

**SAVREMENA RJEŠENJA SPOLJAŠNJEG OSVJETLJENJA PRIMJENOM LED-a
MODERN OUTDOOR LIGHTING USING LED**Milan Popović, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je obrađena upotreba LED spoljašnjeg osvjetljenja na primjeru projekta elektroenergetskih instalacija javnog osvjetljenja stambenog bloka 3, 4 i 5 na Jugovićevu u Novom Sadu. Cilj projekta je da se obezbjedi energetski efikasno osvjetljenje dovoljnog kvaliteta i kvantiteta za bezbjednost i za povećanje vidljivosti i produktivnosti u prijatnom okruženju. Objašnjeni su osnovni principi rada LED tehnologije i sistema spoljašnjeg osvjetljenja, kao i poređenje softvera za projektovanje osvjetljenja.

Ključne reči: LED osvjetljenje, Energetska efikasnost, Spoljašnje osvjetljenje

Abstract In this paper use of LED outdoor lighting on the example of the electric power installations project of public lighting of the residential blocks 3, 4, and 5 on Jugovićevu in Novi Sad is analyzed. The aim of the project is to provide energy-efficient lighting of sufficient quality and quantity for safety and to increase visibility and productivity in a pleasant environment. The basic principles of LED technology and outdoor lighting systems are explained, as well as a comparison of lighting design software.

Keywords: LED lighting, Energy efficiency, Outdoor lighting

1. UVOD

Brzina razvoja i usavršanje LED tehnologije uslovljavaju da svi komercijalni proizvođači rasvjete postepeno odustaju od proizvodnih linija proizvoda sa klasičnim izvorom svjetla i na tržište plasiraju LED varijante proizvoda sa superiornijim tehničkim karakteristikama, dužim vijekom trajanja i velikom uštedom u potrošnji energije. Šira upotreba LED tehnologije podržana je i sve učestalijim smjericama i direktivama iz Evropske Unije, koje se pre svega odnose na uštedu energije i energetske efikasnost, a nisu zanemarljivi ni razlozi kontrolisanog generisanja otpada i njegove reciklaže, kao i potreba za smanjenjem svjetlosnog zagađenja.

Neefikasnost tradicionalnih svjetiljki dovela je do toga da se LED osvjetljenje sve učestalije koristi kao zamjensko za industrijsku, uličnu, tunelsku i ostalu rasvjetu, usled toga što svega 10% utrošene energije tradicionalnih izvora svjetlosti otpada na svjetlo, a čak 90% energije se izgubi na emitovanje toplote. Stoga, LED rasvjeta predstavlja sve češći izbor, budući da je ušteda u odnosu na klasične izvore svjetla očigledna, bez obzira na nešto skuplju vrijednost početne investicije.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

U zavisnosti od načina pretvaranja električne u svjetlosnu energiju razlikuju se dve grupe svjetlosnih izvora:

1. Inkadescentni svjetlosni izvori, ili izvori koji rade na principu zagrevanja vlakna (sijalica sa vlaknom, halogena sijalica),
2. Svjetlosni izvori koji proizvode svjetlosnu energiju pri električnim pražnjenjima u smesi gasova i metalnih para (fluorescentna sijalica, živina sijalica, natrijumova sijalica).

U radu je stavljen akcenat na LED osvjetljenje i njegovu primjenu na projektu elektroenergetskih instalacija javnog osvjetljenja stambenog bloka 3, 4 i 5 na Jugovićevu u Novom Sadu. Softverski alat koji je korišćen pri analizi, proračunu i simulaciji osvjetljenja je DIALux.

2. LED OSVJETLJENJE

Naziv LED potiče od engleskog izraza „Light Emitting Diode“ (dioda koja emituje svjetlost). LED predstavlja posebnu vrstu poluprovodničke diode koja emituje svjetlost kada kroz nju teče struja. Svjetlost koju emituje može biti u vidljivom spektru, kao i u infracrvenom i ultraljubičastom. LED je poluprovodnički izvor svjetlosti koji se dugo samo koristio kao indikaciono svjetlo na raznim tehničkim uređajima.

Zahvaljujući stalnom tehnološkom napretku, LED rasvjeta ima veliku primjenu u širokom spektru područja bilo da se radi o funkcionalnoj ili dekorativnoj rasvjeti. Zbog svog inovativnog dizajna i tehnologije koja garantuje visok kvalitet svjetlosti uz nisku, ekološku orijentisanu potrošnju energije, predstavlja najefikasnije svjetlosno rješenje za svaki ambijent.

Jedna od glavnih prednosti u odnosu na standardne sijalice, jeste ta što LED svjetiljke za istu snagu daju mnogo više svjetlosti. Takođe, jačina svjetlosti koju ispušta ova sijalica uvijek ima konstantnu vrijednost, što nije slučaj kod standardne sijalice.

Opadanje svjetlosti tek kreće da se javlja pred kraj životnog vijeka same sijalice. Za LED rasvjetu se smatra da joj je prošao rok trajanja onda kada jačina svjetlosti koju ona emituje opadne na 70 % jačine svjetlosti nove LED rasvjete. Prosečni vijek LED sijalice je dosta duži nego vijek standardne sijalice. Mogu da traju i do 50.000 sati, što je oko 10 godina.

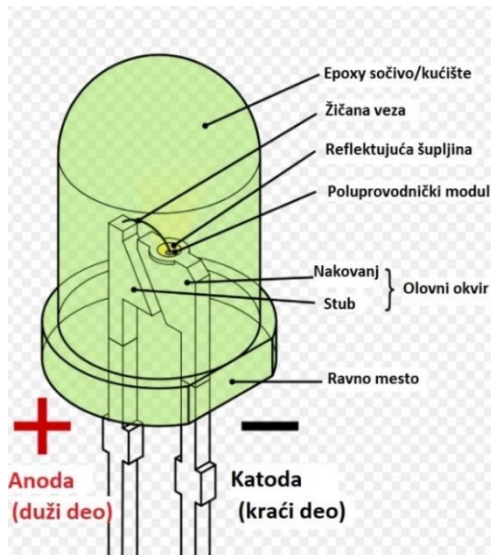
Glavne odlike su im niska potrošnja i vrlo malo generisanje toplote. To smanjuje rizik od požara i čini ih pogodnim čak i za instalaciju na mjestu gdje je teška zamjena. LED sijalice imaju odličan kvalitet boje. Nijansa bijele boje koju ispuštaju je jasna i konzistentna, a važno je napomenuti da prilikom prigušenja energije kod njih ne

dolazi do treperenja, što nije slučaj sa standardnim sijalicama.

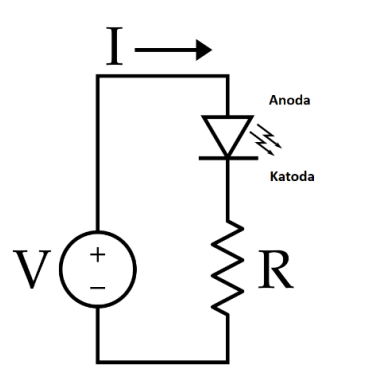
2.1. Princip rada LED diode

LED dioda se sastoji od čipa napravljenog od poluprovodnog materijala koji je dopiran nečistoćama kako bi se napravio p-n spoj. Kao i kod običnih dioda, električna struja teče od p-strane ili anode ka n-strani ili katodi, ali ne i u suprotnom smjeru. Nosioi nalektrisanja, elektroni i šupljine teku u spoj sa elektroda između kojih postoji električni napon. Kada se elektron sudari sa šupljinom, on pada na niži energetske nivo i oslobađa energiju u vidu fotona. Fotoni svjetla se emituju prilikom rekombinacije para elektron-šupljina.

Talasna dužina emitovane svjetlosti, a time i njena boja, zavisi od energetske barijere materijala koji čine p-n spoj. Kod silicijumskih i germanijumskih dioda, elektroni i šupljine se rekombinuju ne-zračećom tranzicijom, koja ne daje vidljivu emisiju, jer su oni materijali sa indirektnom energetske barijerom. Materijali koji se koriste za izradu LED dioda imaju direktnu energetske barijeru sa energijama koje odgovaraju skoro infracrvenoj, vidljivoj i skoro-ultraljubičastoj svjetlosti.



Slika 2.1. Delovi LED diode



Slika 2.2. Jednostavno LED strujno kolo sa otpornikom za ograničavanje struje

Ako kroz LED diodu prođe struja jača od maksimalno dozvoljene, dioda će istog trenutka pregoreti. Otpornik koji se koristi za preveniranje prekoračenja maksimalno dozvoljene struje može biti različitih otpornosti.

Ukoliko se koristi otpornik veće otpornosti, to samo znači da će LED sijalica slabije svjetleti.

Tabela 1: Vrijednosti otpornika za najčešće korišćene LED diode

Napon kola	Vrijednost otpornika
3,3 - 5 V	330 Ω
6 - 9 V	560 Ω
12 - 15 V	1 k Ω

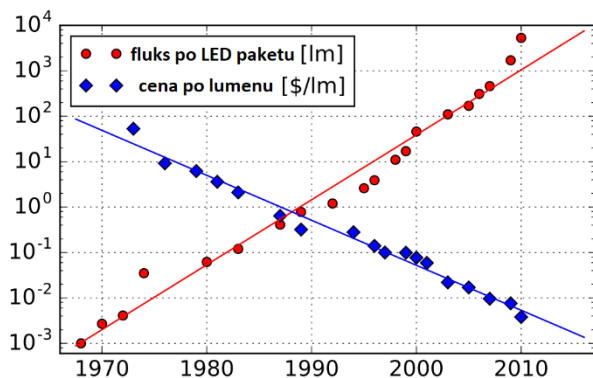
2.3. Odnos cijene i kvaliteta

Haitz-ov zakon je zapažanje i predviđanje stalnog poboljšanja LED dioda, posmatrano tokom dužeg niza godina. Ovaj zakon tvrdi da svake decenije cijena po lumenu (tj. cijena po jedinici korisne svjetlosti koja se emituje) pada za faktor 10, a da se količina svjetlosti koja se generiše po LED paketu povećava za faktor 20, za datu talasnu dužinu (boju) svjetlosti. Haitz-ov zakon oslanja se na optimizaciju procesa proizvodnje poluprovodničkih uređaja.

2.2. Šema napajanja LED diode

Struja u LED ili drugim diodama raste eksponencijalno sa primjenjenim naponom, tako da mala promjena napona može izazvati veliku promjenu struje.

Struja kroz LED diodu mora biti regulisana spoljnim kolom kao što je izvor konstantne struje da bi se sprečilo oštećenje. Pošto su najčešći izvori napajanja izvori (skoro) konstantnog napona, LED lampe moraju da sadrže konvertor ili bar otpornik za ograničavanje struje.



Slika 2.3. Ilustracija Haitz-ovog zakona, koja pokazuje poboljšanje izlazne svjetlosti po LED diodi s vremenom (gdje je na vertikalnoj osi korišćena logaritmička skala)

Prve LED diode koje su emitovale bijelu svjetlost bile su skupe i neefikasne. Međutim, izlaz svjetlosti LED dioda se eksponencijalno povećavao. Najnovija istraživanja i razvoj propagirali su mnogobrojni proizvođači (pre svega japanski, kineski i korejski).

Svjetlosna snaga i efikasnost plavih i skoro ultraljubičastih LED dioda su porasle, a cijena pouzdanih uređaja je pala. Ovo je dovelo do relativno jakih LED dioda bijele svjetlosti za osvjetljenje, koje zamjenjuju inkandescentno i fluorescentno osvjetljenje. Ukoliko se poredi LED i tradicionalno osvjetljenje, LED sijalice su doživele ogromno povećanje električne efikasnosti tokom godina i iako je LED osvjetljenje i dalje skuplje za kupovinu,

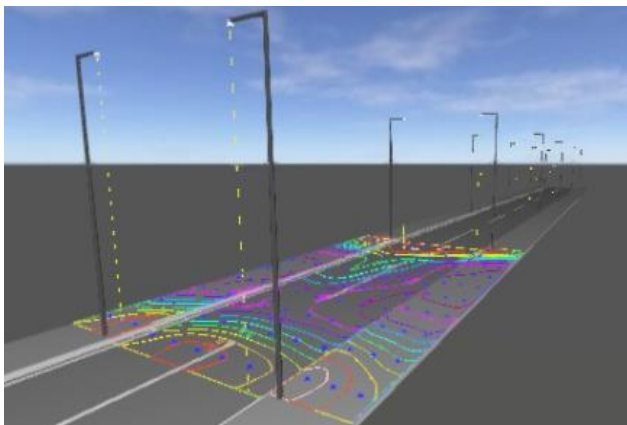
odnos cijene i kvaliteta je znatno bolji nego kod sijalica sa užarnom niti (uzimajući u obzir životni vijek i energetska efikasnost obje vrste osvjtljenja).

3. SOFTVERI ZA PROJEKTOVANJE OSVJETLJENJA

Softveri za projektovanje osvjtljenja se, u slučaju projektovanja spoljašnjeg osvjtljenja, koriste za analizu fotometrije (način distribucije svjetlosti u prostoru), 2D i/ili 3D projektovanje sistema rasvjete, kao i simulaciju različitih sjenarija rasvjete.

U suštini, glavna svrha ove vrste softvera je, nakon završenog procesa modelovanja fizičkih i fotometrijskih karakteristika sistema javne rasvjete, dobijanje i predstavljanje rezultata kombinacijom grafičkih i numeričkih podataka. Zbog toga, najbitnije karakteristike rasvjetnih softvera predstavljaju moć programa za izvršavanje proračuna i opseg mogućnosti funkcije renderinga, koja se odnosi na konvertovanje modela u 2D slike.

Za analizu sistema javne rasvjete posebno je bitna sposobnost za brze i kvalitetne proračune, koji se izvršavaju za određene tačke osvjtljenih površina, što omogućuje jednostavnost simulacija i fleksibilno prikazivanje rezultata.



Slika 3.1. *Primjer simulacije spoljašnjeg osvjtljenja*

U nastavku je dat kratak pregled Relux i DIALux softvera za projektovanje osvjtljenja, s tim da je bitno naglasiti da program DIALux predstavlja najpopularniji softver za projektovanje i simulaciju javne rasvjete, naročito među inženjerima.

Takođe, DIALux je najbolji u kategorijama brzine i kvaliteta dobijenih rezultata za vještačke izvore svjetlosti. Jednostavnost, kompatibilnost, široka baza proizvođača i podataka, besplatna licenca, podrška i osnovna obuka, samo doprinose popularnosti ovog softvera.

3.1. Relux softver

Relux je besplatni, intuitivno upravljiv program za simulaciju osvjtljenja koji se prvenstveno koristio samo za vještačko osvjtljenje, a danas se koristi i za proračune vještačkog i dnevnog osvjtljenja. Osnovan je od strane švajcarske kompanije, koja se već 20 godina bavi specijalizovanjem razvoja softvera za planiranje osvjtljenja i prezentaciju proizvoda. Najpopularniji je na evropskom tržištu. Koristi dva algoritma kao metode za svoje proračune i dozvoljava

korisniku mogućnost izbora. Algoritam za praćenje zraka svjetlosti je unapređena verzija Radiance programa.

Simulacija osvjtljenja i senzora je omogućena u realnom vremenu. Dakle, Relux predstavlja prilagođeni program čiji je cilj izvršenje proračuna osvjtljenja i uključuje čitav niz objekata, kao i kompatibilan interfejs sa AutoCAD-om.

3.2. DIALux softver

DIALux predstavlja besplatan program za dizajniranje osvjtljenja, razvijen od strane nemačke kompanije 1994. godine. Slično Relux-u, korišten je prvo samo za vještačko osvjtljenje, iako ima mogućnost uvažavanja dnevnog svjetla. Danas se koristi za proračune kako dnevnog, tako i vještačkog osvjtljenja, sigurnosnog osvjtljenja, osvjtljenja javnih površina, planiranje i izradu dokumentacije.

DIALux koristi algoritam zračenja za svoje proračune. Omogućava dizajniranje uz maksimalnu upotrebu dnevne svjetlosti i energetska efikasni svjetiljki.

Interfejs je nešto komplikovaniji od interfejsa koji koristi Relux softver. Trenutna verzija DIALux-a ima ograničen osnovni opseg objekata i tekstura koje može modelovati. Trenutno je najisplativiji softver za sve proračune osvjtljenja jer ne postoji naknada za licencu. Softver je primenljiv za složene, kvalitetne proračune kao i foto-realistične prikaze.

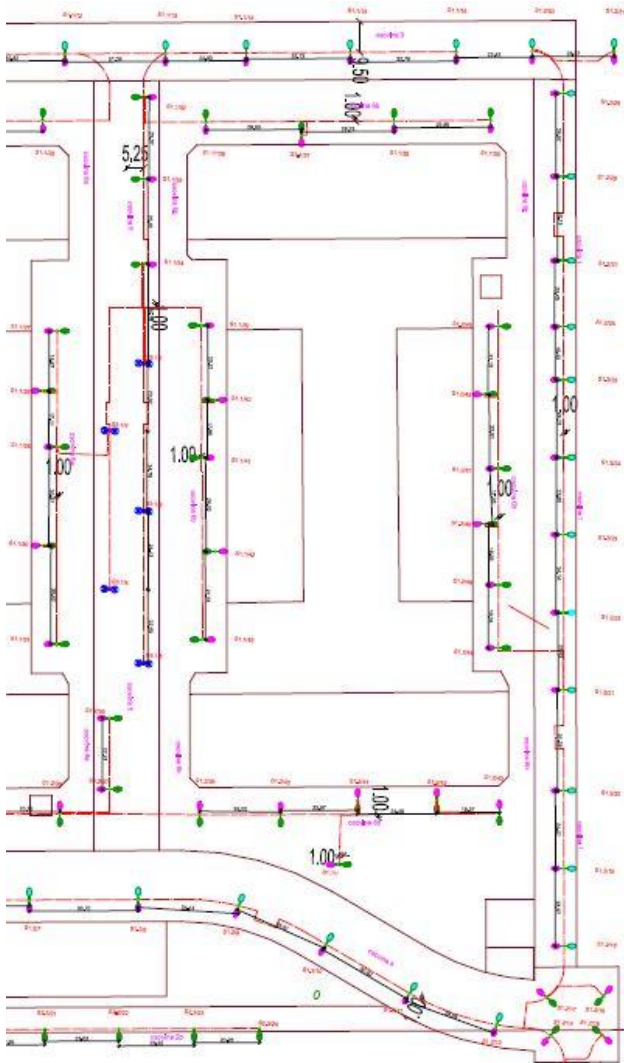
4. PROJEKAT JAVNOG OSVJETLJENJA SAOBRAĆAJNIH POVRŠINA ZA POTREBE OPREMANJA STAMBENOG BLOKA 3, 4 I 5 NA JUGOVIĆEVU U NOVOM SADU

Svjetlotehnički proračun urađen je računarskim programom, dok rezultati proračuna zadovoljavaju važeće standarde za predmetnu lokaciju javnog osvjtljenja. Projektovanje osvjtljenja zahteva poznavanje uticaja rasvjete na ljudsko ponašanje, produktivnost i osećaj komfora, ali traži i „osećaj“ za lijepo. Realnu vizuelizaciju tokom projektovanja omogućavaju profesionalni programi za planiranje i preciznu kalkulaciju dizajna rasvjete.

Za proračun osvjtljenja korišćen je softver Dialux, koji je vodeći softver za projektovanje rasvjete. Za iste svrhe se može koristiti i Relux, koji je takođe široko rasprostranjen. Uz pomoć softvera na jednostavan način se omogućava postavljanje položaja svjetiljki, sa zadatkom da se definiše dovoljna osvjtljenost za određenu prostoriju, kao i snaga izvora svjetlosti.

Kod načina izbora svjetlotehničke klase za osvjtljenje saobraćajnice (M3, M4), rizičnog područja (C1) i pešačkih zona (P1) su se uvažavale kako preporuke date u Master planu osvjtljenja Grada Novog Sada iz 2012 godine, tako i važeći standardi Evropske Unije za osvjtljenje puteva za metodologije izbora klasa i parametara vrijednovanja sa važećom preporukom. Međunarodne komisije za osvjtljenje saobraćajnica (CIE 115), kao i izrada novog poglavlja u kome su definisani indikatori energetske performansi. Evropski standard EN 13201 iz 2016. godine, kao i važeći SRPS standard SRPS EN 13201.

U radu su uvaženi svi kriterijumi za izbor klasa osvjtljenja i svjetlotehničkih zahtjeva predmetnog projekta.



Slika 4.1. Blok šema jednog dijela javnog osvjetljenja za stambeni blok 3, 4 i 5 na Jugovićevu u Novom Sadu

5. ZAKLJUČAK

U radu su izloženi osnovni principi projektovanja instalacija osvjetljenja u uslovima mješovitih svjetlotehničkih zahteva. U današnje vrijeme postoji širok spektar električnih izvora svjetlosti, kojima se može postići kvalitetno osvjetljenje, kako unutrašnjosti, tako i spoljašnjosti objekata raznih namjena.

U svrhu postizanja kvalitetnog osvjetljenja, u projektnoj praksi neizbježna je primjena nekog od programa za proračun osvjetljenja, pomoću kojih se lako mogu proračunati parametri rasvjete, pre nego što se pristupi njegovom fizičkom izvođenju. Istovremeno, neophodno je proračunati i zahteve za električnom energijom projektovane instalacije osvjetljenja, zbog pravilnog odabira opreme za njeno napajanje.

Jedan od glavnih uslova koji se nameće modernim elektroenergetskim objektima jeste energetska efikasnost, koja se najbolje postiže upotrebom LED svjetlosnih izvora.

Za izabrani tip svjetiljki je izvršen detaljan fotometrijski proračun u softveru Dialux, na osnovu kojeg se ustanovio optimalan broj i pozicija izvora svjetlosti za osvjetljavanje saobraćajnih površina stambenog bloka 3, 4 i 5 na Jugovićevu u Novom Sadu.

6. LITERATURA

- [1] D. Petrović, „Električno osvjetljenje“, Tehnička knjiga, 1985.
- [2] M. Kostić, „Vodič kroz svet tehnike osvjetljenja“, Minel-Schreder, Beograd, 2000.
- [3] S. Gušavac, „Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona“, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2014.
- [4] <https://fluxtechnology.rs>, Korisne informacije o LED rasveti
- [5] <https://dialux.com>

Kratka biografija:

Milan Popović rođen je u Brčkom 1995. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2020. god. Iste godine upisao je master studije.

Dejan Jerkan je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata