

# Energetska učinkovitost LED rasvjete - primjer iz prakse

---

**Rado, Nedjeljko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*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:200:565084>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-20**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**ENERGETSKA UČINKOVITOST LED RASVJETE-  
PRIMJER IZ PRAKSE**

**Diplomski rad**

**Nedjeljko Rado**

**Osijek, 2017.**

Umjesto ovog lista ide obrazac D1 „imenovanje povjerenstva za obranu diplomskog rada“

Umjesto ovog lista ide „izjava o originalnosti rada“

# SADRŽAJ

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                         | 1  |
| 2. UVODNA RAZMATRANJA O RASVJETI .....                | 2  |
| 2.1 Vrste umjetnih izvora svjetla.....                | 7  |
| 2.2 Cestovna rasvjeta i svjetlosno onečišćenje.....   | 10 |
| 3. LED RASVJETA .....                                 | 16 |
| 3.1 Vrste LED rasvjete .....                          | 18 |
| 4. ENERGETSKA UČINKOVITOST LED RASVJETE.....          | 21 |
| 4.1 Napredni sustavi upravljanja rasvjetom .....      | 22 |
| 5. ENEGETSKA UČINKOVITOST JAVNE RASVJETE-PRIMJER..... | 25 |
| 5.1 Usporedba potrošene električne energije .....     | 29 |
| 5.2 Ekonomska analiza.....                            | 30 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                                    | 31 |
| LITERATURA.....                                       | 32 |

## 1.UVOD

Prvi izvor umjetnog svjetla bila je vatra koja se dugo zadržala i kao jedini izvor umjetnog svjetla. Razvitkom civilizacije i industrijskim revolucijama izvori umjetnog svjetla su mnogo napredovali, danas jedan od najefikasnijih izvora umjetnog svjetla je LED rasvjeta. U diplomskom radu je obrađen sam princip rada svjetlosne diode, usporedba sa drugim izvorima svjetlosti, njezin razvoj, današnja primjena te u kojem smjeru ide daljnji razvitak svjetleće diode, bit će dan ekonomski proračun uštede na primjeru osvjetljavanja javne površine pomoću LED rasvjete. LED rasvjeta nije samo prolazni trend kao što su bile fluokompaktne „štedne“ žarulje, smatra se kako će LED rasvjeta zamijeniti postojeće žarulje sa žarnom niti i fluorescentne žarulje. Danas postoje svjetleće diode koje mogu dati tzv. „toplo svjetlo“ prigodno za osvjetljavanje kućanstava, te zamjerka kako svjetleće diode daju samo „hladno svjetlo“ više nije osnovana. Razvoj LED tehnologije napreduje velikom brzinom, efikasnost svjetlećih dioda se sve više povećava a cijene padaju. Važno je reći da se efikasnost svjetlećih dioda ne mjeri standardnom formulom uloženo kroz dobiveno, već se koristi izraz svjetlosna iskoristivost ( $\text{lm/W}$ ) o čemu će kasnije biti riječi. Danas jedini nedostatak svjetlećih dioda nije tehničke prirode već financijske, njihova cijena je veća nego ostalih izvora rasvjete, no treba gledati i uštedu koju svjetleće diode donose pa su dugoročno isplativije od ostalih oblika rasvjete. Treba napomenuti kako će i taj nedostatak kroz naredno vrijeme biti uklonjen jer brzim razvojem tehnologije i cijene brzo padaju, pa ne treba iznenaditi činjenica da će u bliskoj budućnosti svjetleće diode biti daleko najjeftiniji, najefikasniji i najzastupljeniji izvor umjetnog svjetla.

## 2. UVODNA RAZMATRANJA O RASVJETI

Prije razmatranja rasvjete obrađeno je i područje same svjetlosti. Početak čovjekovog razvoja bio je vezan za prirodnu svjetlost sve do otkrića vatre, sve su ljudske aktivnosti prije otkrića vatre bile vezane za svjetlost od Sunca, Mjeseca ili zvijezda. Prvi umjetni izvori svjetlosti koji je čovjek napravio i koristio bili su vatra, baklje i svijeće. Vatra je omogućila zagrijavanje prostora i dala prvu rasvjetu čovjekovog prebivališta. Prve svijeće datiraju još iz starog Egipta, koji su pravili rupe u kamenu i punili ih mastima, te biljna vlakna koristili kao fitilj. U srednjem vijeku su se počele koristiti svijeće napravljene od loja ili nekih drugih masti, kasnije su se svijeće pravile od pčelinjeg voska ili parafina. Velik korak se dogodio 1784. godine kada je švicarski kemičar François Pierre Ami Argand, izumio novu svjetiljku, najučinkovitiju dotad. Svjetiljka je imala šuplji fitilj radi boljeg dotoka zraka plamenu. Uslijedio je razvoj umjetnih izvora svjetlosti bez kojih bi čovjekove aktivnosti bile znatno smanjenje. Početkom 20. stoljeća došlo je do naglog razvoja izvora umjetne svjetlosti. Nakon žarulje sa žarnom niti, poznata i kao Edisonova žarulja, pojavljuje se i žarulja sa volframovom niti. Prve živine žarulje pojavljuju se 1930-tih godina, fluorescentni izvori dostupni su već od 1939. godine. Visokotlačne natrijeve žarulje dolaze na tržište 60-ih godina 20. stoljeća, 1990-tih dolazi i prva LED rasvjeta na tržište.

Pojava svjetlosti je dualne prirode te se može i mora istovremeno opisati Planckovom korpuskularnom ili čestičnom teorijom i Maxwelllovom valnom teorijom elektromagnetskih valova [1]. Sukladno korpuskularnoj teoriji, svaka masa u gibanju povezana je s valom čija je valna duljina određena izrazom :

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad (2.1)$$

Gdje je:

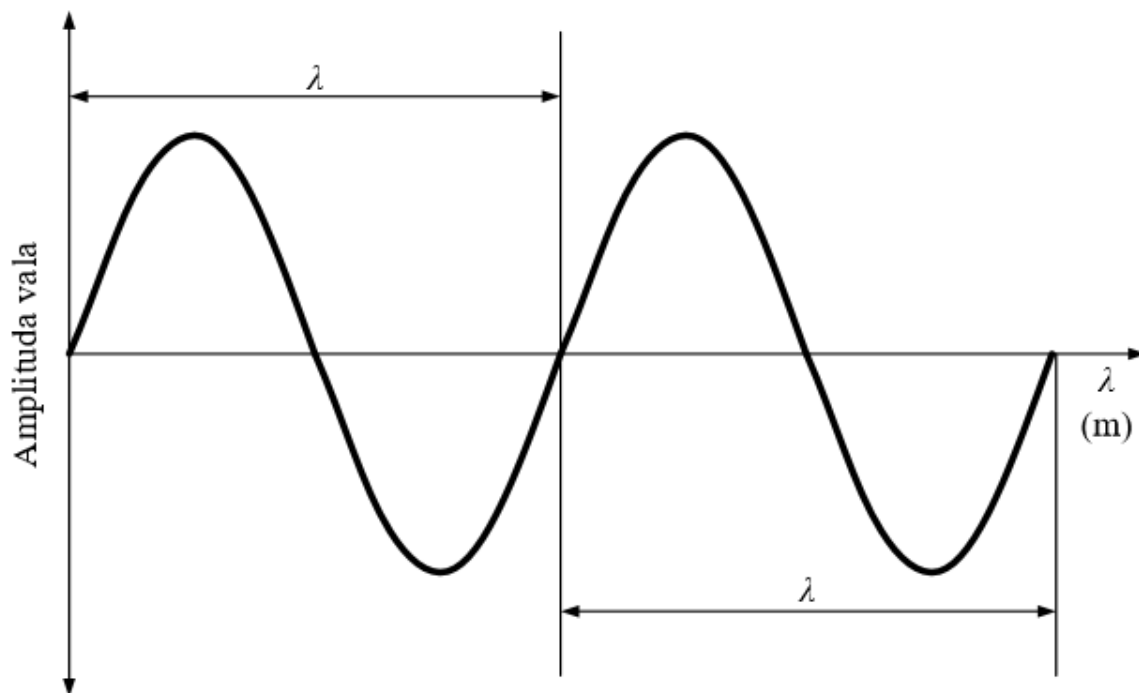
- $\lambda$  – valna duljina valnog gibanja [m]

- $h$  – Planckova konstanta koja iznosi  $6,6256 \cdot 10^{-34}$  Js

- $m$  – masa čestice [kg]

- $c$  – brzina čestice [m/s]

Svjetlost je ujedno i valne prirode, pa se val može opisati amplitudom, frekvencijom, valnom duljinom i brzinom [1], (Sl. 2.1.).



**Slika (2.1.)** Karakteristika vala svjetlosti [1]

Brzina rasprostiranja vala definira se sljedećim izrazom:

$$c = \lambda f \quad (2.2)$$

Gdje je:

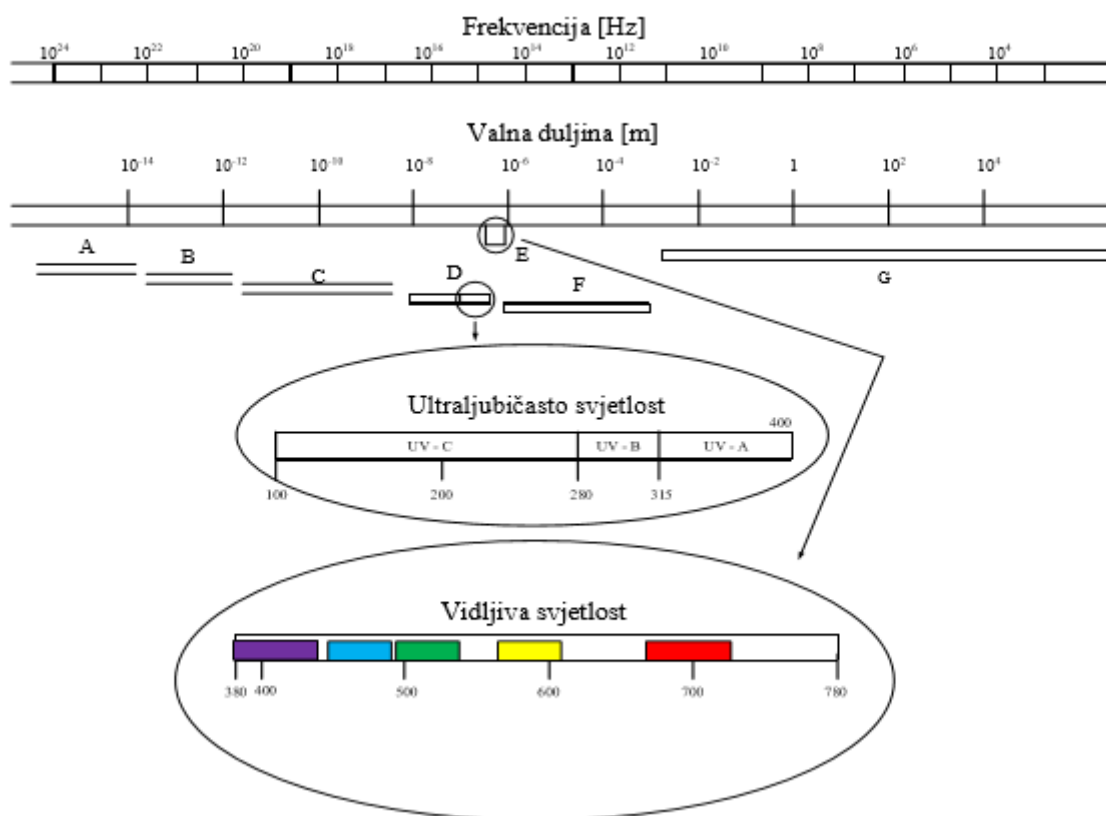
-c – brzina rasprostiranja vala [m/s]

-λ – valna duljina [m]

-f – frekvencija [Hz]

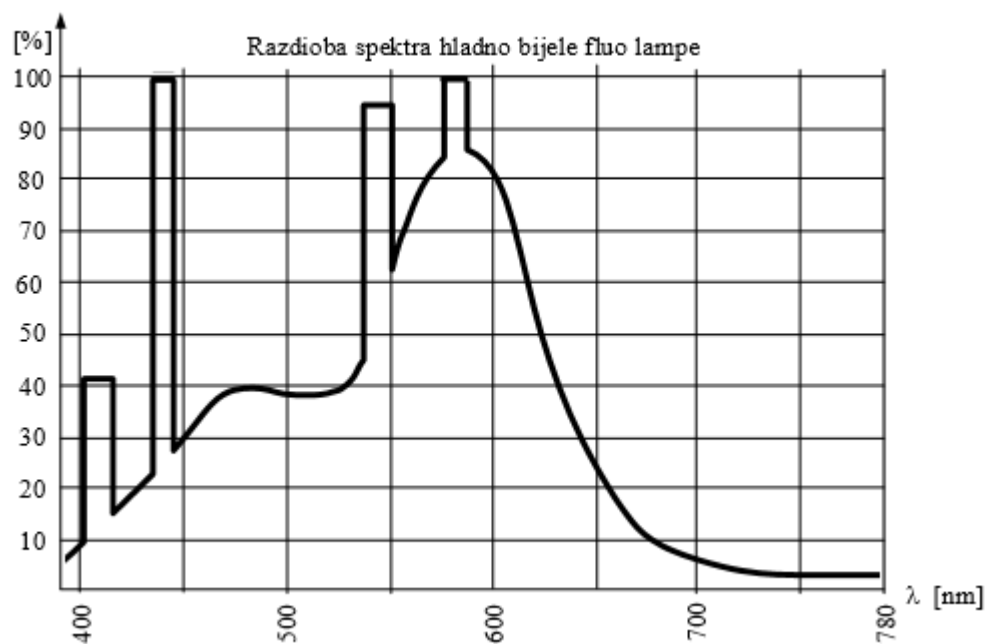
Za razliku od frekvencije vala, brzina rasprostiranja elektromagnetskog vala ovisi neposredno o mediju u kojem se val rasprostire. Valna duljina, slično brzini rasprostiranja vala, funkcija je vrste medija u kojem se val rasprostire. Na slici 2.2. vidljiv je kompletan elektromagnetski spektar svjetlosti, te je označeno i područje čovjeku vidljive svjetlosti. Područje označeno sa „A“ su kozmičke zrake, područje označeno sa „B“ su gama zrake, područje označeno sa „C“ su x zrake, područje označeno sa „D“ je ultraljubičasto zračenje, područje „E“ je već spomenuta vidljiva svjetlost, „F“ područje je infracrvena svjetlost i područje „G“ su radio frekvencije.



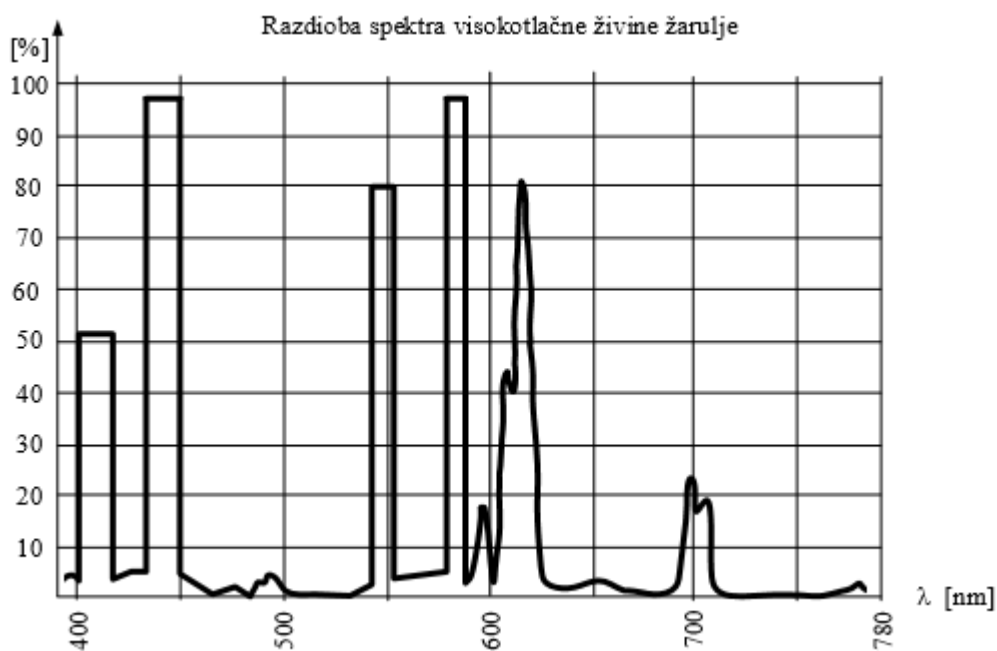


**Slika (2.2.)** Elektromagnetski spektar svjetlosti[1]

Elektromagnetska zračenja mogu se razlikovati po frekvencijama, odnosno valnim duljinama iz kojih su sastavljena. Određeno elektromagnetsko zračenje može se sastojati od samo jedne frekvencije, odnosno pripadajuće valne duljine (monokromatsko) ili iz većeg broja frekvencija, odnosno pripadajućih valnih duljina (sastavljena ili kompleksna zračenja) [1]. Kod kontinuiranih zračenja nema skokova u definiranom području valnih duljina, odnosno u rasponu ne nedostaje dio spektra. Kod zračenja kod kojih postoje skokovi riječ je o nekontinuiranom zračenju. Dobar primjer nekontinuirane razdiobe spektra su fluorescentne žarulje i visokotlačne živine žarulje, na slikama 2.3. i 2.4. prikazane su razdiobe nekontinuiranog spektra zračenja za gore navedene žarulje.



**Slika (2.3.)** Razdioba spektra fluorescentne žarulje[1]



**Slika (2.4.)** Razdioba spektra visokotlačne živine žarulje[1]

Vidljiva svjetlost, kao što je prethodno već navedeno, elektromagnetsko je zračenje između ultraljubičastog (engl. UV – Ultra Violet) i infracrvenog (engl. IR – Infra Red) područja, odnosno elektromagnetsko zračenje od valnih duljina 380 nm (UV) do 780 nm (IR). Sva su ostala elektromagnetska zračenja, čije su valne duljine izvan ovog područja, nevidljiva za ljudsko oko. Prirodno dnevno svjetlo predstavlja zbroj svih valnih duljina vidljivog spektra. [1].

Područje rasvjete se definira fizikalnim veličinama i jedinicama, te različitim tehničkim izrazima kojima se opisuju svojstva izvora svjetlosti te pojave koje oni uzrokuju. Svjetlost se opisuje svjetlotehničkim i fizikalnim veličinama, fizikalne veličine se odnose na one veličine koje definiraju svjetlost uz pomoć energetske jedinice, a pod svjetlotehničkim veličinama misli se na vrednovanje svjetlosti na osnovu ljudskog vida, odnosno oka. Osnovne svjetlotehničke veličine su: jakost svjetlosti, svjetlosni tok, rasvijetljenost te sjajnost ili luminancija.

Jakost svjetlosti se definira kao snaga zračenja koju izvor svjetlosti emitira u određenom smjeru u prostoru [1]. Jakost svjetlosti se mjeri u kandelama.

Definira se kao:

$$I_s \equiv \frac{\Phi}{\omega} \quad [\text{cd}] \quad (2.3)$$

- $\Phi$ - svjetlosni tok
- $\omega$ -prostorni kut

Svjetlosni tok se definira kao ukupan iznos svjetlosti (zračenja) koje emitira izvor svjetla.

$$\Phi = I \times \Omega \quad [\text{lm}] \quad (2.4)$$

- $I$ - jakost svjetlosti
- $\Omega$ - prostorni kut

Svjetlosni tok se označava s velikim grčkim slovom  $\Phi$ . Ovo bi se zračenje moglo mjeriti i izražavati u vatima, međutim takvo se označavanje rijetko koristi jer se time dovoljno dobro ne opisuje optički efekt izvora svjetlosti, uslijed neuzimanja u obzir promjene osjetljivosti ljudskog oka na zračenje. Zbog toga je uvedena nova mjerna jedinica za svjetlosni tok koja se naziva lumen (lm). To je izvedena jedinica SI sustava. [1]

Rasvijetljenost je svjetlotehnička veličina koja se definira kao omjer količine svjetlosnog toka koji pada na određenu površinu i te iste površine. Predstavlja jednu je od najčešće mjerenih veličina u fotometriji, budući da se često navodi u standardima i preporukama za rasvjetu. Rasvijetljenost neke površine ovisi o udaljenosti od izvora svjetlosti i kutu pod kojim svjetlo pada na površinu.

$$E = \frac{\Phi}{2A} \quad \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \equiv \text{lx}\right) \quad (2.5)$$

Luminancija (sjajnost) predstavlja efekt sjajnosti rasvijetljene površine kako je vidi ljudsko oko. Simbol za luminanciju je  $L$ , a jedinica je kandela po metru kvadratnom ( $\text{cd/m}^2$ ), koja se još naziva i "nit" (nt) dok se za područja visoke luminancije koristi jedinica ( $\text{cd/cm}^2$ ) koja se još naziva "stilb" [1]. Definira se kao:

$$L = \frac{I}{A} \quad [\text{cd/m}^2] \quad (2.6)$$

Svjetlosna iskoristivost je izvedena veličina koja se definira kao omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti ( $\text{lm}$ ) i snage ( $\text{W}$ ) koju izvor svjetlosti pritom koristi za stvaranje svjetlosnog toka. Oznaka koja se koristi za svjetlosnu iskoristivost je  $\eta$ , a pripadajuća jedinica je ( $\text{lm/W}$ ). Napredak svjetlosne iskoristivosti kod svjetlećih dioda (engl. LED – light emitting diode) tehnologije iznimno je brz, od  $181 \text{ lm/W}$  (2006.) do  $303 \text{ lm/W}$  (2014.) [1].

Čovjeku je neophodno da pri obavljanju svojih zadataka ima dovoljnu količinu svjetla. Potrebna količina svjetla je ovisna o namjeni pojedinih prostorija i vanjskih površina. Potrebni iznosi rasvijetljenosti definirani su u hrvatskoj normi za cestovnu rasvjetu „HRN EN 13201“ [2]. Postoje i norme za rasvjetu sportskih objekata, rasvjetu radnih mjesta za unutrašnje i vanjske radne prostore. U normi su navedeni svjetlotehnički zahtjevi koje je potrebne zadovoljiti za obrazovne ustanove, hotele i restorane, bolnice, javnu i cestovnu rasvjetu i ostalo.

Suvremena arhitektura danas je usko vezana uz funkciju objekta i pogotovo uz energetske učinkovitost, pa se sve više vodi računa i o prihvatu sunčeve svjetlosti koja znatno može utjecati na rasvijetljenost prostorije, te se pomoću nje može regulirati osvjetljenost. Iz tog su razloga razvijeni sustavi za zaštitu od sunca koji osiguravaju dobre uvjete rada i ugodan boravak u prostoriji, neka od rješenja su: arhitektonska geometrija, elementi vanjske zaštite od sunca, elementi unutarnje zaštite od sunca, višefunkcionalni konstruktivni elementi zgrada. Za kvalitetnu rasvjetu prostora važno je ostvariti kvalitativne i kvantitativne pokazatelje rasvjete i zahtjeve na sustav rasvjete. Zahtjevi rasvjete, koji se trebaju zadovoljiti, temelje se na tri osnovne ljudske potrebe, a to su: vizualni komfor, vizualni parametri i sigurnost.

## 2.1 Vrste umjetnih izvora svjetla

Među konvencionalne umjetne izvore svjetlosti ubrajaju se standardne žarulje sa žarnom niti, halogene žarulje, živine žarulje, natrijeve žarulje, fluorescentne žarulje i kompaktne fluorescentne žarulje.

Prema načinu na koji daju svjetlost umjetni izvori svjetlosti mogu se podijeliti u dvije skupine:

- izvor svjetlosti je termičko zračenje
- izvor svjetlosti je luminiscencija

U tablici 2.5 prikazana je podjela umjetnih izvora svjetlosti [1].

*Tablica (2.5.) Umjetni izvori svjetlosti[1]*

| UMJETNI IZVORI SVJETLOSTI     |                                             |                                         |                                |                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Žarulje s termičkim zračenjem |                                             | Izvori svjetlosti s izbojem u plinovima |                                | Poluvodički izvori svjetlosti           |
| Žarulje sa žarnom niti        | Halogene žarulje (230 V)                    | Niskotlačne žarulje                     | Visokotlačne žarulje           | LED (engl. <i>Light Emiting Diode</i> ) |
|                               |                                             | Fluorescentne žarulje                   | Živine žarulje                 |                                         |
|                               | Niskonaponske halogene žarulje (12 V, 24 V) | Kompaktne fluorescentne žarulje         | Metalhalogene žarulje          |                                         |
|                               |                                             | Niskotlačne natrijeve žarulje           | Visokotlačne natrijeve žarulje |                                         |

Žarulje sa žarnom niti su izvori svjetlosti koji daju svjetlo načelom termičkog zračenja. Svjetlost nastaje tako da pri prolasku električne struje kroz volframovu nit dolazi do zagrijavanja žarne niti, koja se zagrije na temperaturu od 2.600 K do 3.000 K. Pri tim temperaturama dolazi do žarenja volframove niti i generiranja svjetla. Bitno je napomenuti da se najveći dio zračenja emitira u infracrvenom spektru te da je spektar zračenja kontinuiran [1]. Što je temperatura žarne niti veća to je i svjetlosna iskoristivost veća, no smanjuje se vijek trajanja. Važno je reći da se u svjetlost pretvara samo 5 – 10 % uložene energije, što im je i najveća mana.

Halogene žarulje su također vrsta žarulja sa žarnom niti, kod kojih se svjetlost generira termičkim zračenjem. Razlika u odnosu na klasičnu (standardnu) žarulju sa žarnom niti je u tome što plin koji se nalazi u staklenom balonu sadrži halogenid (brom, fluor, klor i jod) koji sprječava potpuno crnjenje balona, uslijed isparavanja volframa i njegove kondenzacije na stjenci staklenog balona. Razlika je i što se baloni halogenih žarulja prave od kvarcnog stakla koje se ne smije dirati pri montaži, te daju bjelije svjetlo. Veća im je svjetlosna iskoristivost i dulji vijek trajanja.

Fluorescentne žarulje svjetlost generiraju električnim izbojem do kojeg dolazi u cijevima ispunjenim plinom ili parama na koje djeluje električno polje. Kao što je navedeno u tablici 2.5. pripadaju grupi niskotlačnih žarulja. Kod njih je bitno ograničiti vrijednost struje što se postiže

pomoću prigušnica. Osim što imaju dulji vijek trajanja i veću svjetlosnu iskoristivost u odnosu na standardne žarulje, imaju i veliki svjetlosni tok. Postoje i kompaktne fluorescentne žarulje koje se ne razlikuju po principu rada, već samo po obliku. Najveća primjena fluorescentne rasvjete je u zgradama gdje postoje veliki prostori za uštedu, danas čine oko 70% ukupnih rasvjetnih tijela u zgradarstvu [1] stoga su i najzastupljeniji izvor svjetla. Vijek trajanja im je oko 12.000 sati, najčešći znakovi kraja životnog vijeka su treperenje, ružičasta svijetlost i pojava zatamnjenja na krajevima cijevi. Učinkovitost im je oko 22% [1].

Kod živinih žarulja do izboja dolazi u kratkim kvarcnim cijevima koje sadrže smjesu žive i inertnog plina pri čemu je inertni plin najčešće argon, koji služi za pomoć pri uključenju. Jedan dio zračenja nalazi se u vidljivom području dok se dio nalazi u UV području. UV dio zračenja pretvara se u vidljivi dio spektra pomoću fluorescentnog premaza na stjenci cijevi za izboj [1]. Glavna primjena im je u industrijskoj i javnoj rasvjeti, imaju dugačak radni vijek od oko 16.000 h.

Princip rada i konstrukcija niskotlačnih natrijevih žarulja vrlo su slični principu rada i konstrukciji fluorescentnih žarulja. Razlika u odnosu na fluorescentne žarulje je u tome što one generiraju UV zračenje koje se pomoću fluorescentnog premaza pretvaraju u vidljivo zračenje, dok niskotlačne natrijeve žarulje direktno generiraju vidljivi spektar zračenja [1]. Koriste natrijeve pare umjesto živinih, potreban im je inertni plin za startanje i uklop. Imaju veliku svjetlosnu iskoristivost, generiraju gotovo monokromatsko žuto svjetlo. Upotrebljavaju se u cestovnoj rasvjeti.

Treba spomenuti još i metalhalogene žarulje koje imaju princip rada sličan kao i živine žarulje, razlikuju se u tom da kao dodatak živinom punjenju koriste različite metal-halogenide koji se raspadaju pri višim temperaturama i na taj način generiraju svjetlost vidljivog spektra. Nije im potrebna startna elektroda unutar balona.

Svjetleće diode (LED) nisu novi proizvod, proizvedene su prije 40-ak godina kao zamjena za signalne žarulje, tek u posljednje vrijeme dolazi do njihove masovnije upotrebe. Jedno vrijeme su takozvane štedne žarulje, odnosno fluorescentne kompaktne žarulje bile promovirane kao budućnost u rasvjeti, no danas je posve jasno kako će LED rasvjeta potpuno zamijeniti klasične i štedne žarulje. LED rasvjeta je bazirana na poluvodičkoj tehnologiji koja ima niz značajnih prednosti:

- LED rasvjeta ima vrlo dug vijek rada, preko 50.000 sati, novije i 60.000 sati

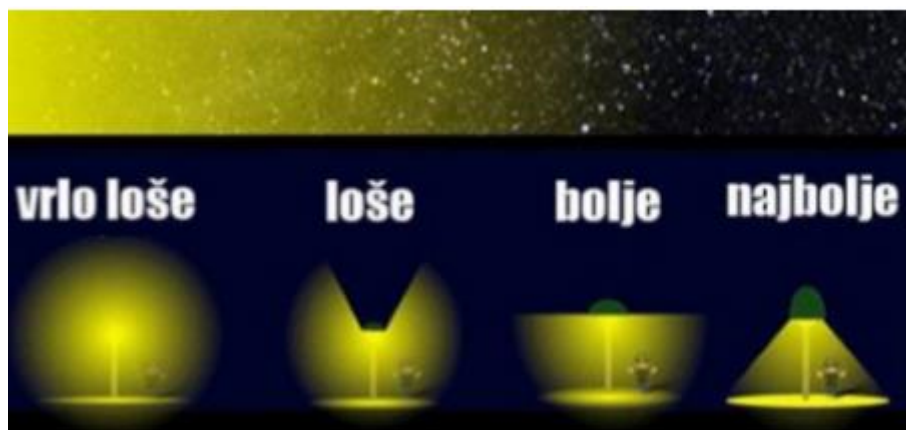
- Svjetleće diode su vrlo malih dimenzija i kao takve pogodne su za kreiranje različitih oblika svjetiljki i rasvjetnih tijela.
- Izrazito mala potrošnja električne energije što je u općoj štednji energije vrlo bitna karakteristika (ušteta do 88 % u odnosu na žarnu nit).
- Svjetleće diode proizvode se u različitim bojama (crvena, zelena, žuta, plava, bijela).
- Indeks uzvrata boje Ra veći je od 75 za bijelu svjetlost.
- Temperatura je boje svjetla od 3.000 K do 7.000 K.
- Maksimalna je temperatura kućišta cca. 58 °C.
- Svjetleće diode nemaju štetnih UV zračenja i štetnih tvari (kao što su živine pare) [1].

## **2.2 Cestovna rasvjeta i svjetlosno onečišćenje**

Na javnu rasvjetu otpada oko 3% ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj [3]. Vlasništvo nad javnom rasvjetom obično pripada lokalnim jedinicama koje je održavaju i unaprjeđuju novcem iz lokalnog proračuna. Prostori za uštedu energije i proračunskih sredstava su veliki, samo drugačijom regulacijom (prilagođavanje intenziteta) može se uštedjeti i do 50% energije. Sustavom daljinskog upravljanja i nadzora mogu se značajno smanjiti troškovi održavanja. S druge strane, zamjena svjetiljki i prilagodba rasvjetnih tijela također može osigurati značajne uštede. Na nepristupačnim i zabačenim područjima gdje ne postoji pristup elektroenergetskoj mreži moguće je kombinirati javnu rasvjetu s obnovljivim izvorima energije.

Osnovne preporuke za učinkovitu javnu rasvjetu i uštede su korištenje energetski učinkovitih izvora svjetla, npr. LED rasvjeta, korištenje energetski učinkovitih svjetiljki (kako bi se izbjeglo svjetlosno zagađenje), projektiranje javne rasvjete u skladu s normama, učinkovito upravljanje javnom rasvjetom, praćenje troškova i potrošnje javne rasvjete te, često zanemareno, redovito održavanje. Modernizacija javne rasvjete je skup projekt i lokalne zajednice često nemaju sredstva za takve investicije, no prilika se pruža u sredstvima koja daje europska unija i državni fondovi. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost do sad je sufinancirao 310 projekata koji se tiču energetske učinkovitih sustava javne rasvjete. Za projekte vrijednosti više od 257 milijuna kuna, Fond je isplatio više od 123 milijuna kuna. Godišnje uštede ostvarene tim projektima veće su od 26 milijuna kuna godišnje, a CO<sub>2</sub> emisija je smanjena za više od 10 tisuća tona [3].

Svjetlosno onečišćenje je svako suvišno rasipanje umjetne svjetlosti izvan područja koje treba osvijetliti, odnosno promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovano ljudskim djelovanjem unošenja umjetne svjetlosti. Uzrokuje mnoge štetne pojave i zdravstvene probleme, narušava ekosustav i remeti astronomska promatranja. Postoje i pokreti koji se bore protiv svjetlosnog onečišćenja i zauzimaju se za to da se ono smanji. Svjetlosno onečišćenje je prisutno u industrijskim snažno razvijenim društvima, dok je najmanje u zaostalim i nerazvijenim društvima, postoje i zakoni koji reguliraju ovu problematiku. Posljedica je urbanog razvoja, neadekvatnog planiranja i nedostatka stručnosti. Noćna rasvjeta je svakako potrebna, no treba je prilagoditi potrebama i stanju na terenu, a ne bespotrebno rasipati energiju. Tako npr. slabo prometne ceste kojima se pješaci ne kreću i nema pješačkih prijelaza zahtijevaju manju količinu rasvjete, dok glavni prometni pravci sa pješačkim prijelazima zahtijevaju veću količinu rasvjete. Izvor svjetlosnog onečišćenja u praksi su: nezasjenjene svjetiljke, reklamni panoi sa rasvjetom, nepropisno ugrađene svjetiljke, itd. Svjetlosno onečišćenje negativno utječe i na životinje, pogotovo one koje su aktivne noću te im ometa orijentaciju. U nekim eko sustavima pretjerana noćna rasvjeta prijeti čak i opstanku vrsta. Prirodna izmjena dana i noći bitna je i za ljudsko zdravlje, noćno svjetlo uzrokuje prekid proizvodnje melatonina, hormona koji je važan za ljudsko zdravlje. Na slici 2.6. prikazana je pravilna instalacija odgovarajuće opreme za javnu rasvjetu, odnosno odabir najpogodnije svjetiljke javne rasvjete. Rasvjeta svjetlećim diodama, ako je pravilno instaliran, može smanjiti svjetlosno onečišćenje upravo zahvaljujući mogućnosti usmjeravanja svjetlosnog snopa i mogućnosti reguliranja intenziteta svjetla. Pri odabiru svjetlećih dioda za javnu rasvjetu trebaju se odabrati diode koje ne emitiraju potencijalno štetno plavo svjetlo, odnosno da ga emitiraju u što manjoj količini [8]. Preporuka je odabrati svjetleće diode temperature boje  $\leq 3000$  K [8] tamo gdje je to moguće, na određenim prometnicama potrebno je koristiti rasvjetu hladnije boje svjetla zbog sigurnosti prometa.



**Slika (2.6.)** Efikasna javna rasvjeta[8]



Cjelokupno javno osvjetljenje se može podijeliti u 2 osnovne skupine:

- Osvjetljenje prometnica za motorni promet
- Osvjetljenje prometnica za spori promet

U skupinu prometnica za motorni promet ubrajaju se: autoputovi , brze ceste, magistralne ceste, regionalne ceste, lokalne ceste, kružne ceste, zaobilaznice, primarne gradske ceste, sekundarne gradske ceste, ceste u gradskim središtima, ceste u trgovačkim i poslovnim središtima , sabirne ceste [5]. Kod osvjetljenja prometnica motornog prometa kvantitativno možemo vrjednovati sljedeće faktore kvalitete osvjetljenja: nivo sjajnosti, jednolikost i ograničenje bliještanja svjetlosti U cestovnoj rasvjeti postoji nekoliko glavnih rasporeda postavljanja izvora svjetlosti, a to su jednostrani, dvostrani i centralni. Za pretežito ravne ceste koriste se jednostrani, dvostrani, dvostrani razmaknuti te centralni raspored dok se za križanja, kružne tokove te ostale oblike prometnica raspored svjetiljki prilagođava obliku i vrsti prometnice. Postoje još kombinirani raspored, osni raspored uzdužno i poprečno, raspored po zavojima te raspored za bolju preglednost. Rasvjetne klase [2]:

- klasa M - motorizirana vozila koja se koriste prometnicama
- klasa C -motorizirana vozila u konfliktnim situacijama (trgovačke ulice, križanja određene kompleksnosti, kružni tokovi, prometnice na kojima se često stvaraju gužve)
- P klasa - prometnice na kojima se većinom kreću pješaci i biciklisti, zaustavne dijelove prometnica i druge vrste prometnih površina koje su odvojene od kolnika, kao i za rezidencijalne prometnice, pješačke zone, parkirališta, školska igrališta.
- Klase SC - dopunske klase gdje je javna rasvjeta u cilju identifikacije objekata i ljudi na prometnicama sa povišenim ili normalnim rizikom u smislu kriminala.
- EV klase - dopunske klase u situacijama kada vertikalne površine trebaju biti dobro rasvijetljene jer trebaju biti vidljive za sudionike u prometu na lokacijama carinskih prijelaza, zonama kontakta različitih prometnih površina.

Za klase cestovne rasvjete M1 (autoceste, brze ceste) do M5 (lokalne ceste) preporučuju se vrijednosti luminancije prema tablici 2.6. [4].

Tablica 2.6. Preporučena vrijednost luminancije prema klasama cestovne rasvjete

| Klasa cestovne rasvjete | Preporučena luminancija [cd/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|----------------------------------------------|
| M1                      | 2,0                                          |
| M2                      | 1,5                                          |
| M3                      | 1,0                                          |
| M4                      | 0,75                                         |
| M5                      | 0,5                                          |

Stara verzija norme „HRN EN 13201“ imala je preporučene vrijednosti luminancije za klase cestovne rasvjete, vrijednosti su se kretale od 2,0 cd/m za klasu M1 do 0,5 cd/m za klasu M5. U novoj verziji norme „HRN EN 13201:2016“ postoje novi parametri koji se vrednuju i prema njihovim vrijednostima se odabiru rasvjetne klase, parametri za M rasvjetnu klasu su sljedeći: predviđena brzina ili ograničenje brzine, količina prometa, kompozicija prometa, razdvojenost prometnih traka, gustoća spajanja, parkirana vozila, ambijentalna rasvijetljenost optička navigacija[2]. Sjajnost neke određene točke rasvjetljenje površine kolnika općenito ovisi o svjetlo tehničkim značajkama zračenja svjetiljki, geometriji instalacije javne rasvjete i refleksijskim svojstvima rasvijetljene površine kolnika. Razina sjajnosti površine kolnika mora biti takva da se ostvari vidljivost koja osigurava dovoljnu udobnost, vidljivosti i sigurnost vožnje [5]. Definira se izrazom:

$$Lm = \frac{\sum Lt}{N} \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad (2.7)$$

-Lt – sjajnost neke male površine s približno konstantnom vrijednošću sjajnosti promatrane površine kolnika

-N – broj točaka promatrane površine

Srednja razina sjajnosti suhe površine kolnika od 2 cd/m<sup>2</sup> pokazala se u praksi najprihvatljivijim rješenjem između zahtjeva dobre vidljivosti i ekonomičnosti instalacije cestovne rasvjete [5].

Ravnomjernost sjajnosti površine kolnika znatno utječe na vidnost i vidnu udobnost zapažanja vozača. Za osiguranje dobre vidljivosti odlučujuća je opća jednolikost sjajnosti kolničke površine koja se definira na sljedeći način izrazom:

$$jL = \frac{L_{min}}{L_m} \times 100[\%] \quad (2.8)$$

- $L_{min}$  – minimalna vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenog proračunskog polja

- $L_m$  – srednja vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenog proračunskog polja

Bliještanje nastaje pri pojavi izvora svjetlosti u vidnom polju vozača, čija je jakost u pravcu promatranja znatno veća od one u drugim okolnim pravcima. Postoji fiziološko bliještanje koje trenutačno smanjuje sposobnost sigurnog zamjećivanja i psihološko koje trajno smanjuje. Bliještanje se smanjuje primjenom zasjenjenih svjetiljaka. U naseljima je bitna rasvjeta okolice zbog pješaka koji se kreću noću. Pri svjetlijoj okolini prometnice treba kvalitetnom rasvjetom istaknuti površinu kolnika kako bi se zajamčila ista razina pouzdanosti zapažanja, a pri tamnoj okolini treba veću pozornost obratiti na rasvjetu okolice gdje se pritom na kolniku može zadržati i niza razina rasvijetljenosti. Ispravnim se smatra da pojas koji se nalazi pet metara od ruba kolnika treba rasvijetliti do razine koja iznosi oko 50 posto razine sjajnosti susjednih 5 metara površine kolnika [5].

U sustavima javne rasvjete danas se uglavnom koriste sljedeći izvori svjetla: fluorescentna cijev, fluokompaktna žarulja, visokotlačna živina žarulja, niskotlačna natrijeva cijev, visokotlačna natrijeva žarulja, metalna halogena visokotlačna žarulja, LED. Upotreba LED rasvjete u javnoj rasvjeti dovela je do promjena u dizajnu svjetiljki, LED rasvjeta zbog svojih karakteristika zahtijeva upotrebu većeg broja svjetlećih dioda u svjetiljci te usmjeravanje svjetlosnog toka svake diode zasebno. Potrebno je osigurati i hlađenje, danas su uglavnom LED moduli kombinirani sa sustavom hlađenja u istom kućištu. Za kvalitetno osvjetljavanje prometnica LED rasvjetom koristi se vanjska rasvjeta različite snage, od 17 W do preko 130 W LED rasvjete koja zamjenjuje visokotlačnu i niskotlačnu živinu rasvjetu.



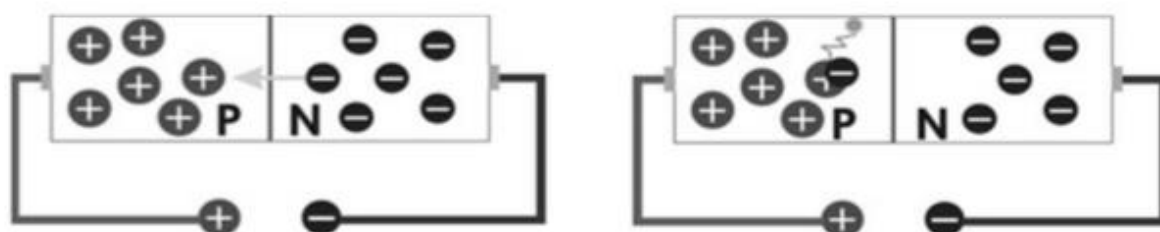
**Slika(2.7.)** *Prometnica sa led rasvjetom[5]*



**Slika(2.8.)** *LED svjetiljka[4]*

### 3. LED RASVJETA

Od prve primjene u praksi 1962.g. LED tehnologija ubrano se razvija paralelno šireći prostore primjene. Razvoj LED-a grubo se može podijeliti na tri cjeline. Prvo su razvijene monokromatske LED diode (žuta, crvena, zelena), a tek 1993. godine japanski znanstvenik Shuji Nakamura je uspio razviti LED diodu plave boje. Bazirana na tehnologiji plave LED diode 1997. godine je razvijena bijela LED dioda što je značilo i prekretnicu u širini primjene. Od tog vremena do danas razvoj je usmjeren na povećanje razine svjetla, tako da su danas u upotrebi LED diode sa svjetlosnom iskoristivosti koja prelazi 230 lumena/W [7]. Svjetleća dioda je poluvodički element koji se sastoji od dva poluvodička sloja, sloj P i sloj N, između kojih se nalazi energetska barijera. N- sloj ima veliku koncentraciju slobodnih elektrona, a P- sloj poluvodiča ima veliku koncentraciju šupljina. Kada se na svjetleću diodu spoji napon propusne polarizacije elektroni iz N- sloja prelaze u P- sloj preko sužene energetske barijere i tu se rekombiniraju sa šupljinama. Pri toj rekombinaciji elektron gubi dio svoje elektromagnetske energije u vidu elektromagnetskog zračenja, odnosno fotona koji je elementarni izvor svjetla. Na slici 3.1 vidi se princip rada LED diode.



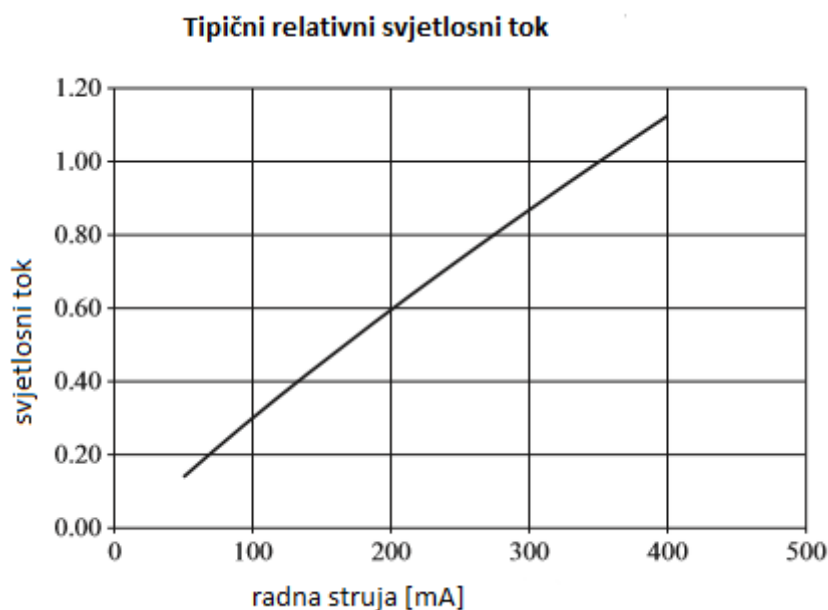
**Slika (3.1.)** LED princip rada[6]

Neki od poluvodičkih materijala koji se koriste u izradi LED dioda su:

- galijev fosfid (GaP - generira crvenu boju)
- silicijev karbid (SiC - generira plavu boju)
- galijev nitrid (GaN - generira plavu boju i ultraljubičastu boju)
- indij galij nitrid (InGaN - generira zelenu boju)
- aluminij galij arsenid (AlGaAs), aluminij galij nitrid (AlGaN - generira ultraljubičastu svjetlost)
- aluminij indij galij fosfid (AlInGaP - generira žuto - zelenu boju) [1].

U istraživanjima se pozornost daje razvoju LED tehnologije koja generira bijelu boju. Generiranje bijele boje može se postići na dva načina: svjetlećom diodom plave boje na čiju se površinu nanosi sloj fosfora, koji pretvara snop plave boje u svjetlosni snop bijele boje. Postoji i drugi složeniji način, temelji se na upotrebi triju svjetlećih dioda. Svjetleće diode crvene, plave i zelene boje nalaze se u jednom kućištu, te se njihovim ravnomjernim miješanjem dobiva bijela boja. Ovaj princip se često upotrebljava na zaslonima televizora, monitora i mobilnih telefona.

Prvo što se treba znati o svjetlećim diodama da su one strujom upravljani uređaji, a ne naponom. Kod svjetlećih dioda Ohmov zakon se ne primjenjuje, jer struja i napon nisu proporcionalni već su u eksponencijalnom odnosu [6]. Napon napajanja ostaje konstantan, a vrijednost struje se mijenja stoga performansa diode ovisi o struji koju puštamo kroz nju. Shodno tome i snaga diode ovisi o struji. Svjetlećim diodama je potrebna zaštita od provođenja u drugom „krivom“ smjeru jer im je povratni napon pri kojem izgaraju samo 5 V [6]. Kao što je ranije spomenuto kod svjetlećih dioda se ne mjeri standardna efikasnost kao uloženo kroz dobiveno već se koristi parametar svjetlosna iskoristivost, čija je mjerna jedinica lumen po wattu. Na slici 3.2 vidi se ovisnost nominalnog svjetlosnog toka o struji koja teče kroz diodu.



**Slika (3.2)** Ovisnost svjetlosnog toka o struji kroz diodu [6]

Današnja proizvodnja svjetlećih dioda može se odijeliti u dvije osnovne skupine, prema električnoj snazi izvora: svjetleće diode male snage, gdje pripadaju svjetleće diode maksimalne snage 0,3 W i druga skupina su svjetleće diode velike snage u koju pripadaju diode snage od

0,5 W do 200 W. Najznačajniji tehnički podatci napajачkih sklopova svjetlećih dioda su: radni napon diode, nazivna struja diode, temperaturno područje rada, maksimalno dozvoljena temperatura na poluvodiču, svjetlosni tok i kut emitiranja svjetla. Napajanje svjetlećih dioda može se u pravilu realizirati na tri osnovna načina: napajanje diode preko otpornika, napajanje iz izvora konstantnog napona i napajanje iz izvora konstantne struje.

Pri napajanju svjetleće diode preko otpornika, svjetleća dioda se napaja iz ispravljača ili baterije ali preko serijski spojenog otpornika koji regulira struju kroz diodu prema Ohmovu zakonu. Nedostatak ovog načina napajanja je gubitak električne energije na serijski spojenom otporniku. Problem nestabilnog napona može se riješiti stabiliziranim naponskim izvorom, zahvaljujući konstantnom naponu i nazivna struja kroz diodu će imati mala odstupanja, a time se postiže i veća stabilnost svjetlosnog snopa. Pri napajanju diode iz izvora konstantne struje mogu se u potpunosti iskoristiti zadane svjetlotehničke vrijednosti i osigurati kvalitetna energetska učinkovitost rasvjetnog tijela. Posljednje izvedbe koriste upravljanje pulsno - širinskom modulacijom, što omogućuje digitalno upravljanje i kontrolu struje svjetleće diode. Sljedeći korak u upravljanju i kontroli LED svjetla je primjena mikrokontrolera na koji se mogu priključiti i različiti senzori i sustavi za bežičnu komunikaciju koji omogućuju potpuni nadzor nad rasvjetom. Tipični CRI za LED je oko 85, za sunce se uzima vrijednost 100 CRI [7]. Tipovi rasvjete po boji svjetla:

- topla rasvjeta (2600 – 4000 K)- Kuće, prostori za odmor i rekreaciju, šoping centri
- hladna rasvjeta (4000 – 7500 K)-radni prostori, proizvodne hale

### **3.1 Vrste LED rasvjete**

Spot led žarulje su projektirane i zamišljene za osvjetljavanje predmeta i površina koje se želi posebno istaknuti, kao što su izlozi trgovina, police, slike, skulpture, spomenici. Spot LED žarulje odlikuje mali kut svjetlosnog toka tako da izvor osvjetljava samo odabrano područje i ne rasipa se na prostor koji ne treba osvjetljivati.

LED cijevi su projektirane za rasvjetu prostorija opće namjene kao što su: dvorane, učionice, hodnici, garaže, benzinske postaje. Svjetleće diode visokog intenziteta povezane su i smještene u plastičnu ili staklenu cijev istih dimenzija kao i fluorescentne cijevi (FC). LED cijevi u potpunosti zamjenjuju FC cijevi fluorescentne rasvjete i za svoj rad ne trebaju prigušnicu,

starter niti kondenzator za kompenzaciju [1]. Prednosti su: dugačak radni vijek, nema štetnih UV zraka, nema stroboskopskog efekta, nema štetnih i opasnih tvari.



*Slika (3.3) LED cijevi[1]*

LED žarulje za kućnu rasvjetu imaju standardno grlo E27 i jednostavnom zamjenom postojećih žarulja sa žarnom niti, može se uštedjeti značajan iznos električne energije za rasvjetu. Unutar kućišta, smještene su svjetleće diode visokog svjetlosnog intenziteta i uz njihov dugovječan rad i malu potrošnju energije, mogu se postići značajna smanjenja troškova za rasvjetu [1]. Ušteda energije je oko 80% u odnosu na žarulje sa žarnom niti.

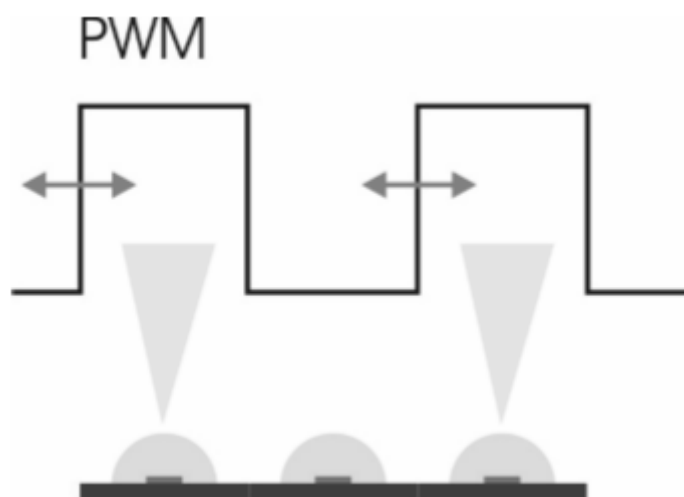
*Tablica (3.4.) Usporedba LED žarulja sa konvencionalnim žaruljama[1]*

| 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      |
| Vijek rada              | 1.000 h                | 6.000 h        | >30.000 h   |
| Tip grla                | E 27                   | E27            | E27         |
| Temperatura boje        | 2.700 K                | 2.700K         | 3.500K      |

Teško je testiranjem odrediti životni vijek LED svjetiljki zbog njihove trajnosti i zbog brzog razvitka tehnologije, čime testovi brzo postaju nerelevantni. Neke LED žarulje projektirane za vanjsku rasvjetu imaju životni vijek do 150.000 radnih sati. Većina proizvođača žarulja odredi maksimalnu struju napajanja i temperaturu PN spoja pri kojima će LED proizvesti više od 70% početnih lumena svjetlosnog toka tijekom predviđenog radnog vijeka. Napajanjem LED



rasvjete nižim strujama od maksimalno dozvoljene i pri nižim temperaturama radni vijek se može značajno povećati. Sljedeći korak za poboljšanje energetske učinkovitosti LED rasvjete na kojem se radi, je da se izravno napajaju naponom 230 V jer se iz cjelokupnog sklopa izostavlja pretvarač koji ima vlastitu potrošnju, ujedno se njegovim izostavljanjem povećava i pouzdanost. Toplina koju emitiraju svjetleće diode negativno utječe na životni vijek poluvodiča, prema [1] temperatura na poluvodičkim elementima ne bi smjela premašiti 55 °C kako bi se postigao životni vijek od 80.000 sati. Hlađenje se može realizirati na četiri načina: pasivnim hladnjakom, hladnjakom sa dodatnim ventilatorom za hlađenje, odvođenjem topline sustavom termo cijevi i aktivno upravljanje temperaturom svjetleće diode [1]. Najkompleksniji i najnapredniji je sustav aktivnog upravljanja temperaturom, pulsno – širinskom modulacijom kojom se u jednom vremenskom intervalu propušta maksimalnu struju, dok je u drugom struja kroz diodu jednaka nuli te tako dioda ima interval tokom kojeg se zagrijava i tokom kojeg se hladi. Intervali izmjene su toliko mali da ljudsko oko to ne može primijetiti.



**Slika (3.5.)** Upravljanje LED diodom PWM impulsima[1]

## 4. ENERGETSKA UČINKOVITOST LED RASVJETE

Povećavanje energetske učinkovitosti važan je dio paketa mjera Europske unije (EU). Također, upravljanje potražnjom energije neophodan je alat pomoću kojega EU utječe na globalno tržište energijom, a time i na srednjoročnu i dugoročnu sigurnost opskrbe energijom [1]. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju (engl. International Energy Agency - IEA), u prosjeku 18 - 19 % električne energije diljem svijeta koristi se za rasvjetu. Stambeno-poslovne zgrade su jedan od najvećih krajnjih korisnika energije [1]. Potrošnja energije globalni je problem u suvremenom svijetu kako zbog njene dostupnosti, odnosno cijene, tako i zbog njenog sve većeg utjecaja na okoliš. Premda se danas puno priča o „ispravnom“ odnosu prema okolišu, čak i na globalnoj razini odlučivanja, činjenica je da se jedine akcije poduzimaju u smislu ušteda jer je ipak cijena energije presudna [1].

Energetska učinkovitost LED rasvjetе ne ovisi samo o učinkovitosti svjetlećih dioda već i o upravljanju rasvjetom, čemu se u posljednje vrijeme pridodaje sve više pažnje i tehnologija se strelovito razvija. Korištenje LED tehnologije omogućuje dodatne uštede energije kroz koncept inteligentne rasvjetе čiji su sastavni dijelovi: detektori kretanja i osvijetljenosti, web upravljane aplikacije, hibridni sustav napajanja, LED rasvjeta napajana solarnom energijom ili iz mreže. Vremenom su ljudi zaključili da se kvaliteta električne rasvjetе može značajno pospješiti difuzijom svjetla, eliminacijom blještanja i kreiranjem atraktivnih svjetiljki.

Upravljanje rasvjetom može se podijeliti na : praktičnu primjenu, estetsku primjenu, primjenu radi uštede električne energije. Područja primjene se često i preklapaju. Upravljanje rasvjetom važno je u objektima tercijarnih djelatnosti kako bi se dnevno svjetlo maksimalno iskoristilo uz nužno upravljanje umjetnom rasvjetom. Upravljanje rasvjetom se može izvesti na više načina, najkvalitetniji je s kontinuiranom regulacijom i bez naglih promjena, odluka ovisi o namjeni objekta i o investicijskim troškovima. Prije ugradnje složenog sustava upravljanja rasvjetom potrebno je provjeriti isplativost investicije. Najveća stavka u trošku je izbor odgovarajućeg izvora svjetlosti, treba uzeti u obzir da neki izvori nisu prihvatljivi za kontinuirano upravljanje intenzitetom. Kod upravljanja rasvjetom bitno je u obzir uzeti i samog korisnika i njegove potrebe, potpuno automatizirana rasvjeta koja radi bez odziva na zauzetost prostora ne postiže dobre rezultate, najbrži povrat investicije ostvaruje se upotrebom upravljivih elektroničkih

predspojnih naprava [6]. Kod velikih zgrada može se uzeti u obzir i toplinska energija koju isijavaju rasvjetna tijela te time utječu na ventilacijski sistem. Već je ranije spomenuto kako svjetleće diode imaju daleko manju radnu temperaturu o odnosu na ostale konvencionalne izvore svjetlosti i time doprinose smanjenju troškova hlađenja, a u kućama i stanovima taj utjecaj i nije toliko zamjetan zbog malog prostora, no u velik objektima ušteda može biti osjetna. U nastavku su prikazane mogućnosti uštede električne energije upotrebom raznih postupaka upravljanja rasvjetom:

- upravljanje ovisno o prisutnosti dnevnog svjetla donosi 20 – 40 % uštede
- povećanje prodora dnevnog svjetla donosi 20 % uštede
- detekcija prisutnosti ili odsutnosti donosi 15 – 30 % uštede
- vremensko upravljanje rasvjetom (engl. time management) donosi 5 – 15 % uštede
- održavanje konstantne rasvijetljenosti donosi 10 – 20 % uštede

Bez obzira koja je namjena javne rasvjete, ona mora zadovoljavati osnovne međusobno povezane zahtjeve: funkcija, estetika, i ekonomičnost. Osnovna funkcija cestovne rasvjete je osiguranje minimalne propisane vrijednosti osvijetljenja prometnica, uzdužna jednolikost te smanjenje efekta bliještanja farova. Trošak ugradnje LED javne rasvjete, kao što je ranije spomenute, čini veliki početni trošak za lokalne zajednice, no uštedom koju ostvaruje LED rasvjeta se može otplatiti cjelokupni projekt.

#### **4.1 Napredni sustavi upravljanja rasvjetom**

Primjena distribuiranih (decentraliziranih) sustava automatskog upravljanja u industrijskim pogonima, transportu i kućanstvima pokazala se znatno prikladnijom nego primjena tradicionalnih (centraliziranih) sustava.[1]

Sustavi automatskog upravljanja sadrže: senzore, aktuatore, upravljačke module, komunikacijske mreže, korisničko sučelje i alate za upravljanje mrežom. Svi sustavi sadrže navedene komponente, a razlikuju se od pristupa proizvođača prema projektiranju i korištenju tih elemenata. Postoji tradicionalni pristup projektiranju sustava automatskog upravljanja koji se temelji na velikom broju senzora i aktuatora međusobno povezanih na upravljačku jedinicu pomoću komunikacijskog protokola, takav pristup ne može više pratiti sve složenije zahtjeve koji se danas postavljaju pred regulaciju rasvjete. Broj komponentata je sve veći i moderni sustavi automatskog upravljanja napuštaju tradicionalni pristup i nude pristup otvorene i distribuirane arhitekture. Karakteriziraju ga komponente kao čvorovi povezani u upravljačku

mrežu, ne postoji centralizirana upravljačka komponenta već se upravljanje obavlja u inteligentnim uređajima u mreži. Svaki čvor obavlja svoju upravljačku funkciju i naglasak se stavlja na prijenos informacija, a ne samo na izvršavanje naredbi.

Najpoznatije i najčešće korištene upravljačke mreže: Luxmate Professional i LITENET, EIB/KNX bus ("European Instalation Bus"), LON ("Local Open Network"), LUTRON (na bazi LON bus sustava), iCAN™ mreža (bazirana na CAN bus), CAN bus (Controller Area Network; ISO 11898/11519), Modbus, ProfiBUS, EtherCAT ("Ethernet for control and automation technology") [1].

Osnova svakog razmatranja energetske učinkovitosti unutarnje rasvjete je pokazatelj LENI. Kratica potječe od engleskog naziva Lighting Energy Numeric Indicator (prevedeno: brojčani pokazatelj energije rasvjete). Iznos pokazatelja određuje se na temelju godišnje potrošnje energije za rasvjetu, u odnosu na ukupno područje rasvijetljene površine.

$$W = Wl + Wp \quad (4.1)$$

- WL- procijenjeni godišnji iznos električne energije potrebne za funkciju i svrhu rasvjete građevine
- WP- parazitna električna energija

Važno je istaknuti da se energija za vanjsku rasvjetu ne uzima u obzir. U proračun se uzima isključivo energija potrebna za unutrašnju rasvjetu, koja služi za zadovoljenje potreba korisnika zgrade.

Utrošak električne energije za rasvjetu građevine, može se odvojeno mjeriti pomoću jednog od sljedećih postupaka, [5]:

- pomoću brojila električne energije koje je ugrađeno u rasvjetne krugove električne instalacije građevine
- pomoću lokalnih vatmetara ugrađenih u rasvjetne krugove električne instalacije građevine ili integriranih u sustave upravljanja rasvjetom
- pomoću sustava za upravljanje rasvjetom, koji mogu izračunati utrošenu električnu energiju za rasvjetu te omogućuju dostupnost ovih podataka i sustavu upravljanja građevinom (engl. Building Management System - BMS)
- pomoću sustava za upravljanje rasvjetom koji mogu računati potrošnju energije po dijelu građevine i omogućiti dostupnost ovih informacija u zadanom formatu, na primjer u obliku tablice

- pomoću sustava za upravljanje rasvjetom koji registriraju vrijeme rada rasvjete i intenzitet rasvjete te ove podatke povezuju s unutarnjom bazom podataka o instaliranoj snazi rasvjete.

Dan je primjer uštede zamjenom visokotlačnih živinih žarulja sa LED rasvjetom. Uzmimo za primjer da hala ima instalirano osamnaest visokotlačnih živinih svjetiljki svaka snage 250 W, te je mjerenjem dobiveno da se dnevno potroši 80,64 kWh [9] što uz cijenu od 0,93 kn/kWh trošak za rasvjetu dnevno iznosi 75 kn. Zamjeno postojećih rasvjetnih tijela sa LED rasvjetom ukupne instalirane snage 0.756 kW što je dobiveno mjerenjem [9], potrošnja električne energije se smanjuje na 12,08 kWh dnevno i dnevni trošak iznosi 11.23 kn. Na godišnjoj razini uštedi se 16.000 kn [9].

Trošak ugradnje LED javne rasvjete, kao što je ranije spomenuto, čini veliki početni trošak za lokalne zajednice, no uštedom koju ostvaruje LED rasvjeta se može otplatiti cjelokupni projekt.

## 5. ENEGETSKA UČINKOVITOST JAVNE RASVJETE-PRIMJER

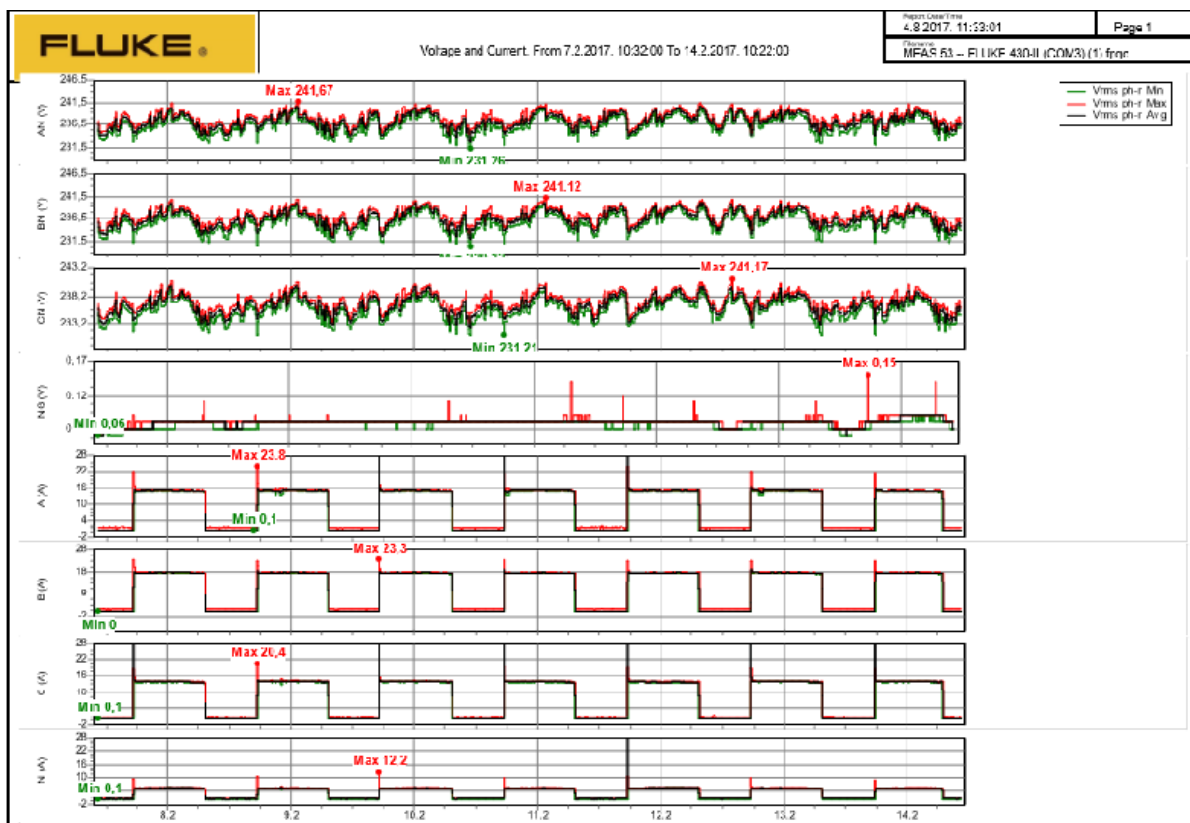
Rezultati električnih mjerenja javne rasvjete obrađeni su u programu „Fluke-Power Log 5.3“. Mjerene su vrijednosti za visokotlačnu natrijevu žarulju i za LED rasvjetu, a u nastavku je prikazana usporedba struje, napona, snage i potrošene energije za navedena rasvjeta tijela. Mjerenje je provedeno u vremenskom razdoblju od tjedan dana. Za izračun cijene potrošene električne energije uzeta je vrijednost od 0,54225 kn/kWh, a navedena cijena je službena cijena koja je vrijedila u vrijeme mjerenja. U tablici 5.1. prikazani su potrošači i period mjerenja.

Tablica 5.1. *Potrošači i period mjerenja*

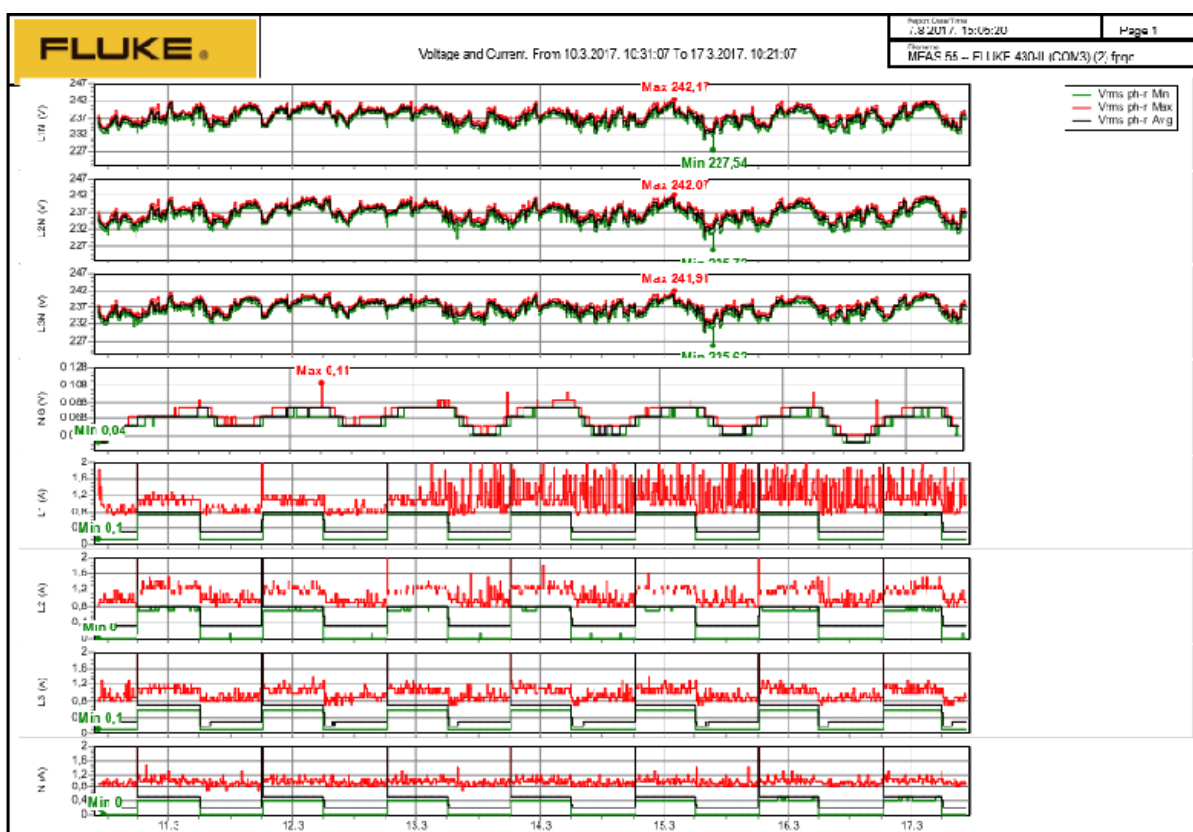
| Tehnologija sustava rasvjete | Broj svjetiljki | Snaga svjetiljke [W] | Ukupna snaga izvoda [W] | Period mjerenja         |
|------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| VTNA                         | 10              | 189                  | 1890                    | 7.2.2017-<br>14.2.2017  |
| LED                          | 10              | 17                   | 170                     | 10.3.2017-<br>17.3.2017 |

-VTNA- visokotlačna natrijeva žarulja

Iz priloženih slika grafova 5.1. i 5.2. vidi se kako je napon gotovo isti kod visokotlačnih natrijevih žarulja i kod LED rasvjete, razlikuje se u prosjeku za 1 V, znatna odstupanja u naponu nisu ni očekivana. Razlika kod iznosa struje je značajna, kod visokotlačnih natrijevih žarulja struja u prosjeku iznosi 17 A, a kod LED rasvjete 0,8 A. Radna struja svjetlećih dioda je znatno manja nego kod ostalih rasvjetnih tijela. Na grafovima se vide veliki strujni skokovi na prvoj i trećoj fazi, važno je napomenuti kako je mjerena samo druga faza i samo nju je potrebno analizirati. Jedino za drugu fazu se pouzdano zna da su na nju spojene isključivo natrijeve žarulje, te nakon promjene samo LED žarulje. Kako na drugoj fazi nema skokova u prvom mjerenju jasno je kako natrijeva rasvjeta ne uzrokuje strujne skokove.



Slika 5.1. Grafovi struje i napona za visokotlačnu natrijevu žarulju

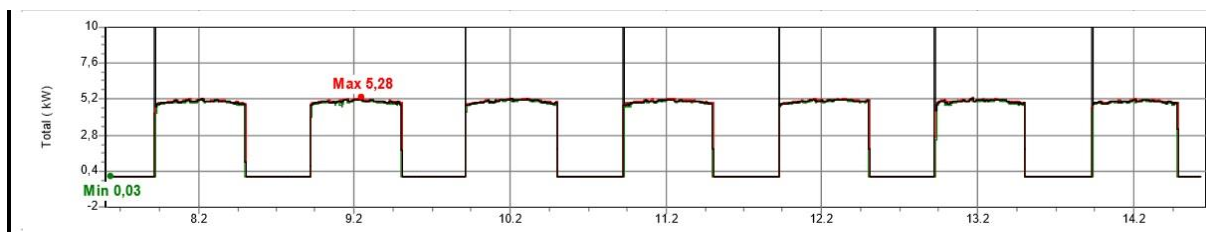


Slika 5.2. Grafovi struje i napona za LED rasvjetu

Razlika u snazi je značajna, do velike razlike dolazi zbog male struje na kojoj radi LED rasvjeta, snaga LED-a iznosi svega 170 W na mjerenoj drugoj fazi, dok za natrijeve visokotlačne žarulje iznosi prosječno 1,75 kW. Na slikama 5.3., 5.4., 5.5. i 5.6. prikazane su slike grafova snage za visokotlačnu natrijevu rasvjetu i LED rasvjetu, radi bolje preglednosti odvojeno su prikazani grafovi za snagu po fazama i grafovi ukupne snage rasvjete.

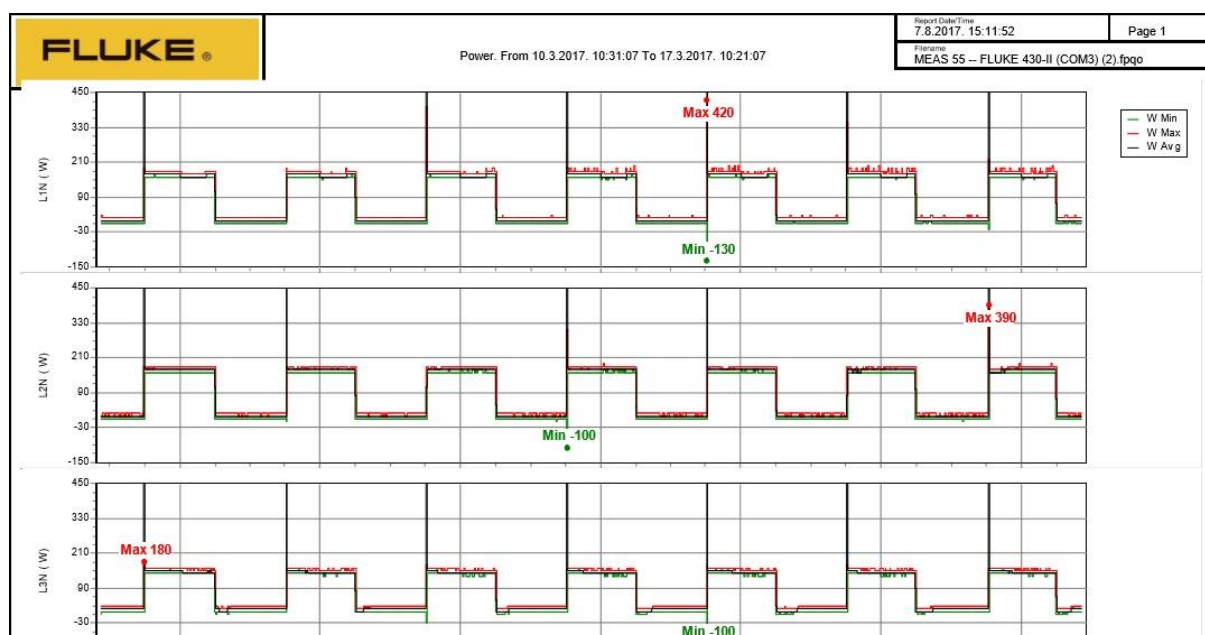


**Slika 5.3.** Graf snage po fazama visokotlačne natrijeve rasvjete

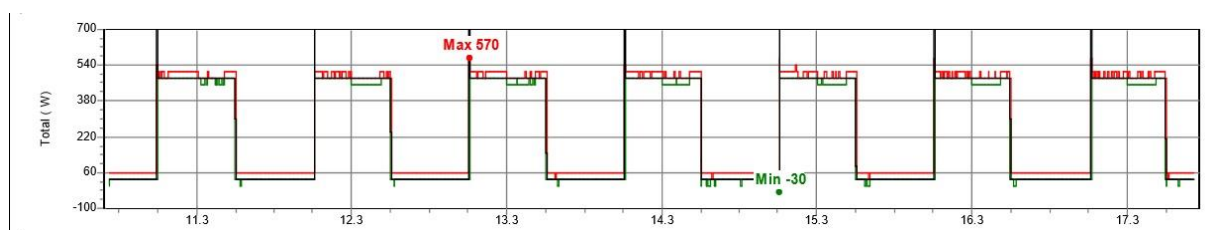


**Slika 5.4.** Graf ukupne snage za visokotlačnu natrijevu rasvjetu





Slika 5.5. Graf snage LED rasvjete po fazama



Slika 5.6. Graf ukupne snage LED rasvjete

U tablici 5.2. prikazani su dnevni prosjeci snage za visokotlačnu natrijevu žarulju u tjedan dana mjerenja.

Tablica 5.2. Prosjeci snage za visokotlačnu natrijevu rasvjetu

|        | Prosječna snaga [kW] |
|--------|----------------------|
| 1. dan | 1,8030               |
| 2. dan | 1,8130               |
| 3. dan | 1,8189               |
| 4. dan | 1,8288               |
| 5. dan | 1,8262               |
| 6. dan | 1,8170               |
| 7. dan | 1,8223               |

U tablici 5.3. su dani dnevni prosjeci snage za LED rasvjetu u tjedan dana mjerenja

**Tablica 5.3.** *Prosjeci snage za LED rasvjetu*

|        | Prosječna snaga [kW] |
|--------|----------------------|
| 1. dan | 0,17                 |
| 2.dan  | 0,17                 |
| 3.dan  | 0,17                 |
| 4.dan  | 0,17                 |
| 5.dan  | 0,17                 |
| 6.dan  | 0,17                 |
| 7.dan  | 0,17                 |

## 5.1 Usporedba potrošene električne energije

Iz dijagrama i tablica može se očitati koliko je rasvjeta radila tokom dana, odnosno noći. Uvidom u dijagram i tablice izračunato je kako je rasvjeta u prvom slučaju radila 5810 minuta u 7 dana, što iznosi 96 sati i 50 minuta odnosno 58% tjedna. Korištenjem ranije izračunate prosječne snage po danima i vremena koje je rasvjeta radila dobiva se potrošena električna energija, tako je u prvom slučaju potrošeno 176,10 kWh električne energije u tjedan dana mjerenja. U tablici 5.4. prikazana je potrošena električna energija za natrijevu visokotlačnu žarulju.

**Tablica 5.4.** *Potrošena električna energija za visokotlačnu natrijevu žarulju*

|                                | Električna energija [kWh] |
|--------------------------------|---------------------------|
| Natrijeva visokotlačna žarulja | 176,10                    |

U drugom slučaju sa svjetlećim diodama, rasvjeta je radila 4960 minuta, odnosno 82 sata i 40 min. U ovom slučaju rasvjeta je kraće radila jer je mjerenje obavljeno nekoliko tjedana kasnije kada je i danje svjetlo bilo duže te se rasvjeta kasnije palila i ranije gasila. Uzevši u obzir prosječnu snagu od 170 W, u tjedan dana potrošeno je 14,05 kWh električne energije što je značajnih 162,05 kWh manje u odnosu na prvi slučaj. Tablica 5.5. prikazuje potrošenu električnu energiju za LED rasvjetu.

**Tablica 5.5. Potrošena električna energija za LED rasvjetna tijela**

|              | Električna energija [kWh] |
|--------------|---------------------------|
| LED rasvjeta | 14,05                     |

Ukoliko bi se i za rasvjetu sa svjetlećim diodama uzelo u obzir da je radila 5810 minuta kao i rasvjeta sa visokotlačnim natrijevim žaruljama dobije se vrijednost potrošene energije u iznosu od 16,46 kWh, odnosno 159,64 kWh potrošeno manje nego rasvjeta sa visokotlačnim natrijevim žaruljama.

## 5.2 Ekonomska analiza

Rečeno je ranije kako će se uzeti cijena od 0,54225 kn/kWh koja je bila službena cijena u vrijeme mjerenja. Za slučaj visokotlačnih natrijevih žarulja cijena potrošene električne energije u tjedan dana iznosi 95,49 kn. Za rad LED rasvjete u tjedan dana mjerenja potrošeno 7,62 kn. Korištenjem led rasvjete ušteda na tjednoj razini iznosi 87,87 kn. U tablici 5.6. je prikazana prosječna godišnja, mjesečna i tjedna ušteda korištenjem LED rasvjete umjesto visokotlačne natrijeve rasvjete.

**Tablica 5.6. Ostvarena novčana ušteda korištenjem LED rasvjete**

| Vremensko razdoblje | Novčana ušteda [kn] |
|---------------------|---------------------|
| tjedan              | 87,87               |
| mjesec              | 351,49              |
| godina              | 4.217,84            |

U tablici 5.7. prikazana je godišnja ušteda električne energije korištenjem LED rasvjete na tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj razini.

**Tablica 5.7. Ušteda električne energije korištenjem LED rasvjete**

| Vremensko razdoblje | Ušteda električne energije [kWh] |
|---------------------|----------------------------------|
| tjedan              | 162,05                           |
| mjesec              | 648,2                            |
| godina              | 7.778,4                          |

## 6. ZAKLJUČAK

Žarulje sa žarnom niti su zamijenile svijeće i kerozinske lampe, fluorescentne žarulje su zamijenile žarulje sa žarnom niti u mnogim upotrebama. Iz današnje perspektive je izgledno da će LED rasvjeta zamijeniti i žarulje sa žarnom niti i fluorescentne žarulje, no ima li nešto što će zamijeniti LED rasvjetu? U zadnje vrijeme se mnogo govori o OLED rasvjeti koja je sljedeći korak, slovo „O“ u kratici OLED stoji za „organic“ ( hrv. organski) no to je i dalje LED rasvjeta. Razlika je u tome što se za izradu OLED rasvjete koriste organske materijali, za koje se tvrdi da su mehanički fleksibilniji što može dovesti do toga da će se OLED žarulje jednog dana izrađivati, odnosno printati pomoću 3D printera dok sam princip rada svjetleće diode ostaje isti. Kako će svjetleće diode dosegnuti maksimalnu moguću teoretsku iskoristivost, OLED tehnologija ako ih i zamjeni, to neće biti zbog efikasnosti već zbog nekih drugih trendova poglavito ako uspije biti jeftinija od LED rasvjete. Isto tako ako se pojave neki novi umjetni izvori svijetla upitno je hoće li biti isplativo razvijati iste i zamjenjivati LED rasvjetu njima jer ne mogu biti efikasnije od LED tehnologije, a LED tehnologija će postati vremenom i razvitkom vrlo jeftina i dostupna svima.

## LITERATURA

- [1] „Električna rasvjeta i učinkovitost“ - Marinko Stojkov, Damir Šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoski, Zvonimir Klaić, Dražan Kozak
- [2] Hrvatska norma HRN EN 13201;promjene parametara i implikacije na projektiranje- mr.sc. Ranko Skansi, dipl.ing
- [3] [http://www.fzoeu.hr/hr/energetska\\_ucinkovitost/javna\\_rasvjeta](http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/javna_rasvjeta) (preuzeto 27.06.2017)- Javna rasvjeta
- [4] „Lighting Handbook“- Illuminating Engineering Society of North America
- [5] „Tehnika i sigurnost prometa“- prof.dr.sc. Vesna Cerovac
- [6] „Practical Lighting Design With LEDs“- Ron Lenk, Carol Lenk
- [7] „LED rasvjeta- energetski učinkovit izvor svjetla“ – Željko Magić
- [8] „PREDNOSTI I IZAZOVI LED RASVJETE“ – IDA international dark sky association
- [9] [www.soled.hr](http://www.soled.hr) (preuzeto 28.6.2017)- LED rasvjeta u proizvodnoj hali

## **SAŽETAK**

U diplomskom radu obrađena je tema energetske učinkovitosti LED rasvjete, opisan je princip rada svjetleće diode i načini upravljanja istom. Napravljena je usporedba sa ostalim rasvjetnim tijelima, te su navedene svjetlotehničke veličine kojima se opisuju izvori svjetla i pojave koje svjetlo uzrokuje. Analizirani su rezultati mjerenja parametara javne rasvjete sa visokotlačnim natrijevim žaruljama i žarulja sa svjetlećim diodama, dana je njihova usporedba i prikazane su mogućnosti uštede električne energije. Dana je i ekonomska računica novčane uštede koja se ostvari korištenjem rasvjete sa svjetlećim diodama.

## **ABSTRACT**

The topic of energy efficiency of LED lighting is discussed in the thesis, the principle of light diode operation and the ways of controlling it are described. Comparison with other lighting fixtures was made, and there are written light-tech sizes that describe the sources of light and the light-induced phenomena. The results of the measurement of public lighting parameters with high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes are analyzed, their comparison is presented and the possibilities of saving electricity are shown. There is also an economic calculation of money savings that can be achieved by using lighting with light-emitting diodes.

## ŽIVOTOPIS

Nedjeljko Rado rođen je 23. ožujak 1993. godine u Osijeku, upisuje osnovnu školu „Jagode Truhelke“ 2000. godine. Svih osam razreda prolazi s odličnim uspjehom i uzornim vladanjem, te je nekoliko puta sudjelovao na školskim i županijskim natjecanjima iz geografije i biologije. Osim na natjecanjima iz znanja sudjelovao je i na sportskim natjecanjima iz juda i veslanja, također je trenirao tenis i ronjenje s bocama. Po završetku osnovne škole upisuje se u III. Gimnaziju Osijek, nekoliko puta je predstavljao školu na županijskim natjecanjima iz povijesti. Završio je srednju školu s vrlo dobrim uspjehom i uzornim vladanjem. Nakon završetka srednje škole upisuje se na Elektrotehnički fakultet u Osijeku, zadnjih 17 godina aktivno se bavi veslanjem, te sudjeluje na mnogim domaćim i međunarodnim regatama gdje redovito osvaja odličja, također zadnje tri godine sudjeluje na elektrijadi u veslačkoj sekciji. Osvojio je i mnoštvo medalja na državnim prvenstvima, svakodnevni treninzi naučili su ga radu i disciplini. Trenutno je student 5. godine smjera elektroenergetike, područje obnovljivi izvori energije te na jesen ove godine namjerava diplomirati i zaposliti se u Osijeku.