

PROJEKTIRANJE UČINKOVITE UNUTARNJE RASVJETE

Božanović, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:200:985469>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-07**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**PROJEKTIRANJE UČINKOVITE UNUTARNJE
RASVJETE**

Završni rad

Ivan Božanović

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 16.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

Ime i prezime studenta:	Ivan Božanović
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4492, 23.07.2018.
OIB studenta:	72401805385
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Projektiranje učinkovite unutarnje rasvjete
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
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: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	16.09.2021.
Datum potvrde ocjene Odbora:	22.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 26.09.2021.

Ime i prezime studenta:

Ivan Božanović

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4492, 23.07.2018.

Turnitin podudaranje [%]:

4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje učinkovite unutarnje rasvjete**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

i sumentora

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:

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ENERGETSKI UČINKOVITI IZVORI SVJETLOSTI	2
3. SUVREMENI SUSTAVI UPRAVLJANJA RASVJETOM.....	7
4. NORMA DIN EN 12464-1	11
5. PRORAČUN RASVJETE U RELUX-U.....	14
5.1. Rasvijetljenost prostora umjetnom rasvjetom	18
5.2. Rasvijetljenost prostora prirodnom rasvjetom	20
5.3. Rasvijetljenost prostora prirodnom i umjetnom rasvjetom	22
ZAKLJUČAK.....	28
LITERATURA.....	29
SAŽETAK.....	30
ABSTRACT	30
ŽIVOTOPIS.....	31

1. UVOD

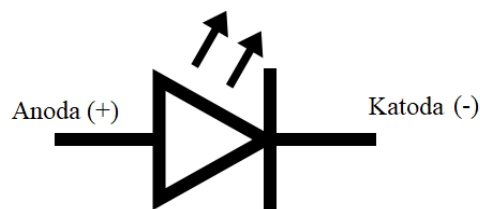
U današnje vrijeme sve je važnije pitanje energetske učinkovitosti i održivosti proizvoda, stambenih i poslovnih objekata i proizvodnje. Tehnologija se razvija zadivljujućom brzinom i neprestano se otkrivaju novi načini uštede. Jedan od načina uštede ekonomski, ekološki i energetski je učinkovita rasvjeta koja se znatno razlikuje od konvencionalne rasvjete po nazivnoj snazi, jakosti svjetlosnog toka i učinkovitosti. S puno manje snage postiže se jednaka rasvijetljenost. Danas čovjek gotovo i nije potreban za upravljanje rasvjetom, nego to odrađuju upravljačke jedinice, senzori i ostali elementi pametnih BUS instalacija. Zahvaljujući tome čovjek može produktivnije i uz manje umora odrađivati posao za koji je zadužen, a postižu se i znatne uštede. Na prvom je mjestu zdravlje čovjeka i zato je bitno boraviti u odgovarajućim uvjetima.

Zadatak je ovog završnog rada projektirati ured i u njemu dimenzionirati odgovarajuću rasvjetu prema normi DIN EN 12464-1. U programu Relux zadatak je proračunati uštedu koja se ostvaruje koristeći senzore i automatiziranu rasvjetu u odnosu na klasičnu instalaciju.

U drugom poglavlju govori se o principu rada, karakteristikama i prednostima LED rasvjete. Treće poglavlje posvećeno je pametnom sustavu KNX/EIB za upravljanje rasvjetom, grijanjem, hlađenjem, sigurnosti itd. Tema četvrtog poglavlja je norma DIN EN 12464-1 koja propisuje zahtjeve i karakteristične vrijednosti za rasvijetljenost unutarnjih prostora. Peto poglavlje obuhvaća Relux simulacije i proračun uštede energije potrebne za rasvjetu na primjeru projektnog ureda.

2. ENERGETSKI UČINKOVITI IZVORI SVJETLOSTI

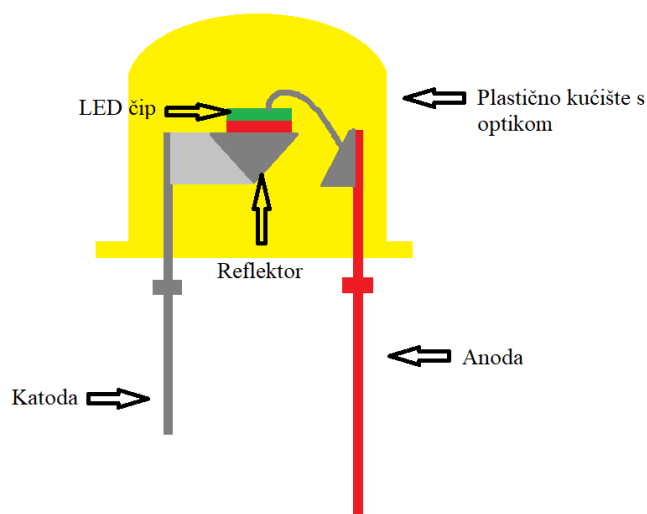
Kada se kaže učinkoviti izvori svjetlosti, odnosno učinkovita rasvjetna tijela, prvenstveno se misli na LED (eng. *Light Emitting Diode*) rasvjetu. LED svjetiljke koriste svjetleće diode koje emitiraju svjetlost procesom elektroluminiscencije. Svjetleća dioda poluvodički je element koji ima dva poluvodička sloja, P-sloj i N-sloj, između kojih se nalazi energetska barijera. P-sloj ima veliku koncentraciju šupljina, a N-sloj veliku koncentraciju elektrona. Priključivanjem propusne polarizacije (pozitivni pol spaja se na anodu, a negativni pol na katodu) na svjetleću diodu dolazi do sužavanja energetske barijere i elektroni mogu prelaziti u P-sloj gdje se rekombiniraju sa šupljinama prilikom čega elektron gubi dio energije u obliku elektromagnetskog zračenja odnosno fotona što se manifestira kao svjetlost, [1].



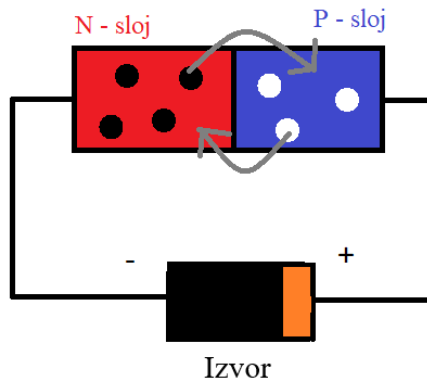
Slika 2.1. Simbol svjetleće diode.

Osnovni dijelovi svjetleće diode su:

- LED čip
- plastično kućište s optikom
- reflektor
- anoda i katoda.



Slika 2.2. Dijelovi svjetleće diode.



Slika 2.3. Pojednostavljeni prikaz P i N – slojeva diode.

LED mogu generirati svjetlost različitih valnih duljina odnosno različitih boja. Boja ovisi o energiji barijere onih materijala koji čine PN spoj. Energija emitiranog fotona približno je jednaka energiji barijere poluvodiča. Sljedeće jednadžbe odnose se na valnu duljinu i energiju barijere:

$$h\nu = E_g \quad (2-1)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = E_g \quad (2-2)$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \quad (2-3)$$

gdje je:

- h – Planckova konstanta
- c – brzina svjetlosti
- E_g – energija barijere.

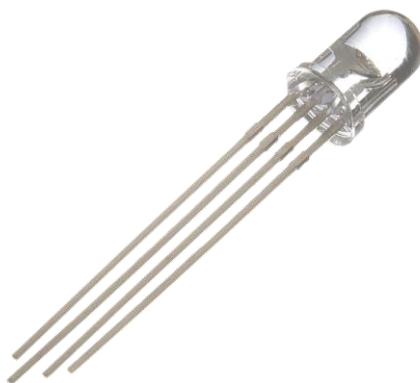
Stoga poluvodič s energijom barijere od 2 eV emitira svjetlost valne duljine 620 nm, što je crvena boja. Materijal s 3 eV emitira na valnoj duljini od 414 nm, odnosno emitira ljubičastu svjetlost. U tablici 2.1. nalazi se popis materijala poluvodiča i odgovarajućih boja, [2].

Tablica 2.1. Poluvodiči i boje koje emitiraju.

Aluminij – galijev arsenid (AlGaAs)	Crvena i infracrvena
Aluminij – galijev fosfid (AlGaP)	Zelena
Aluminij – galijev indij fosfid (AlGaInP)	Narančasto – crvena visoke svjetline,

	narančasta, žuta i zelena
Galij – arsenid fosfid (GaAsP)	Crvena, narančasto – crvena, narančasta i žuta
Galij fosfid (GaP)	Crvena, žuta i zelena
Galij nitrid (GaN)	Zelena, čisto zelena (ili smaragdno zelena) i plava
Indij – galijev nitrid (InGaN)	Blizu ultraljubičaste, plavkasto – zelena i plava
Silicijev karbid (SiC)	Plava
Silicij (Si)	Plava (još u razvoju)
Safir (Al ₂ O ₃)	Plava
Cink selenid (ZnSe)	Plava
Dijamant (C)	Ultraljubičasta
Aluminijev nitrid (AlN), aluminij – galijev nitrid (AlGa ₂ N), aluminij – galijev indij nitrid (AlGaInN)	Blizu daleke ultraljubičaste (210 nm)

Postoje LED koje mogu mijenjati boje, a one se nazivaju RGB (eng. *Red Green Blue*) LED (Slika 2.4). One su zapravo tri LED koje su smještene jako blizu jedna drugoj i zbog toga ljudsko oko ne vidi tri odvojena izvora svjetlosti nego jedan. Podešavanjem intenziteta svake od te tri LED diode dobije se željena boja svjetla. Ovisno o izvedbi mogu imati zajedničku anodu ili katodu.



Slika 2.4. RGB svjetleća dioda.

LED rasvjeta ima jako dugi vijek rada od 50 000 sati i izrazito malu potrošnju električne energije pri čemu može imati uštedu od 88 %. Temperatura boje ima raspon od 2700 K do 6500 K, a uzvrat boje R_a veći je od 75. Temperatura boje oznaka je koja se koristi za označavanje boje izvora svjetlosti u usporedbi s bojom koju zrači idealno crno tijelo. Idealno crno tijelo termički je izvor koji upija sva pristigla zračenja bez obzira na valnu duljinu i smjer. Uzvrat boje mjera je podudaranja boje objekta osvijetljenog izvorom koji se mjeri i boje tog objekta pod referentnim izvorom svjetlosti (sa $R_a = 100$). LED žarulje s temperaturom boje u rasponu od 2700 K do 3300 K isijavaju svjetlost bijele boje sa žućkastom primjesom i ta je svjetlost najbližnja onoj koju emitiraju klasične žarulje. Neutralna bijela, odnosno boja snijega nalazi se u rasponu od 4000 K do 4500 K i ona daje najviše svjetlosti zbog čega je pogodna za poslovne i prodajne prostore. Hladno bijelom pripada raspon od 4500 K do 6500 K. Radi se o bijelom boji s hladnom (plavkastom) primjesom koja ne privlači kukce, stoga je pogodna većinom samo za vanjsku rasvjetu, [4].

Klasične žarulje sa žarnom niti pretvaraju samo 5 % – 10 % uložene energije u svjetlost, a ostalo se pretvara u toplinu odnosno gubitke. Kod LED-a je učinkovitost čak 4 puta veća i u svjetlost se pretvara 25 % – 40 % uložene energije, dok ostatak također odlazi na toplinu. Još bolji uvid u štedljivost LED žarulja daje tablica 2.2. u kojoj je prikazana usporedba LED žarulja koje su ekvivalentne konvencionalnim žaruljama sa žarnom niti. Vidi se da za istu količinu svjetlosti treba LED žarulja šest puta manje snage u vatima što se odražava na uštedi struje u iznosu od 385 kn godišnje za samo jednu žarulju.

Tablica 2.2. Usporedba LED i žarulje sa žarnom niti.

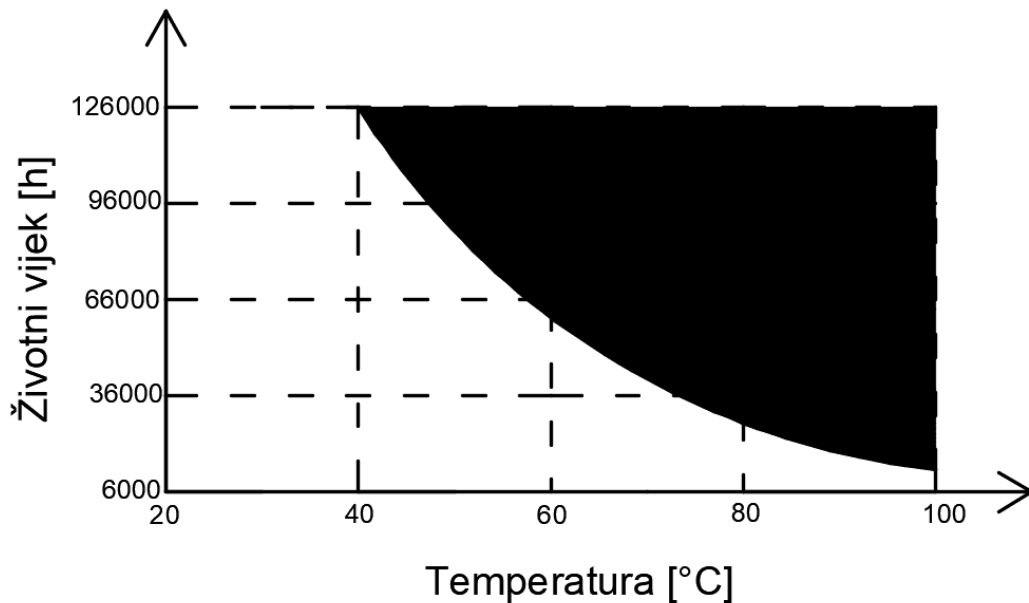
	LED žarulje	Žarulje sa žarnom niti
Predviđeni rok trajanja	50 000 sati	1 200 sati
Watta po žarulji (ekvivalentno 60 W)	10	60
kWh struje potrošeno u 50 000 sati	500 kWh	3 000 kWh
Trošak struje (oko 0,88 kn/kWh)	440 kn	2 640 kn
Žarulja potrebno za radni vijek od 50 000 sati	1	42
Trošak kupnje žarulje za 50 000 sati	150 kn	250 kn
Ukupan trošak za 50 000 sati	590 kn	2 890 kn

Ovisno o jakosti može biti potreban dodatni sustav odvođenja topline što se postiže ugradnjom LED na hladnjake. Svjetleće diode do 0,3 W mogu postići odvođenje topline preko samog kućišta, ali već kod onih od 0,5 W treba dodatni hladnjak, ventilator ili vodeno hlađenje. Snaga može rasti do 1500 W.



Slika 2.5. Primjer LED postavljene na dodatni hladnjak s ventilatorom.

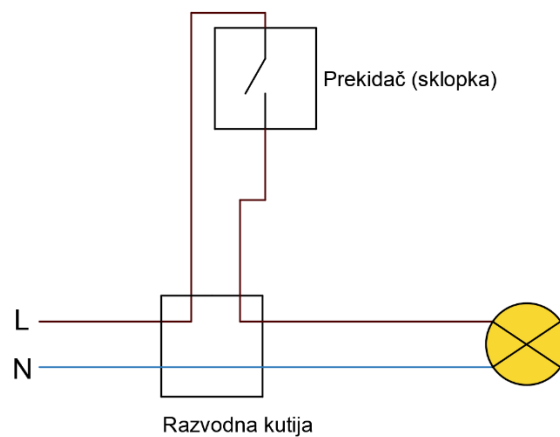
Zagrijavanje LED loše utječe na njihov životni vijek i prema slici 2.6. vidi se da temperatura ne smije prijeći 65 °C ako se želi premašiti životni vijek od 50 000 sati.



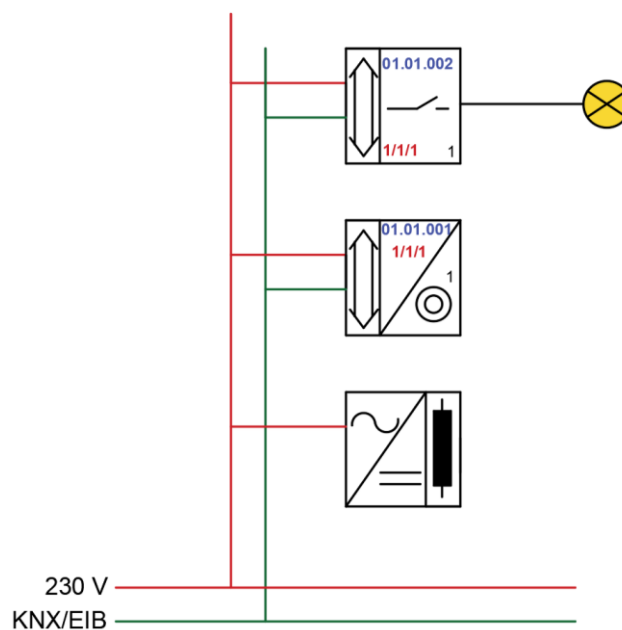
Slika 2.6. Ovisnost životnog vijeka LED o temperaturi.

komunikacijskih medija, a to su: telefonska parica, bežično spajanje, energetski kabel i upravljanje putem internetske aplikacije. Također je bitno naglasiti da se KNX/EIB instalacija može nadovezati na već postojeću konvencionalnu električnu instalaciju.

Na slici 3.2. vidi se primjer klasične instalacije za jedno rasvjetno tijelo i da se fazni vod vuče do prekidača odnosno sklopke pa do žarulje, a nul-vodič se spaja direktno na žarulju. S druge strane, slika 3.3. prikazuje primjer pametne instalacije za rasvjetu koja izgleda kompliciranije, ali zbog programskog podešavanja može se puno jednostavnije raditi promjene i odrediti koja sklopka pali koje svjetlo.



Slika 3.2. Klasična instalacija rasvjete, [7].

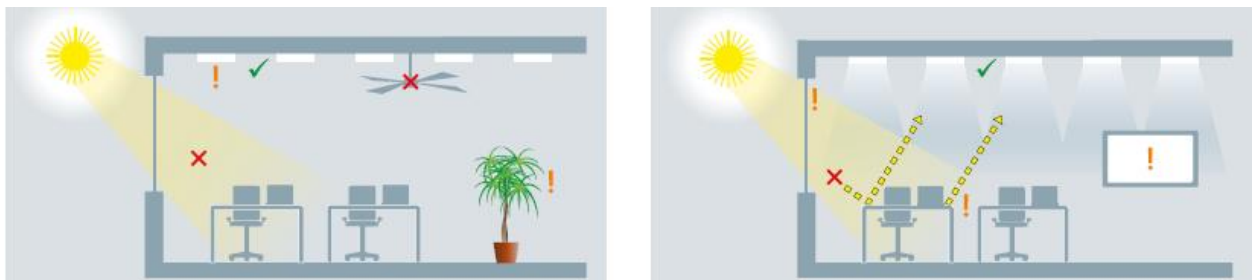


Slika 3.3. Pametna KNX/EIB instalacija rasvjete, [7].

Minimalna TP1 KNX/EIB instalacija sadrži sljedeće komponente:

- napojna jedinica (29 V DC)
- prigušnica (može biti integrirana u napojnu jedinicu)
- senzori (na slici 3.3 prikazan jednostruki senzor)
- aktuatori (na slici 3.3 prikazan jednostruki aktuator za sklapanje)
- busni kabel (potrebne su samo 2 žile), [7].

Senzori pokreta ne smiju se izlagati izravno Sunčevoj svjetlosti, ne smiju biti blizu ventilatora ili grijalica zbog zračnih turbulencija, fluorescentne i žarulje sa žarnom niti moraju biti udaljenje barem 1 – 3 metra. Što se tiče senzora prisutnosti, mora se osigurati da je radno područje točno u zoni detekcije i da nema nikakvih prepreka poput policaj, biljaka, staklenih zidova itd. Treba imati na umu da će strojevi koji se kreću, biljke i životinje biti prepoznate kao pokret. Zato se moraju postaviti barem 50 cm od kabela i radijatora.



Slika 3.4. Pravila za postavljanje senzora.

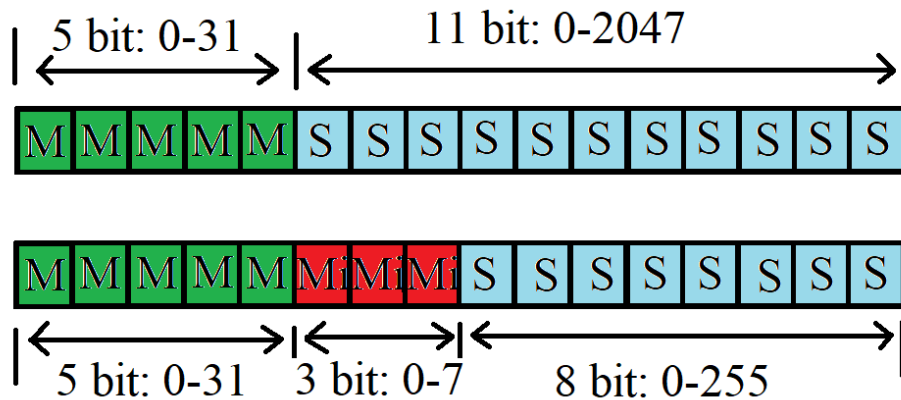
Nakon fizičkog povezivanja uređaja u pametnoj instalaciji i dalje se ne može koristiti sustav, nego je potrebno prvo dodijeliti fizičke i grupne adrese uređajima, a zatim povezati komunikacijske objekte tako da se svaka pojedina grupna adresa poveže s uređajima koji se koriste prilikom izvršenja odabrane grupne adrese. To znači da svi uređaji, od tipkala, rasvjete, senzora, aktuatora i ostalih uređaja, koji se koriste u isto vrijeme za isti zadatak (npr. paljenje rasvjete), moraju imati istu grupnu adresu.

A=Područje L=Linija B=Sabirnički uređaj



Slika 3.5. Prikaz fizičke adrese uređaja.

Ako senzor detektira pokret, on svim povezanim uređajima šalje informacije (telegram), ali samo oni uređaji koji imaju istu grupnu adresu reagiraju na poslanu informaciju ili naredbu za uključivanje rasvjete. Fizička adresa nema utjecaj za vrijeme normalnog rada instalacije, već se koristi u svrhu dijagnoze, ispravljanja grešaka i modificiranja instalacije programiranjem, [7]. Na slici 3.6. prikazan je izgled, odnosno zapis grupne adrese. M je oznaka za glavnu (eng. *Main*) grupu, S za podgrupu (eng. *Subgroup*), a Mi označava srednju (eng. *Middle*) grupu.



Slika 3.6. Prikaz grupne adrese druge i treće razine

4. NORMA DIN EN 12464-1

Standard upravlja unutarnjom rasvjetom radnih mjesta. Kao i kod većine standarda postavljaju se minimalni zahtjevi. Drugim riječima, brine se da minimalni zahtjevi rasvijetljenosti radnih mjesta i okoline budu zadovoljeni. Standard sam po sebi ne osigurava dobru rasvjetu, nego je za to potrebno poznavanje potrebe za rasvjetom određenog prostora, primjene prostora i poznavanje proizvoda koji se koriste. EN 12464-1 primjenjivi je standard koji propisuje postupak za pronalaženje odgovarajućeg rasvjetnog rješenja. Potrebno je skupiti potrebne podatke i postaviti zahtjeve. Zatim uzeti u obzir različite alternative, kao što su odrediti najpogodniji koncept rasvjete, izbor vrste svjetla, izbor same svjetiljke, te na kraju je potreban izračun i dokumentacija. U većini je projekata najbitnija namjena prostora u kojem se radi proračun rasvjete. Očito je da potrebe škola nisu iste kao i potrebe industrijskih postrojenja. Tri kriterija su definirana za svaku primjenu. Prvo je minimalna srednja rasvijetljenost. Zatim slijedi minimalni zahtjev za uzvrat boje gdje je najbitniji izbor svjetiljke. U sobama gdje ljudi rade i borave duže vremena, obavezna su svjetla s uzvratom boje minimalnog iznosa $R_a = 80$. Zadnji je minimalni UGR (eng. *Unified Glare Rating*) što je prosječni iznos odsjaja ili refleksije svjetlosti. Tablica 4.1. prikazuje faktor refleksije ovisno o boji površine.

Tablica 4.1. Faktor refleksije za određenu boju površine.

Boja površine	Faktor refleksije
Bijela ili jako svijetla	0,7
Svijetla	0,5
Tamnija	0,3
Jako tamna	0,1

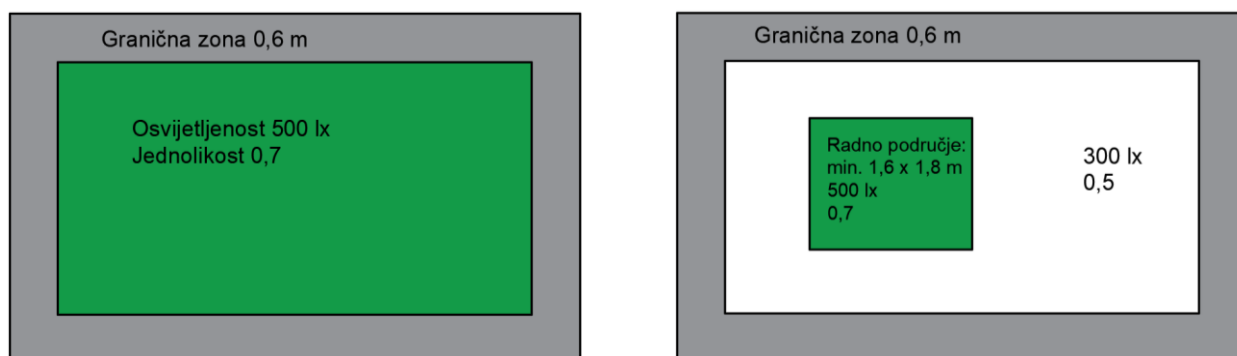
Za svaku se svjetiljku, s obzirom na odsjaj, može proračunati standardizirani stol. Parametri su: veličina prostorije, faktori odsjaja i položaj promatrača u prostoru. Tablica 4.2. prikazuje propisanu osvjetljenost, prosjek odsjaja i uzvrat boje za svaki prostor, zadatak ili aktivnost.

Tablica 4.2. Propisane vrijednosti rasvjete za određena radna mjesta i poslove.

Vrsta prostora, zadatka ili aktivnosti	E_m	UGRL	R_a
Obavljanje posla, kopiranje itd.	300	19	80

Pisanje, tipkanje i čitanje, obrada podataka na računalu	500	19	80
Tehničko crtanje	750	16	80
CAD radna mjesta	500	19	80
Sobe za sastanke	500	19	80
Recepcija	300	22	80
Arhiva	200	25	80

Proizvođači svjetiljki daju tablice s UGR vrijednostima svjetiljke ovisno o odsjaju površina i geometriji sobe. Npr. tipični zahtjev za uredsko okruženje je UGR vrijednosti 19 ili niže. Još je jedan od bitnijih faktora jednolikost koja bi trebala iznositi 0,7. To znači da nema naglih promjena u rasvijetljenosti prostora. Ono što nije propisano jest kako će se ostvariti vizualni ugođaj. To je odgovornost dizajnera, ali i korisnik ima pravo odabira. Korištenje izravne i neizravne rasvjete, reflektorske svjetiljke ili *Softlight*, klasična rasvjeta ili posebna rasvjeta za određeni zadatak itd., može garantirati vizualni ugođaj ako je sve dobro promišljeno i ostvareno. Dnevna je svjetlost preporučena u standardu zato što ima veliki utjecaj na raspoloženje ljudi jer nudi vizualni kontakt s vanjskim svijetom što većina ljudi cijeni, a i doprinosi uštedi energije. Što se tiče definiranja radnog mjesta, prostor možemo podijeliti tako da je samo određeni dio prostora radno mjesto (npr. radni stol u uredu) ili da je cijela prostorija radno mjesto. Time se određuje da na stolu mora biti rasvijetljenost 500 lx i jednolikost 0,7, a u ostatku ureda 300 lx uz jednolikost od 0,5. Primjer je dan na slici 4.1. gdje je u prvom slučaju cijeli prostor definiran kao radni prostor, a u drugom slučaju imamo točno dio prostora koji je definiran kao radni.



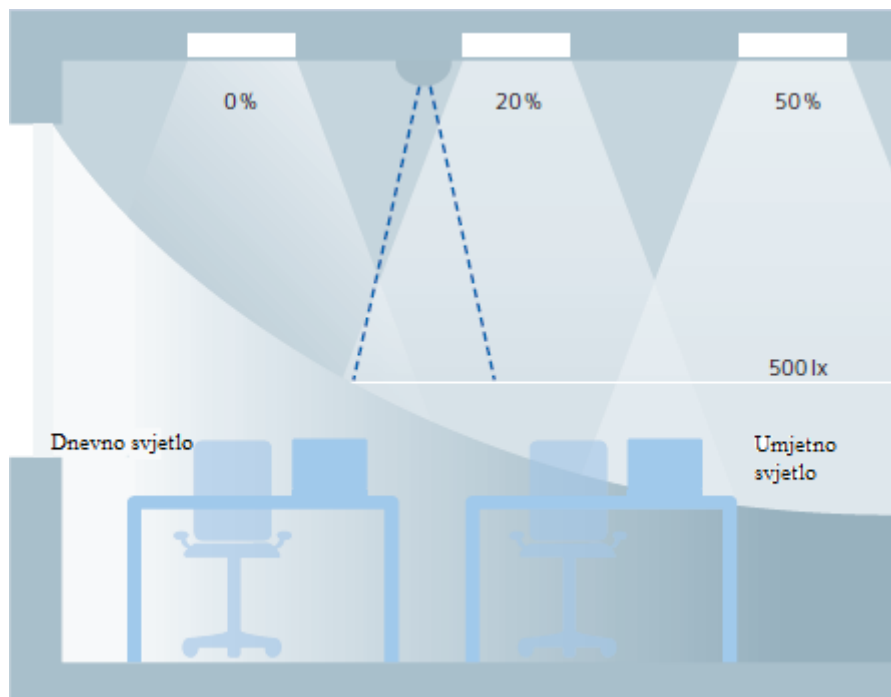
Slika 4.1. Mogućnosti podjele radnog prostora.

Standard također govori o važnosti smanjenja potrošnje energije. Zahtjevi rasvjete moraju se zadovoljiti bez nepotrebnog rasipanja energije, ali, također, ne smije se žrtvovati kvalitetu i

količinu rasvjetljenosti samo zato da bi se smanjili potrošnju energije. Upravo kod toga pomažu sustavi rasvjete sa sensorima koji osiguravaju točno onoliko svjetlosti koliko je potrebno, [8].

5. PRORAČUN RASVJETE U RELUX-U

Za simulaciju rasvjete u računalnom softveru Relux korišten je proizvoljni projektni ured dimenzija 6 m x 4 m namijenjen radu s papirima i računalnom radu. Zahtjevi koji se stavljaju pred dimenzioniranje rasvjete takvog ureda je rasvijetljenost radnog stola od 500 lx, a okoline 300 lx. Upravo je to najveći izazov jer je potrebno prilagoditi vrstu rasvjete i raspored svjetiljki tako da ni stol, a ni okolina ne budu prejako ili preslabo rasvijetljeni. Sve mora biti usklađeno s onim što bi se stvarno može pronaći u nekom uredu. Slika 5.1. prikazuje kako udaljenost od prozora utječe na potrebnu količinu umjetne rasvjete.



Slika 5.1. Intenzitet pojedinih rasvjetnih tijela.

Korištena rasvjetna tijela:

- 2 svjetiljke 3F *Filippi - Lucequadro LED SOP*
- *Luceco – Luxpanel, LPB66H50S40.*

Sva su 3 rasvjetna tijela LED stropni ugradbeni paneli temperature boje 4000 K. *Luxpanel*, proizvođača *Luceco*, ugradbeni je panel dimenzija 585 mm x 1185 mm, snage 36 W i svjetlosnog toka 4971 lm, što osigurava dovoljno svjetlosti iznad radnog stola. Za rasvjetu okoline korištena su 2 manja panela *Lucequadro* čiji je proizvođač *3F Filippi*, dimenzija 235 mm x 235 mm, snage 20 W i svjetlosnog toka 2194 lm.



Slika 5.2. 3F Filippi - Lucequadro LED SOP.



Slika 5.3. Luceco – Luxpanel.

U proračunu su korištena 2 senzora jer stol zahtijeva veću rasvijetljenost nego ostatak sobe, a što nije izvedivo jednim sensorom. Senzor iznad radne površine je *Steinel – IR Quattro SLIM* s kutom detekcije $300^\circ - 360^\circ$ i osigurava rasvijetljenost od 500 lx, dok senzor *B.E.G. Luxomat* osigurava da rasvijetljenost prostorije ne padne ispod 300 lx.

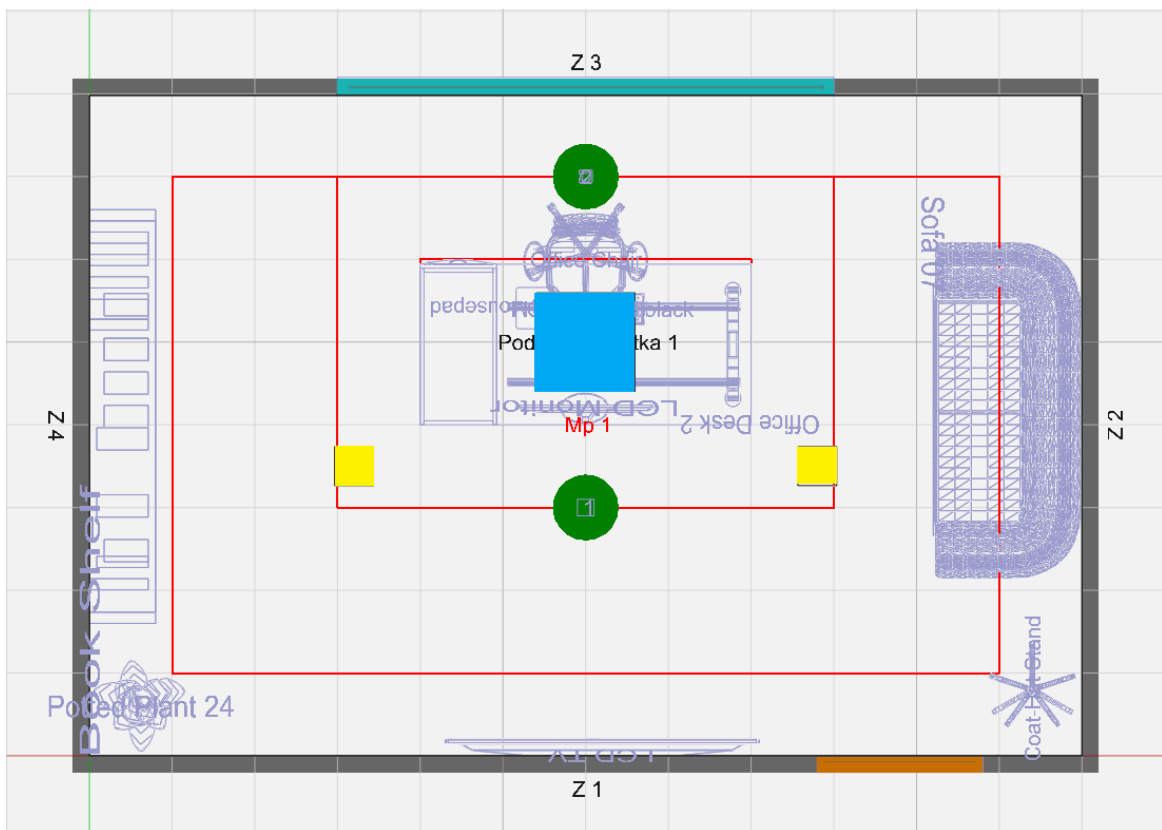


Slika 5.4. Steinel - IR Quattro SLIM.

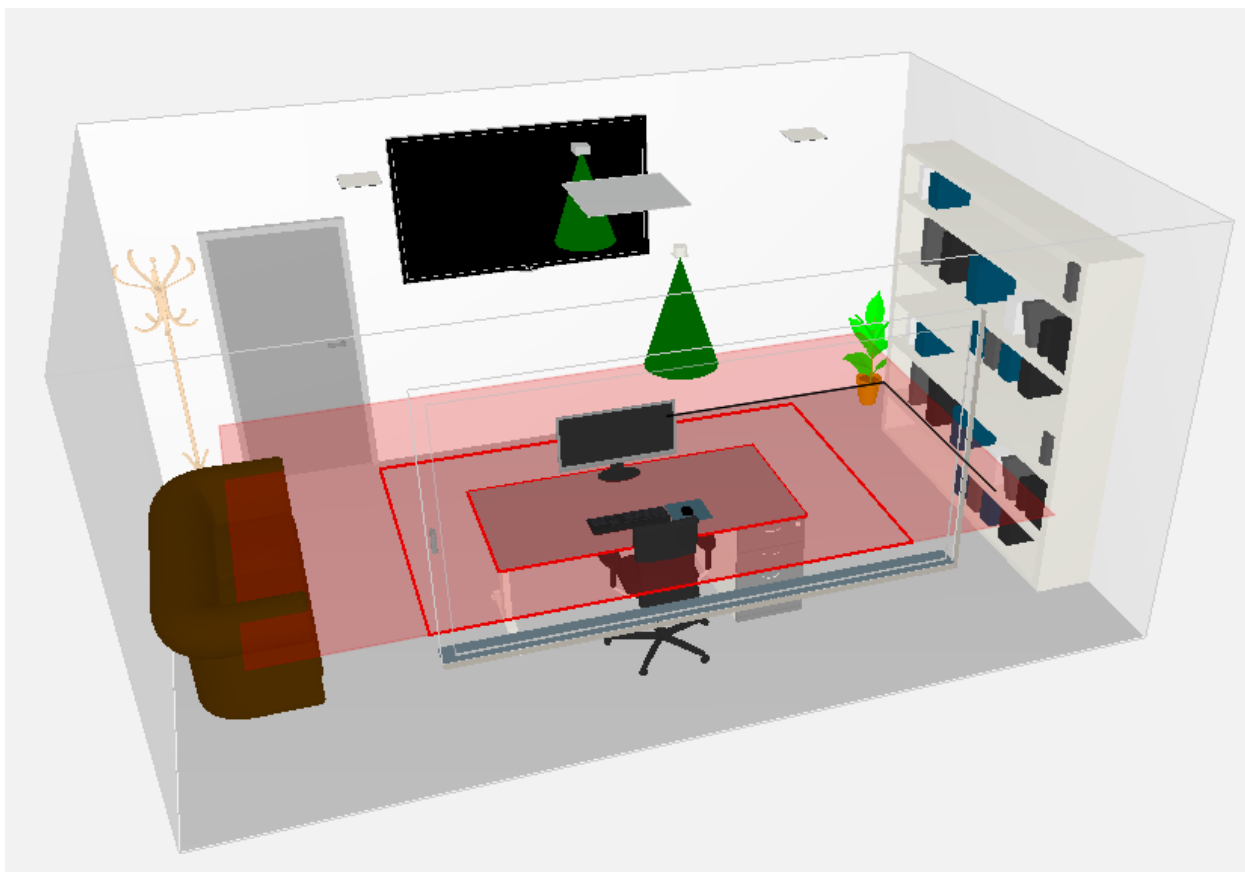


Slika 5.5. B.E.G. Luxomat.

Na slici 5.5. prikazan je tlocrt ureda u programu Relux. Žutom bojom označene su svjetiljke Lucequadro, a plavom je označen Luxpanel. Senzori su prikazani zelenom bojom. Na zidu Z3 tirkiznom je bojom označen prozor, a na zidu Z1 smeđa boja označava vrata. Također se može vidjeti vanjski, odnosno veći crveni pravokutnik koji definira mjerno područje (okolni prostor s rasvjetljenošću od 300 lx), kao i unutarnji pravokutnik koji definira područje zadatka (radni prostor s rasvjetljenošću od 500 lx). U ured je smještena i polica za knjige, radni stol s računalom, stolica, dvosjed, TV i vješalica za jakne. Veliku ulogu u učinkovitosti rasvjete ima boja zidova, stoga je odabrana bijela boja koja reflektira najviše svjetlosti.



Slika 5.6. Tlocrt ureda u Relux-u.



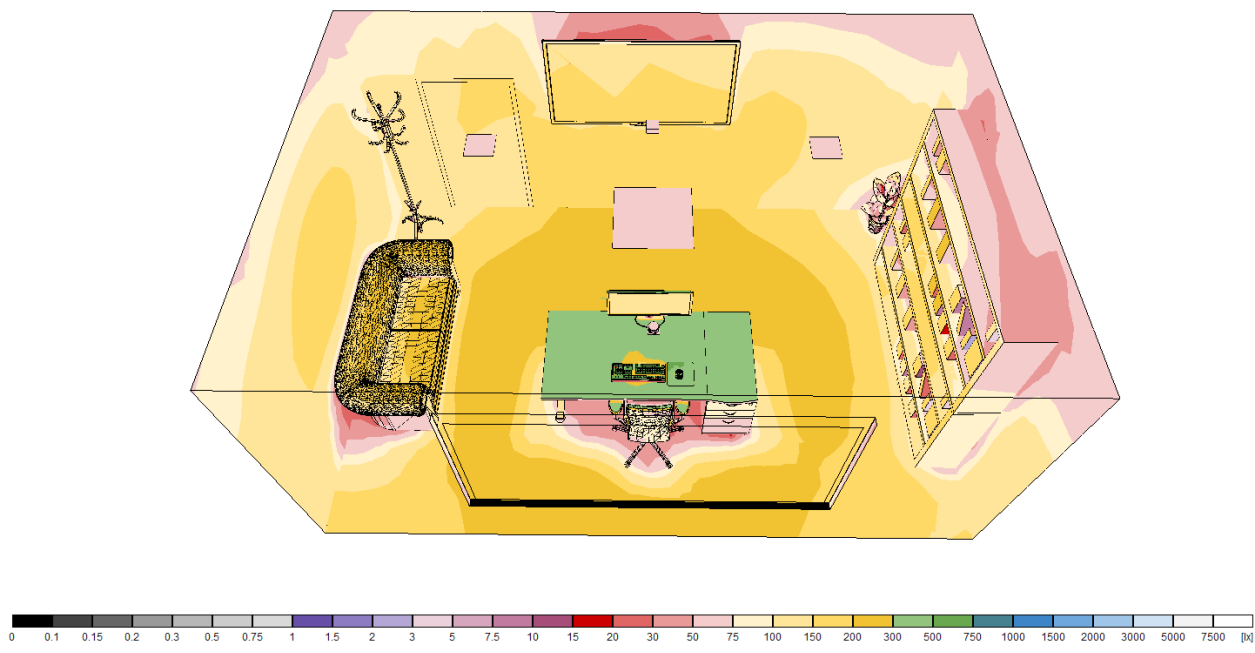
Slika 5.7. 3D prikaz ureda u Relux-u

5.1. Rasvjetljenost prostora umjetnom rasvjetom

Prvo je napravljena simulacija bez dnevne rasvjete, odnosno slučaj kada je vani mrak ili spuštene rolete. Iz slike 5.9. se vidi da su zadovoljeni uvjeti propisani normom, a to je srednja rasvjetljenost okoline od točno 300 lx uz jednolikost veću od 0,5 što je u ovom slučaju 0,66. Srednja rasvjetljenost radnog područja neznatno je manja od propisanih 500 lx i iznosi 496 lx uz jednolikost iznosa 0,8 s time da norma propisuje jednolikost veću od 0,7. Ukupna snaga svih svjetiljki je samo 76 W što je znatno manja potrošnja energije u odnosu na konvencionalnu rasvjetu gdje je jedna žarulja trošila 100 W i znatno je duži vijek trajanja LED rasvjete.

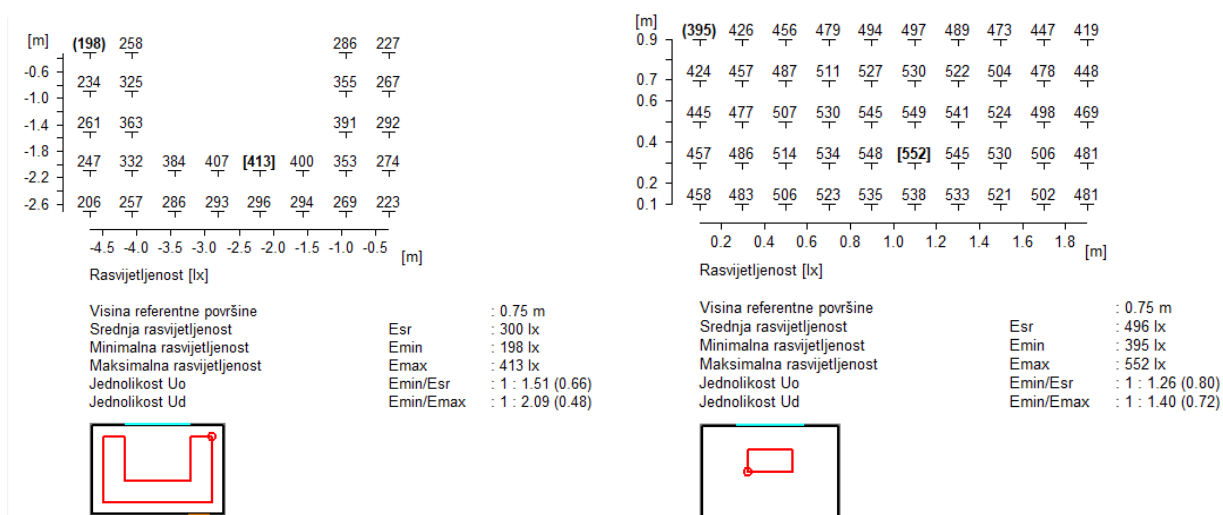


Slika 5.8. Rasvjetljenost prostora umjetnom rasvjetom.

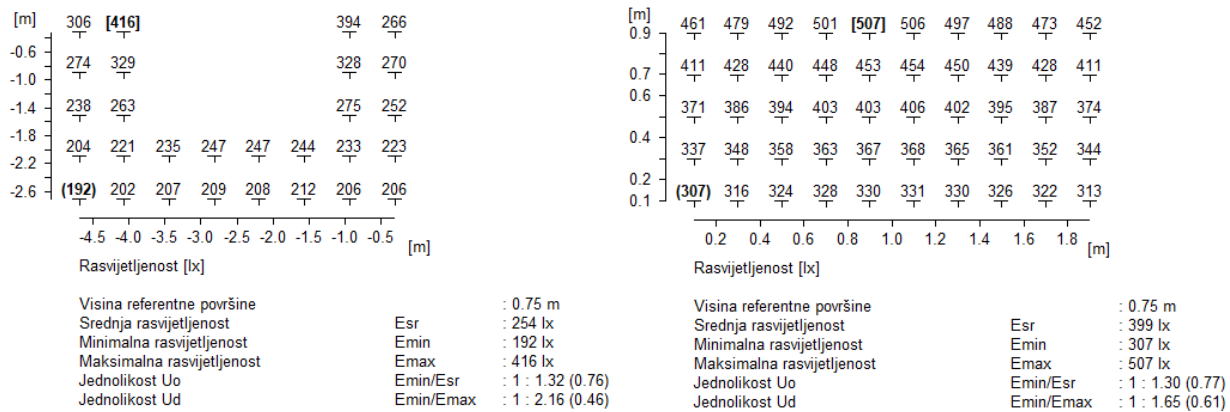


Slika 5.9. 3D prikaz rasvjetljenosti pseudo bojama.

Prikaz pseudoboja najbolje vizualno pokazuje koliko je koji dio prostorije rasvjetljen. Brojčani raster daje detaljne informacije koliko je koja točka prostora rasvjetljena. U ovom slučaju postoje dva brojčana rastera, jedan za okolinu, a drugi za radno područje.



Slika 5.10. Rasvjetljenost okoline (lijevo) i radnog područja (desno) u prikazu s brojčanim rasterom



Slika 5.12. Brojčani raster rasvijetljenosti okoline (lijevo) i radnog područja (desno) prirodnim svjetlom za mjesec ožujak

5.3. Rasvjetljenost prostora prirodnom i umjetnom rasvjetom

Unatoč tome što u ljetnim mjesecima nema potrebe za umjetnom rasvjetom, ljudi već refleksno uključuju svjetlo pri ulazu u ured. Svjetlo svijetli svih 8 sati koliko je njihovo radno vrijeme i tu se stvaraju nepotrebni troškovi koji se mogu otkloniti uvođenjem senzora rasvjetljenosti i prisutnosti da se svjetlo ne bi uključilo prije i nakon radnog vremena. Slično tako u ostatku godine ujutro je rasvjetljenost stola manja od 500 lx i moramo uključiti rasvjetu, ali kako dan prolazi tako potreba za tom rasvjetom nestaje. Osoba to neće ni primijetiti i svjetlo će opet raditi cijelo vrijeme. Situacija je to u kojoj automatizacija preuzima najvažniju ulogu. Nije dobra ni preslaba ni prejaka rasvjetljenost budući da se tako dodatno naprežu oči i mozak, brže se umara, a rad postaje neučinkovitiji. Uporabom senzora osigurava se rad u uvjetima koji su propisani.

Zahvaljujući dimenzijama prostorije i veličini prozora, ni jedan dan rasvjeta nije potrebna nakon 9:30, nego je prirodno svjetlo dovoljno za rad. Ovo vrijedi za simulaciju da je vrijeme vedro po CIE-i. U zimskom razdoblju od 1. 12. do 1. 2. umjetna rasvjeta radi do 9:25 intenzitetom prikazanim u sljedećoj tablici.

Tablica 5.1. Potrošnja i intenzitet svjetlosti u razdoblju od 1. 12. do 1. 2.

Intenzitet	100%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%	0%
Vremenski raspon	7:30 – 7:50	7:50–7:55	7:55–8:00	8:00–8:15	8:15–8:25	8:25–8:35	8:35–8:45	8:45–9:10	9:10–9:25	9:25–15:30
Trajanje [min]	20	5	5	10	15	10	10	25	15	365
Snaga [W]	76	30,4	26,6	22,8	19	15,2	11,4	7,6	3,8	0

Kada se izračuna potrošnja za jedan radni dan koji traje od 7:30 do 15:30 i traje 8 sati ona iznosi:

$$E_D = P_{100} \cdot t_{100} + P_{40} \cdot t_{40} + P_{35} \cdot t_{35} + P_{30} \cdot t_{30} + P_{25} \cdot t_{25} + P_{20} \cdot t_{20} + P_{15} \cdot t_{15} + P_{10} \cdot t_{10} + P_5 \cdot t_5 \quad (5 - 1)$$

$$E_D = 76 \cdot \frac{20}{60} + 30,4 \cdot \frac{5}{60} + 26,6 \cdot \frac{5}{60} + 22,8 \cdot \frac{10}{60} + 19 \cdot \frac{15}{60} + 15,2 \cdot \frac{10}{60} + 11,4 \cdot \frac{10}{60} + 7,6 \cdot \frac{25}{60} + 3,8 \cdot \frac{15}{60} \quad (5-2)$$

$$E_D = 25,33 + 2,53 + 2,22 + 3,8 + 4,75 + 2,53 + 1,9 + 3,17 + 0,95 \quad (5-3)$$

$$E_D = 47,18 \text{ Wh} = 0,04781 \text{ kWh} \quad (5-4)$$

gdje je:

- E_D – energija potrošena u jednom danu,
- P_n – ukupna snaga sva 3 rasvjetna tijela pri intenzitetu od n %,
- T_n – trajanje rada rasvjetnih tijela pri intenzitetu od n %.

Potrošnja električne energije u jednom danu iznosi 47,18 Wh. Razdoblje od 1. 12. do 1. 2. ima 42 radna dana, pa ukupna potrošena energija iznosi:

$$E_{P1} = 42 \cdot 0,04781 = 2,01 \text{ kWh} \quad (5-5)$$

gdje je:

- E_{P1} – energija potrošena u razdoblju od 1. 12. do 1. 2.

U sljedećih mjesec dana, od 2. 2. do 2. 3., rasvjeta ni jedan dan ne radi intenzitetom od 100 % , već radi kako pokazuje tablica 5.2.

Tablica 5.2. Potrošnja i intenzitet svjetlosti u razdoblju od 2.2. do 2.3.

Intenzitet	25%	20%	15%	10%	5%	0%
Vremenski raspon	7:30 – 7:40	7:40 – 7:50	7:50 – 8:00	8:00 – 8:10	8:10 – 8:20	8:20 – 15:30
Trajanje [min]	10	10	10	10	10	430
Snaga [W]	19	15,2	11,4	7,6	3,8	0

U jednom radnom danu potrošnja iznosi:

$$E_D = P_{25} \cdot t_{25} + P_{20} \cdot t_{20} + P_{15} \cdot t_{15} + P_{10} \cdot t_{10} + P_5 \cdot t_5 \quad (5-6)$$

$$E_D = 19 \cdot \frac{10}{60} + 15,2 \cdot \frac{10}{60} + 11,4 \cdot \frac{10}{60} + 7,6 \cdot \frac{10}{60} + 3,8 \cdot \frac{10}{60} \quad (5-7)$$

$$E_D = 3,17 + 2,53 + 1,9 + 1,27 + 0,63 \quad (5-8)$$

$$E_D = 9,5 \text{ Wh} = 0,0095 \text{ kWh}$$

Potrošnja električne energije u jednom danu iznosi 9,5 Wh. Razdoblje od 2. 2. do 2. 3. ima 21 radni dan, pa ukupna potrošena energija iznosi:

$$E_{P2} = 21 \cdot 0,0095 = 0,1995 \text{ kWh} \quad (5 - 9)$$

gdje je :

- E_{P2} – energija potrošena u razdoblju od 2. 2. do 2. 3.

U razdoblju od 3. 3. do 7. 3. umjetna je rasvjeta potrebna samo za rasvjetljavanje radnog stola, stoga se intenzitet odnosi samo na to rasvjetno tijelo.

Tablica 5.3. Potrošnja i intenzitet svjetlosti u razdoblju od 3. 3. do 7. 3.

Intenzitet	10%	5%
Vremenski raspon	7:30 – 7:35	7:35 – 7:45
Trajanje [min]	5	10
Snaga [W]	3,6	1,8

U jednom danu tog razdoblja potrošnja iznosi:

$$E_D = P_{10} \cdot t_{10} + P_5 \cdot t_5 \quad (5 - 10)$$

$$E_D = 3,6 \cdot \frac{5}{60} + 1,8 \cdot \frac{10}{60} \quad (5 - 11)$$

$$E_D = 0,3 + 0,3 \quad (5 - 12)$$

$$E_D = 0,6 \text{ Wh} = 0,0006 \text{ kWh} \quad (5 - 13)$$

Potrošnja električne energije u jednom danu iznosi 0,6 Wh. Razdoblje od 3. 3. do 7. 3. ima 5 radnih dana, pa ukupna potrošena energija iznosi:

$$E_{P3} = 5 \cdot 0,0006 = 0,003 \text{ kWh} \quad (5 - 14)$$

gdje je :

- E_{P3} – energija potrošena u razdoblju od 3. 3. do 7. 3.

U razdoblju od 8. 3. pa sve do 18. 9. nema potrebe za umjetnom rasvjetom. Zatim za razdoblje od 19. 9. do 25. 9. trebamo samo rasvjetu za radni stol.

Tablica 5.4. Potrošnja i intenzitet svjetlosti u razdoblju od 19. 9. do 25. 9.

Intenzitet	10%	5%
Vremenski raspon	7:30 – 7:40	7:40 – 7:45
Trajanje [min]	10	5
Snaga [W]	3,6	1,8

U jednom danu tog razdoblja potrošnja iznosi:

$$E_D = P_{10} \cdot t_{10} + P_5 \cdot t_5 \quad (5 - 15)$$

$$E_D = 3,6 \cdot \frac{10}{60} + 1,8 \cdot \frac{5}{60} \quad (5 - 16)$$

$$E_D = 0,6 + 0,15 \quad (5 - 17)$$

$$E_D = 0,75 \text{ Wh} = 0,00075 \text{ kWh} \quad (5 - 18)$$

Razdoblje od 19. 9. do 25. 9. ima 6 radnih dana, pa ukupna potrošena energija iznosi:

$$E_{P4} = 6 \cdot 0,00075 = 0,0045 \text{ kWh} \quad (5 - 19)$$

U razdoblju od 26. 9. do 30. 11. ponovo nema dovoljno prirodne svjetlosti, pa ujutro trebamo umjetnu rasvjetu.

Tablica 5.5. Potrošnja i intenzitet svjetlosti u razdoblju od 26. 9. do 30. 11.

Intenzitet	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%	0%
Vremenski raspon	7:30 – 7:35	7:35 – 7:40	7:40 – 7:45	7:45 – 7:55	7:55 – 8:05	8:05 – 8:20	8:20 – 8:30	8:30 – 15:30
Trajanje [min]	5	5	5	10	10	15	10	420
Snaga [W]	26,6	22,8	19	15,2	11,4	7,6	3,8	0

U jednom danu tog razdoblja potrošnja iznosi:

$$E_D = P_{35} \cdot t_{35} + P_{30} \cdot t_{30} + P_{25} \cdot t_{25} + P_{20} \cdot t_{20} + P_{15} \cdot t_{15} + P_{10} \cdot t_{10} + P_5 \cdot t_5 \quad (5-20)$$

$$E_D = 26,6 \cdot \frac{5}{60} + 22,8 \cdot \frac{5}{60} + 19 \cdot \frac{5}{60} + 15,2 \cdot \frac{10}{60} + 11,4 \cdot \frac{10}{60} + 7,6 \cdot \frac{15}{60} + 3,8 \cdot \frac{10}{60} \quad (5-21)$$

$$E_D = 2,22 + 1,9 + 1,58 + 2,53 + 1,9 + 1,9 + 0,63 \quad (5-22)$$

$$E_D = 12,67 \text{ Wh} = 0,01267 \text{ kWh} \quad (5-23)$$

Razdoblje od 26. 9. do 30. 11. ima 45 radnih dana, pa ukupna potrošena energija iznosi:

$$E_{P5} = 45 \cdot 0,01267 = 0,5702 \text{ kWh} \quad (5-24)$$

Uz pretpostavku da svaki dan u razdoblju od 1. 12. do 30. 11. u 21:00 dolazi čistačica spremite ured, tada postoji 251 radni dan i ako čistačici treba 15 minuta za čišćenje ureda dobije se dodatnih 62 sata i 45 minuta. U to je vrijeme Sunce već zašlo, stoga rasvjetna tijela moraju raditi na 100 % intenziteta, te se dobije:

$$E_{P6} = 0,076 \cdot \frac{251 \cdot 15}{60} = 0,076 \cdot 62,75 = 4,769 \text{ kWh} \quad (5-25)$$

Zbroje li se sve E_P za svako razdoblje dobije se:

$$E_{UK} = E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + E_{P4} + E_{P5} + E_{P6} \quad (5-26)$$

$$E_{UK} = 2,01 + 0,1995 + 0,003 + 0,0045 + 0,5702 + 4,769 \quad (5-27)$$

$$E_{UK} = 7,5 \text{ kWh} \quad (5-28)$$

Ukupna je potrošnja za cijelu godinu 7,5 kWh, ali razlog tome je to što rasvjeta radi na 100 % ukupno 63 sata u cijeloj godini, a ostatak je vremena ispod 40 %. Ljeti uopće nije potrebna, osim za vrijeme čišćenja. Ovdje se radi o idealnom slučaju gdje je svaki dan vedro te zbog toga može biti promjene ako bi neki dani bili oblačni i tmurni. Ukupno je vrijeme rada umjetne rasvjete 67 sati i 20 minuta u godini. Ukupan broj radnih sati u godini je 2070,75.

Ukoliko nema senzora, rasvjeta bi svih 2070,75 sati radila na maksimalnoj snazi od 76 W i potrošnja u godini dana bila bi:

$$E_G = 2070,75 \cdot 0,076 = 157,38 \text{ kWh} \quad (5 - 29)$$

Prema HEP-ovom mrežnom kalkulatoru dobijemo da cijena jednog kWh iznosi 0,875 kn plus cijena opskrbe koja je 7,4 kn mjesečno i mjernog mjesta 10 kn mjesečno bez obzira na potrošnju. Cijenu opskrbe i mjernog mjesta neće se uzeti u ovaj proračun jer se ne mijenjaju bez obzira na količinu potrošene električne energije. Iz toga proizlazi da je cijena samo energije koju koristi rasvjeta uz automatsko podešavanje 7 kn godišnje, dok je cijena ako nema senzora 138 kn godišnje. Razlika je 131 kn godišnje što ne zvuči kao značajna ušteda u godini dana, ali da bi se dobila bolja slika uzet će se zgrada sa 100 ureda na istoj strani, tada bi ušteda na tih 100 ureda bila 13 100 kn godišnje. Proračuni su izvedeni uz dvije pretpostavke, a to su da je cijelo razdoblje proračuna bilo sunčano vrijeme i da je u slučaju bez senzora rasvjeta radila na 100% intenziteta cijelu godinu.

ZAKLJUČAK

Zahvaljujući razvoju tehnologije i napretka u radu s poluvodičima, napravljen je veliki korak naprijed što se tiče svjetiljki, senzora i automatizacije rasvjete. LED svjetla omogućuju da se uz šest puta manje električne energije dobije još bolje rezultate rasvijetljenosti, temperature boje i ostalih karakteristika svjetiljki u odnosu na konvencionalne žarulje. One omogućuju produktivnost i učinkovitost u obavljanju svakodnevnih poslova, bilo to učenje, rad u laboratoriju, uredu ili na gradilištu. Svojom jednostavnošću i veličinom omogućuju primjenu u svim društvenim granama i djelatnostima. Jednako je bitno propisivanje, ažuriranje i poštivanje normi koje osiguravaju odgovarajuće uvjete za radnike. Usavršavanje BUS pametnih instalacija olakšava život i omogućuje upravljanje domom pomoću pametnih mobitela. Nekoć je bio samo san daljinski upravljati grijanjem, hlađenjem, prozračivanjem, rasvjetom i sigurnosnim sustavima, a sada je to moguće imati u svakom kućanstvu.

U proračunu je korišten besplatni softver Relux pomoću kojeg je nacrtan ured, a u svojoj velikoj bazi sadrži veliki broj senzora, rasvjetnih tijela i namještaja koji se u nekoliko *klikova* ubace u prostor. Posjeduje velik broj funkcija, mogućnosti i različitih postavki kako bi se dobilo što točnije proračune. Ističe se mogućnost dodavanja lokacije, datuma, doba dana, podešavanje vremenskih prilika, razni vizualni i analitički prikazi rezultata, ubacivanje senzora, proračun indirektno svjetlosti, ali i brojne druge mogućnosti. Simulacija je napravljena za mjesto Beč, vedro vrijeme i proizvoljno odabrani ured, pa zbog toga može biti razlike u odnosu na stvarne uvjete i promjene s kojima se može susresti. Automatizacijom se otklanja mogućnost ljudske pogreške i smanjuju se nepotrebni gubici. Proračunom se dobje da je ušteda 94 % što je 131 kn godišnje, odnosno 13 100 kn godišnje na 100 ureda. Iz toga se može zaključiti kako se isplati uvesti automatizaciju u zgradu neke tvrtke. Ušteda je to koja se tiče samo rasvjete, a može se još uštedjeti na grijanju, hlađenju i ostalim električnim uređajima koji puno puta nepotrebno troše električnu energiju. Ovoliko veliku uštedu omogućio je i veliki prozor koji dovodi veliku količinu prirodne svjetlosti u ured. Cijena uvođenja automatizacije rasvjete i samih rasvjetnih tijela nije uzeta u obzir, ali bi se proračun mogao time proširiti. Zadatak bi olakšala kupnja i uporaba ostalih programa iz Relux paketa koji nude cijeli niz novih mogućnosti.

LITERATURA

- [1] Antun Šarčević, Elektroničke komponente i analogni sklopovi, Tehnička škola Ruđera Boškovića Zagreb, Zagreb, 1996.
- [2] Ben G. Streetman, Sanjay Kumar Banerjee, Solid State Electronic Devices, Pearson Education, SAD, 2015., 7. izdanje
- [3] Vladimir Rodeš, Električne instalacije 2. dio, Elektrostrojarska škola Varaždin, Varaždin, 2006.
- [4] B. C. Howard, W. J. Brinsky, S. Leitman, Green Lighting, The McGraw, Hill Companies, UK, 2011.
- [5] Usporedba LED i konvencionalne rasvjete: <https://kupiled.eu/ekvivalenti-za-led-rasvjetu/> pristupljeno: srpanj 2021.
- [6] KNX službena web stranica: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/index.php> pristupljeno: srpanj 2021.
- [7] KNX sustavi, osnovni tečaj: http://knx.com.ua/attachments/article/132/KNX-basic_course_full.pdf pristupljeno: srpanj 2021.
- [8] Norma DIN EN 12464 – 1
- [9] Luxomat senzor prisutnosti: https://relux.com/en/search/sensors/beg_luxomat/beg_knx/HR/# pristupljeno: kolovoz 2021.
- [10] IR Quattro slim senzor prisutnosti: https://relux.com/en/search/sensors/steinel/stl_ir_quattro_slim/HR/#art=undefined pristupljeno: kolovoz 2021.
- [11] Luceco svjetiljka: https://relux.com/en/search/luminaires/luceco/lcc_luxpanel/HR/ pristupljeno: kolovoz 2021.
- [12] Lucequadro svjetiljka: https://relux.com/en/search/luminaires/3f_filippi/3ff_3f_filippi_-_lucequadro_led/HR/#art=3ff_3f_filippi_-_365_2aceb93a2e0c124d&var=---&config=0001&lamp=13-10116-20-2194_-_50000-4000k- pristupljeno: kolovoz 2021.
- [13] Izračun cijene kWh prema HEP cjeniku: <http://mojracun.hep.hr/kalkulator/> pristupljeno: kolovoz 2021.

SAŽETAK

Završnim radom nastojalo se dokazati kako uporaba modernijih sustava upravljanja rasvjetom povećava energetska učinkovitost, smanjuje troškove i poboljšava kvalitetu rada i življenja. LED tehnologija povećala je životni vijek rasvjetnih uređaja, smanjila troškove održavanja i proširila područje uporabe. Norma DIN EN 12464-1 propisuje potrebne mjere koje se poduzimaju radi zaštite zdravlja zaposlenika i povećanja njihove produktivnosti. BUS instalacije poput KNX/EIB doprinose povezivanju, automatizaciji i upravljanju svih električnih uređaja. Ušteda koja se postiže korištenjem navedenih tehnologija i propisa prikazana je primjerom projektnog ureda u Relux računalnom softveru.

Ključne riječi: DIN EN 12464-1, energetska učinkovitost, KNX/EIB, LED tehnologija, Relux

ABSTRACT

Designing efficient interior lighting

This final paper had the aim to prove how the usage of modern lighting managing systems increases energy efficiency, decreases the expenses and improves the quality of work as well as living. LED technology has increased the lifespan of lighting devices, decreased the maintenance expenses, and expanded their field of usage. The DIN EN 12464 -1 norm prescribes the necessary measures taken to protect the health of the employees and to increase their productivity. BUS installations like KNX/EIB contribute to integrating, automatization and management of all electrical devices. The achieved saving by using the beforementioned technologies and directives is shown with the example of a project office in Relux computer software.

ŽIVOTOPIS

Ivan Božanović rođen je 16. 1. 2000. u Vinkovcima. Pohađao je Osnovnu školu Bartola Kašića Vinkovci. Nakon toga upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića Vinkovci smjer elektrotehnika. U četvrtom razredu srednje škole osvaja prvo mjesto na županijskom natjecanju iz matematike. Sve razrede prolazi s odličnim uspjehom i kao najbolji učenik dobiva izravan upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku i upisuje Sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike. Prije početka osnovne škole počinje trenirati gimnastiku kojom se bavi sve do kraja srednje škole, a uz brojne medalje, najbolji ostvareni uspjeh brončana je medalja na državnom natjecanju.

Ivan Božanović