete. Povećanjem razine sjajnosti raste kontrastna rasvjetljenost, oštrina vida i brzina prepoznavanja kontrasta i oblika. Za dobru vidljivost potrebna je razina sjajnosti od 2 cd/m². Gledano s ekonomske strane, takva razina sjajnosti je opravdana samo na autocestama i brzim cestama, na cestama s velikim opterećenjima. Za ceste gdje je dopuštena manja brzina te je manja gustoća prometa nije potrebna visoka razina sjajnosti.

Tablica 7.1. Prikaz luminancije za različite vrste promena

Razred M	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Prosječna luminancija L [cd/m ²]	2,0	1,5	1,0	0,75	0,5	0,3

7.2. Ravnomjernost sjajnosti

Ravnomjernost sjajnosti se odnosi na raspodjelu sjajnosti na kolniku i utječe na dojam o njegovoj svjetlini. S faktorom kvalitete vrednuje se samo osjetljenje za cestovni promet. Ravnomjernost sjajnosti se može poboljšati smanjenjem razmaka između svjetlosnih stupova ili posebnim optičkim sustavom u svjetiljkama. Povećanje ravnomjernosti sjajnosti povezana je s povećanjem investicijskih troškova uređaja rasvjete.

Ravnomjernost sjajnosti odnosi se na kolnik i ovisi o fotometrijskim karakteristikama svjetiljke, geometrije uređaja rasvjete, refleksnih svojstava površine, položaja posmatrača te atmosferskih uvjeta.

7.3. Ograničeno blještanje

U javnoj rasvjeti blještanje je nepoželjno, uzrokuje smanjenu vidljivost sudionicima u prometu te time neugodno djeluje na vidne uvjete. Ograničeno blještanje je važan faktor u kvaliteti javne rasvjete te se pomoću njega vrednuje rasvjetljenje za cestovni promet i promet pješaka.

Razlikujemo dvije osnovne vrste blještanja, psihološko i fiziološko blještanje.

Psihološko blještanje utječe na vidni komfor jer smanjuje vozaču koncentraciju tijekom vožnje, ali ne utječe na vidljivost. Takva vrsta blještanja značajno je samo kod dinamičkih uvjeta vožnje i zato se ograničava samo kod osvjetljenja za cestovni promet.

Fiziološko blještanje utječe na vidljivost vozača jer smanjuje vidnu sposobnost kod svih sudionika u prometu te se ograničava u cjelokupnom javnomrasvjetljenju.

7.4. Optičko vođenje

Optičko vođenje je faktor javnog koji omogućuje svim sudionicima u prometu brzo i jasno otkrivanje toka ceste po kojoj se kreću, tok zavoja i nailazak svih promjena na cesti i to sve na udaljenosti koja je predviđena uz maksimalnu dozvoljenu brzinu vožnje. Optičko vođenje

temelji se na dinamičkim uvjetima vožnje i zato se odnosi samo na za cestovni promet, te ovisi o pravilnom rasporedu svjetiljki koje prate tok ceste.

8. ANALIZA MJERENJA METREL POWERVIEW SOFTWAREM

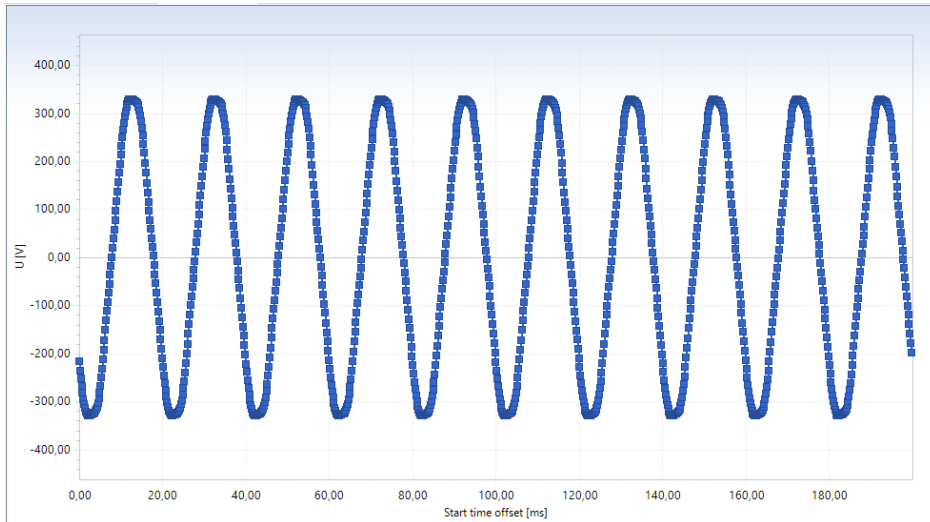
Na obračunsko mjerno mjesto (OMM) spojeno je 168 LED svjetiljki te je izmjerena snaga na ormariću javne rasvjete (OJR) te uspoređena da li je dobivena snaga odgovarajuća nazivnoj snazi svjetiljki.

PROIZVOĐAČ I TIP SVJETILJKI	VRSTA IZVORA SVJETLOSTI	BROJ SVJETILJKI	UKUPNA NAZIVNA SNAGA [kW]	MODELIRANA GODIŠNJA POTROŠNJA [kWh]
Philips ClearWay	LED 58 W	154	9,29	13,005
Philips ClearWay	LED 108 W	14	1,57	2,201
Ukupno		168	10,86	15,206
Izmjerena snaga			9,957	

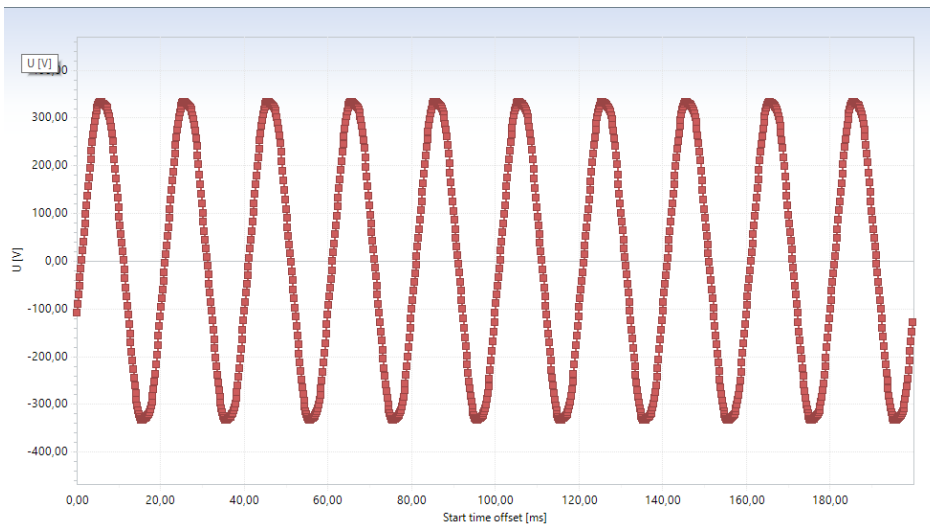
[Mjerenje je provedeno u sklopu energetskog pregleda rasvjete te je trajalo 4 minute.](#)

U sljedećim prilogima prikazane su grafičke analize napona, struje, radne snage te ukupna harmonička izobličenost struje i napona:

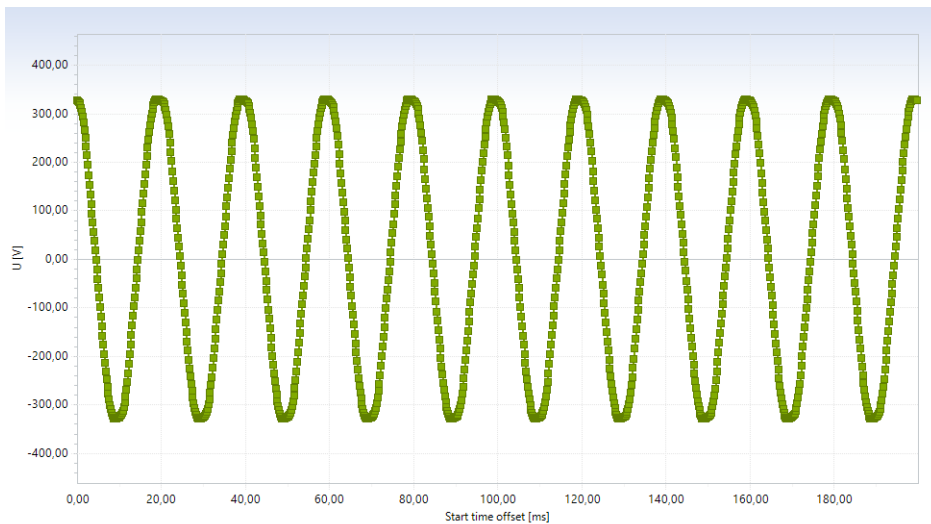
Commented [zk1]: Ovdje dodaj da je mjerenje bilo kratkotrajno (trajalo 4 minute) jer je izvedeno u svrhu energetskog pregleda rasvjete.



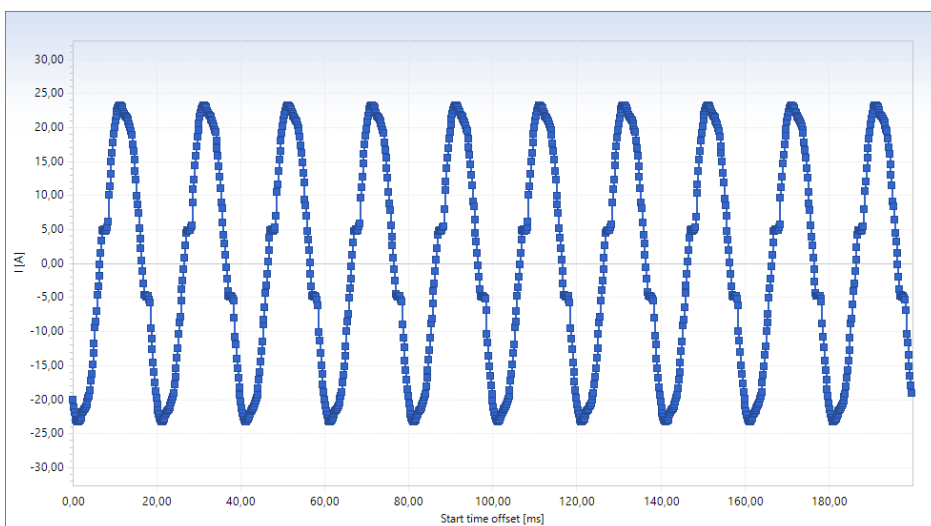
Slika 8.1. Prikaz valnog oblika napona U_1



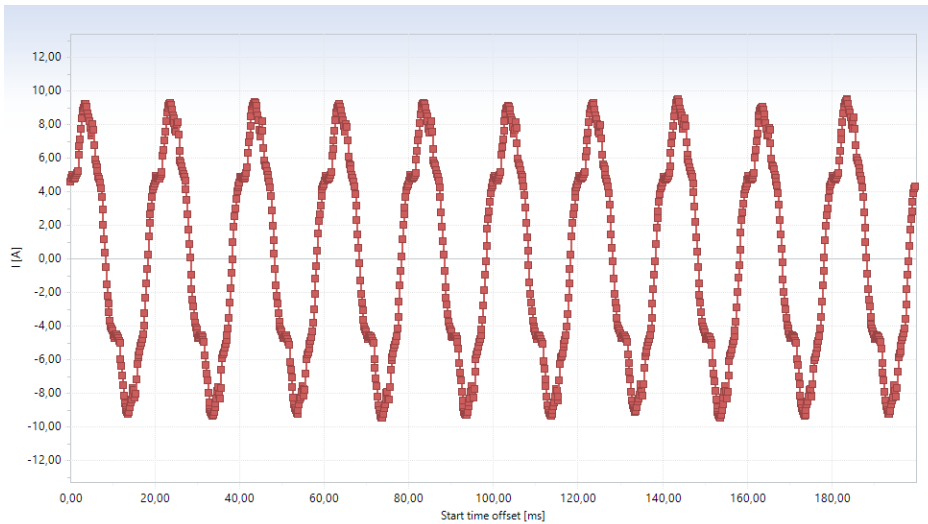
Slika 8.2. Prikaz valnog oblika napona U_2



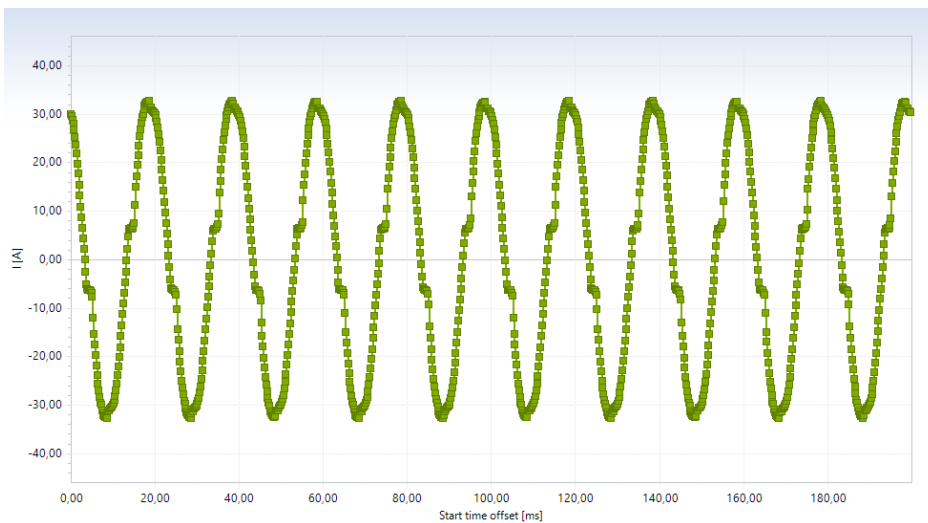
Slika 8.3. Prikaz valnog oblika napona U_3



Slika 8.4. Prikaz valnog oblika struje I_1

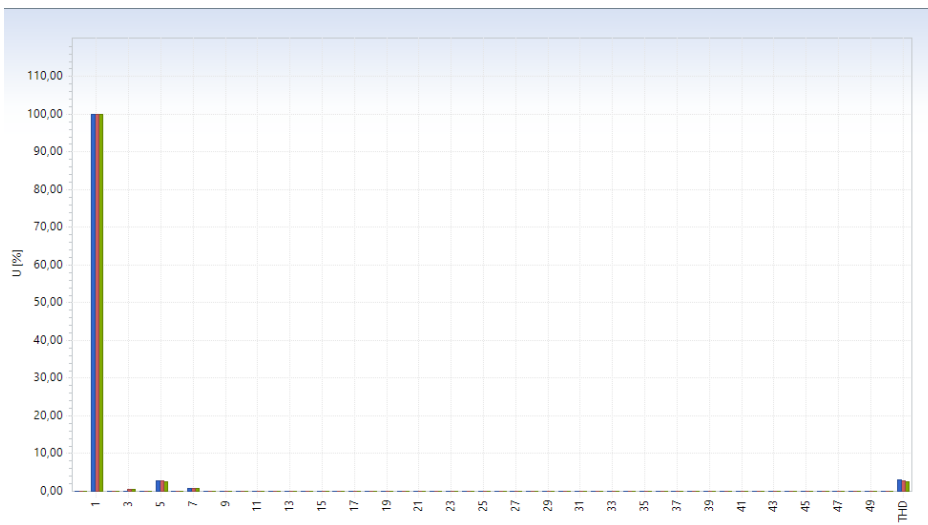


Slika 8.5. Prikaz valnog oblika struje I_2

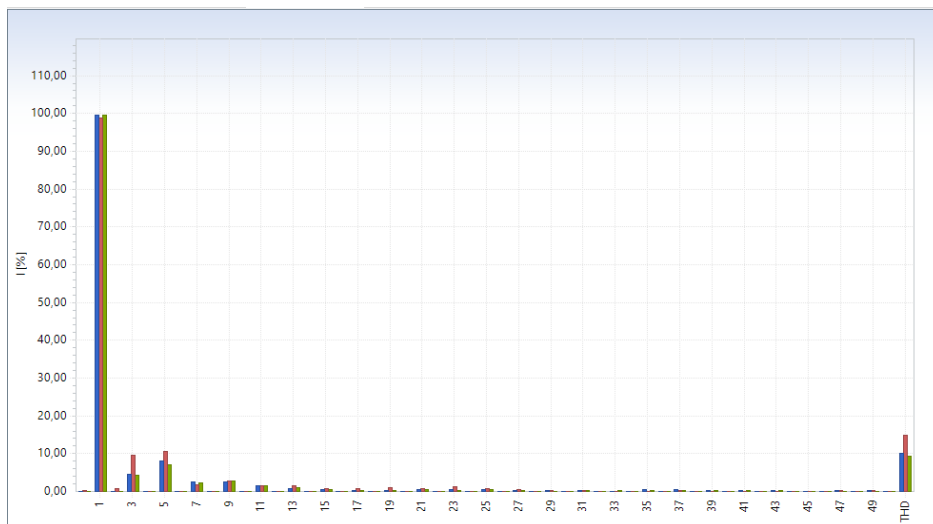


Slika 8.6. Prikaz valnog oblika struje I_3

Grafičkim prikazima napona i struje vidljivo je da je valni oblik napona približno oblika pravilne sinusoide, dok kod struje postoje veća izobličenja nastala zbog predspojnih elektroničkih naprava (LED).



Slika 8.7. Prikaz ukupne harmoničke izobličenosti napona (THD)



Slika 8.8. Prikaz ukupne harmoničke izobličenosti struje (THD)

Prikazane slike ukupnog harmoničkog izobličenja napona i struje vidljivo je da napon ima manje harmoničkog izobličenja što je vidljivo i iz oblika napona koji je približno pravilnoj sinusoidi, dok kod struje vidimo puno veće harmoničko izobličenje koje je vidljivo i kod oblika struje.

Prikazane tablice pokazuju točan postotak ukupne harmoničke izobličenosti napona i struje.

Tablica 8.1. Prikaz ukupnog harmoničkog izobličenja napona [%]

THD _U	Prvi harmonik [%]	Treći harmonik [%]	Peti harmonik [%]	Sedmi harmonik [%]	Ukupno harmonijsko izobličenje [%]
Prva faza	99,95	0,12	2,91	0,69	2,99
Druga faza	99,97	0,55	2,66	0,69	2,81
Treća faza	99,96	0,46	2,48	0,73	2,63

Tablica 8.2. Prikaz ukupnog harmoničkog izobličenja struje [%]

THD _I	Prvi harmonik [%]	Treći harmonik [%]	Peti harmonik [%]	Sedmi harmonik [%]	Ukupno harmonijsko izobličenje [%]
Prva faza	99,48	4,57	8,07	2,42	10,16
Druga faza	98,86	9,63	10,48	1,87	15,00
Treća faza	99,57	4,37	6,98	2,35	9,24



Slika 8.9. Prikaz mjerenja snage P u fazi L1



Slika 8.10. Prikaz mjerenja snage P u fazi L2



Slika 8.11. Prikaz mjerenja snage P u fazi L3



Slika 8.12. Prikaz mjerenja snage P_{uk}



Slika 8.13. Prikaz faktora snage sve tri faze i ukupan faktor snage ($\cos \varphi_{cap}$)

9. ZAKLJUČAK

Javna rasvjeta je postala potreba i standard suvremenog svijeta. Stalno razvoj javne rasvjete zahtijeva i napredak u svakom segmentu života. Potrebno je obuhvatiti sve kriterije i parametre trošenja resursa te maksimalno smanjiti troškove vezane za javnu rasvjetu.

Važnost javne rasvjete dolazi na vidjelo pri unaprjeđenjima sigurnosti na prometnicama pružajući preciznu i ugodnu vodljivost svim sudionicima u prometu.

Sva problematika javne rasvjete je temeljena na normama Hrvatskim normama za javnu rasvjetu HRN EN 13201-2015.

U današnje vrijeme je sve veća upotreba LED rasvjete jer energetska učinkovitost ne ovisi samo o učinkovitosti svjetlećih dioda već i o upravljanju rasvjetom kojoj se sve više pridaje pažnje i te tehnologija u tom smjeru razvija velikom brzinom.

10. ABSTRACT

Public lighting has become a necessity and a standard of the contemporary world. The constant development of public lighting requires and advances in every segment of life. It is necessary to cover all the criteria and parameters of spending resources and to maximize the cost of public lighting is evident in improving road safety by providing accurate and comfortable conductivity to all traffic participants. All issues of public lighting are based on the norms HRN EN 13201-2015. Today's use of LED lighting is increasing because energy efficiency depends not only on the efficiency of light-emitting diodes but also on lighting management that is paying more attention and that technology is developing in this direction at a high speed.

11. LITERATURA

- [1] [Učinkovitost različitih izvora svjetlosti](http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/KO%C5%A107.pdf), Matea Koščak, Odjel za fiziku, 2015.
- [2] <http://www.lipapromet.hr/Home.aspx> , pristup 28.06.2018., Lila promet d.o.o.
- [3] EN13201-2015 The new standard for road lighting
- [4] Lighting Handbook, Indalux, 2002. g.
- [5] Zakon o energetskeg učinkovitosti <https://www.zakon.hr/z/747/Zakon-o-energetskoj-u%C4%8Dinkovitosti> , pristup 25.07.2018
- [6] IESNA Lighting Handbook, Mark Stanley Rea, 2000 g.
- [7] Javna rasvjeta- osvrt na potrošnju električne energije, Grgur Tomislav Damjanović, FERIT, 2016. g.

[8] [Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost.](#)

http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/javna_rasvjeta/, pristup 29.09.2018.

12. ŽIVOTOPIS

Igor Ključarić rođen je 10.12.1996 godine u Somboru, Republika Srbija. Osnovnu školu završava u Belom Manastiru te upisuje Prvu srednju školu Beli Manastir smjer elektrotehničar. Srednju školu završava s vrlo dobrim uspjehom te 2015. godine upisuje preddiplomski stručni studij, smjer elektroenergetika, na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

