

Analiza zamjene postojećih fluorescentnih izvora svjetla LED tehnologijom

Kočevar, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:200:123157>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**ANALIZA ZAMJENE POSTOJEĆIH
FLUORESCENTNIH IZVORA LED TEHNOLOGIJOM**

Završni rad

Stjepan Kočevar

Osijek, 2023.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 04.07.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

| | |
|---|---|
| Ime i prezime Pristupnika: | Stjepan Kočevar |
| Studij, smjer: | Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija |
| Mat. br. Pristupnika, godina upisa: | 4768, 23.09.2019. |
| OIB Pristupnika: | 28086459778 |
| Mentor: | izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš |
| Sumentor: | Zorislav Kraus, dipl. ing. el. |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Naslov završnog rada: | Analiza zamjene postojećih fluorescentnih izvora svjetla LED tehnologijom |
| Znanstvena grana rada: | Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika) |
| Zadatak završnog rad: | Zadatak rada je provesti analizu povjesnog razvoja FLU izvor svjetlosti. Potrebno je objasniti fiziklanu pozadinu transformacije električne energije u svjetlost u FLU cijevima analizirajući ulogu pojedinih komponenete sustava na strujne i naponske veličine. Analizu razvoja LED tehnologije izvor svjetlosti treba proširiti sa realnim primjerima koji ukazuju na izazove koju pružaju elementi elektronike u obliku |
| Prijedlog ocjene završnog rada: | Vrlo dobar (4) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene od strane mentora: | 04.07.2023. |
| Datum potvrde ocjene od strane Odbora: | 12.07.2023. |
| Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada: | Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije. |
| | Datum: |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 13.07.2023.

Ime i prezime studenta:

Stjepan Kočevar

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4768, 23.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza zamjene postojećih fluorescentnih izvora svjetla LED tehnologijom**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora Zorislav Kraus, dipl. ing. el.

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Zadatak Završnog rada | 1 |
| 2. POVIJESNI RAZVOJ IZVORA SVJETLOSTI | 2 |
| 3. FLUORESCENTNI IZVOR SVJETLA | 6 |
| 3.1. Grada fluorescentne cijevi..... | 7 |
| 3.2. Redoslijed sastavljanja FLU cijevi | 7 |
| 3.3. Pogon i rad fluorescentnih cijevi | 8 |
| 3.3.1. Starter | 9 |
| 3.3.2. Prigušnica | 11 |
| 3.4. Princip rada sustava FLU rasvjete..... | 13 |
| 3.5. Primjena trenutnih FLU izvora svjetla..... | 13 |
| 4. LED TEHNOLOGIJA | 16 |
| 4.1. Princip nastajanja svjetla svjetlećih dioda | 16 |
| 4.2. Poluvodički materijali za izradu LED-a | 17 |
| 4.3. Podjela trenutnih svjetlećih dioda | 18 |
| 4.4. Razvoj LED tehnologije..... | 21 |
| 5. ZAMJENA FLUORESCENTNIH IZVORA SVJETLA LED TEHNOLOGIJOM..... | 24 |
| 5.1. Analiza nepredviđenog otkaza prigušnice FLU rasvjete..... | 24 |
| 5.2. Prijedlog korektivnih radnji | 27 |
| 5.3. Modeliranje novog LED sustava rasvjete | 28 |
| 5.4. Ugradnja novih svjetiljki i provedba mjerenja osvjetljenja | 29 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 32 |
| LITERATURA | 33 |
| SAŽETAK..... | 37 |
| ABSTRACT | 37 |
| ŽIVOTOPIS..... | 38 |

1. UVOD

Tehnologija rasvjete prošla je kroz značajne promjene tijekom proteklih desetljeća, a jedna od najvažnijih inovacija u području rasvjete je LED tehnologija (Light Emitting Diode). LED rasvjeta je postala sveprisutna u mnogim područjima, zamjenjujući tradicionalne izvore svjetla poput fluorescentnih cijevi (FLU). Fluorescentne svjetiljke bile su popularan izbor za rasvjetu u mnogim primjenama, uključujući kućnu i poslovnu rasvjetu. Međutim, sada se mnogi prebacuju na LED tehnologiju zbog njene bolje kvalitete svjetlosti, fleksibilnosti, trajnosti i održivosti. LED tehnologija je doživjela ekspanziju u različitim područjima kao što su kućna rasvjeta, javna rasvjeta, komercijalna rasvjeta i industrijska rasvjeta.

U ovom radu analizirana je zamjena FLU izvora svjetla LED tehnologijom, istražujući prednosti i nedostatke ove tranzicije. Zamjena postojećih izvora svjetlosti LED tehnologijom najčešće je posljedica težnje poboljšanja energetske učinkovitosti, ali često i praćenja trendova u uređenju unutarnjih i vanjskih prostora. Svi tehnički sustavi imaju svoj životni vijek koji je teško procijeniti. Analiza provedena u radu je posljedica otkaza prigušnice FLU rasvjete ureda instalirane 1995. godine koja je dovela do kratkog spoja praćenog zvučnom eksplozijom i topljenjem dijela kućišta bakrenog namota. U radu su prikazani praktični koraci zamjene rasvjete od prve termografske analize događaja, modeliranja prostora u programskoj podršci RELUX i određivanje prikladnih armatura koje će zadovoljiti svojim svjetlosnim tokom važeću normu HRN EN 12464-1 koja definira zahtjeve na rasvjetu unutarnjih radnih mjesta. U radu su također proučene karakteristike i performanse FLU i LED izvora svjetla, uspoređujući ih u različitim aspektima kao što su trajnost, boja svjetla i ekološki utjecaj.

1.1. Zadatak Završnog rada

Zadatak rada je provesti analizu povijesnog razvoja FLU izvora svjetlosti. Potrebno je objasniti fizikalnu pozadinu transformacije električne energije u svjetlost u FLU cijevima analizirajući ulogu pojedinih komponente sustava na strujne i naponske veličine. Analizu razvoja LED tehnologije izvor svjetlosti treba proširiti sa realnim primjerima koji ukazuju na izazove koju pružaju elementi elektronike u obliku smanjenja očekivanog životnog vijeka. U konačnici na primjeru uredske prostorije provesti analizu zamjene fluorescentnih izvora svjetla LED tehnologijom.

2. POVIJESNI RAZVOJ IZVORA SVJETLOSTI

Ljudi su oduvijek bili zainteresirani za pronalazak načina za osvjtljavanje okoliša i prostora u kojem borave. Vatra je bila prvi izvor svjetla koji je koristio čovjek. Ljudi su upotrebljavali vatru za grijanje i osvjtljavanje prostora još u prapovijesno doba.

Prve svijeće osmislili su 3000. godine prije Krista drevni Egipćani. Od 3000. godine prije Krista do negdje 500. godina prije Krista ljudi su koristili ulje kao glavno gorivo za svjetiljke. Rimske svjetiljke bile su izrađene od terakote ili brončane legure. Svjetiljke od terakote su obično bile prilično jednostavne, s osnovnim oblikom i ručkom za nošenje. S druge strane, brončane svjetiljke često su bile bogato ukrašene i imale su detaljne reljefe ili gravure na svojoj površini. One su ostale popularne sve do pojave električne rasvjete. Danas se takve svjetiljke koriste u dekorativne svrhe ili prilikom posebnih događaja i svečanosti kako bi stvorile toplu i romantičnu atmosferu. Tek početkom devetnaestog stoljeća došlo je do prekretnica u razvoju izvora svjetlosti.

1802. godine Humphry Davy prvi je demonstrirao način rada elektrolučne svjetiljke koristeći ugljene štapiće i baterije s 2000 članaka, postigavši razmak između štapića 100 mm [1]. 1812. godine u Pall Mallu zahvaljujući Fredericku Winsoru pojavile su se prve plinske svjetiljke koristeći plin od ugljena kao gorivo za svjetiljke [2]. Plinske svjetiljke široko su se koristile u industrijskim postrojenjima i tvornicama.

Patent Edisonove prve praktične žarulje sa žarnom niti 1879. godine [3] predstavlja nastavak razvijanju izvora svjetlosti. Edisonova žarulja je bila prvi komercijalni izvor svjetlosti koji je bio praktičan za svakodnevnu upotrebu. Ova žarulja koristi žarnu nit od tankog vlakna koja se grije do visoke temperature i emitira svjetlost. Originalne žarulje su bile neefikasne i imale su kratki vijek trajanja, ali su tijekom vremena poboljšane i postale standardna rasvjeta u kućanstvima.

Prva demonstracija indirektna rasvjete bila je povezana s razvojem plinske rasvjete u 19. stoljeću. Jedan od prvih primjera indirektna rasvjete bio je "Hologhane" sustav razvijen od strane Andrea Blondela u Sjedinjenim Američkim Državama 1898. godine [4]. Indirektna rasvjeta postala je popularna zbog svog ugodnog i ravnomjernog osvjtljenja, a koristila se u različitim kontekstima kao što su javne zgrade, uredi, trgovački centri i slično.

Prva neonska svjetiljka razvijena je i demonstrirana 1910. godine. Francuski fizičar Georges Claude smatra se pionirima u razvoju neonskih svjetiljki [5]. Claude je koristio plin neon

kao svjetlosni izvor koji se aktivira kroz električnu struju. Neon je emitirao karakterističnu svijetlo crvenu boju, stvarajući spektakularne vizualne efekte.

Tijekom 1930-tih razvijene su živine, fluorescentne te natrijeve žarulje. Živine žarulje koristile su električno pražnjenje u živinom plinu kako bi generirale ultraljubičasto svjetlo, koje zatim prolazi kroz premaz na unutarnjoj strani stakla i pretvara se u vidljivo svjetlo. Živine žarulje su bile vrlo energetski učinkovite, ali sadrže živu, pa su postupno zamijenjene drugim tehnologijama. Fluorescentne žarulje koristile su se široko u komercijalnim i industrijskim prostorima. Ove žarulje sadrže plin (obično argon) i unutar staklenog kućišta imaju premaz od fosfora. Kada električna struja prolazi kroz plin, ona generira ultraljubičasto svjetlo koje potiče fosfor da emitira vidljivo svjetlo. Fluorescentne žarulje su energetski učinkovite, ali zahtijevaju balast kako bi radile. Natrijeve žarulje koriste natrijev par u staklenom kućištu za generiranje svjetlosti. Natrijeve žarulje emitiraju karakteristično žućkasto svjetlo i često se koriste za javnu rasvjetu na ulicama, parkiralištima i stadionima.

1940-tih pojavile su se prve PAR (Parabolic Aluminized Reflector) svjetiljke. One koriste parabolično reflektirajuće kućište koje je obloženo aluminiziranim premazom kako bi se usmjerila svjetlost u željenom smjeru. To omogućuje koncentriranu i usmjereniju svjetlost u usporedbi s običnim žaruljama, što je čini pogodnom za primjene gdje je potrebna fokusirana svjetlost. Uvođenje PAR lampi unaprijedilo je kontrolu i učinkovitost rasvjete u različitim primjenama, pružajući precizno usmjerenu svjetlost s većom energetskom učinkovitošću.

Emmett Wiley i Elmer Fridrich otkrili su halogenu rasvjetu 1955., a kasnije su 1959. dobili patent za halogenu žarulju od volframa [6]. Volframova halogena uključuje dodatak halogenih plinova u unutrašnjost žarulje kako bi se poboljšale performanse i produžio vijek trajanja. Važno je napomenuti da je razvoj volframovih halogenih žarulja rezultirao napredovanjem i drugih vrsta halogenih žarulja s različitim karakteristikama, kao što su kvart-zastora halogene žarulje i metal-halidne žarulje, koje su se također naširoko koristile u različitim primjenama.

1965. godine u rasvjetnu industriju uvedene su prve komercijalne visokotlačne natrijeve žarulje [7]. Uvođenje visokotlačnih natrijevih žarulja donijelo je poboljšanja u energetskoj učinkovitosti rasvjete, pružajući svijetlo s visokom luminozitetom i dugim vijekom trajanja. Prednost visokotlačnih natrijevih žarulja je njihova visoka učinkovitost u pretvaranju električne energije u svjetlost. Važno je napomenuti da su se tijekom vremena razvile i druge vrste natrijevih žarulja, kao što su niskotlačne natrijeve žarulje (LPS - Low-Pressure Sodium) koje

emitiraju monokromatsku žutu svjetlost i imaju još veću energetska učinkovitost u usporedbi s visokotlačnim natrijevim žaruljama.

Tijekom 1960-tih uvedene su i prve metal-halogene (MH) žarulje. MH žarulje su vrsta plinske žarulje s izbojem visokog intenziteta [8]. Naprednija su verzija natrijevih žarulja i koriste se za generiranje svjetlosti pomoću električne struje koja prolazi kroz plinovitu smjesu metalnih halogena i pomoćnih plinova. Koriste kombinaciju metala poput žive, indija, talija, bromida i jodida kako bi poboljšale kvalitetu svjetlosti koju emitiraju. Ove žarulje pružaju bijelu svjetlost koja ima bolju reprodukciju boja u usporedbi s natrijevim žaruljama.

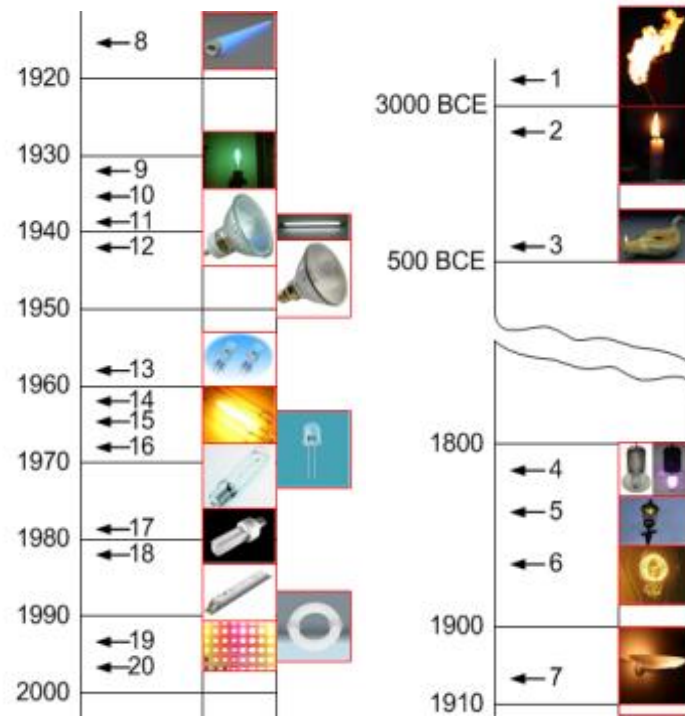
1962. godine konstruirana je prva praktična svjetleća dioda (Light emitting diode) u laboratoriju General Electrica (GE) u Sjedinjenim Američkim Državama [9]. Nick Holonyak Jr., znanstvenik iz GE-a, uspio je dizajnirati svjetleću diodu koja je emitirala svjetlost u crvenom spektru. Ova dioda je koristila leguru galijevog arsenida fosfida (GaAsP) kao poluvodički materijal. Tijekom 1970-ih znanstvenici su uspjeli proširiti raspon boja LED-a. Pojavile su se LED-ice koje su emitirale svjetlost u zelenom, žutom i narančastom spektru. Također, razvijeni su različiti poluvodički materijali, kao što su legure aluminijskog galijeva arsenida (AlGaAs), koji su omogućili širi spektar boja.

Također 1970-ih godina razvijena je prva kompaktna fluorescentna (FLUO-kompaktna) žarulja. Znanstvenik Ed Hammer i njegova ekipa u tvrtki General Electric (GE) smatraju se pionirima u razvoju kompaktnih fluorescentnih žarulja. Oni su prvi patentirali takvu žarulju 1976. godine [10]. Primarna svrha Kompaktne fluorescentne žarulje bila je pružiti veću energetska učinkovitost, dulji vijek trajanja i manju emisiju topline u usporedbi s tradicionalnim žaruljama sa žarnom niti.

Tijekom 1980-tih razvijene su prve komercijalne svjetiljke bez elektroda poznate kao indukcijske ili elektromagnetske svjetiljke. Glavna prednost takvih svjetiljki je njihova dugotrajnost. Budući da nemaju elektrode, koje su dijelovi tradicionalnih žarulja koje se troše, indukcijske svjetiljke imaju znatno dulji vijek trajanja. Osim toga, ove svjetiljke su energetska učinkovite i pružaju visoku kvalitetu svjetlosti. Važno je napomenuti da su se tijekom vremena razvile i druge vrste svjetiljki bez elektroda, poput plazma svjetiljki i neonskih cijevi, koje također koriste slične principe elektromagnetske indukcije za generiranje svjetlosti.

Veliki napredak u LED tehnologiji postignut je 1990-ih. Japanski znanstvenik Shuji Nakamura, zajedno s kolegama iz tvrtke Nichia Corporation, uspio je razviti prvu komercijalno dostupnu plavu LED-icu [11]. Plava svjetleća dioda bila je ključna jer je omogućila kombinaciju

s crvenom i zelenom diodom za proizvodnju bijelog svjetla. Nakon toga, LED tehnologija brzo je napredovala. LED-ovi postaju sve svjetliji, učinkovitiji i jeftiniji. Danas se LED-ovi koriste u raznim područjima, uključujući kućnu rasvjetu, javnu rasvjetu, zaslonima na elektroničkim uređajima, automobilskoj industriji, signalizaciji, osvjetljenju ekrana i mnogim drugim primjenama.



Slika 2.1. Povijesni razvoj izvora svjetlosti [12]

3. FLUORESCENTNI IZVOR SVJETLA

Fluorescentne cijevi (FLU) danas čine oko 30 % ukupnih rasvjetnih tijela u unutrašnjim prostorima. Najčešće su štapnog, okruglog i „U“ oblika, dok duljina i debljina cijevi variraju, kao i broj cijevi u armaturi [13].



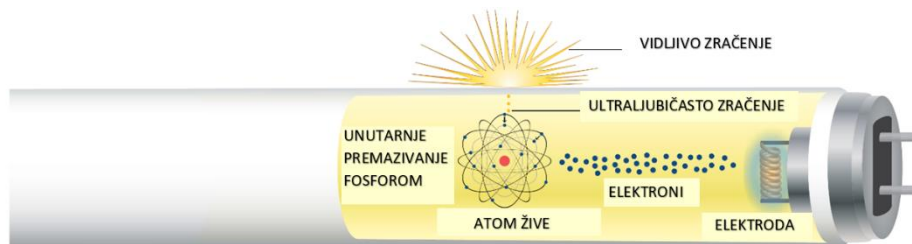
Slika 3.1. Najčešće korišteni oblici fluorescentnih cijevi [13]

FLU cijevi pretvaraju više od 20 % električne energije u korisni oblik, svjetlost [14]. Razlog je tehničke prirode, a posljedično korištenje FLU je ekonomske prirode. Samo za usporedbu klasične žarulje pretvaraju 3 % do 5 % električne energije u svjetlost, dok je njihova (ne)učinkovitost od strane potrošača ponekad uvjetovana uvjetima primjene (visoke ili preniske temperature okoline). Kad su kućanstva na području Europske unije od 2009. godine po sili zakona prešli na učinkovitije izvore svjetlosti, na području SAD-a tranzicija prema novijim tehnologijama započinje od 2023. godine, [15]. Skoro svi poslovni prostori koji nisu prošli rekonstrukciju u posljednjih desetak godina kao izvore svjetlosti koriste neki od oblika FLU cijevi. Oni rade na principu fluorescencije i fotoluminiscencije. Fotoluminiscencija može biti dvojaka; materijali mogu emitirati svjetlost dok je prisutno zračenje što zovemo fluorescencija, a postoje i materijali koji nastavljaju emitiranje svjetlosti nakon što se dokine pobuda što nazivamo fosforescencija. Krutine pokazuju oba svojstva, dok plinovi mogu iskazati samo fluorescenciju.

Postoji čitav niz iluminatora: fosfor, berilium, razni silikoni-kadmiuma i cinka i sl. Svima je svojstveno da je emitirana svjetlost veće valne dužine od pobude. Navedenu pojavu prvi je otkrio George Gabriel Stokes 1852. godine, [16].

3.1. Građa fluorescentne cijevi

Građa fluorescentne cijevi prikazana je na slici 3.2.

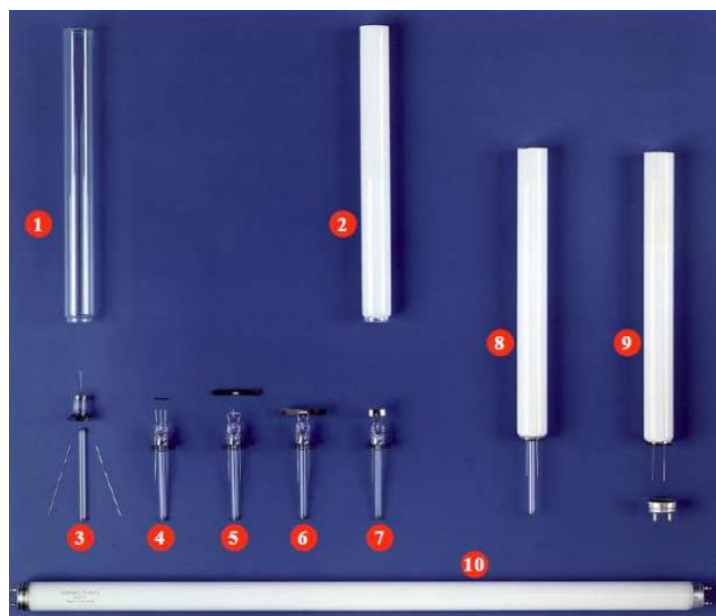


Slika 3.2. Unutrašnjost fluorescentne cijevi

Fluorescentne cijevi sastoje se od staklene cijevi, najčešće izrađene od stakla ili kvarca, koja je dugačka nekoliko stotina milimetara i promjera od nekoliko centimetara na čijim krajevima se nalaze podnošci iz kojih vire kontaktne nožice koje služe za priključak svjetiljke na pogonski napon [17]. Na krajevima cijevi s unutrašnje strane nalaze se dvije elektrode – anoda i katoda. Kontaktne nožice i elektrode su povezane strujnim uvodnicama koje moraju imati isti koeficijent istezanja kao i stakleno podnožje kako ne bi došlo do pucanja stakla pri zagrijavanju. Električnu vezu između elektroda unutar cijevi i vanjskog napona omogućuju karakteristično stakleno podnožje koje je pričvršćeno na obje strane cijevi. Zatim u unutrašnjosti cijevi nalazi se smjesa plemenitih plinova i atomi žive koji igraju ključnu ulogu u generiranju svjetlosti. Sudarom elektrona s atomom žive, dolazi do procesa emisije. Elektron prenosi energiju atomu žive, potičući ga na prijelaz s nižeg energetskeg stanja na više. Smjesa plinova u fluorescentnoj cijevi često uključuje argon, plemeniti plin koji je kemijski inertan i omogućuje stabilno provođenje električne energije kroz cijev. Također važan dio građe fluorescentne cijevi je fluorescentni sloj, odnosno sloj materijala koji se nanosi na unutarnju stranu stakla cijevi. Fluorescentni sloj sastoji se od različitih spojeva fosfora čija je glavna sposobnost apsorpiranja UV svjetlosti i emitiranja vidljive svjetlosti različitih boja, poput bijele, hladno bijele ili tople bijele.

3.2. Redoslijed sastavljanja FLU cijevi

Redoslijed sastavljanja FLU cijevi tijekom proizvodnje možemo vidjeti na slici 3.3. [18]

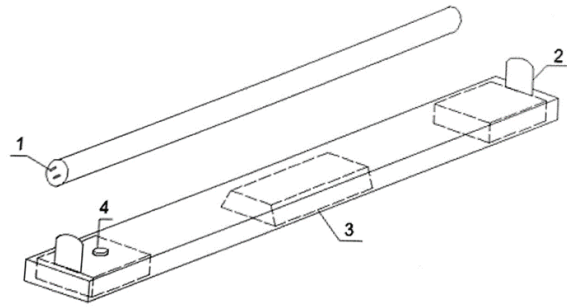


Slika 3.3. Prikaz redoslijeda sastavljanja FLU cijevi [18]

Prvo se staklena cijev oblikuje prema željenom dizajnu i duljini, te se rezanje obavlja prema potrebnim dimenzijama (1). Zatim se fluorescentni premaz nanosi ravnomjerno na cijelu površinu cijevi kako bi se postigao željeni efekt svjetlucanja ili svijetljenja (2). Tada slijedi postupak pričvršćivanja elektroda na metalnu glavu cijevi koristeći izvode ili druge čvrste mehanizme (3-7). Elektrode su obično metalne šipke ili kontaktne pločice koje služe za priključivanje cijevi na izvor napajanja. Nakon toga slijedi pričvršćivanje metalne glave s elektrodama na oba kraja staklene cijevi kako bi se osiguralo stabilno držanje elektroda i spajanje s cijevima. U nekim slučajevima potrebno je provesti postupak lemljenja kako ne bi došlo do odvajanja metalne glave od staklene cijevi. Potrebno je na krajeve metalnih glava instalirati priključke koji će omogućiti spajanje cijevi na izvor napajanja (8-9). Priključci mogu djelovati i kao nosači koji drže cijev. Na kraju, treba provjeriti sastavljanje kako bi bili sigurni da su sve komponente čvrsto spojene i pravilno postavljene (10).

3.3. Pogon i rad fluorescentnih cijevi

Za pogon i rad cijevi koriste se tzv. predspojne naprave. To su električki sklopovi koji reguliraju struju koja prolazi kroz fluorescentnu cijev. Obično su smještene unutar kućišta svjetiljke ili u posebnom kućištu pored svjetiljke. S obzirom na njihovu funkciju razlikuju se dvije vrste predspojnih naprava: starter i prigušnica. Na slici 3.4. prikazana je fluorescentna cijev s predspojnim napravama.



Slika 3.4. Fluorescentna cijev s predspojnim napravama (1 – kontaktne nožice, 2 – nosač cijevi, 3 – prigušnica, 4 – starter) [12]

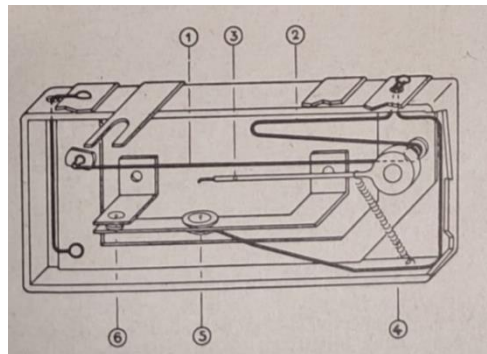
3.3.1. Starter

Glavna uloga startera kod fluorescentnih cijevi je pokretanje i inicijalno paljenje cijevi. Starter je elektronički uređaj koji kontrolira protok električne energije kroz cijev kako bi se postiglo paljenje. Kada se sklopka za uključivanje svjetla pritisne, električna energija protječe kroz fluorescentnu cijev. Međutim, fluorescentne cijevi zahtijevaju visoki napon kako bi se pokrenuo proces ionizacije plina unutar cijevi. Ovdje dolazi i do glavne uloge startera. Starter sadrži bimetalnu traku i kondenzator. Kada se sklopka pritisne dolazi do zagrijavanja bimetalne trake. Zagrijavanjem, bimetalna traka se savija i mijenja položaj, zbog čega se kondenzator napuni. Kada se bimetalna ohladi, vraća se u prvobitni položaj. Ovaj proces uzrokuje nagli prekid struje i stvara visoki napon koji je potreban za paljenje plina unutar fluorescentne cijevi. Visoki napon inicira ionizaciju plina i pokreće luminiscentni proces u cijevi, što rezultira emisijom svjetlosti.



Slika 3.5. Starter sa i bez kućišta

Razlikujemo dvije glavne vrste startera: termički starteri i elektronički starteri. Termički starteri su tradicionalna vrsta startera koji koriste termički princip za generiranje topline kako bi se omogućilo paljenje fluorescentnih cijevi.



Slika 3.6. Termički starter sa osnovnim dijelovima [19]

Na slici 3.6. nalazi se termički starter u osnovnoj konstrukciji. U kutiji od sintetičkog materijala nalazi se grijaća žica (1) na kojoj se nastavlja zaštitni otpor (2). Poluga (3) je tako zategnuta grijaćom žicom da padne kad dolazi do zagrijavanja i rastezanja žice. U ovom pokretu polugu (3) vuče cilindrična opruga (4). Kad poluga padne na kontakt (5) zaštitni otpor je kratko vezan te istovremeno se otvara kontakt (6) i prekida vezu između elektroda fluorescentnih cijevi [19]. Termički starteri imaju dvije elektrode koje se zagrijevaju prilikom uključivanja svjetiljke. Kad se elektrode zagriju, zatvara se električni kontakt i dolazi do prolaska visokog napona kroz svjetiljku. Visoki napon potiče paljenje plina unutar cijevi što rezultira osvjetljenjem svjetiljke.

Elektronički starteri modernija su alternativa klasičnim starterima. Oni koriste elektroničke komponente za generiranje potrebnog impulsa za pokretanje fluorescentne cijevi. Elektronički starteri pružaju brže i pouzdanije paljenje fluorescentnih cijevi. Oni se često koriste u novijim fluorescentnim svjetiljkama i imaju dodatne funkcionalnosti poput prigušivanja svjetline i zaštite od preopterećenja.



Slika 3.7. Elektronički starter [20]

Međutim starteri koji se koriste u fluorescentnim cijevima imaju nekoliko nedostataka koji su postali razlog za prelazak na modernije tehnologije rasvjete. Starteri imaju ograničen vijek trajanja, podložni su trošenju i mogu se oštetiti tijekom vremena. Kada starter prestane raditi, fluorescentna cijev se neće upaliti ili će imati poteškoća s paljenjem. Kako bi se osiguralo ispravno paljenje cijevi, trebaju se redovito provjeravati i mijenjati. To može biti dodatni trošak i neugodnost za korisnike. Starteri troše dodatnu energiju dok se cijev pali. Kada se pritisne sklopka za uključivanje svjetla, starter troši određenu energiju za stvaranje inicijalnog visokog napona koji je potreban za paljenje cijevi. Ova potrošnja energije nije optimalna u smislu energetske učinkovitosti. Starteri mogu proizvoditi buku ili zujanje tijekom rada. To može biti iritantno, posebno u prostorima gdje je potrebna tišina ili koncentracija, poput ureda ili školskih učionica. Starteri su osjetljivi na niske temperature. U hladnim okruženjima, kao što su vanjski prostori ili hladne prostorije, starteri mogu imati poteškoće s pokretanjem i paljenjem cijevi. Kod češćeg uključivanja i isključivanja svjetla, smanjuje se otpornost startera što može utjecati na vijek trajanja startera i zahtijevati češću zamjenu FLU cijevi.

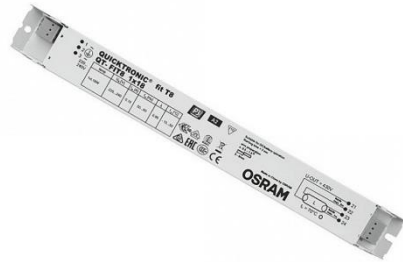
3.3.2. Prigušnica

Nakon što se cijev upali, starter se isključuje iz strujnog kruga, a uloga kontrole protoka energije dalje preuzima prigušnica. Prigušnica je uređaj koji ograničava struju koja prolazi kroz cijev kako bi spriječila prekomjerno zagrijavanje i oštećenje. Ona pomaže u održavanju ravnoteže između potrebne struje za paljenje i rad cijevi, te sprječava prekomjerne struje koje bi mogle uzrokovati kvarove ili prekid rada. Prigušnica kontrolira visinu napona kako bi osigurala da je napon u određenim granicama koje su sigurne za rad cijevi.

Stabilan napon omogućava konstantnu emisiju svjetlosti i sprječava prekomjerno trošenje cijevi. Prigušnica može pružiti visoki napon za inicijalno paljenje cijevi putem startera, a zatim prilagoditi napon kako bi održala stalno svjetlo tijekom rada cijevi. S obzirom na način reguliranje struje koja prolazi kroz fluorescentnu cijev razlikujemo elektroničku i elektromagnetsku prigušnicu.

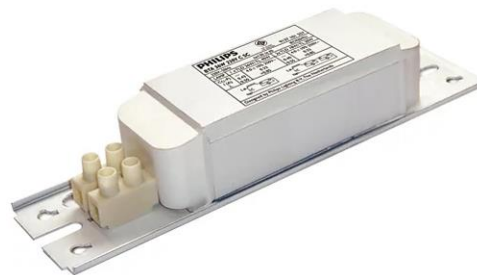
Elektroničke prigušnice koriste elektroničke komponente, uključujući tranzistore i integrirane krugove, za reguliranje struje i napajanje fluorescentne cijevi. One koriste elektroničke metode za upravljanje i kontrolu struje, čime postižu veću efikasnost i preciznost u reguliranju svjetlosti. Obično su energetske učinkovitije od elektromagnetskih prigušnica. One smanjuju potrošnju energije, omogućujući bolju kontrolu struje i stvarajući manje gubitke energije u obliku topline. Elektroničke prigušnice mogu imati veću efikasnost, što rezultira

manjom potrošnjom energije i nižim troškovima električne energije. Elektroničke prigušnice obično ne uzrokuju primjetno treperenje svjetlosti i omogućuju glatko prigušivanje. One imaju veću frekvenciju rada (obično više od 20000 Hz), što rezultira stabilnijom i konstantnijom svjetlošću. Ovo je posebno važno u područjima gdje se zahtijeva konstantna i ne-treperava svjetlost, poput ureda ili radnih prostora.



Slika 3.8. Elektronička prigušnica - T8 - 18 W [21]

Elektromagnetske prigušnice koriste elektromagnetske indukcijske principe za reguliranje struje i napajanje fluorescentne cijevi. One se sastoje od transformatora i indukcijske zavojnice potrebne za kontrolu struje i generiranje naponskog impulsa za pokretanje svjetiljke. Elektromagnetske prigušnice mogu uzrokovati primjetno treperenje svjetlosti, posebno pri niskim frekvencijama rada (obično oko 50 - 60 Hz). To može biti problematično u situacijama gdje se zahtijeva stabilna svjetlost, posebno za duže vremensko razdoblje.



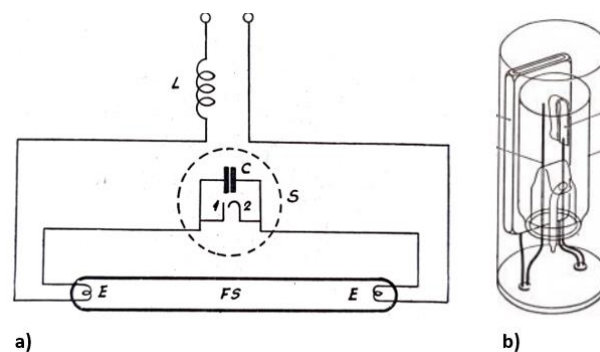
Slika 3.9. Elektromagnetska prigušnica 36 W [22]

Novije tehnologije poput LED-a ne sadrže prigušnicu upravo iz sljedećih razloga: Prigušnice u fluorescentnim cijevima troše određenu količinu energije, pri čemu se dio energije gubi kao toplina, što može rezultirati manjom energetsom učinkovitošću u usporedbi s drugim rasvjetnim tehnologijama, poput LED rasvjete. Prigušnice su često veće i teže od drugih komponenti fluorescentnih svjetiljaka. To može otežati ugradnju i održavanje, posebno u prostorima gdje je prostor ograničen. Prigušnice emitiraju elektromagnetsko zračenje tijekom rada. Iako je razina zračenja obično unutar sigurnih granica, neki ljudi mogu biti osjetljivi na

elektromagnetska polja i mogu doživjeti nelagodu ili zdravstvene probleme. Prigušnice mogu generirati zvukove poput zujanja ili brujanja tijekom rada. Ova buka može biti smetnja u prostorima gdje je potrebna tišina ili koncentracija, poput ureda ili školskih učionica. Prigušnice nisu uvijek u stanju pružiti glatko prigušivanje ili promjenu svjetline. Ovo može biti nedostatak za prostorije koje zahtijevaju prilagodljivu rasvjetu. Prigušnice mogu imati poteškoće s radom u hladnim okruženjima. Niske temperature mogu uzrokovati smanjenje učinkovitosti prigušnice i otežati pokretanje i paljenje cijevi.

3.4. Princip rada sustava FLU rasvjete

Načelna električna shema FLU izvora svjetlosti prikazana je na slici 3.10.



Slika. 3.10. Električna shema i sustava FLU rasvjete a) i starter b) [19]

Princip rada sustava FLU rasvjete (prikazan slikom 3.10.) svodi se na to da starter (S) u trenutku uključanja pravi kratki spoj koji zagrijava dvije volfram elektrode (E) što dovodi do inicijalnog proboja argona koji se ionizira pri nižim naponima i nižoj temperaturi i grijanjem pomaže isparavanju živinih para. Živine pare počinju emitirati zračenje na 253,7 nm koje se na fosforom premazu transformira u vidljivu svjetlost. Kako bi se proces regulirao i da ne bi došlo do pregaranja, prigušnica omogućuje da dođe do pada napona u strujnom krugu i smanjenja struje. Proces pada napona i regulacije struje se kontinuirano odvija kako se mijenja napon izmjenične pojne mreže. Kompletna energija prenosi se kroz prigušnicu što dovodi do njenog zagrijavanja. U novije vrijeme radi smanjenja flikera i uklopne struje razvijene su elektroničke prigušnice, ali fizikalna pozadina emisije svjetlosti ostala je ista.

3.5. Primjena trenutnih FLU izvora svjetla

S obzirom na stalan rast cijene električne energije, u kućanstvima se sve više počinju koristiti tzv. kompaktne ili štedne žarulje (eng. Compact fluoresescent lamp – CFL), dizajnirane s ciljem da budu energetske učinkovitije od običnih fluorescentnih žarulja. Po principu rada se ne

razlikuju od fluorescentnih žarulja, međutim imaju kompaktniji oblik. Na slici 3.11. možemo vidjeti različite vrste kompaktnih fluorescentnih žarulja.



Slika 3.11. Različite vrste kompaktnih fluorescentnih svjetiljki [23]

Ključni dijelovi CFL žarulje su elektroničke ili magnetske prigušnice i FLU cijev punjena plinom. Postoje dvije vrste štednih žarulja: integrirane i neintegrirane. Osnovna razlika je u tome što se integrirane sastoje od FLU cijevi i prigušnice koje zajedno predstavljaju jedan sklop, dok neintegrirane imaju cijev i prigušnicu kao dva zasebna dijela (mogu biti dvokontaktne ili četverokontaktne). Neintegrirane žarulje imaju prigušnicu veće dimenzije i dulji im je vijek trajanja od prigušnica integriranih žarulja te se prilikom pregaranja mijenja samo žarulja, a prigušnica se i dalje koristi. U konačnici neintegrirane žarulje su skuplje nego integrirane. Na slici 3.12. možemo vidjeti integriranu i neintegriranu kompaktnu fluorescentnu žarulju.



Slika 3.12. Integrirana fluokompaktna žarulja a) [24] i neintegrirana fluokompaktna žarulja b) [25]

Energetska učinkovitost kompaktnih fluorescentnih žarulja (CFL) određena je omjerom između izlazne svjetlosne snage (lumena) i ulazne električne snage (wati). Prosječna energetska učinkovitost CFL žarulja iznosi oko 50 do 70 lumena po vatu (lm/W). To znači da za svaki uloženi watt električne energije, CFL žarulja pruža izlaznu svjetlosnu snagu od približno 50 do 70 lumena. 60 % električne energije žarulje od 30 W pretvara se u svjetlost, proizvodeći 1600 lumena. 12 W (40 %) gubi se kao toplina [26].

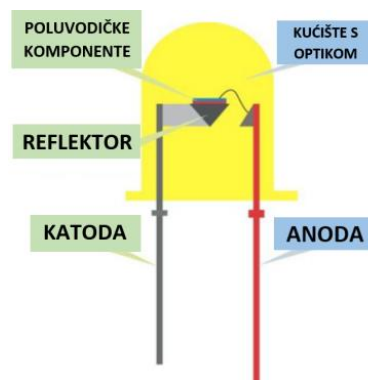


Slika 3.13. Energetska učinkovitost CFL žarulje snage 30 W [26]

Osim kompaktne fluorescentne žarulje (CFL), trenutno se koriste i druge vrste fluorescentnih izvora svjetla (FLU): Fluorescentne svjetiljke s linearnom cijevi često se koriste u komercijalnim i industrijskim prostorima kao opća rasvjeta. Imaju dulji vijek trajanja i jače su od CFL žarulja i pružaju učinkovito osvjetljenje velikih prostora. Zatim se koriste i fluorescentne svjetiljke s visokim intenzitetom (HID) koje uključuju metal-halogene svjetiljke (MH) i visokotlačne natrijeve svjetiljke (HPS). HID svjetiljke se često koriste za javnu rasvjetu, stadione, parkirališta i industrijske prostore. Također se koriste UV fluorescentne svjetiljke koje emitiraju ultraljubičasto (UV) svjetlo koje se koristi u različitim primjenama poput medicinske dijagnostike, sterilizacije, fotokemije, kemijskih analiza i rukovanja fluorescentnim materijalima. Postoje i razne specijalne fluorescentne svjetiljke kao što su UV-A svjetiljke koje se koriste u svjetiljkama za detekciju i ispitivanje forenzičkih tragova i fluorescentne svjetiljke za biljke koje emitiraju valne duljine svjetlosti koje su pogodne za fotosintezu.

4. LED TEHNOLOGIJA

Unatoč prednostima koje nude postojeći fluorescentni izvori svjetla sa starterima i prigušnicama, s obzirom na sve nedostatke i posljedice koje uzrokuju predspojne naprave, mnogi se odlučuju za jeftiniju, energetske učinkovitiju i moderniju LED tehnologiju izvora svjetlosti, jer svjetleće diode ne zahtijevaju korištenje startera i prigušnica nego koriste učinkovitiji i pouzdaniji elektronički uređaj „driver“ za kontroliranje i regulaciju napajanja LED-ova što ih čini atraktivnim izborom za zamjenu trenutnih fluorescentnih izvorima svjetla. Driver pretvara izmjeničnu struju (AC) iz električne mreže u stalnu struju (DC) koju LED zahtijeva za rad. Također pruža potrebnu struju i regulira naponsku razinu kako bi svjetleća dioda radila na optimalnom nivou. Veća pouzdanost i učinkovitost ovog elektroničkog uređaja rezultira manjim gubicima energije i duljim vijekom trajanja svjetlećih dioda. Osim toga, driveri za LED pružaju mogućnost reguliranja svjetline i boje svjetla, što omogućava fleksibilnost u prilagođavanju osvjetljenja prema potrebama korisnika. Globalno, LED svjetla već sada čine oko polovicu svih izvora svjetlosti. Nepotrebno je reći da je ovo ogromno postignuće, a prema istraživačima, do 2030. oko 87 % svih izvora svjetlosti moglo bi biti LED [27]. Na slici 4.1. možemo vidjeti od kojih se osnovnih dijelova sastoji svaka svjetleća dioda.

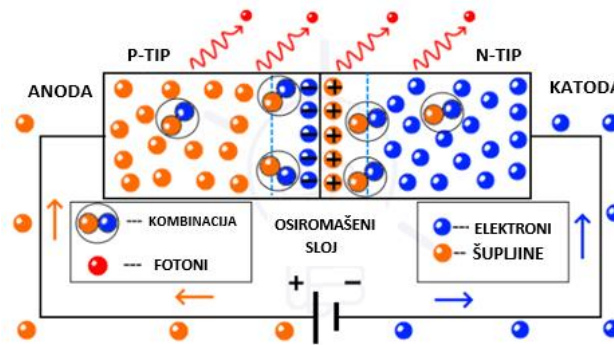


Slika 4.1. Presjek i osnovni dijelovi svjetleće diode [28]

4.1. Princip nastajanja svjetla svjetlećih dioda

LED rasvjeta bazira se na poluvodičkoj tehnologiji odnosno koristi svjetleće diode kao izvor svjetlosti. Svjetleća dioda (LED) je elektronički poluvodički uređaj koji se zasniva na principu elektroluminiscencije; sastavljen je od različitih slojeva poluvodičkih materijala, P – sloja i N – sloja, između kojih se nalazi energetska barijera [30]. N – sloj sadrži veliku koncentraciju slobodnih elektrona, dok P – sloj obuhvaća veću koncentraciju šupljina. Spoj poluvodiča P – tipa i N – tipa nazivamo PN spoj. Kada se primijeni električna struja na LED,

elektroni se ubrzavaju prema PN spoju. Kada elektroni naelektriziraju N-tip materijala, oni prelaze u P-tip materijala i spajaju se sa šupljinama u tom sloju. Taj proces prelaska elektrona iz N-tipa u P-tip rezultira oslobađanjem energije u obliku svjetlosti. Na ovaj način nastaje elementarni izvor svjetla – foton [29].



Slika 4.2. Princip rada svjetleće diode [30]

4.2. Poluvodički materijali za izradu LED-a

Svjetleće diode sastoje se od poluvodičkih materijala koje čine elementi iz III. i V. skupine periodnog sustava elementa (poznati kao III-V materijali) [31]. Budući da se radi o novoj generaciji rasvjetnih tijela, razvijene su posebne kombinacije poluvodičkih materijala, a neki od njih su: Galijev arsenid (GaAs), Galijev fosfid (GaP), Galij arsen fosfid (GaAsP), Galij aluminij nitrid (GaAsN), Aluminij galij fosfid arsenid (AlGaP), Silicijev karbid (SiC) i Galij indij nitrid (GaInN). U tablici 4.1. možemo vidjeti kombinacije poluvodičkih materijala te koju boja svjetlećih dioda generiraju.

Tablica 4.1. Kombinacije poluvodičkih materijala prema generiranim bojama

| Poluvodički materijal | Valna duljina | Boja |
|-----------------------|---------------|-------------|
| GaAs | 850 – 940 nm | Infracrvena |
| GaAsP | 640 – 660 nm | Crvena |
| GaAsP | 605 – 620 nm | Narančasta |
| GaAsP:N | 585 – 595 nm | Žuta |
| AlGaP | 550 – 570 nm | Zelena |
| SiC | 430 – 505 nm | Plava |
| GaInN | 450 nm | Bijela |

4.3. Podjela trenutnih svjetlećih dioda

U današnjem svijetu najveću pažnju imaju LED tehnologije za kreiranje svjetlećih dioda bijele boje. Stvaranje bijele boje ostvaruje se na 2 načina: prvi način je korištenje konverzije boje putem fosfora. LED emitira svjetlost u plavom dijelu spektra, a ta plava svjetlost prolazi kroz sloj žutog fosfora koji konvertira plavu svjetlost u širi spektar svjetlosti, te ju pretvara u bijelu boju temperature do 7000 K.



Slika 4.3. Plavi LED + žuti fosfor [32]

Drugi način je znatno složeniji jer se temelji na upotrebi tri dioda različitih boja (crvena, plava i zelena) koje se nalaze u istom kućištu te se ravnopravnim miješanjem dobiva bijela boja.



Slika 4.4. Crveni LED + plavi LED + zeleni LED [32]

UV svjetleće diode pojavile su se posljednjih godina kao alternativa tradicionalnim UV svjetiljkama [33]. Održiviji su izvor energije od UV svjetiljki, mogu trenutno postići maksimalnu izlaznu snagu i postaju sve učinkovitiji i ekonomski isplativiji. Nužno je naglasiti da su svjetleće diode uređaji koji nisu kao FLU izvori naponom upravljani uređaji, već su strujom upravljani uređaji. Kod svjetlećih dioda ne vrijedi Ohmov zakon iz razloga što napon i struja nisu proporcionalni već je njihov međusobni odnos eksponencijalan [34]. Vrijednost struje je promjenljiva, dok je napon napajanja stalan. U tom slučaju znamo da snaga koja nastaje varira ovisno o struji. Prema trenutačnom stanju na tržištu, proizvodnju svjetlećih dioda ovisno o njezinim karakteristikama, svojstvima te prednostima možemo razvrstat u nekoliko kategorija:




LED-ovi malih snaga kojima je maksimalna snaga do 0,3 W. Osnovna karakteristika im je u tome da se generirana toplinska energija troši na samom kućištu i nije potreban dodatan sustav za hlađenje. Manjih su dimenzije zbog čega je i manja svjetlosna snaga. Koriste se za dekorativnu rasvjetu i signalizaciju.



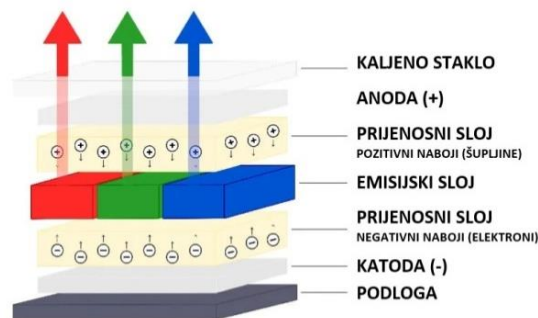
Slika 4.5. LED snage 0,3 W [35]

Zatim postoje svjetleće diode velikih snaga koje su dizajnirane za primjenu u jakoj rasvjeti, kao što su svjetla za stadione i rasvjeta u velikim zgradama. Imaju veliku svjetlosnu snagu i učinkovitost, ali i veću potrošnju energije. Zbog velike toplinske energije koja se ne može iskoristiti na samom kućištu, potreban je dodatan sustav za hlađenje. Hlađenje dioda velikih snaga realizira se na nekoliko načina: hladnjaci s aktivnim zračnim hlađenjem, hladnjaci s tekućim hlađenjem, termo električno hlađenje, aktivno hlađenje ventilatorima, integrirani sustavi hlađenja.

Tablica 4.2. Primjeri LED-a velikih snaga [36], [37], [38]

| Tehničke karakteristike |  |  |  |
|---------------------------------|---|---|---|
| Radni napon | 37 V | 45 V | 36 V |
| Radna struja | 1 400 mA | 880 mA | 1 080 mA |
| Snaga | 57 W | 38 W | 40 W |
| Svjetlosni tok | 6 500 lm | 4 000 lm | 4 900 lm |
| Svjetlosna iskoristivost | 114 lm/W | 103 lm/W | 130 lm/W |
| Kut | 120° | 120° | 115° |
| Temperatura boje | 2 700 – 5 000 K | 4 000 K | 2 700 – 5 000 K |
| Proizvođač | CREE [36] | OSRAM [37] | SAMSUNG [38] |

Iako je OLED u industriji još od 1987. godine, zbog tehničkih prepreka tek je 1996. godine napravljen prvi zaslon, a tek 2004. godine pojavio se prvi komercijalno dostupan OLED TV tvrtke Sony [39]. OLED-ovi koriste organske poluvodičke materijale (na bazi ugljika) koji emitiraju svjetlost kad se elektricitet primjenjuje preko katode i anode [40]. Kako bi došlo do pojave svjetlosti, barem jedna od elektroda mora biti prozirna. Intenzitet emitiranog svjetla kontrolira se količinom električne struje koju primjenjuju elektrode, a boja svjetla određena je vrstom emitirajućeg materijala. Za stvaranje bijelog svjetla većina uređaja koristi crvene, zelene i plave emitere koji se mogu rasporediti u nekoliko konfiguracija [40], prikazanim slikom 4.6.



Slika 4.6. Struktura OLED-a [40]

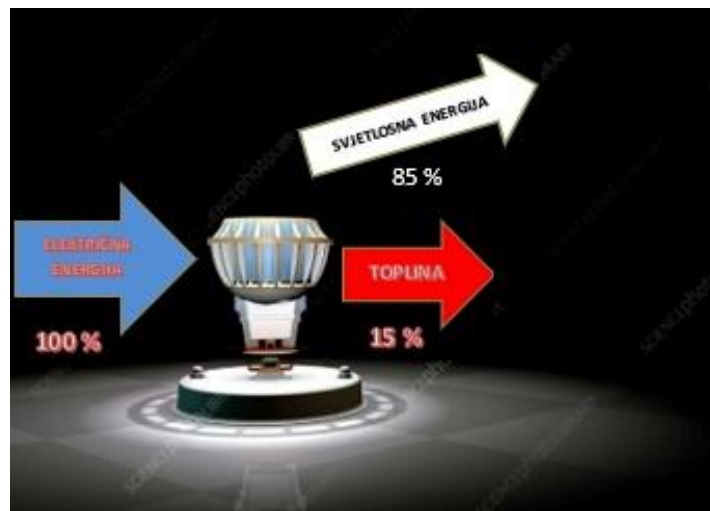
Glavna prepreka usvajanju OLED-a na tržištu je trošak. Trenutna cijena OLED panela je oko 100 dolara po kilolumenu. Ured za građevinske tehnologije (BTO) Ministarstva energetike SAD-a (DOE) objavio je svoje izvješće pod nazivom „Solid-State Lighting R&D Opportunities“ u kojem kažu da bi OLED rasvjeta postala komercijalno održiva, cijena panela mora pasti na oko 10 dolara po kilolumenu [41]. Sve aktualnije su i fleksibilne LED trake, koje sadrže niz svjetlećih dioda postavljenih jedna do druge. Vrlo su popularne kao izvor svjetlosti za dekorativnu ili funkcionalnu rasvjetu. LED trake mogu biti samoljepljive, što olakšava montažu na različite površine. Također mogu se rezati na određene duljine kako bi se bolje prilagodile prostoru.



Slika 4.7. Primjer upotrebe LED trake u unutarnjim prostorima [42]

4.4. Razvoj LED tehnologije

LED rasvjeta predstavlja revolucionarno-modernu rasvjetu baziranoj na poluvodičkoj tehnologiji koja ima pregršt boljih i značajnih prednosti u odnosu na trenutnu fluorescentnu rasvjetu. Prema podacima iz međunarodne agencije za energiju (engl. International energy Agency – IEA), 18 – 19 % ukupne električne energije koristi se za rasvjetu. Iz tog razloga koristi se LED rasvjeta koja troši puno manje električne energije za rad. Zato se sve više ljudi odlučuju za LED rasvjetu jer su LED svjetla do 80 % učinkovitija u usporedbi s fluorescentnim žaruljama. Za razliku od fluorescentnih svjetala, LED svjetla pretvaraju 85 % svoje energije u svjetlost, a samo 15 % se gubi kao toplina [43].



Slika 4.8. Energetska učinkovitost svjetleće diode [43]

LED izvori svjetla troše značajno manje energije u usporedbi s FLU izvorima, što rezultira nižim računima za električnu energiju i smanjenjem ukupne potrošnje energije. Cijena je također jedan od važnih čimbenika prelaska sa fluorescentnih izvora svjetlosti na LED tehnologiju. Iako LED tehnologija zahtjeva sofisticiranije komponente, dugoročno mogu rezultirati značajnijim uštedama u troškovima električne energije što može nadoknaditi razliku u inicijalnoj cijeni. U suvremenom svijetu potrošnja električne energije postala je i globalni problem. Na globalnoj razini, postotak ljudi s pristupom električnoj energiji u stalnom je porastu tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Godine 1990. oko 71 % svjetske populacije imalo je pristup; to se povećalo na 87 % u 2016. godini [44]. U novijim istraživanjima taj postotak je u porastu. Naime 2021. godine postotak globale populacije s pristupom električnoj energiji povećao se sa 87 % na 91 % [45]. LED tehnologija kroz koncepte inteligentne rasvjete i web upravljanja, LED rasvjete omogućava dodatnu uštedu energije. Također velika važnost primjene LED tehnologije je i zbog utjecaja na okoliš. LED rasvjeta je ekološki prihvatljiva jer ne sadrži

štetna UV zračenja ni štetne tvari poput žive ili drugih toksičnih materijala te time smanjuje emisiju stakleničkih plinova i pomaže u smanjenju opterećenja na električne mreže. Ranija istraživanja iz izvora [46] pokazala su da LED rasvjeta kod učenika stvara osjećaj sigurnosti prilikom boravka u školi. Takozvana „biološka optimizirana“ rasvjeta koja se koristila tokom istraživanja proizvedena je kombiniranjem plave i bijele svjetleće diode. Dokazano je da su učenici pod LED rasvjetom postizali bolje rezultate u ispitima i imali veću koncentraciju od skupine koja je bila pod standardnim, ne optimiziranim osvjetljenjem. Kad bismo mogli koristiti samo LED tehnologiju, ta bi se količina mogla smanjiti za više od 75 % – što predstavlja ogromno smanjenje emisija CO₂ i drugih zagađivača koji se trenutno ispuštaju u atmosferu [46]. Također, jedna od boljih prednosti LED izvora svjetlosti u usporedbi s fluorescentnim izvorima je da svjetleće diode trenutačno pružaju punu svjetlinu bez ikakvog kašnjenja ili treperenja. Kada se LED svjetiljka uključi, svjetlo dostiže punu svjetlinu bez potrebe za zagrijavanjem ili vremenskim zakašnjenjem. S druge strane, fluorescentni izvori svjetlosti obično imaju kratko vrijeme kašnjenja pri paljenju. Kada se fluorescentna cijev uključi, potrebno je nekoliko trenutaka da dosegnu punu svjetlinu. Tijekom tog vremena, svjetlost može biti manje intenzivna ili može treperiti dok se plinovi u cijevi aktiviraju i stabiliziraju. Posebnost ove prednosti je u situacijama gdje je potrebno brzo osvjetljenje ili kada se koristi senzorsko upravljanje rasvjetom. Kad je riječ o osvjetljenju i upravljanjem rasvjete dolazi se do nove prednosti LED rasvjete. Ona omogućuje bolju kontrolu nad svjetlinom i bojom svjetlosti te prilagodbu intenziteta svjetla čime se smanjuje potrošnja električne energije kad nije potrebna puna svjetlina. Nadalje, LED rasvjeta pruža veću fleksibilnost u dizajnu osvjetljenja u usporedbi s fluorescentnom rasvjetom. Zatim čvršća je i izdržljivija, što ju čini otpornijom na udarce i vibracije.

Razvoj LED tehnologije izvora svjetlosti donio je brojne prednosti, ali također je suočen s nekim izazovima koji mogu utjecati na očekivani životni vijek svjetlećih dioda. U teoriji LED tehnologija ima vrlo dugi vijek trajanja koji se kreće od 50000 do čak 100000 radnih sati (dok vijek trajanja fluorescentnih izvora svjetla oko 20000 do 30000 radnih sati), što znači manju potrebu za zamjenom svjetiljki, smanjenje troškova održavanja, veća ušteda energije i manji troškovi. U praksi se može dogoditi da LED svjetla imaju manji životni vijek od očekivanog iz nekoliko razloga:

1. Ako LED svijetlo nema dobro dizajnirano termalno upravljanje, može doći do prekomjernog zagrijavanja LED čipa. Visoke temperature mogu uzrokovati degradaciju čipa i drugih elektroničkih komponenti, što skraćuje životni vijek svijetla.

2. Kvaliteta materijala koji se koriste u LED svjetlima može varirati. Upotreba niskokvalitetnih materijala može dovesti do degradacije ili oštećenja dijelova svjetla tijekom vremena, što dovodi do smanjenja životnog vijeka.

3. Stabilno napajanje je ključno za pravilan rad LED svjetala. Ako je napajanje nepravilno regulirano ili postoje fluktuacije u napajanju, to može uzrokovati stres na LED čipovima i drugim komponentama, smanjujući njihovu dugovječnost.

4. LED svjetla mogu biti izložena ekstremnim uvjetima okoline poput visoke vlažnosti, ekstremnih temperatura, UV zračenja ili kemijskih tvari. Ovi uvjeti mogu uzrokovati koroziju, degradaciju materijala ili oštećenje elektroničkih komponenti, što dovodi do smanjenja životnog vijeka svjetla.

5. U nekim slučajevima, niska kvaliteta proizvodnje može dovesti do neispravnosti ili nedostataka u LED svjetlima. Ovo može uključivati loše lemljenje ili druge probleme koji mogu utjecati na trajnost svjetla.

Važno je napomenuti da su ovi izazovi prepoznati u industriji i stalno se radi na poboljšanju LED tehnologije kako bi se postigao dulji životni vijek. Kvalitetan dizajn, odabir visokokvalitetnih materijala, pravilno napajanje i odgovarajuća zaštita mogu pomoći u produljenju životnog vijeka LED svjetla.

5. ZAMJENA FLUORESCENTNIH IZVORA SVJETLA LED TEHNOLOGIJOM

Za analizu zamjene fluorescentnih izvora svjetla LED tehnologijom korišten je profesionalni softverski program RELUX. On uključuje procjenu i proračun potrebnih promjena u rasvjetnom sustavu, koristi se za planiranje, analizu i simulaciju osvjetljenja unutarnjih i vanjskih prostora. RELUX pruža korisnicima alate za precizno postavljanje svjetiljki, izračun osvjetljenosti, analizu kvalitete svijetlosti, simulaciju dnevnog svjetla, proračun energetske učinkovitosti, vizualizaciju projekta i druge korisne funkcionalnosti. Program podržava različite vrste svjetiljki, uključujući LED, halogene, fluorescentne i druge, te omogućuje korisnicima odabir i usporedbu različitih svjetiljki u skladu s njihovim potrebama. Zatim omogućuje korisnicima precizno modeliranje prostora, postavljanje parametara kao što su visina stropova, površine zidova i podova, transparentnost materijala i drugi relevantni podaci. Na temelju tih informacija, softver pruža vizualne simulacije osvjetljenja kako bi korisnici mogli procijeniti raspodjelu svjetlosti u prostoru i potencijalne probleme s osvjetljenjem. RELUX također podržava razmjenu podataka s drugim softverima za projektiranje, kao što su CAD programi, što olakšava integraciju s drugim alatima koji se koriste u procesu projektiranja.

5.1. Analiza nepredviđenog otkaza prigušnice FLU rasvjete

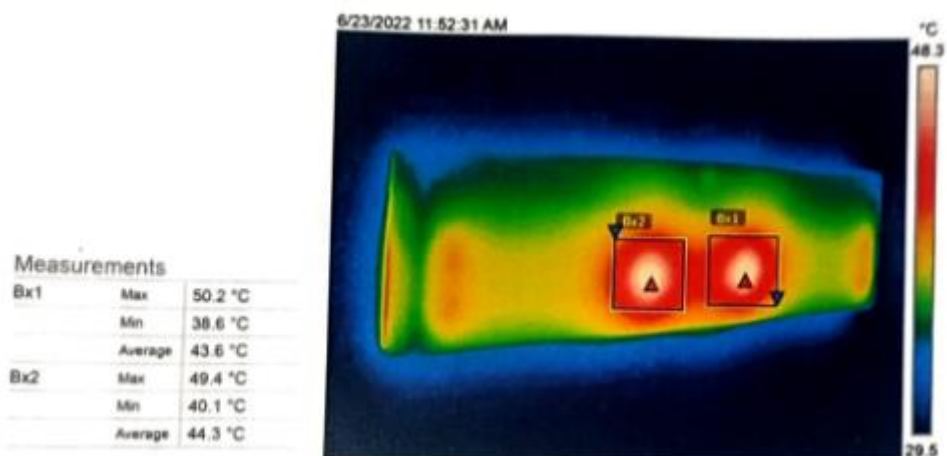
Povod radu dao je nepredviđeni događaj otkaza (eksplozije) prigušnice jedne armature FLU rasvjete smještene u kabinetu 2-29 Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na lokaciji Kneza Trpimira 2B. Rasvjetno tijelo je postavljeno 1995. godine u sklopu modernizacije rasvjete. U prosjeku izvori svjetla (cijevi) mijenjane su svakih 5 godina pri čemu vizualnom inspekcijom nisu nikada uočeni problemi s prigušnicama (promjena boje plastike ili spojnice). Dana 23.06.2022. godine temperatura prostora dosegla je 29 °C. Kabinet koji je zaštićen krošnjama drveća neophodno je rasvijetliti sukladno HR EN 12464-1:2021 [47], zbog čega je rasvjeta bila u funkciji. U jednoj svjetiljki došlo je do eksplozije. Termografskom analizom prikazane su prve tri minute događaja koji je napravio kratki spoj i isključio kompletan sustav rasvjete. Na slici 5.1. može se vidjeti termalni obrazac neposredno nakon eksplozije.



Slika 5.1. Termalni obrazac neposredno nakon otkaza prigušnice [48]



Slika 5.2. Komad rastaljene prigušnice pada na podlogu difuzora [48]



Slika 5.3. Dva komada prigušnice na podlozi difuzora u postepenom hlađenju [48]

Na slici 5.2 može se uočiti komad prigušnice koji je svojim odvajanjem i padom na difuzor svjetiljke doveo do povećanja temperature na 138 °C. Nakon pola minute još jedan dio prigušnice pada na difuzor, ali brzo dolazi do hlađenja. Skidanjem difuzora ustanovljen je uzrok kratkog spoja i razmjeri nastale štete, prikazane na slici 5.4. i slici 5.5.

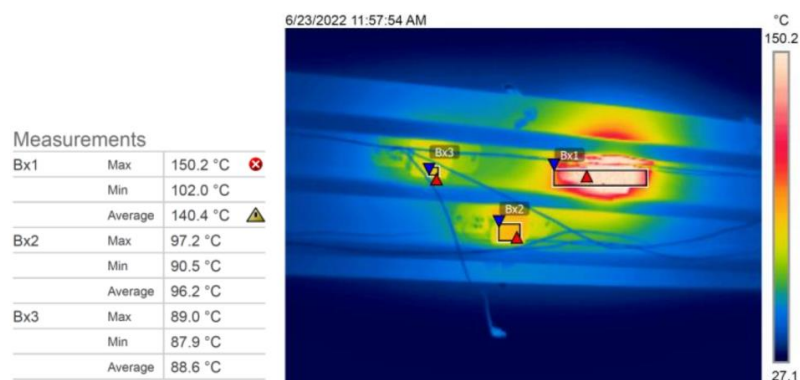


Slika 5.4. Difuzor rasvjetnog tijela i komadi plastičnog kućišta prigušnice uočeni termografskom analizom



Slika 5.5. Razmjeri štete uslijed kratkog spoja jedne od prigušnica

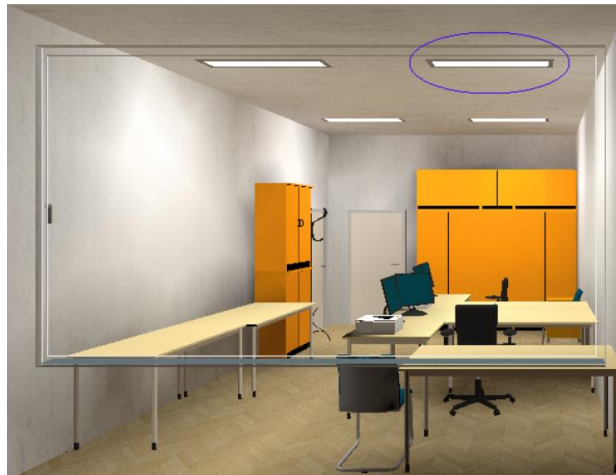
Termografskim pregledom prigušnice uočeno je i ograničenje termografske kamere koja mjeri do 150 °C. Navedeni iznos predstavlja požarnu opasnost, ali zbog limenog nosača koji je spojnim mjestima odvojen od konstrukcije stropa te je konstruktivnim rješenjem opasnost od požara minimalna. Približna temperatura ostale dvije prigušnice vidljiva je na slici 5.6. i kreće se oko 90 °C.



Slika 5.6. Nepotpuna termografska analiza zbog ograničenog temperaturnog opsega kamere [48]

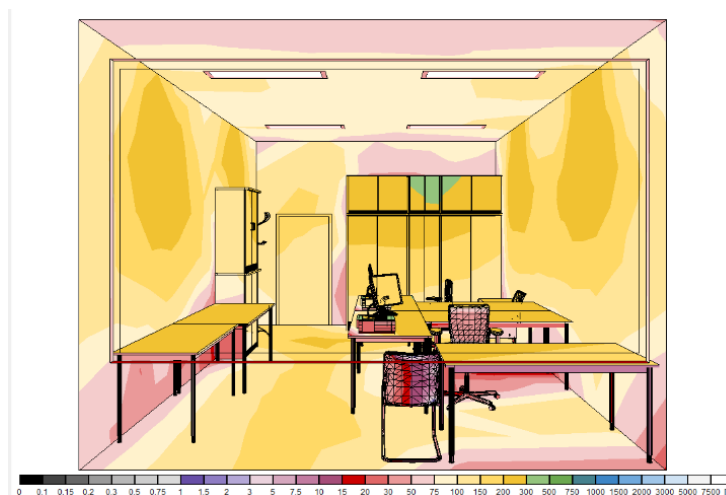
5.2. Prijedlog korektivnih radnji

Po završetku uvida odspojena je kompletna svjetiljka (ne samo neispravni strujni krug) jer su spojni vodiči pretrpjeli oštećene izolacije što se može vidjeti na slici 5.5. Položaj neispravne svjetiljke u uredu prikazano je slikom 5.7., a sama svjetiljka zaokružena plavom elipsom.



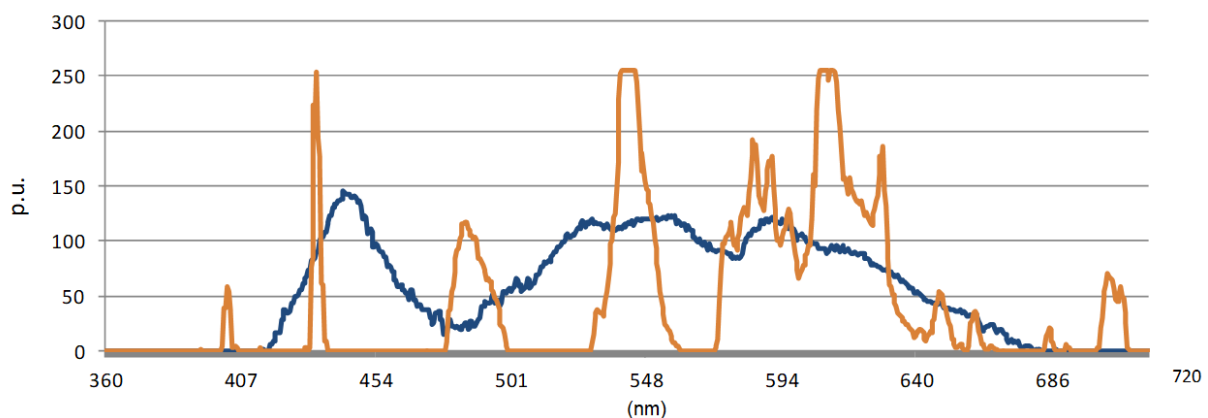
Slika 5.7. Položaj neispravne svjetiljke u uredu

Puštanjem u pogon sustava rasvjete bilo je neophodno isplanirati korektivne radnje. Početak procesa je analiza inicijalnog stanja modeliranjem prostora u programskoj podršci RELUX, te utvrđivanje svjetlosnih veličina tj. kako udovoljavaju zahtjevima norme HRN EN 12464-1:2021 Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – 1.dio: Unutrašnji prostori (EN 12464-1:2021). Na slici 5.8. prikazano je stanje pri čemu vrijednosti na radnim plohama ne prelaze 300 lx. Bilo je jasno da supstitucija svjetiljke nije optimalno rješenje.



Slika 5.8. Analiza inicijalnog stanja uz pretpostavku da su sva rasvjetna tijela u funkciji

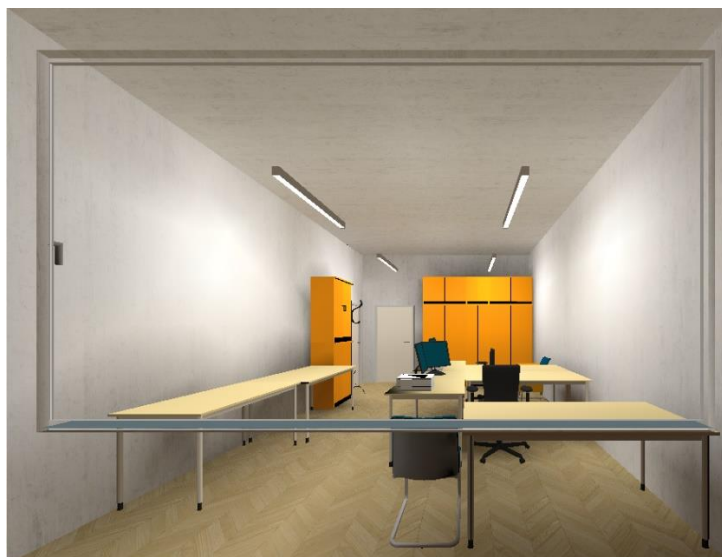
Osnovni problemi postojećeg sustava je zamjena i zbrinjavanje cijevi svakih pet godina, veća potrošnja električne energije u odnosu na danas pristupačnu LED rasvjetu, i najvažnije nemogućnost predviđanja životnog vijeka ostalih prigušnica koje imaju 28 godina. Pogodnost zamjene FLU sa LED rasvjetom očituje se i u potencijalnom smanjenju karakterističnih flikera FLU rasvjete od 100 Hz, ali i značajnijim povećanjem uzvrata boja uslijed bogatijeg spektralnog sastava LED izvora. Na slici 5.9. može se vidjeti spektralni sastav LED rasvjete prikazan plavom krivuljom i spektar FLU rasvjete prikazan narančastom krivuljom [49]. Spektrometar korišten u analizi izvora svjetlosti za potrebe rada SPECTRA 1 proizvođača Kvant [50].



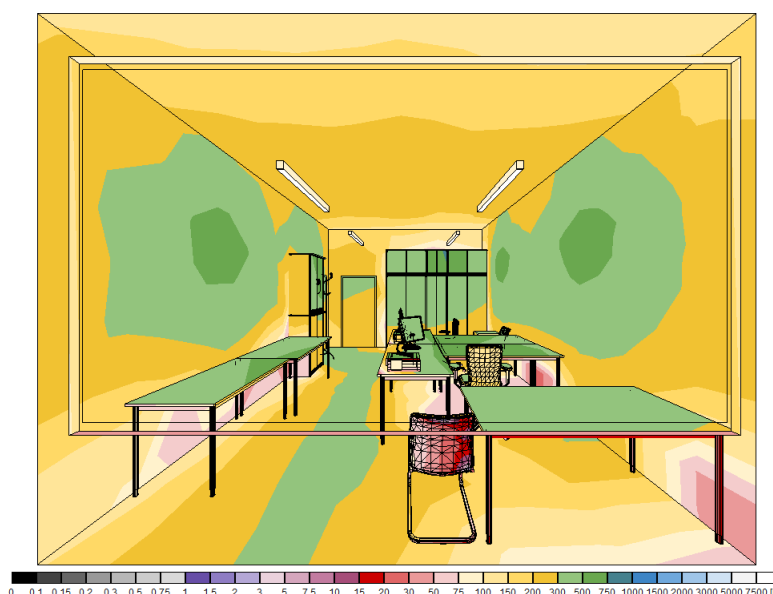
Slika 5.9. Usporedba spektralnog sastava LED i FLU izvora svjetlosti [50]

5.3. Modeliranje novog LED sustava rasvjete

Procesu projektiranja novog sustava prethodila je analiza trenutno raspoloživih izvora na području Osijeka. Uvažavajući činjenicu da se kod LED tehnologije 85 % energije pretvara u svjetlost dok je učinkovitost FLU izvora 27 %, na postojeću instaliranu snagu po svjetiljki od $3 \times 36 \Rightarrow 108$ W može se grubo procijeniti da bi ekvivalentni LED izvor trebao biti snage reda veličine 60 W [51]. Navedeno ne uzima u obzir smanjenje svjetlosnog toka koji je posljedica eksploatacije izvora. Prilikom modeliranja inicijalnog stanja prikazanog slikom 5.7 izvor svjetlosti je bio degradiran difuzorom i starošću, te je imao svjetlosni tok od 2500-3350 lm po izvoru. Uvažavajući i spektralni sastav odlučena je provedba inicijalne analize primjenom Schrack solo LED 1x55 W 840 6000 lm [52], cijene 52,17 €. Model sustava sa novim svjetilkama prikazan je slikom 5.10. dok su vrijednosti osvjetljenja vidljive na slici 5.11.



Slika 5.10. Model sustava sa novim svjetiljkama Solo LED 55 W



Slika 5.11. Rezultati osvjetljenja ploha primjenom Solo LED 55 W

Analizirajući podatke dobivene simulacijom jasno je da prijedlog nove scene daje vrijednost koje udovoljavaju HRN EN 12464-1:2021 i da će 6000 lm po svjetiljki zadovoljiti potrebe korisnika prostora sa iznosom od 500 lx do 750 lx na radnoj plohi.

5.4. Ugradnja novih svjetiljki i provedba mjerenja osvjetljenja

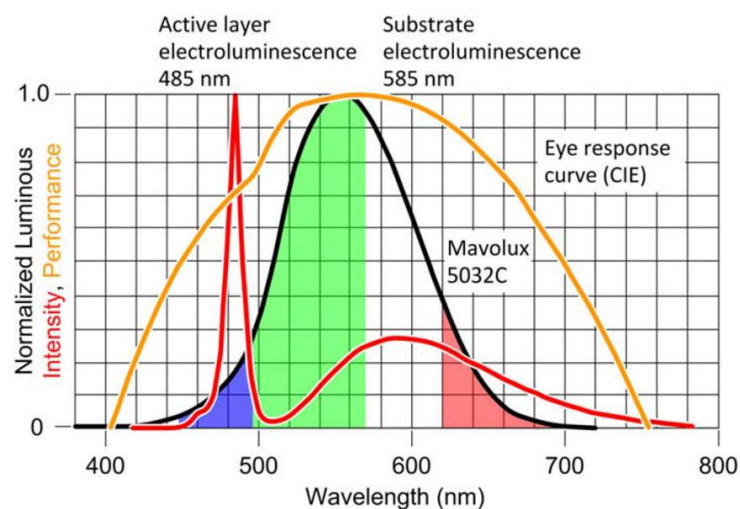
Ugradnja novih svjetiljki iziskivala je malo više vremena zbog rasporeda izvoda i bojanje stropa prostorije. Slika 5.12. prikazuje strop neposredno nakon ugradnje. Instalirana snaga smanjena je sa 456 W (4x3x38 W) na 220 W (4x55 W). Ukoliko se rezultati simulacija pokažu dobrima tarifni model upućuje da se za investiciju od 208,68 € može dobiti 635,96 kWh po

trenutnim tržišnim cijenama što na prosječnim godišnjih 2000 h rada u uredu upućuje na jednostavno otplatni periode investicije godinu i četiri mjeseca (2695 h). Navedeni podatak značajno umiruje jer je garancija na svjetiljke dvije godine i novčani tokovi neće moći poprimiti negativnu bilancu.



Slika 5.12. Nova LED rasvjeta neposredno nakon instalacije

Neophodnost provedbe mjerenja krije se u osnovnoj premisi svakog postupka modeliranja koja kaže da ni jedan model nije savršen i iziskuje verifikaciju mjerenjem. Mjerenju uglavnom svi vjeruju, osim onih koji mjerenje provode jer dobro poznaju svojstva svoje opreme. Na slici 5.13. prikazana je usporedba spektralni karakteristika ljudskog oka, novog izvora svjetlosti i mjernog instrumenta s kojim provodimo mjerenja.



Slika 5.13. Usporedba spektralne krivulje odziva Mavolux lux mjerачem (crna), ljudskog oka (narančasta) i spektar LED izvora bijele svjetlosti (crvene), izvor [53]

Za provedbu mjerenja osvjetljenja korišten je digitalni mjerni instrument za mjerenje osvjetljenja, odnosno intenziteta svjetlosti (Slika 5.14.) UNITEST digital luxmeter. Ovaj uređaj koristi jedinicu mjere nazvanu "lux" koja predstavlja količinu svjetlosti koja pada na određenu površinu. Na mjestu neispravne FLU svjetiljke, mjerenjem na više različitih mjesta (vidljivo na Slika 5.15.) u kabinetu 2-29 Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na lokaciji Kneza Trpimira 2B utvrđene su različite prosječne vrijednosti na radnim ploham. Mjerenjem u više točaka utvrđene su prosječne vrijednosti od 482 lx pa sve do 810 lx.



Slika 5.14. UNITEST Digital Luxmeter 93408 [54]



Slika 5.15. Izmjerene vrijednosti na mjestu analizirane neispravne FLU svjetiljke

6. ZAKLJUČAK

LED tehnologija vrlo je obećavajuća alternativa koja donosi brojne prednosti u odnosu na postojeće fluorescentne izvore svjetlosti. Usporedba energetske učinkovitosti pokazuje da LED žarulje troše manje električne energije od FLU izvora svjetla, što može rezultirati značajnim uštedama u potrošnji energije na dugoročnoj razini. Također LED žarulje imaju i duži vijek trajanja u usporedbi s fluorescentnim izvorima. To znači da će zamjena izvora svjetlosti LED-ovima smanjiti potrebu za redovitom zamjenom žarulja, što će smanjiti ukupne troškove održavanja. S aspekta energetske učinkovitosti, zamjena postojećih izvora svjetlosti LED tehnologijom je uvijek opravdana zamjena, međutim s ekonomske strane možda upitna zbog male razlike u učinkovitosti i značajnih sredstva koje je potrebno uložiti u zamjenu. Kada se provodi supstitucija FLU izvora potrebno je biti posebno oprezan jer imaju relativno visoki stupanj učinkovitosti, dug životni vijek i male troškove održavanja. U slučaju rasvjete radnih mjesta, osnovni zahtjev je osigurati dostatnu osvjetljenost za obavljanje radnih zadataka. U Hrvatskoj je na snazi HRN EN 12464-1:2021 koja propisuje minimalne vrijednosti osvjetljenja za pojedine aktivnosti. U slučaju izvora svjetlosti s velikim brojem radnih sati, energetska bilanca potencira implementaciju LED tehnologije. Na praktičnom primjeru prezentiranom u radu jednostavni povratni period investicije kroz uštedu električne energije iznosi godinu dana i četiri mjeseca. Provedena analiza nije uzela u obzir trošak instalacije jer se radilo izvanrednim okolnostima. Ostaje otvoreno pitanje da li se navedeni događaj mogao prevenirati redovitim termografskim pregledima. Dostupna termografska kamera temperaturnog raspona do 150 °C pokazala se nedostatna za analizu električnih instalacija rasvjete. Prije korektivnih radnji ili supstitucije izvora svjetlosti treba provesti proračune s kojima će se odrediti prihvatljiviji oblici rasvjetnih tijela i distribucija svjetlosnog toka. Nakon provedene rekonstrukcije neophodno je mjerenjem provjeriti uspješnost instalacije. Za mjerenje treba koristiti umjerene instrumente uzimajući u obzir njihova karakteristična svojstva detekcije.

LITERATURA

- [1] Slingo, William; Brooker, Arthur. Elektrotehnika za obrtnike električne rasvjete. Longmans, Green and Co. London.. str. 607, 1900.
- [2] Ann Jones, "11 zanimljivih činjenica o londonskim plinskim svjetiljkama", Guide London, 02.01.2015., dostupno na: <https://www.guidelondon.org.uk/blog/around-london/11-interesting-facts-about-london-gas-lamps/>, pristupljeno 23.04.2023.
- [3] Svjetiljka Thomasa Edisona, Franklinov institut, dostupno na: <https://www.fi.edu/en/history-resources/edisons-lightbulb>, pristupljeno 23.04.2023.
- [4] Holophane, lider u rješenjima osvjjetljenja, dostupno na: <https://holophane.acuitybrands.com/125th-anniversary>, pristupljeno 24.04.2023.
- [5] Biografija, Georges Claude, Britannica, dostupno na: <https://www.britannica.com/biography/Georges-Claude>, pristupljeno 24.04.2023.
- [6] Eaton, Povijest žarulja od žarulja s žarnom niti do kompaktnih fluorescentnih žarulja, dostupno na: <https://www.eaton.com/ph/en-us/company/news-insights/lighting-resource/trends/history-of-the-lightbulb-from-incandescent-to-compact-fluorescent.html>, pristupljeno 24.04.2023.
- [7] Raymond Kane, Heinz Sell, Revolucija u svjetiljkama: Kronika 50 godina napretka, drugo izdanje, Fairmont Press, 2001. pp. 238-241.
- [8] Hordeski, Michael F., Rječnik tehnologija energetske učinkovitosti, CRC Press. str. 175 – 176, 2015, ISBN 978-0-8247-4810-4, USA
- [9] Okon, Thomas M.; Biard, James R. "Prva praktična svjetleća dioda", 2015., dostupno na: <https://edisontechcenter.org/lighting/LED/TheFirstPracticalLED.pdf>, pristupljeno 25.04.2023.
- [10] Smithsonian, Nacionalni muzej američke povijesti, dostupno na: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_751188, pristupljeno 25.04.2023.
- [11] "Nobelovac je usprkos poteškoćama ostvario povijesno postignuće". Pacific Coast Business Times. 10 October 2014., dostupno na: <http://www.pacbiztimes.com/2014/10/10/laurate-fought-the-odds-to-make-history/>, pristupljeno 25.04.2023.
- [12] Marinko Stojkov, Damir šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoski, Zvonimir Klaić, Dražen Kozak: Energetski učinkovita rasvjeta, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, Osijek, 2015.

- [13] Lightbulbs.com, dostupno na: <https://www.lightbulbs.com/category/light-bulbs>, pristupljeno 30.04.2023.
- [14] David L. Dilaura, Kevin W. Houser, Richard G. Mistrick, Gary R. Steffy: Društvo za osvjetljavanje, priručnik o osvjetljenju, deseto izdanje 2011, ISBN 978-087995-241-9, USA
- [15] Kate Gibson: „Žarulje s žarnom niti će biti isključene 2023. prema novim Bidenovim pravilima“ CBC NEWS, 27.04.2022., dostupno na: <https://www.cbsnews.com/news/incandescent-light-bulb-phase-out-2023-biden-rule>, pristupljeno 02.05.2023.
- [16] Stokes GG. 1852 „O promjeni refraktivnosti svjetlosti“ Phil. Trans. 142, 263-562, dostupno na: <https://doi.org/10.1098/rstl.1852.0022>, pristupljeno 02.05.2023.
- [17] Marinko Stojkov, Damir šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoski, Zvonimir Klaić, Dražen Kozak: Energetski učinkovita rasvjeta, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, Osijek, 2012.
- [18] Krajcar, S., Šribar, A., Lugarić, L., „Izvori svjetlosti“, Sveučilište u Zagrebu, FER, 2009.
- [19] Petrović, D., „Električno osvjetljenje“, Novinsko-izdavačko preduzeće, Tehnička knjiga, Beograd 1960
- [20] Neke osnovne činjenice i neke napredne informacije o balastima za fluorescentne svjetiljke, dostupno na: <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2016/07/EIM02402-Kompodium-wiedzy-nt.-stateczników-do-lamp-fluorescencyjnych-ang..pdf>, pristupljeno 05.05.2023
- [21] Osram elektronička prigušnica - T8 - 18 W, dostupno na: <https://www.ellabo.hr/prigusnica-elektronska-1x18w-t8-qt-fit8>, pristupljeno 05.05.2023.
- [22] Philips rasvjeta, dostupno na: https://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/fluorescent/fluorescent-electromagnetic/bta-em-ballasts-for-tl-fluorescent-lamps/913710119550_EU/product, pristupljeno 06.05.2023.
- [23] Poglavlje 5: tehnologija osvjetljenja, dostupno na: <https://lms.su.edu.pk/download?Filename=1603723794-lighting-technologies.pdf&lesson=34794>, pristupljeno 06.05.2023.
- [24] E-elektro blogspot, dostupno na: <http://e-elektro.blogspot.com/2010/11/kompaktne-fluorescentne-integrirane.html>, pristupljeno 06.05.2023.
- [25] E-elektro blogspot, dostupno na: <http://e-elektro.blogspot.com/2010/11/kompaktne-fluorescentne-neintegirane.html>, pristupljeno 06.05.2023.
- [26] Učinkovitost CFL žarulje, ilustracija, dostupno na: <https://www.sciencephoto.com/media/715261/view>, pristupljeno 08.05.2023.

- [27] Budućnost LED svjetla, 01.12.2022, dostupno na: <https://e-greenelectrical.com.au/the-future-of-led-lights/>, pristupljeno 08.05.2023.
- [28] Arsoski, S., „LED rasvjetna tehnologija i solarni rasvjetni stup“, Solarna tehnologija, Godina V, broj 10, 20-25, jesen 2009.
- [29] Farbaš, I., „Projektiranje javne rasvjete LED tehnikom“, diplomski rad, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, ETF Osijek, mentor Stojkov, M., 2011.
- [30] Svjetleća dioda – LED: konstrukcija, rad, vrste i primjene, dostupno na: <https://www.electricaltechnology.org/2022/06/led-light-emitting-diode.html>, pristupljeno 10.05.2023.
- [31] Časopis o LED-ovima, „Što je LED?“, 2004, dostupno na: <https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/materials/article/16701292/what-is-an-led>, pristupljeno 11.05.2023.
- [32] ROHM poluvodič, dostupno na <https://www.rohm.com/electronics-basics/leds/what-are-leds>, pristupljeno 13.05.2023
- [33] Orientdisplay.com, dostupno na: <https://www.orientdisplay.com/knowledge-base/oled-basics/oled-history/>, pristupljeno 17.05.2023
- [34] Ron L., Carol L., „Praktičan dizajn osvjetljenja s LED-ovima“, 2nd Edition, 2017
- [35] Shenzhen Best LED Opto-electronic Co.,Ltd, dostupno na: <https://www.bestsmid.com/940nm-through-hole-ir-led/56615785.html>, pristupljeno 20.05.2023.
- [36] CREE, dostupno na: www.cree.com, pristupljeno 20.05.2023.
- [37] OSRAM, dostupno na: www.osram-os.com, pristupljeno 20.05.2023.
- [38] SAMSUNG, dostupno na: www.luckysunny.lightstrade.com, pristupljeno 20.05.2023.
- [39] Lg.com, dostupno na: <https://www.lg.com/uk/lg-experience/inspiration/the-history-of-the-oled-tv/>, pristupljeno 21.05.2023
- [40] Unisystem-displays.com, dostupno na: <https://unisystem-displays.com/uni-abc/all-about-oled-displays-oled-technology-guide-by-unisystem>, pristupljeno 21.05.2023.
- [41] U.S. Department of Energy, Office of energy efficiency & renewable energy, Solid-State Lighting R&D Oportunities, veljača 2022, dostupno na: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/2022-ssl-rd-opportunities.pdf>, pristupljeno 21.05.2023.
- [42] Walalmart, Led trake, dostupno na: <https://www.walmart.com/ip/LED-Strip-Lights-39-4ft-Color-Changing-RGB-Lights-Strip-Flexible-360leds-Tape-Light-44-Key-IR-Remote-Controller-Ideal-Bedroom-Home-Holiday-Christmas-/397611723>, pristupljeno 21.05.2023.
- [43] Učinkovitost LED žarulja, ilustracija, dostupno na: <https://www.sciencephoto.com/media/715262/view/led-light-bulb-efficiency-illustration>, pristupljeno 22.05.2023.

- [44] Hannah R., Max R., Pristup energiji, dostupno na: <https://ourworldindata.org/energy-access>, pristupljeno 22.05.2023.
- [45] Ujedinjeni narodi, „Osigurati pristup pristupačnoj, pouzdanoj, održivoj i modernoj tehnologiji energiji za sve“, Target 7.1, 2023., dostupno na: <https://sdgs.un.org/goals/goal7>, pristupljeno 23.05.2023.
- [46] Časopis o LED-ovima, Optimizirani uvjeti osvjetljenja pomažu studentima u poboljšanju njihovih učinaka, 2012., dostupno na: <https://www.ledsmagazine.com/architectural-lighting/indoorlighting/article/16698488/optimized-lighting-conditions-help-students-improve-performance>, pristupljeno 23.05.2023.
- [47] HRN EN 12464-1:2021 Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – 1.dio: Unutrašnji radni prostori (EN 12464-1:2021)
- [48] Hrvoje Glavaš, Zorislav Kraus, Zvonimir Klaić, Stjepan Kočevar: Zamjena fluorescentnih izvora svjetlosti s LED-om, XIII. međunarodna konferencija o industrijskom inženjerstvu i zaštiti okoliša IZS 2023 October 5-6, 2023, Zrenjanin, Serbia
- [49] Tuđan, Marko; Kraus, Zorislav; Glavaš, Hrvoje, „Spektralni sastav dostupnih izvora svjetlosti“ Proceedings, 19th Natural Gas, Heat and Water Conference, 12th International Natural Gas, Heat and Water Conference, Osijek, Sveučilište u Slavonskom brodu, 2021. str. 48-53
- [50] Priručnik za spektrometar vidljive svjetlosti V4.8., dostupno na: <https://www.forschool.eu/spectrometry/58275-spectra-1-high-resolution-spectrometer.html>, pristupljeno 30.05.2023.
- [51] Marinko Stojkov, Damir šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoski, Zvonimir Klaić, Dražen Kozak: Energetski učinkovita rasvjeta, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, Osijek, 2015.
- [52] Shrack svjetiljke Solo LED 1x55W 840 6000lm, tehničke specifikacije, dostupno na: <https://www.schrack.hr/trgovina/solo-led-1x55w-840-6000lm-1500mm-bijele-b-livi0006.html>, pristupljeno 30.05.2023.
- [53] Glavaš, Hrvoje; Barić, Tomislav; Jukić, Dina; Desnica, Eleonora. Infracrvena termografija kao metoda procjene kvarova na LED LCD televizorima. J Soc inf Display. 2020; 936-555. dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1002/jsid.951>, pristupljeno 01.06.2023.
- [54] UNITEST digitalni Luxmeter 93408, tehnički podatci o instrumentu: <http://file.yizimg.com/1459/2007222071418777104.pdf>, pristupljeno 01.06.2023.

SAŽETAK

Ovaj rad obrađuje analizu zamjene postojećih fluorescentnih izvora LED tehnologijom koja ima za cilj proučiti prednosti i nedostatke zamjene tradicionalnih fluorescentnih svjetiljki novom LED tehnologijom. U radu je obrađen povijesni razvoj izvora svjetlosti od prve pojave vatre sve do tehnoloških najučinkovitijih svjetlećih dioda. Detaljno je objašnjena građa fluorescentnih izvora svijetla, njihov redoslijed sastavljanja, te pogon i rad uz pomoć startera i prigušnica. Objašnjen je i princip rada, te primjena trenutnih FLU izvora svjetla. Nadalje, u radu je opisan princip nastajanja svijetla svjetlećih dioda, koji se materijali koriste za izradu LED-a, njihova trenutna podjela te je opsežno opisan razvoj LED tehnologije. U konačnici, razrađena je analiza otkaza prigušnice FLU rasvjete, što je i povod ovom radu, neophodni plan korektivnih radnji, modeliranje novog LED sustava inicijalnom analizom primjenom Schrack solo LED 1x55 W 840 6000 lm, te postupak ugradnje novih svjetiljki i provedbu mjerenja osvjetljenja korištenjem digitalnog mjernog instrumenta UNITEST Digital Luxmeter 93408.

Ključne riječi: Fluorescentni izvor, svjetleća dioda, starter, prigušnica, RELUX

ABSTRACT

This paper examines the analysis of replacing existing fluorescent sources with LED technology, with the aim of studying the advantages and disadvantages of replacing traditional fluorescent lamps with new LED technology. The paper covers the historical development of light sources from the first occurrence of fire to the most technologically efficient light-emitting diodes. The structure of fluorescent light sources is explained in detail, including their assembly order, operation, and functioning with the help of starters and ballasts. The working principle and current applications of fluorescent light sources are also explained. Furthermore, the paper describes the principle of light generation in light-emitting diodes, the materials used to make LEDs, their current classification, and extensively covers the development of LED technology. Ultimately, an analysis of ballast failures in fluorescent lighting is conducted, which is the motivation for this study, along with the necessary corrective action plan, modeling of a new LED system through initial analysis using the Schrack solo LED 1x55W 840 6000lm, and the procedure for installing new luminaires and conducting lighting measurements using the UNITEST Digital Luxmeter 93408.

Key words: Fluorescent source, light-emitting diode, starter, ballast, RELUX

ŽIVOTOPIS

Stjepan Kočevar rođen je 31.03.1997. u Čakovcu. Godine 2004. upisuje Osnovnu školu u Podturnu gdje se školuje do osmog razreda. 2012. godine se upisuje u Tehničku školu Čakovec, smjer elektrotehničar. Tijekom osnovnoškolskog i srednjoškolskog obrazovanja sudjeluju na raznim natjecanjima, a najviše na onim iz područja fizike, matematike i informatike. Godine 2019. upisuje prvu godinu Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, smjer Elektrotehnika. Na drugoj godini preddiplomskog studija odabire smjer elektroenergetika. U slobodno vrijeme bavi se proučavanjem električnih instalacija i rasvjete, te ga zanimaju razna nova tehnološka rješenja i primjena pametnih instalacija u području elektroenergetike.