

# Projektiranje rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima

---

**Božanović, Luka**

**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:200:762136>

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

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

*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 RASVJETE U UNUTRAŠNjim  
RADNIM PROSTORIMA**

**Završni rad**

**Luka Božanović**

**Osijek, 2023.**

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

Osijek, 14.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Luka Božanović
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4795, 28.07.2020.
<b>OIB Pristupnika:</b>	02855361278
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Projektiranje rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Opisati zahtjeve norme HRN EN 12464-1:2021 Svjetlost i rasvjeta - Rasvjeta radnih mjesta - 1. dio: Unutrašnji radni prostori. Predstaviti i objasniti kriterije za projektiranje rasvjete u unutarnjim prostorima. Opisati i pojasniti glavne metode za projektiranje unutarnje rasvjete. Izraditi projekt rasvjete za unutarnji radni prostor.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	14.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	24.09.2023.
<b>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</b>	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

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

Osijek, 25.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Luka Božanović

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4795, 28.07.2020.

**Turnitin podudaranje [%]:**

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima**

izrađen pod vodstvom mentora 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:

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

**IZJAVA**

**o odobrenju za pohranu i objavu ocjenskog rada**

kojom ja Luka Božanović, OIB: 02855361278, student/ica Fakulteta elektrotehnike,

računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na studiju Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija, kao autor/ica ocjenskog rada pod naslovom:

Projektiranje rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima,

dajem odobrenje da se, bez naknade, trajno pohrani moj ocjenski rad u javno dostupnom digitalnom repozitoriju ustanove Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek i Sveučilišta te u javnoj internetskoj bazi radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu, sukladno obvezi iz odredbe članka 83. stavka 11. *Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju* (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog ocjenskog rada. Ovom izjavom, kao autor/ica ocjenskog rada dajem odobrenje i da se moj ocjenski rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima/icama i djelatnicima/ama ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

*\*U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem ocjenskom radu, podnosi se obrazloženi zahtjev nadležnom tijelu Ustanove.*

Osijek, 25.09.2023.

(mjesto i datum)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis studenta/ice)

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
1.2. Pregled područja rada .....	2
<b>2. NORMA HRN EN 12464-1:2021 .....</b>	<b>3</b>
<b>3. KRITERIJ PROJEKTIRANJA RASVJETE .....</b>	<b>3</b>
3.1. Razdioba sjajnosti .....	3
3.2. Rasvijetljenost .....	4
3.3. Bliještanje .....	7
3.4. Rasvjeta unutarnjeg prostora .....	8
3.5. Aspekti boja .....	9
<b>4. METODE PROJEKTIRANJA UNUTARNJE RASVJETE.....</b>	<b>10</b>
4.1. Metoda lumena.....	10
4.2. Metoda točka po točka.....	14
4.3. Metoda računalnog modeliranja .....	16
<b>5. DALI UPRAVLJAČKI PROCES .....</b>	<b>17</b>
5.1. Upravljanje DALI sustavom .....	18
<b>6. PRIMJER PROJEKTIRANJA RASVJETE UČIONICE .....</b>	<b>19</b>
6.1. Metoda lumena.....	19
6.2. Metoda računalnog modeliranja .....	20
6.3. Rasvjeta stolova.....	22
6.4. Rasvjeta ploče.....	24
6.5. Dimanje i energetska učinkovitost.....	26
6.6. Proračun rasvjete.....	30
<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>33</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>

**SAŽETAK**..... **36**

**ABSTRACT** ..... *Error! Bookmark not defined.*

# 1. UVOD

U današnjem modernom svijetu razumijevanje važnosti kvalitetne rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima igra ključnu ulogu u osiguravanju optimalnih uvjeta za rad, zdravlje i dobrobit ljudi koji zbog užurbanog načina života većinu vremena provode u zatvorenim prostorima. Rasvjeta ima izravan utjecaj na koncentraciju, produktivnost i udobnost ljudi što projektiranju unutarnje rasvjete koje se čini jednostavnim daje važnost i složenost. Trenutni aktualni faktor energetske učinkovitosti čini složenim projektiranje unutarnje rasvjete primjenom automatizirane i senzorom upravljane rasvjete, ali i upravljačkih procesa rasvjete kao što su DALI, KNX i drugi.

Drugi dio rada analiza je norme HRN EN 12464-1:2021 koja predstavlja najnoviju verziju europskog standarda za projektiranje unutrašnjih radnih prostora. Ovaj standard obuhvaća preporuke za različite aspekte rasvjete, uključujući minimalne svjetlosne razine, rasvijetljenost te korištenje prirodnog i umjetnog svjetla. Treći dio fokusira se na temeljne kriterije projektiranja rasvjete. U četvrtom dijelu rada prikazane su metode projektiranja rasvjete, uključujući pristupe temeljene na računalnom modeliranju, kao i tradicionalne metode koje koriste grafičke tablice i kalkulacije. Peti dio je pojašnjenje DALI upravljačkog procesa korištenog za rasvjetna tijela u primjeru metode računalnog modeliranja što je ujedno i praktični dio. Šesti dio rada odnosi se na primjenu lumen metode i računalnog modeliranja za primjer učionice.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Ovaj završni rad ima za cilj prikazati jednu od metoda unutarnje rasvjete za određeni radni prostor, pružiti detaljan uvid u kriterije projektiranja rasvjete, normu HRN EN 12464-1:2021 i objasniti metode projektiranja rasvjete u unutrašnjim radnim prostorima. Također, zadatak rada je prikazati računalno modeliranje u programu DIALux i opisati rad DALI upravljačkog procesa.



## 1.2. Pregled područja rada

I. Božanović u svom završnom radu [1] istražuje ključne aspekte vezane uz energetske učinkovitu rasvjetu i suvremene sustave upravljanja svjetlom. Naglasak stavlja na važnost energetske učinkovitosti u svjetlosnim sustavima te na potrebu za suvremenim rješenjima koja omogućuju bolje upravljanje rasvjetom. Razmatra različite tehnologije i inovacije koje omogućuju smanjenje potrošnje energije u rasvjetnim sustavima, istražuje prednosti i nedostatke različitih izvora svjetla te pruža smjernice za odabir odgovarajućeg izvora svjetlosti ovisno o specifičnim potrebama. Detaljno prikazuje proračun rasvjete korištenjem programa Relux.

S. Ivanković u svom diplomskom radu [2] prikazuje važnosti pravilnog osvjetljenja u unutarnjim prostorima, s posebnim osvrtom na sakralne objekte. Predstavlja konkretan projekt rasvjete crkve Sv. Petra i Pavla u Osijeku. Istražuje trenutno stanje postojeće rasvjete, a zatim se razmatra koncept novog svjetlotehničkog rješenja. Detaljno se opisuju principi rasvjete pojedinih arhitektonskih elemenata kao što su oltari, freske, vitraji, rozete. Također se razmatraju scenariji rasvjete i upravljanje rasvjetom, uključujući i sigurnosnu rasvjetu.

V. Kokošarević u diplomskom radu [3] usredotočuje se na primjer parkovne rasvjete u programskom paketu Relux. Prikazuje modeliranje parkovne rasvjete te istražuje mogućnosti štednje električne energije i razvodnih ormara javne rasvjete. Senzori prisutnosti i shema razvodnog ormara detaljno su opisani kako bi se pokazala učinkovitost i praktičnost tih elemenata u javnim rasvjetnim sustavima.

A. Vori u završnom radu [4] piše o specifičnim smjernicama koje reguliraju rasvjetu na radnim mjestima pružajući dublje razumijevanje zakonskih zahtjeva vezanih za rasvijetljenost u različitim okruženjima. Opisuje korake kao što su prikupljanje podataka, izrada digitalne podloge i projektiranje rasvjete kroz projektno rješenje.

R. Ribarić u svom radu [5] detaljno opisuje svjetlost uz njene karakteristike i fundamentalne značajke. Projektira i pravi proračun unutarnje rasvjete, uključujući primjere proračuna broja rasvjetnih tijela u programu Relux. Dublje ulazi u temu umjetne rasvjete, obrađujući različite vrste izvora umjetne svjetlosti i njihove karakteristike.

## **2. NORMA HRN EN 12464-1:2021**

Europska norma propisana za projektiranje unutarnje rasvjete HRN EN 12464-1:2021, poznata kao "Svjetlost i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – 1. dio: Unutrašnji radni prostori", pruža smjernice za projektiranje rasvjete unutrašnjih radnih prostora određujući prihvatljivu razinu rasvijetljenosti i dozvoljenu količinu bliještanja. Cilj norme je osigurati ugodno, sigurno i produktivno radno okruženje za korisnike na radnim mjestima u zatvorenim prostorima bez sjenovitosti i prekomjernog bliještanja. Zahtjevi rasvjete radnih prostora za obavljanje vizualnih zadataka usko su povezani s prostorom u kojem se obavljaju. Navedena norma zamjenjuje normu EN 12464-1:2011 uz glavne promjene poput:

- Dodavanja više preporuka u tablice što daje naglasak na postojeće zahtjeve.
- Zahtjevi za zidove, stropove i cilindrične rasvijetljenosti premješteni su iz glavnog teksta u tablice.
- Uveden je novi Dodatak D koji uključuje primjere kako izvesti zahtjeve u različitim primjenama (ured/ industrija) prilikom projektiranja rasvjete.
- Treperenje i stroboskopski učinak su ažurirani.

## **3. KRITERIJ PROJEKTIRANJA RASVJETE**

Tri ključne ljudske potrebe moraju biti zadovoljene za učinkovitu rasvjetu:

- Vizualna udobnost koja poboljšavanjem dobrobiti i blagostanja posredno povećava produktivnost i kvalitetu rada.
- Vidna izvedba koja omogućuje radnicima da obavljaju zadatke čak i u izazovnim uvjetima ili tijekom duljih razdoblja
- Sigurnost.

Osnovni kriterij koji utječu na kvalitetu umjetne i prirodne svjetlosti u svjetlosnom okruženju uključuju: razdiobu sjajnosti, rasvijetljenost, usmjerenost svjetlosti (rasvjeta u unutarnjem prostoru), varijabilnost svjetlosti (intenzitet i boja svjetla), uzvrat i izgled boja svjetla, bliještanje i treperenje [6].

### 3.1. Razdioba sjajnosti

Razdioba sjajnosti u vidnom polju utječe na prilagodbu očiju što u konačnici utječe i na vidljivost zadatka [6]. Stoga je dobro uravnotežena prilagodba sjajnosti potrebna za povećanje oštine vida, osjetljivosti na kontrast i učinkovitosti očnih funkcija poput skupljanja zjenica, pokreta očiju, prilagodbe i konvergencije. Kako bi se postigla uravnotežena razdioba sjajnosti potrebno je izbjegavati previsoku i prenisku sjajnost, kontraste sjajnosti (izaziva bliještanje), promjenu sjajnosti (izaziva zamor oka) [6]. Nasuprot tome treba uzeti u obzir sjajnost svih površina koje se određuju refleksijom i rasvijetljenošću površina. Svjetlije unutarnje površine su poželjnije kako bi se izbjegao osjećaj tmine i povećala prilagodba i udobnost. Iako su zahtjevi sjajnosti precizniji, ova norma navodi zahtjeve rasvijetljenosti jer zahtjevi sjajnosti ovise o karakteristikama materijala i položaju promatrača, a za projektiranje rasvjete potrebno je odabrati odgovarajuće vrijednosti refleksije i rasvijetljenost unutarnje površine. Sjajnost stoga uzimamo u obzir određivanjem rasvijetljenosti zidova i stropa, ali i preporučenim refleksijama koje doprinose energetske uštedama i boljem ugođaju, a preporučuju se pri izboru materijala, Tablica 3.1. Vrijednosti refleksije trebaju biti što bliže stvarnim površinama uzimajući u obzir varijaciju refleksije preko površine [6].

**Tablica 3.1.** Opseg refleksija ovisno o vrsti materijala.

Izbor materijala	Opseg refleksija
Stropovi	0.7 – 0.9
Zidovi	0.5 – 0.8
Podovi	0.2 – 0.6
Namještaj, strojevi itd.	0.2 – 0.7

Postoje minimalni zahtjevi za održavanu rasvijetljenost na zidovima ( $\bar{E}_{m,wall}$ ) i na stropovima ( $\bar{E}_{m,ceiling}$ ), ovisno o zadacima i/ili aktivnostima koje se obavljaju u prostoru [6].  $\bar{E}_m$  je minimalna vrijednost srednje rasvijetljenosti određene površine. Jedan od zahtjeva je i uniformnost koja omogućuje određivanje ravnomjerne raspodjele svjetlosti određenog područja. Računa se kao omjer minimalne i prosječne rasvijetljenosti. Bolju uniformnost dobije se ako razlika između prosječne i minimalne rasvijetljenosti nije velika. Prema nacionalnim kodeksima, minimalna rasvijetljenost mora odgovarati preporučenim razinama rasvijetljenosti [7]. Uniformnost za zidove i stropove treba biti  $U_0 \geq 0,10$  [6].

## 3.2. Rasvjetljenost

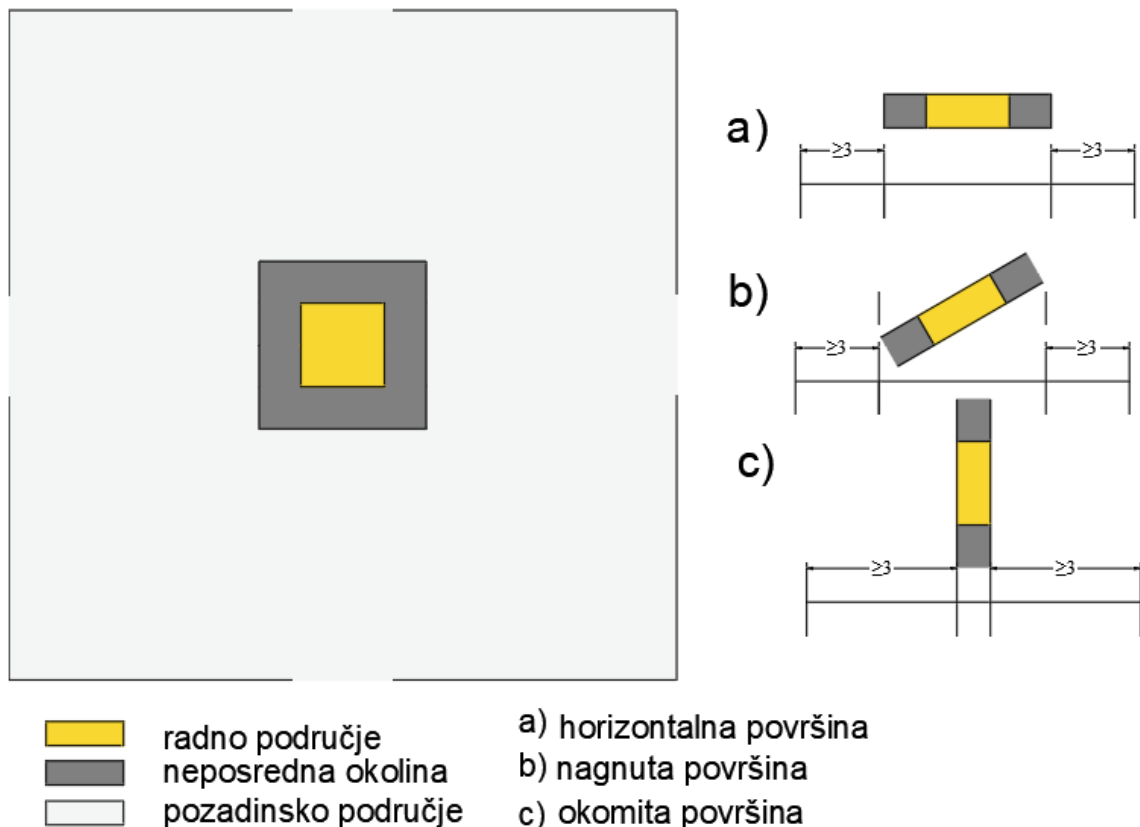
Područja koja trebaju biti rasvjetljena su radna područja, područja neposredne okoline, pozadinska područja, zidovi, stropovi i objekti u prostoru [6]. Rasvjetljenost i njena raspodjela u radnom području kao i u neposrednoj okolini imaju veliki utjecaj na brzinu, sigurnost i udobnost kojom osoba uočava i obavlja vizualne zadatke. Ljestvica rasvjetljenosti prikazuje korake rasvjetljenosti u luxima prema normi EN 122665: 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 - 3 000 - 5 000. Održavana rasvjetljenost je rasvjetljenost koja će osigurati sustav rasvjete u određenom budućem vremenu, uzima u obzir niz faktora gubitka rasvjetljenosti. Sustavi rasvjete općenito su projektirani tako da je održavana rasvjetljenost prije čišćenja ili ponovnog postavljanja svjetla blizu ciljane razine rasvjetljenosti [8]. Vrijednosti održavane rasvjetljenosti navedene u normi HRN EN 12464-1:2021 predstavljaju održavanu rasvjetljenost iznad radnog područja na referentnoj površini koja može biti horizontalna, okomita ili nagnuta [6]. Navedene vrijednosti vrijede za normalne vizualne uvjete uzimajući u obzir čimbenike: psihofiziološke aspekte, kao što su vizualna udobnost i dobrobit, zahtjeve za vizualne zadatke, vizualnu ergonomiju, praktično iskustvo, doprinos funkcionalnoj sigurnosti i ekonomičnost. Ako postoje razlike u odnosu na normalne vidne uvjete vrijednost održavanog rasvjetljenja može se prilagoditi za barem jedan korak na skali rasvjetljenja. Prema tome održavanu rasvjetljenost treba povećati kada je vizualni rad kritičan, ispravljanje pogrešaka skupo, točnost od velike važnosti, radno područje ima slabu dnevnu svjetlost ili kada je vidni kapacitet radnika ispod normalnog [6]. Održavanu rasvjetljenost treba smanjiti kada se zadatak izvodi neuobičajeno kratko i kada su detalji zadataka neobično veliki ili visokog kontrasta. Veličina i položaj radnog područja trebaju biti navedeni i dokumentirani.

Velike prostorne varijacije rasvjetljenosti oko radnog područja mogu dovesti do vizualnog stresa i nelagode te stoga rasvjetljenost neposredne okoline treba biti povezana s rasvjetljenošću radnog područja uz osiguravanje dobro uravnotežene razdiobe sjajnosti u vidnom polju. Neposredna okolina treba biti pojas širine najmanje 0,5 m oko radnog područja unutar vidnog polja [6]. Rasvjetljenost neposredne okoline može biti niža od rasvjetljenosti radnog područja, ali ne smije biti niža od vrijednosti navedenih u Tablici 3.2. Veličina i položaj područja neposredne okoline trebaju biti navedeni i dokumentirani.

**Tablica 3.2.** Veza rasvijetljenosti neposredne okoline s rasvijetljenošću radnog područja.

Rasvijetljenost radnog područja $\bar{E}_m$ [lx]	Rasvijetljenost neposredne okoline [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
$\leq 150$	Jednako kao u radnom području

U unutarnjim radnim prostorima potrebno je rasvijetliti veliko područje izvan neposredne okoline koje se još zove i pozadinsko područje. Pozadinsko područje je horizontalna površina u razini poda koja se nalazi oko neposredne okoline i treba biti rasvijetljeno s 1/3 vrijednosti održavane rasvijetljenosti područja neposredne okoline, dok u većim prostorijama pojas bi trebao biti širok najmanje 3 m, Slika 3.1. Ujednačenost neposrednoj okolini treba biti  $U_0 \geq 0,40$  dok u pozadinskom području ujednačenost zidova i stropova treba biti  $U_0 \geq 0,10$  samo za umjetnu rasvjetu [6].



**Slika 3.1.** Dimenzija pozadinskog područja u odnosu na radno područje i neposrednu okolinu

Sustav mreže rasvjetljenosti treba kreirati kako bi se naznačile točke u kojima se proračunavaju i provjeravaju vrijednosti rasvjetljenosti za određena područja. Preferiraju se mrežne ćelije koje približno odgovaraju kvadratu, omjer duljine i širine ćelije treba biti između 0,5 i 2 [6]. Maksimalna veličina mreže treba biti:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10}(d)} \quad (3 - 1)$$

gdje je:

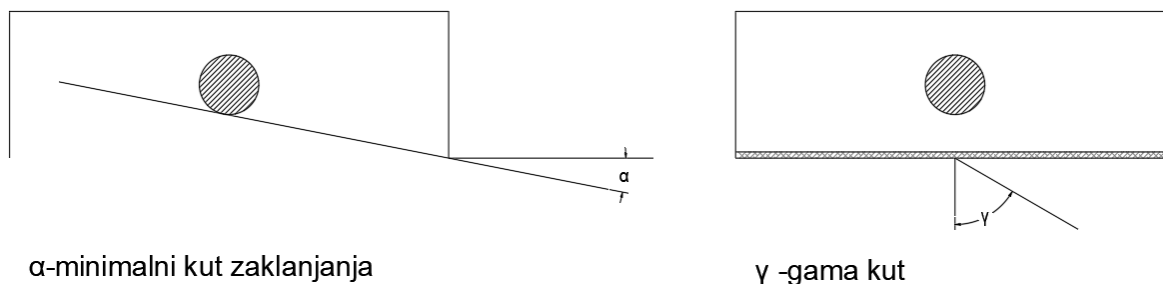
p - maksimalna veličina ćelije  $\leq 10$  m

d - veća dimenzija područja izračuna [m], međutim, ako je omjer veće prema manjoj strani 2 ili više, tada d postaje manja dimenzija područja

Broj točaka u relevantnoj dimenziji određuje se najbližim cijelim brojem omjera  $\frac{d}{p}$ . Dobiveni razmak između točaka mreže koristi se za izračunavanje najbližeg cijelog broja točaka mreže u drugoj dimenziji [6]. To će dati omjer duljine prema širini mrežne ćelije blizu 1.

### 3.3. Bliještanje

Bliještanje je neugodan osjećaj koji stvaraju svijetla područja unutar vidnog polja poput rasvijetljene površine, dijelova rasvjetnih tijela, prozora i krovnih prozora [6]. Potrebno ga je ograničiti kako bi se izbjegle pogreške, umor i nesreće. Može biti neugodno bliještanje i bliještanje koje onemogućuje vid. Bliještanje koje onemogućuje vid je u unutarnjim radnim prostorima manji problem ako su zadovoljeni uvjeti za ograničavanje neugodnog bliještanja. Bliještanje uzrokovano odsjajima na sjajnim površinama naziva se reflektirajuće bliještanje. Da bi se odabralo prikladno rasvjetno tijelo za određeni prostor, razina neugodnog bliještanja izravno iz rasvjetnog tijela mora se odrediti pomoću CIE Unified Glare Rating (UGR) tablične metode pri čemu vrijednost UGR rasvjete ne smije premašiti  $R_{UGL}$  vrijednost. Zaštita od bliještanja provodi se pomoću zaklanjanja izvora svjetlosti i krovnih prozora ili zasjenjivanjem jake dnevne rasvjetljenosti kroz prozore pomoću roleta ili žaluzina [6]. Za rasvjetu kod koje je izvor svjetlosti izravno vidljiv, primjenjuju se minimalni kutovi zaklanjanja. Za rasvjetu kod koje je izravan pogled na izvor svjetlosti zaklonjen optikom, primjenjuju se maksimalne prosječne rasvjetljenosti svjetiljke za vrijednosti kuta gama, Slika 3.2.



Slika 3.2 Kutovi zaklanjanje izvora svjetlosti

### 3.4. Rasvjeta unutarnjeg prostora

Rasvjetu se definira pomoću pojmova srednje cilindrične rasvijetljenosti, modeliranja i usmjerene rasvjete. Srednja cilindrična rasvijetljenost  $\bar{E}_z$  zadužena je za vizualno prepoznavanje objekata unutar prostora tako da se odredi iz tablice za svaku vrstu zadatka i aktivnosti [6]. Ako je cijeli prostor radno područje potrebno je izračunati horizontalnu srednju rasvijetljenost  $\bar{E}_m$  i srednju cilindričnu rasvijetljenost  $\bar{E}_z$ , ali za jednaku veličinu i poziciju područja. Ujednačenost srednje cilindrične rasvijetljenosti treba biti  $U_0 \geq 0,10$ . Visina horizontalne ravnine iznad poda treba biti 1,2 m za ljude koji sjede te 1,6 m za ljude koji stoje. Rasvjeta ne smije biti previše usmjerena jer će stvoriti oštre sjene, ali ne smije biti ni previše difuzna jer će se u potpunosti izgubiti efekt modeliranja, dovodeći do vrlo monotonog svjetlosnog okruženja. Modeliranje opisuje ravnotežu između difuzne i usmjerene svjetlosti. Omjer cilindrične i horizontalne rasvijetljenosti u točki pokazatelj je modeliranja. Mreža točaka za cilindričnu i horizontalnu rasvijetljenost treba se podudarati. Za ujednačenu raspodjelu rasvjete ili krovnih prozora vrijednost između 0,30 i 0,60 pokazatelj je dobrog modeliranja [6]. Rasvjeta iz određenog smjera može otkriti detalje vizualnog zadatka, povećati njihovu vidljivost i olakšati izvođenje.

Tablica 3.4. Propisani zahtjevi rasvjete za određena radna mjesta i poslove

Vrsta prostora, zadatka ili aktivnosti	$E_m$ [lx]	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>
Liftovi	100	25	40
Frizerski salon	500	19	90
Ulazni hodnici	100	22	80
Garderoba	200	25	80
CAD radna mjesta	500	19	80
Recepcija	300	22	80

Tehničko crtanje	750	16	80
Kuhinja	500	22	80
Knjižnica: prostor za čitanje	500	19	80
Učionica	300	19	80
Ploča u predavaonici	500	19	80
Sportske dvorane	300	22	80

### 3.5. Aspekti boja

Izgled boje svjetlosnog izvora odnosi se na prividnu boju (kromatičnost) isijavane svjetlosti [6]. Kvantificira se kroz povezanu temperaturu boje (TCP), Tablica 3.5. Izgled boje dnevnog svjetla varira tijekom dana.

**Tablica 3.5.** Povezanost temperature boje sa bojom svjetla

Boja svjetla	Odgovarajuća temperatura boje TCP
Topla	Ispod 3300 K
Neutralna	3300 K do 5300 K
Hladna	Iznad 5300 K

Izgled boje pitanje je estetike i onoga što se smatra prirodnim. Izbor će ovisiti o razini rasvijetljenosti, bojama prostorije i namještaja, ali i o primjeni. Da bi se objektivno prikazala svojstva uzvrata boja svjetlosnog izvora, koristi se opći indeks uzvrata boja Ra. Maksimalna vrijednost Ra je 100, a ispod 80 nije prihvatljiv u područjima gdje ljudi rade trajno [6]. Za točno prikazivanje boja objekata i ljudske kože trebalo bi uzeti u obzir odgovarajući individualni posebni indeks uzvrata boja (Ri).



## 4. METODE PROJEKTIRANJA UNUTARNJE RASVJETE

Projektiranje unutarnje rasvjete složen je proces utvrđivanja broja i mjesta postavljanja svjetiljki ovisno o normom propisanoj rasvijetljenosti stoga pri projektiranju unutarnje rasvjete potrebno je odlučiti se za metode kao što su metoda lumena (metoda faktora iskoristivosti), metoda točka po točka, metoda proračuna srednje luminancije površina u prostoriji ili metode računalnog modeliranja. Ove metode su često dio većeg procesa projektiranja rasvjete koji može uključivati razmatranje čimbenika kao što su estetika, energetska efikasnost, udobnost oka i sigurnost. Prije samog projektiranja potrebno je razmotriti dizajn rasvjete preko idućih faktora:

- Raspodjele rasvijetljenosti koja pokazuje odnos umjetnog i dnevnog svjetla, što se postiže dimanjem, a koristi radi veće energetske učinkovitosti.
- Očuvanje energije korištenjem LED rasvjete koje su dugotrajnije, hladnije i učinkovitije u odnosu na tradicionalne.
- Izgledom prostora i rasvjetnih tijela za estetski ugođaj.
- Temperaturom boje za vizualnu udobnost i ugodnost.
- Odabirom upravljanja rasvjetom gdje je preporučljivo koristiti senzore pokreta.
- Troškovi implementacije, instalacije i održavanja cijelog projekta [9].

### 4.1. Metoda lumena

Metoda lumena služi za približno određivanje proračuna za projektiranje sustava unutarnje rasvjete. Metoda se koristi za određivanje broja rasvjetnih tijela i svjetiljki potrebnih za postizanje određenih uvjeta rasvjete. Nakon izračuna metodom lumena obično slijede točniji izračuni kako bi se utvrdilo jesu li ispunjeni zahtjevi ujednačenosti i drugi uvjeti za predviđeni sustav unutarnje rasvjete.

Rezultati ovise o geometriji prostorije i refleksiji, distribuciji intenziteta svjetlosti rasvjetnih tijela i njihovoj konfiguraciji u prostoriji [10]. Metoda lumena temelji se na nizu pretpostavki kako bi se osigurala jednostavna uporaba metode. Što više stvarni uvjeti odstupaju od ovih pretpostavki u pojedinačnom slučaju, to su izračuni manje točni [10].

Metoda lumena još se naziva i metoda faktora iskoristivosti prostora, koristi se kod velikih otvorenih prostora te je opisana jednadžbom:

$$n = \frac{E_m \cdot a \cdot b}{\Phi \cdot MF \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R} \quad (4 - 1)$$

gdje je:

$n$  – broj svjetiljki

$E_m$  – željena rasvijetljenost

$a, b$  – dimenzije prostora

$\Phi$  – svjetlosni tok

$MF$  – faktor održavanja (ukoliko nema pouzdanih podataka uzima se 0,8)

$\eta_{LB}$  – iskoristivost svjetiljke

$\eta_R$  – faktor iskoristivosti prostora

Iz gore navedene jednadžbe koristi se još i izvedena jednadžba za određivanje željene rasvijetljenosti:

$$E_m = \frac{\Phi \cdot MF \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R \cdot n}{a \cdot b} \quad (4 - 2)$$

Prvi korak pri izračunu lumen metodom je utvrditi faktor refleksije poda, stropa i zida te zatim izračunati indeks prostorije  $K$ . Indeks prostorije je omjer koji opisuje kako se visina prostorije uspoređuje s njezinom duljinom i širinom, Slika 4.1.

$$K = \frac{L \cdot W}{hm \cdot (L + W)} \quad (4 - 3)$$

gdje je:

$L$  – duljina prostorije

$W$  – širina prostorije

$hm$  - visina rasvjete iznad radne referentne ravnine

Uz poznate faktore refleksije i izračunati indeks prostorije slijedi korak iščitavanja faktora iskoristivosti  $\eta_{LB} \cdot \eta_R$  iz tablice 4.1. koja predstavlja fotometrijske podatke isporučene sa svjetiljkama.

**Tablica 4.1.** tablica fotometrijskih podataka za očitavanje faktora iskoristivosti  $\eta_{LB} \cdot \eta_R$

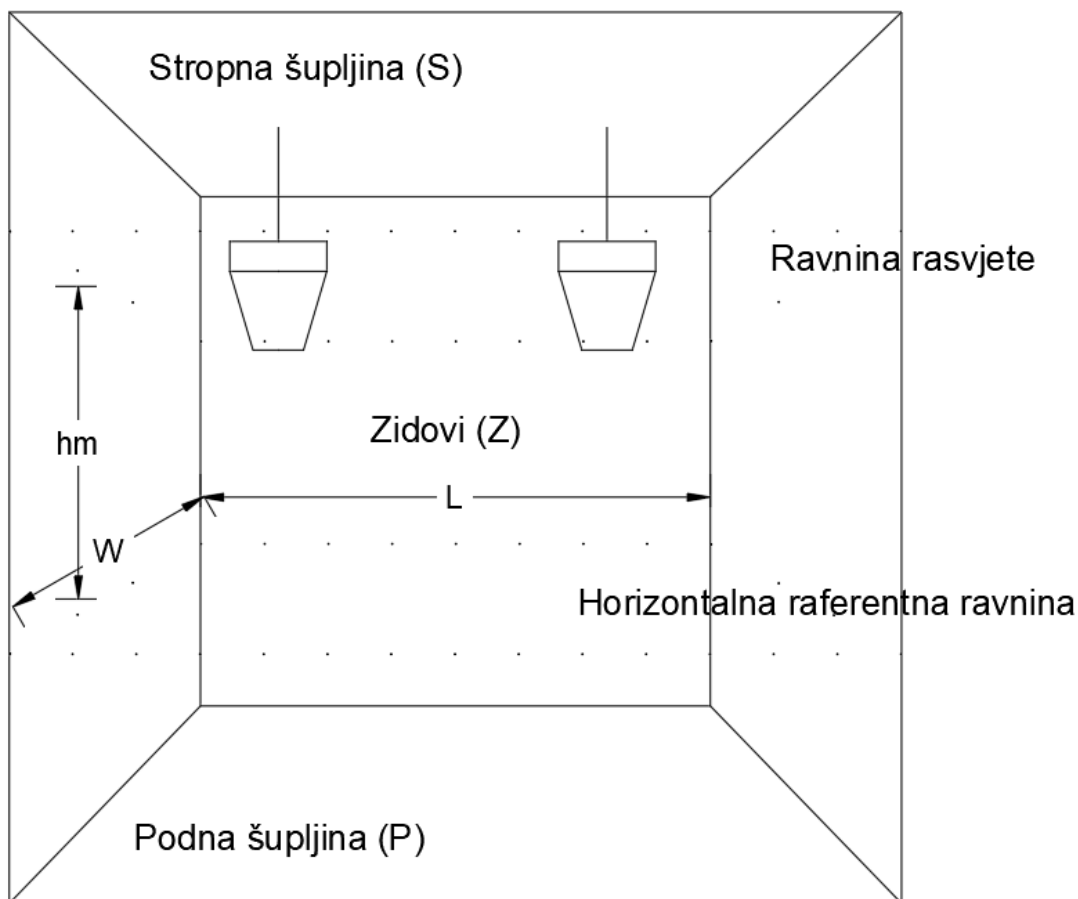
INDEKS PROSTORIJE - K	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
FAKTOR REFLEKSIJE S Z P	FAKTOR ISKORISTIVOSTI - $\eta_{LB} \cdot \eta_R$								
70 – 50 – 20	0,36	0,42	0,47	0,51	0,56	0,6	0,63	0,66	0,69
30	0,31	0,36	0,42	0,46	0,52	0,56	0,59	0,63	0,66
10	0,27	0,32	0,37	0,41	0,47	0,52	0,55	0,60	0,63
50 – 50 – 20	0,33	0,38	0,43	0,46	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62
30	0,29	0,3	0,38	0,42	0,51	0,51	0,53	0,57	0,59
10	0,25	0,3	0,35	0,38	0,44	0,48	0,50	0,54	0,57
30 – 50 – 20	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49	0,51	0,54	0,55
30	0,27	0,31	0,35	0,38	0,43	0,46	0,48	0,52	0,54
10	0,23	0,28	0,32	0,35	0,4	0,44	0,46	0,50	0,52
0 – 0 – 0	0,20	0,24	0,28	0,30	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44

Učinkovita refleksija stropa, zidova i poda računa se iz indeksa šupljine CI [11].

$$CI = \frac{L \cdot W}{h \cdot (L + W)} = K \cdot \frac{hm}{h} \quad (4 - 4)$$

gdje je:

h - dubina šupljine (stropa ili poda)



**Slika 4.1.** Parametri indeksa prostorije

$\eta_{LB}$  je iskoristivost svjetiljke koja se definira kao omjer lumena apsorbiranih na radnoj referentnoj ravnini i lumena koje svjetiljka emitira. Ovisi o učinkovitosti svjetiljke, rasporedu rasvjetnih tijela, geometriji prostora, refleksiji prostorije i o polarnoj krivulji. Za tri glavne površine prostorija, stropnu šupljinu, zidove i podnu šupljinu te za horizontalnu referentnu ravninu pravi se  $\eta_{LB}$  tablica ovisno o indeksu i refleksiji prostorije. Iskoristivost svjetiljke određuje se iz podataka proizvođača gdje se naziva i faktorom iskoristivosti UF. Svjetlosni tok  $\Phi$  je kataloška vrijednost za odabrani izvor svjetlosti.

Faktor održavanja MF definira se kao omjer rasvjetljenosti u normalnim radnim uvjetima i rasvjetljenosti kada su rasvjetna tijela čista i nova [12]. Temelji se na tome koliko se često svjetla čiste i mijenjaju. Uzima u obzir čimbenike kao što su smanjena učinkovitost sa starenjem, nakupljanje prašine unutar kućišta i smanjenje refleksije kako zidovi i stropovi stare [12]. Radi praktičnosti dijeli se u tri skupine, Tablica 4.2. Ukoliko nema pouzdanih podataka uzima se 0,8,.

**Tablica 4.2.** Iznos faktora održavanja ovisno o stanju okoline

<b>Stanje okoline</b>	<b>Faktor održavanja</b>
Čisto	0.9
Prosječno	0.8
Prljavo	0.7

Idući korak je određivanje broja potrebnih svjetiljki iz jednadžbe i planiranje pravilnog rasporeda svjetiljki tako da zaokružimo decimalno rješenje jednadžbe na cijeli broj i uniformno s odgovarajućom visinom i razmakom postavimo svjetiljke [11]. Pravilni raspored svjetiljki dobije se iz omjera razmaka i visine ugradnje (SHR). SHR je omjer udaljenosti između susjednih rasvjetnih tijela (središte do središta) i njihove visine iznad horizontalne referentne ravnine [12].

$$SHR = \frac{1}{Hm} \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (4 - 5)$$

gdje je:

Hm – Visina montaže

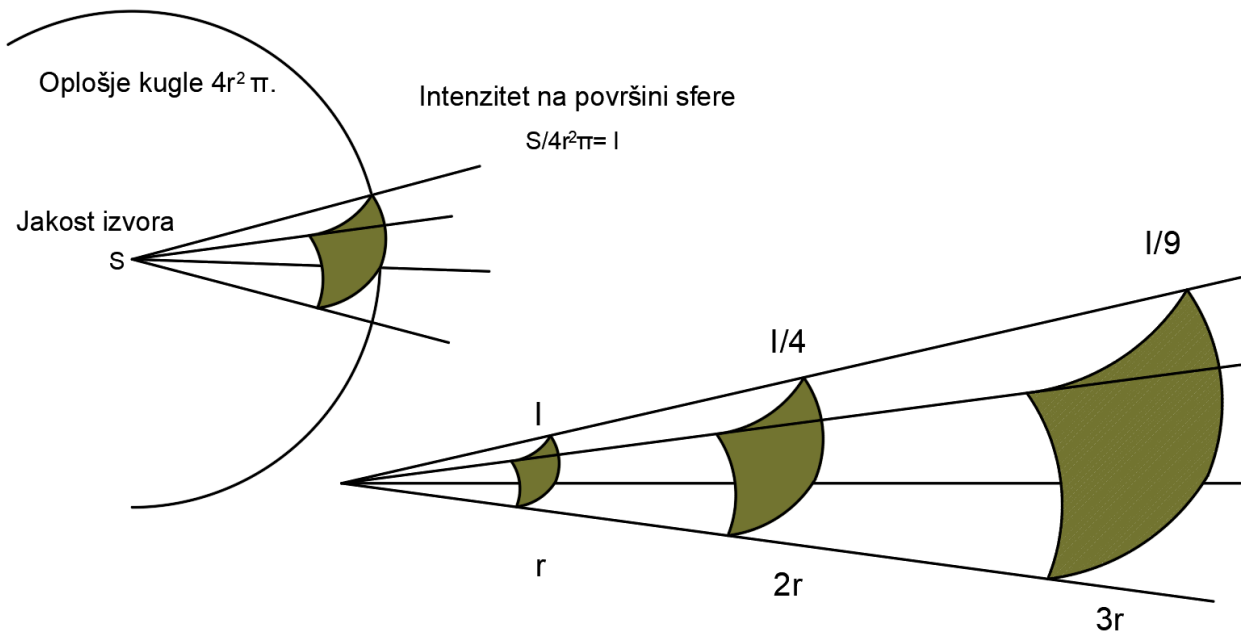
A – Ukupna površina

N – broj svjetiljki

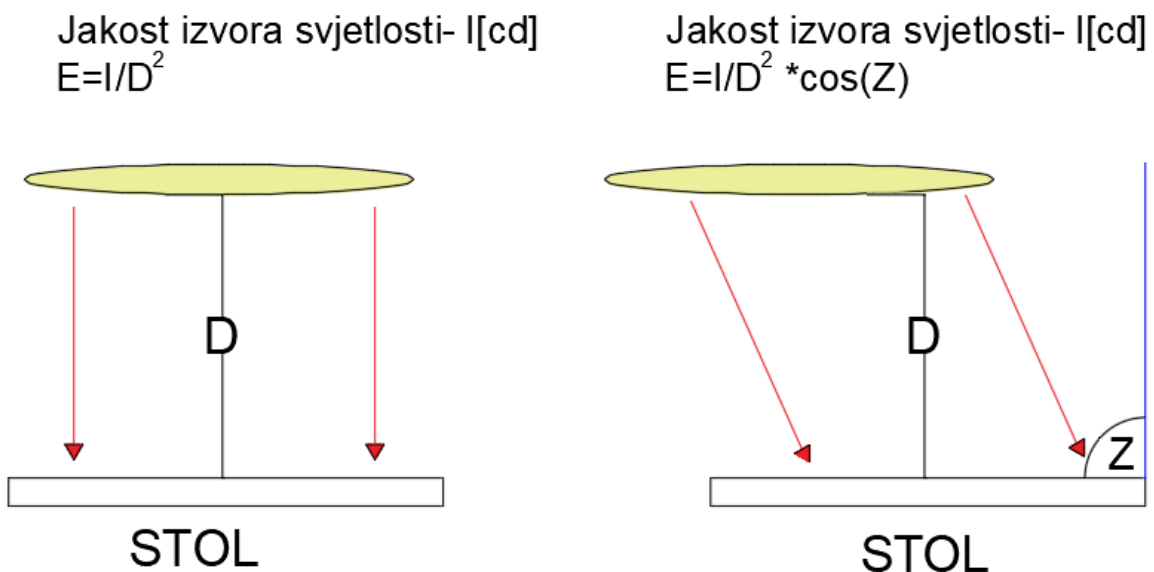
Razmak svjetiljki ne smije prelaziti SHRmax. (osigurao proizvođač) kako bi se osigurala ujednačenost [11].

## **4.2. Metoda točka po točka**

Nakon utvrđivanja broja rasvjetnih tijela koristi se metoda točka po točka za predviđanje rasvjetljenosti svake točke ravnine primjenjujući zakon inverznog kvadrata, Slika 4.2. i Lambertov kosinusni zakon, Slika 4.3. Uzimaju se u obzir tri faktora: svjetlosna jakost, udaljenost i orijentacija površine [13].



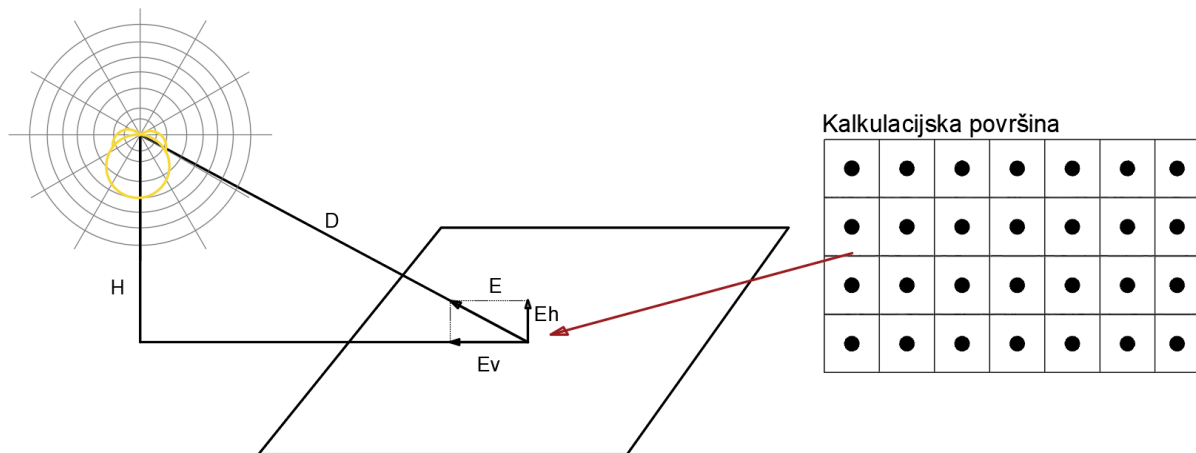
**Slika 4.2.** Zakon inverznog kvadrata - energija dvostruko udaljenija od izvora širi se na četiri puta veću površinu sa smanjenim intenzitetom.



**Slika 4.3.** Lambertov Kosinusni zakon – Jakost rasvjete neke plohe direktno je razmjerna s kosinusom upadnog kuta svjetlećih zraka.

Izvođenje metode točka po točka većinom se koristi uz pomoć računalnih softvera kao što su DIALux ili Relux jer predviđa i zbraja doprinose svih izvora uzimajući u obzir izravnu i indirektnu rasvjetu odnosno refleksiju sa stropa, zidova, poda, radne površine, zamišljene ravnine i predmeta u prostoriji. Rezultati se koriste za predviđanje distribucije umjetne i

prirodne svjetlosti u bilo kojem okruženju, za simulaciju rasvjete. Slika 4.4. prikazuje kako se u prostoru odabire mreža točaka za proračun jakosti svjetlosti jer se u prostoru ne mogu odabrati sve točke kojih je beskonačno. Ovisno o geometriji prostora uzima se potreban broj točaka gdje se za kvadratni oblik prostorije uzima pravilan i simetričan izbor mreže točaka. Za nepravilnog oblika objekte odabire se više točaka kako bi mjerenja bila preciznija i točnija.



**Slika 4.4.** Odabir mreže točaka za proračun jakosti svjetlosti

### 4.3. Metoda računalnog modeliranja

Kod projektiranja unutarnje rasvjete metodom računalnog modeliranja slijedno se prolazi kroz ključne korake koji su:

- utvrđivanje zahtjeva
- odrediti vrstu i usmjerenost rasvjete
- odabir rasvjetnog tijela, opreme i sustava upravljanja
- proračun rasvijetljenosti i prilagodba dizajna potrebi
- pregled i ispravak instalacije

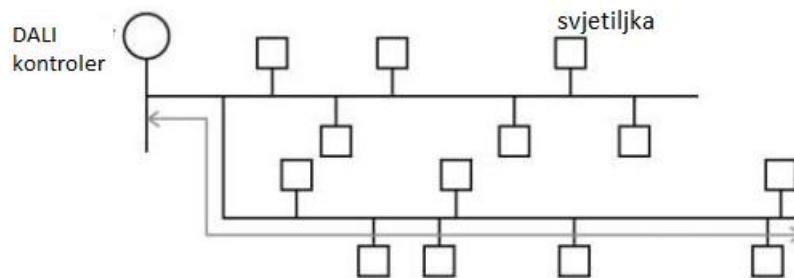
Utvrđivanje zahtjeva projektiranja podrazumijeva uzimanje u obzir rasvjete i odsjaj područja aktivnosti, atmosferu prostora, interakciju dnevnog svjetla i refleksiju. Nakon određivanja hoće li rasvjeta biti montirana na površinu zida, stropa ili ugradbena dolazimo do odabira najprikladnijeg izvora svjetlosti. Kod odabira izvora svjetlosti promatraju se idući parametri:

- Izlazna rasvijetljenost
- Ukupna ulazna snaga
- Učinkovitost

- Životni vijek
- Dimenzije
- Karakteristike boja
- Električne karakteristike
- Kompatibilnost s postojećim električnim sustavom
- Prikladnost za radno okruženje [14]

## 5. DALI UPRAVLJAČKI PROCES

DALI je kratica za digitalni komunikacijski protokol za upravljanje mrežama upravljanja rasvjetom u projektima automatizacije zgrada 1 (Digitally Addressable Lighting Interface). Najviše se koristi u unutarnjoj rasvjeti jer omogućuje individualno adresiranje pojedinih svjetiljki, olakšava povezivanje LED opreme, dozvoljava upravljačkom sustavu da komunicira sa svakim LED uređajem u oba smjera.



Slika 6.6. Shema DALI veze

DALI sustav se ponekad koristi samostalno, tako da se veza između pojedinih svjetlosnih mjesta izvodi preko DALI veze, a ne preko napojnog voda ili radio frekvencije. Međutim, ova metoda je ograničena na manje instalacije, jer DALI veza ima ograničenje do maksimalne duljine od 300 m. DALI sustav uz tri žice napajanja treba još dvije dodatne žice napajanja kroz koje DALI prenosi signal, Slika 6.6. Napon signala DALI je 16 V. [15]

Predspojne naprave, napajanje i grupe uređaja mogu se adresirati pomoću DALI sustava. To ga čini idealnim za velike zgrade, uredske komplekse, maloprodajne prostore, kampuse, javne ustanove i slična okruženja gdje su potrebe prostora i upotrebe podložne promjenama.



Prednosti upravljanja LED izvora DALI sustavom su sljedeće:

1. Upravitelji objekata imaju korist od mogućnosti provjere statusa svake opreme-. Potrebno je puno manje vremena da se stvari poprave i zamijene.
  2. Budući da je DALI otvoreni standard, lako je kombinirati proizvode različitih proizvođača. Također pomaže u nadogradnji na bolju tehnologiju čim postane dostupna.
  3. Centralizirani sustavi upravljanja i tajmera omogućuju izradu profila rasvjete. Najbolje za jednostavnu upotrebu, vršnu potražnju, prostore s više od jedne scene i uštedu energije.
  4. DALI je jednostavan za postavljanje jer su mu za spajanje potrebne samo dvije žice. Instalateri ne moraju biti vješti jer ne morate znati kako će svjetla biti postavljena na kraju ili označiti i pratiti ožičenje za svaki uređaj. Ulaz i izlaz se izvode s dva kabela.
- [16]

## 5.1. Upravljanje DALI sustavom

Jezgra DALI sustava je sabirnica – dvije žice koje prenose digitalne upravljačke signale od ulaznih uređaja (kao što su senzori) do upravljača aplikacija. Upravljač aplikacija primjenjuje pravila kojima je programiran za generiranje odlaznih signala na uređaje kao što su LED upravljački programi.

DALI sustav sastoji se od jedinice za napajanje koja je uvijek potrebna jer održava napon sabirnice na potrebnoj razini. Također se sastoji od LED rasvjetnih tijela za koja su potrebni DALI driveri koji može prihvatiti DALI naredbe izravno iz sabirnice i odgovoriti u skladu s tim. Ostale komponente sustava su ulazni uređaji i upravljači aplikacija. Ulazni uređaji su senzori i prekidači te oni komuniciraju s upravljačem aplikacija pomoću 24-bitnih okvira podataka odnosno ne komuniciraju izravno s kontrolnim uređajem. Upravljač aplikacije je "mozak" sustava. Prima 24-bitne poruke od senzora i izdaje 16-bitne naredbe upravljačkoj opremi. Također upravlja podatkovnim prometom na DALI sabirnici, provjerava kolizije i po potrebi ponovno izdaje naredbe. Često će uređaj kao što je senzor sadržavati niz zasebnih uređaja unutar sebe. Na primjer, senzori često uključuju detektor pokreta (PIR), detektor razine svjetlosti i infracrveni prijemnik.

[17]

Glavne značajke:

1. 64 Adrese (pojedinačno adresiranje)
2. 16 Grupa
3. 16 Scena (pohranjene u uređaju) - smanjenje protoka
4. Digitalna Informacija - precizno podešavanje
5. Nema polariteta - jednostavna instalacija
6. Povratna informacija o stanju uređaja
7. (Zumtobel) mogućnost spajanja senzora i ulaznih jedinica
8. Ovisno o uređajima: color show, vremensko upravljanje
9. DALI serijski protokol, asinkroni podatkovni protokol brzine 1200 Bit/s pri naponu od 16V
10. Integracija protupanične rasvjete [18]
- 11.

## 6. PRIMJER PROJEKTIRANJA RASVJETE UČIONICE

### 6.1. Metoda lumena

Učionica dimenzija  $10 \text{ m} \times 7 \text{ m}$  sadrži radno područje u kojem su stolovi te je ono dimenzija  $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ . Radno područje treba biti rasvijetljeno s 500 lx-a kako bi učenici pravilno i bez zamora obavljali aktivnosti na visini stola koja iznosi 0.8 m. Visina učionice je 2.8 m te se razlikom visine učionice i visine radnog područja dobiva visina rasvjete iznad radne referentne ravnine:

$$hm = 2.8 - 0.8 = 2 \text{ m} \quad (6 - 1)$$

gdje je:

hm – visina rasvjete iznad radne referentne ravnine

Idući korak metode lumena je određivanje indeksa prostorije uz poznate dimenzije  $L = 6 \text{ m}$ ,  $W = 5 \text{ m}$ :

$$K = \frac{L \cdot W}{hm \cdot (L + W)} \quad (6 - 2)$$

$$K = \frac{6 \cdot 5}{2 \cdot (6 + 5)} = \frac{15}{11} = 1.3636 \quad (6 - 3)$$

Tablica 4.1. koristi se za iščitavanje faktora iskoristivosti nakon što je izračunat indeks prostorije i utvrđeno da je faktor refleksije stropa (S) = 70, zida (Z) = 50 i poda (P) = 20. Faktor iskoristivosti ( $\eta_{LB} \cdot \eta_R$ ) u tablici iznosi 0.51.

Iz kataloga rasvjetnog tijela koji se želi postaviti očitava se svjetlosni tok, za primjer određene svjetiljke iznosi 2530 lm. Zadnja potrebna veličina za određivanje broja potrebnih rasvjetnih tijela na radnom području je faktor održavanja koji se u većini slučaja uzima 0.8. Uvrštavanjem potrebnih vrijednosti u jednadžbu dobiva se:

$$n = \frac{E_m \cdot a \cdot b}{\Phi \cdot MF \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R} \quad (6 - 4)$$

$$n = \frac{500 \cdot 6 \cdot 5}{2530 \cdot 0.8 \cdot 0.51} = 14.5315 \quad (6 - 5)$$

Broj potrebnih rasvjetnih tijela na radnom području zaokružuje se na prvi cijeli broj, u primjeru je tako potrebno 15 svjetiljki.

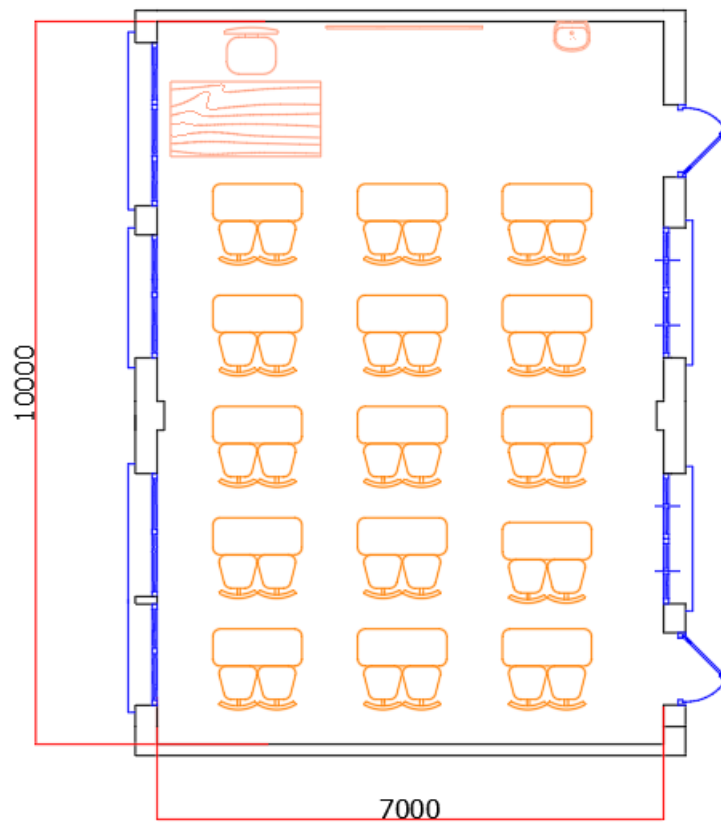
Za raspored svjetiljki koristi se jednadžba za izračunavanje udaljenosti između susjednih rasvjetnih tijela (središte do središta):

$$SHR = \frac{1}{Hm} \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (6 - 6)$$

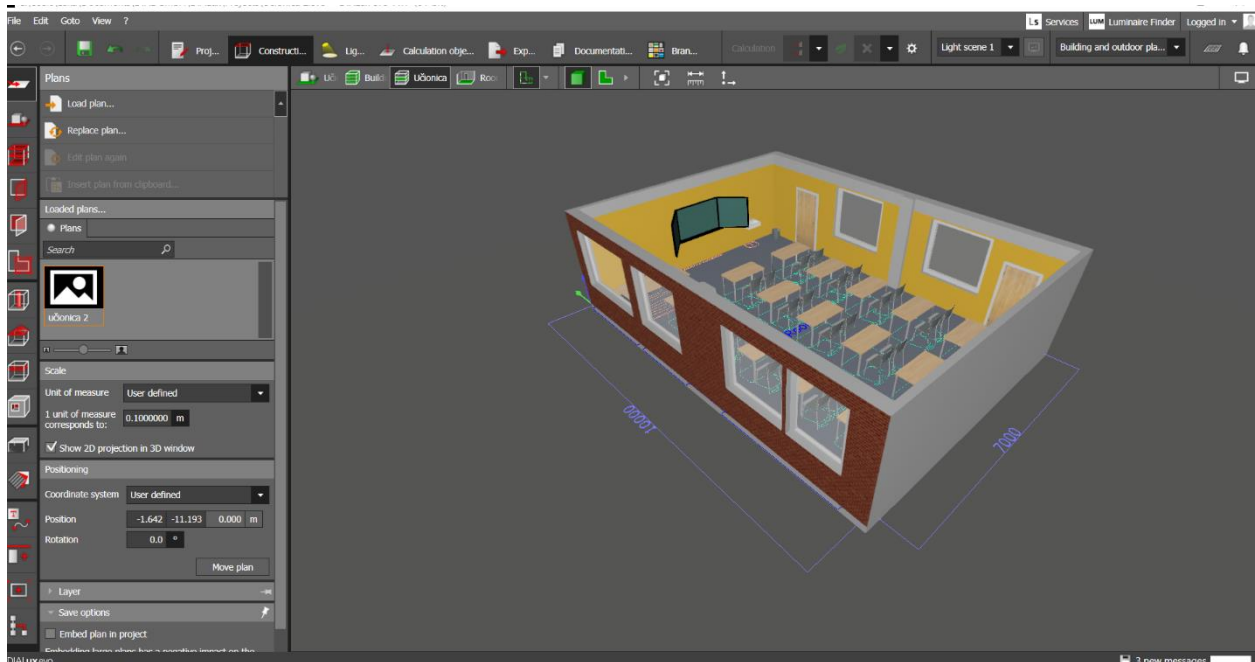
$$SHR = \frac{1}{0.8} \sqrt{\frac{30}{15}} = 1.76 \text{ m} \quad (6 - 7)$$

## 6.2. Metoda računalnog modeliranja

Kao primjer metode računalnog modeliranja korištena je proizvoljna učionica dimenzija 10 m × 7 m, Slika 6.1. Prikazuje tlocrt učionice u programu AutoCAD . Pomoću tlocrta iz programa AutoCAD-a modeliraju se pripadajući elementi učionice u DIALux-u. Prozori su postavljeni s obje strane prostorije kako bi se prirodna svjetlost širila jednoliko difuzno prostorom prolazeći kroz prozore hodnika, Slika 6.2.



**Slika 6.1** Tlocrt učionice u AutoCAD-u



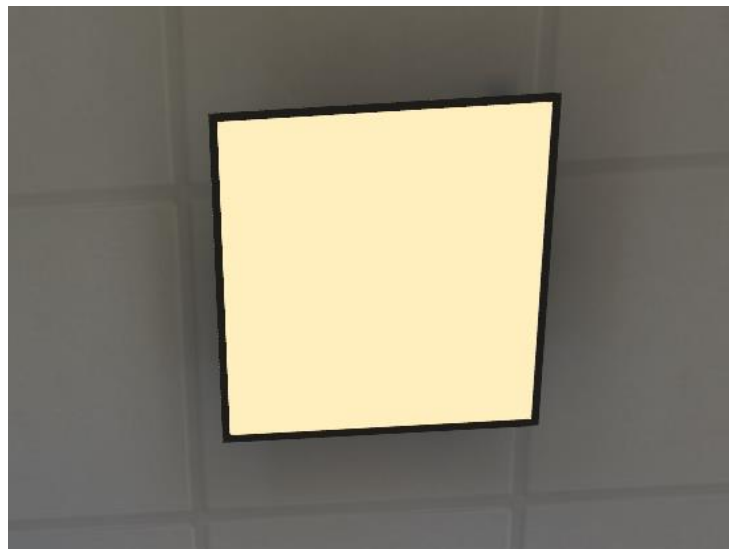
**Slika 6.2.** Prikaz učionice u DIALux-u

### 6.3. Rasvjeta stolova

Korišteno je 15 svjetiljki CARDI – Plato prisma 3k DALI LO [19], Slika 6.3.

Učenje je olakšano dobro modeliranom rasvjetom za pisanje i čitanje. Sustav rasvjete ovisi o prostornom rasporedu sjedenja i području zadatka. Kako bi se osigurali jednako dobri uvjeti u cijeloj prostoriji koristi se CARDI rasvjetno tijelo, ono je ugradbeni panel 600 mm × 600 mm, svjetlosnog toka 2530 lm, snage 22 W, temperature boje 3000 K i uzvrata boje 80. Prema prethodno izračunatom broju potrebnih rasvjetnih tijela metodom lumena za učionicu je potrebno 15 panela kako bi se osigurala rasvijetljenost od 500 lx na radnom području. Rasvijetljenost bi trebala biti barem 300 lux-a za standardne učionice, ali s obzirom na to da je čovjeku s godinama potrebno više svjetla, u učionicama za odrasle potrebno je minimalno 500 lux-a [20].

Rasvjetna tijela se mogu postaviti zasebno ili u grupama kako bi bila u skladu s geometrijom prostorije i rasporedom sjedenja. Za neželjen prodor Sunca i sjene potrebne su žaluzine, Slika 6.4. Dodatna oprema koju imaju korištena rasvjetna tijela mogućnost je korištenja DALI upravljačkog sustava rasvjete što omogućava dimanje prilikom istovremenog korištenja umjetnog i prirodnog svjetla.



**Slika 6.3.** CARDI – Plato prisma 3k DALI LO



**Slika 6.4.** Učionica sa žaluzinama na prozorima

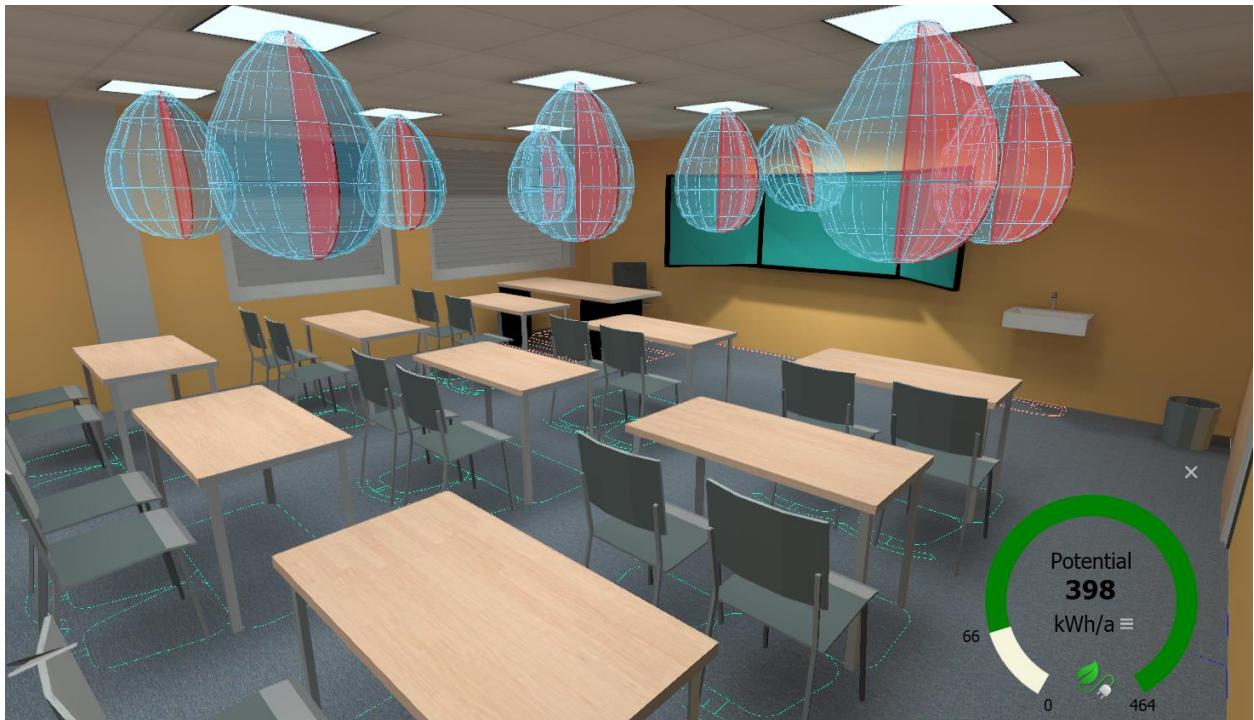
Kako bi se u svako doba dana upravljačkim sustavom DALI mogla ostvariti interakcija umjetnog i prirodnog svjetla postavlja se 3 grupe svjetiljki iznad svakog reda te se dodaje onaj broj svjetiljki u grupe koji zadovoljava potrebe, Slika 6.5. Raspored svjetiljki odgovara rasporedu dobivenim metodom lumena gdje je udaljenost rasvjetnih tijela od središta do središta 1,76 m.



**Slika 6.5.** Raspored svjetiljki u prostoriji



Za lakše raspoređivanje rasvjetnih tijela u prostoru DIALux program ima mogućnost prikaza krivulja raspodjele svjetlosti, Slika 6.6.



**Slika 6.6.** Krivulje raspodjele svjetlosti

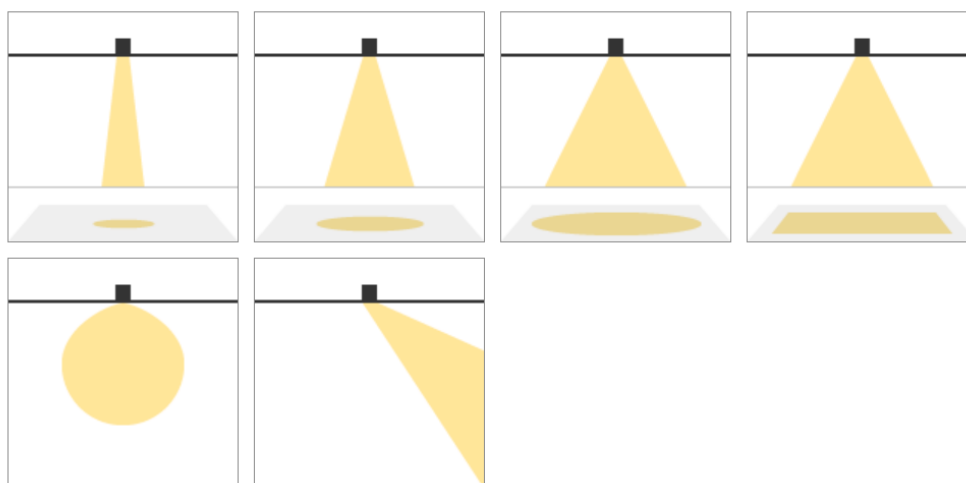
#### **6.4. Rasvjeta ploče**

Korišten je reflektor LTS Licht & Leuchten - EL 303.30.2/DALI-ST [21], Slika 6.7.



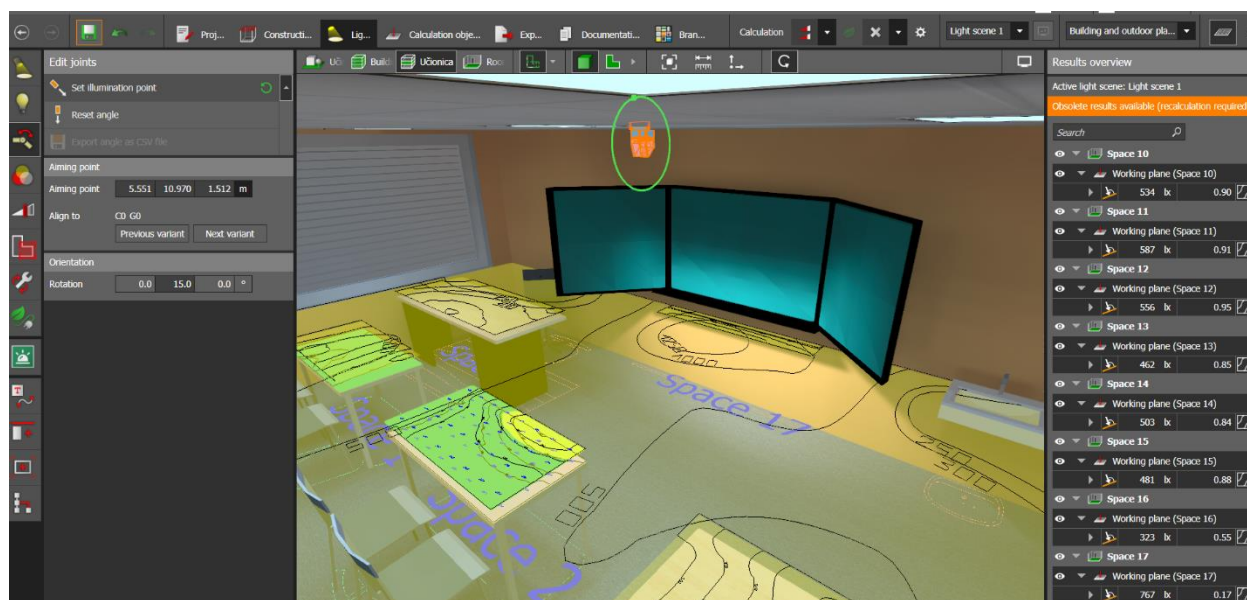
**Slika 6.7.** LTS Licht & Leuchten - EL 303.30.2/DALI-ST

Rasvjeta ploče od velike je važnosti jer mora biti vidljiva svakom učeniku u učionici stoga se koristi reflektor s mogućnošću zakretanja prema ploči na što treba paziti prilikom izbora rasvjete, Slika 6.8.



**Slika 6.8.** Izbor rasvjete ovisno o potrebama rasvjete radnog područja [22]

U programu DIALux potrebno je postaviti usmjereno svjetlo pod određenim kutom kako bi ploča bila ispravno rasvijetljena. Slika 6.9. prikazuje nepravilno rasvijetljenu ploču zbog krivo odabranog kuta rasvjetnog tijela. Slika 6.10. prikazuje pravilno rasvijetljenu ploču i ispravan kut rasvjetnog tijela.



**Slika 6.9.** Nepravilno usmjereno svjetlo



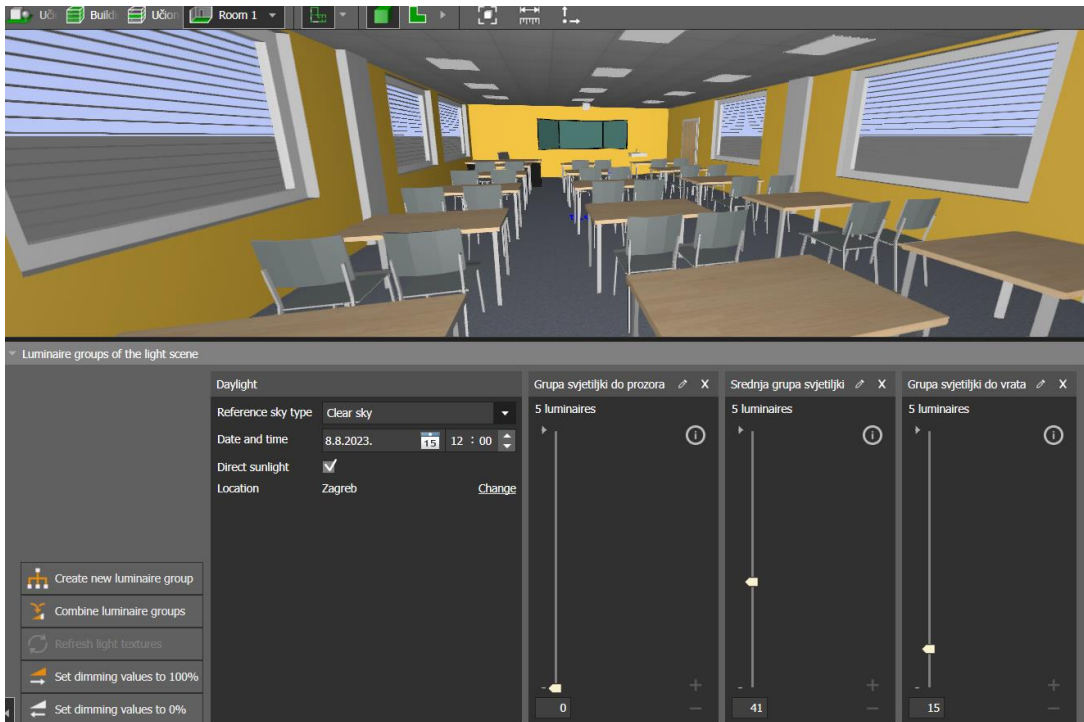


Slika 6.10. Pravilno postavljeno usmjereno svjetlo

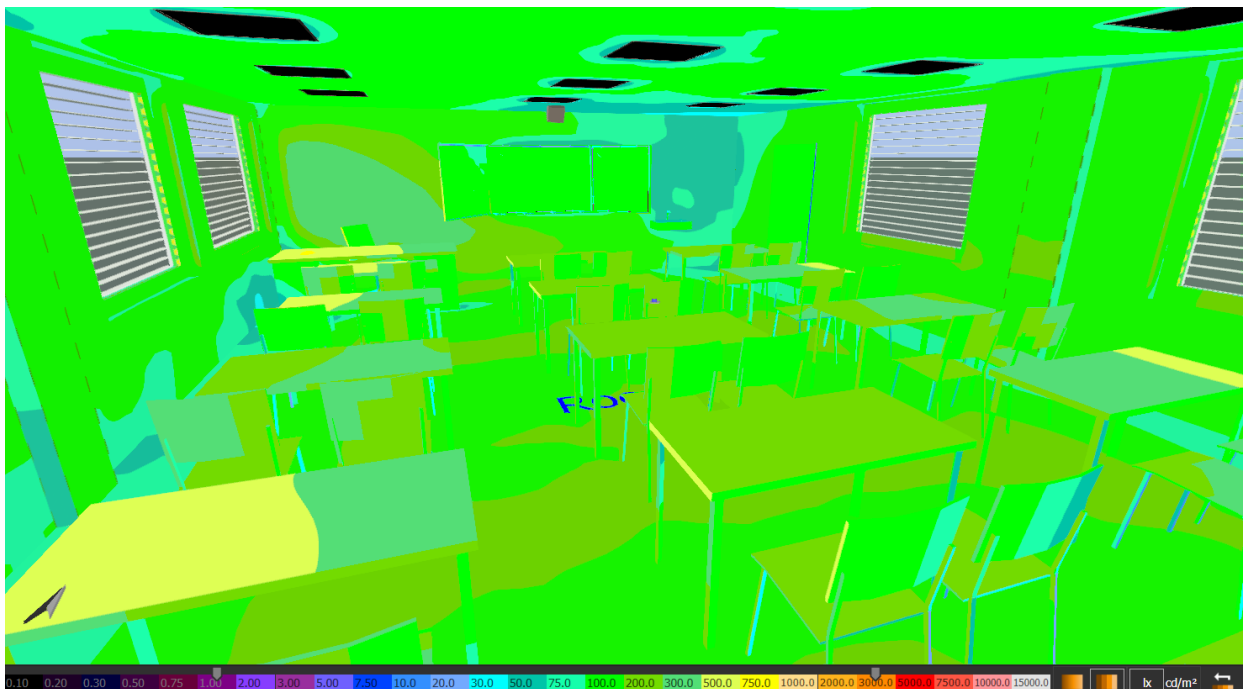
## 6.5. Dimanje i energetska učinkovitost

Pri projektiranju rasvjete unutrašnjih radnih prostora promatra se faktor energetske učinkovitosti i efikasnosti na što uvelike utječe dimanje rasvjetom, odnosno pojačavanje i smanjivanje intenziteta rasvjete ovisno o prodoru dnevnog svjetla.

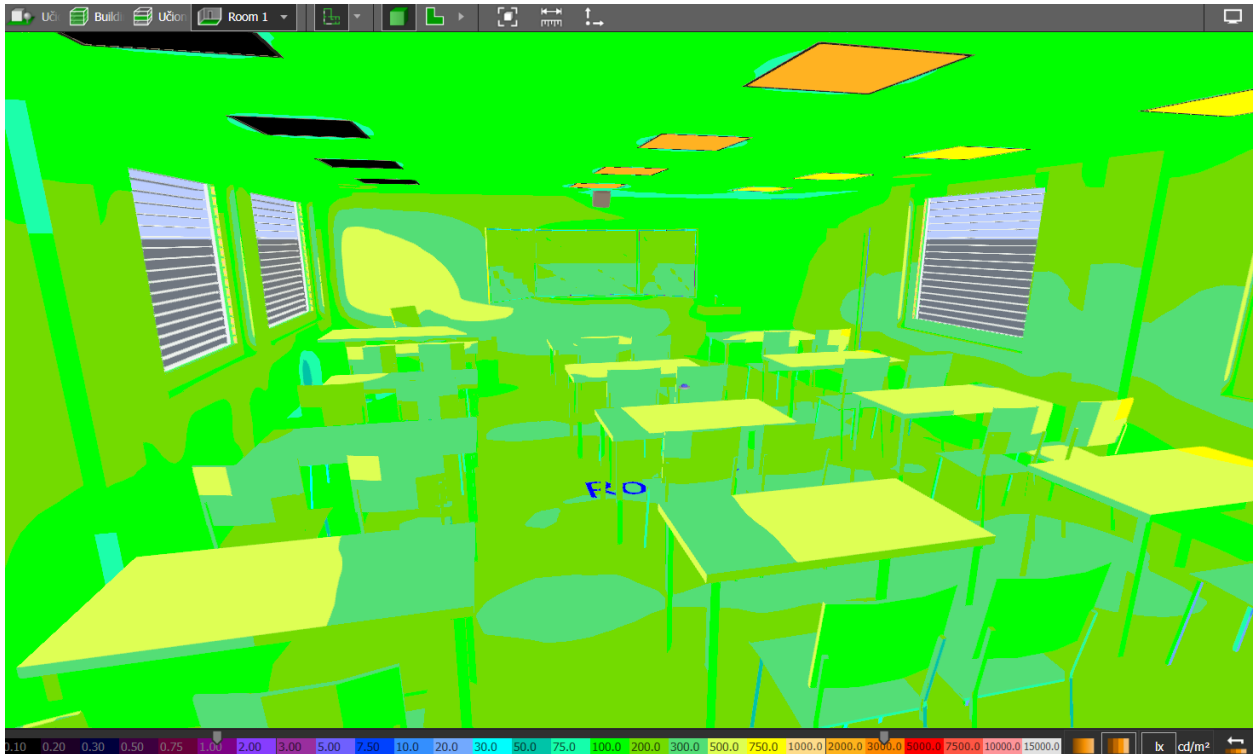
Provodi se tako da grupiramo dio rasvjete kojem je potrebno smanjenje intenziteta zbog danjeg svjetla jer je raspoređeno do prozora. Pomoću prikaza pseudobojava vidi se koliko je potrebno koji dio prostorije dodatno rasvijetliti danju, Slika 6.12. Rasvijetljenost učionice danju nakon dimanja prikazano je slikom, Slika 6.13. Za primjer učionice rasvjeta je grupirana u 3 skupine gdje se svakoj posebno pojačava i smanjuje intenzitet rasvijetljenosti, Slika 6.11.



Slika 6.11. Dimanje svjetiljki



Slika 6.12. Rasvjetljenost učionice danju bez umjetnog svjetla



**Slika 6.13.** Rasvjetljenost učionice danju uz dimanje

Pregled o tome kolika je trenutna potrošnja energije instalacije rasvjete ili koliko se energije može uštedjeti postavlja se za određeno geografsko područje kako bi se uzela u obzir duljinu trajanja radnih dana. Također se postavlja namjena prostorije, cijena jednog kWh koja prema HEP-ovom mrežnom kalkulatoru iznosi 0,12 € ne uzimajući u obzir cijenu opskrbe i mjernog mjesta [23] i potrebno vrijeme korištenja rasvjete tjedno, Slika 6.14. Potrebno je postaviti senzor energije koji uzima u obzir uštedu potrošnje energije prema EN 15193 [24], Slika 6.15. Upotrebom upravljive rasvjete ostvari se ušteda od 36,55 € na godišnjoj razini za jednu učionicu. Dodatna ušteda bi se ostvarila upotrebom senzora prisutnosti gdje rasvjeta ne bi radila u slučaju da nema nikoga u prostoriji, ali te opcije nema u programu.

Active utilisation profile

Space 44 Educational buildings  
Application 44.1 Classroom - general ac.

Details

Use times

Start time 8 o'clock  
End time 20 o'clock  
Days per week 5 Mon - Fri  
Absence factor 0.250

Location

These settings apply to the entire project.

Location Zagreb  
Longitude 16.00 °  
Latitude 45.80 °  
North alignment 0.00 °  
Time zone (UTC+01:00) Sarajevo, Skopje, Wa

Selected points in time for documentation

Slika 6.14. Ispunjavanje podataka za senzor uštede

Energy Calculation

Sensor measuring point (Room 1)

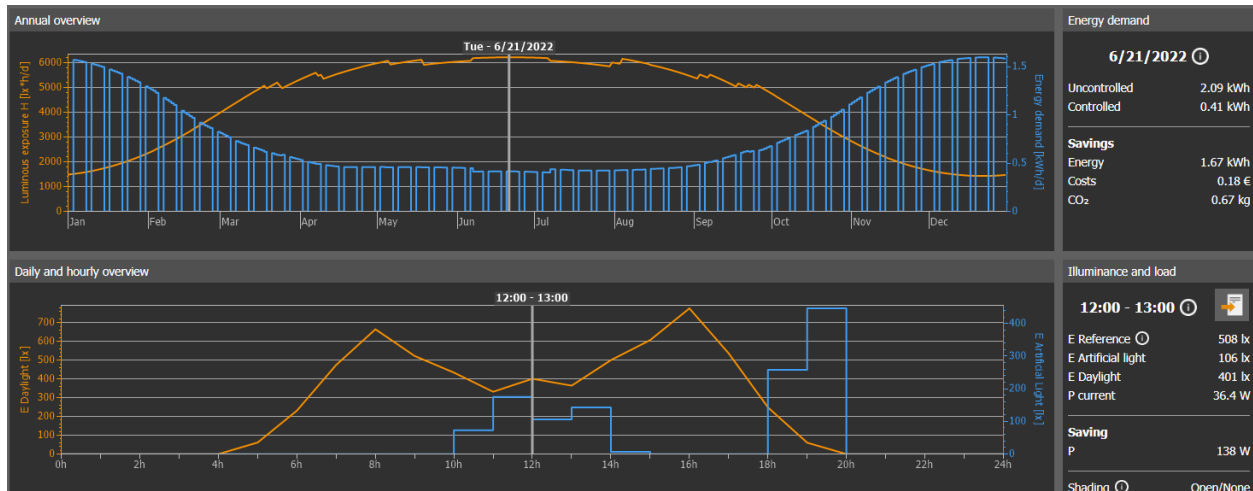
	Uncontrolled	Controlled	Savings
Energy demand (kWh/a)	543	211	332
LENI (kWh/(m <sup>2</sup> * a))	7.76	3.01	4.75
Costs (€/a)	59.72	23.17	36.55
CO <sub>2</sub> (kg/a)	218	84.4	133
Daylight autonomy	34 %		
<b>Parameter</b>			
Height	0.800 m		

Lighting Calculation

- stol 1
- stol 2
- Working plane (Room 1)

Slika 6.15. Prikaz godišnje uštede upravljivom rasvjetom

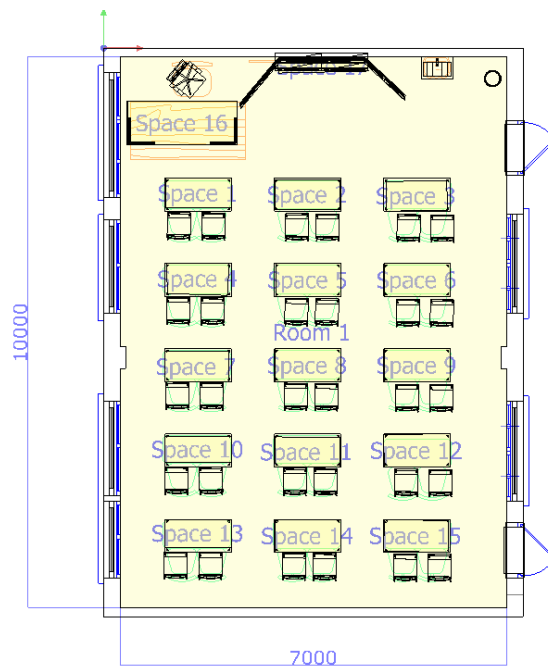
Grafom izloženosti svjetla o potražnji energije za rasvjetu i grafom korištenja dnevne i umjetne svjetlosti može se vizualno prikazati prostor za uštedu i potražnju energije, Slika 6.16. Najmanje je potrebno upravljati rasvjetom u ljeto i proljeće kada najniža dnevna potrošnja iznosi 0,41 kWh dok je najviše potrebno upravljati rasvjetom u zimu i jesen kada najviša dnevna potrošnja iznosi 1,59 kWh.



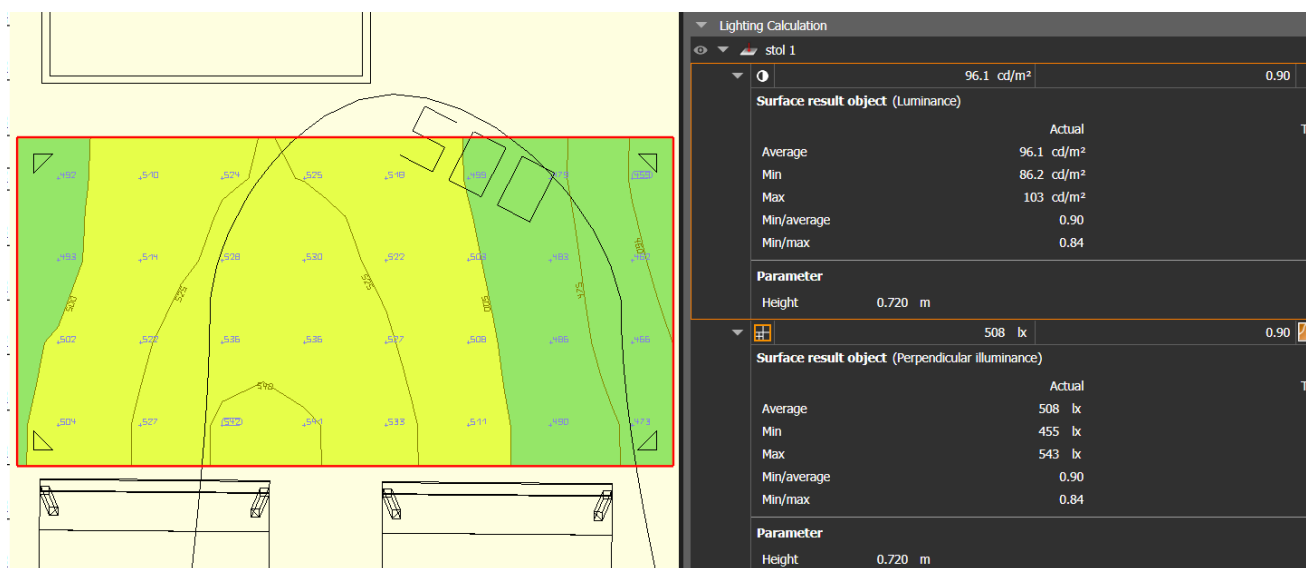
Slika 6.16. Prikaz godišnje potrošnje i uštede energije

## 6.6. Proračun rasvjete

Nakon utvrđivanja zahtjeva, odabira rasvjetnih tijela i sustava upravljanja slijedi korak proračuna parametara rasvjete. Prednost računalnog modeliranja je u tome što je izračun metode točka po točka jednostavan i vizualno olakšan te se može odrediti za bilo koje područje u prostoriji. Učionica je podijeljena na 17 različitih područja aktivnosti i jedno područje okoline, Slika 6.17. Računalni izračuni metode točka po točka pokazuju potrebnu rasvijetljenost za određeno područje aktivnosti i tako olakšavaju postavljanje i raspored rasvjetnih tijela u prostoriji, Slika 6.18.

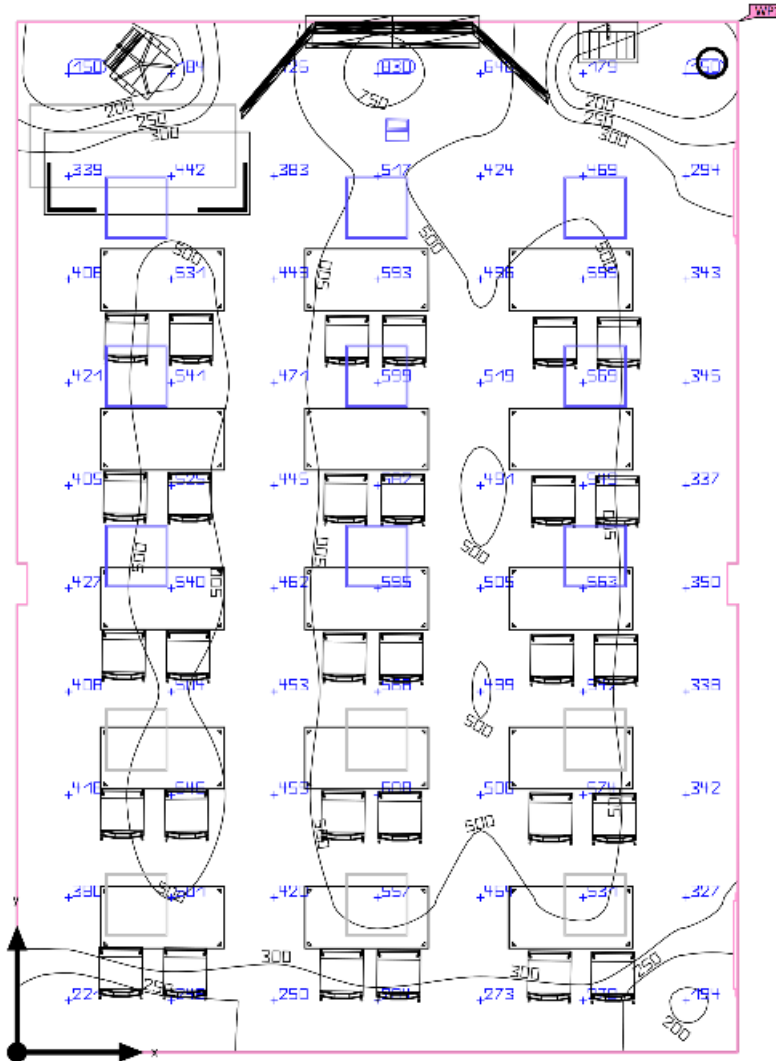


**Slika 6.17.** Podjela područja učionice



**Slika 6.18.** Metoda točka po točka za stol 1

Prosječna razina rasvijetljenosti na stolu 1 iznosi 508 lx, minimalna iznosi 455 lx a maksimalna 543 lx. Ravnomjernost rasvijetljenosti iznosi 0,9. Slika 6.19. prikazuje dijagram rasvijetljenosti dobiven metodom točka po točka računalnim modeliranjem gdje se vidi kako je rasvijetljenost radnog područja približno 500 lx-a, a neposredne okoline 300 lx-a.



Slika 6.19. Dijagram rasvjetljenosti dobiven metodom točka po točka, za cijelu učionicu

## ZAKLJUČAK

Pravilno projektiranje unutarnje rasvjete od velike je važnosti kako bi se osigurala optimalna udobnost, produktivnost i estetika u unutarnjim prostorima. Norma HRN EN 12464-1:2021 i opisane metode projektiranja pružaju osnovu koja omogućuje inženjerima da stvore funkcionalne i estetski privlačne unutarnje prostore. Primjena DALI sustava dodaje novu dimenziju u upravljanju rasvjetom, omogućujući dinamičko prilagođavanje, dimanje i potencijalno smanjenje potrošnje energije.

Kao dodatni primjer projektiranja rasvjete unutrašnjih radnih prostora uzeta je učionica jer u njoj boravimo od najranije dobi, provodeći u njoj trećinu dana. U početnim koracima projektiranja potrebno je prepoznati i odrediti vrstu rasvjete ovisno o području aktivnosti i okolini zadatka što je prikazano različitim rasvjetnim tijelima za stol i ploču učionice. Pravilna raspodjela svjetlosti, ali i energetska učinkovitost dva su glavna čimbenika kojima se nastoji što više i preciznije to bolje udovoljiti. U konačnici primjenom jednostavnih računalnih programa poput DIALux-a može se vrlo brzo odrediti potreban broj svjetiljki za rasvijetljenost prostora, ali i mogućnost uštede električne energije racionalnim korištenjem regulacijskih rasvjetnih tijela i upravljačkih procesa poput DALI sustava. Sama realizacija projekta uvijek je podložna promjenama jer se u hodu uočavaju poteškoće obavljanja radova prema projektu. Razmatrane metode projektiranja, uključujući metodu lumena, metodu točka po točka te metodu računalnog modeliranja, omogućuju inženjerima i dizajnerima da pristupe različitim aspektima rasvjete, uzimajući u obzir specifične potrebe radnog prostora i korisnika. Od velike je važnosti prilikom projektiranja biti u kontaktu s odgovarajućim arhitektom i strojarskim tehničarom radi izbjegavanja mogućih problema.

Poznavanje i obavljanje posla po standardima i normama omogućuje svim radnicima objekta lakšu suradnju. Ulaganje truda i pažnje u projektiranje rasvjete u unutarnjim radnim prostorima rezultirat će dugoročnim koristima za sve korisnike objekta te će doprinijeti stvaranju ugodnih i učinkovitih radnih okruženja.



## LITERATURA

- [1] *I. Božanović, PROJEKTIRANJE UČINKOVITE UNUTARNJE RASVJETE, Završni rad, Osijek, 2021..*
- [2] *S. Ivanković, Projektiranje unutarnje rasvjete sakralnog objekta, Diplomski rad, Osijek, 2020..*
- [3] *V. Kokošarević, Projektiranje urbane rasvjete, Diplomski rad, Osijek, 2019..*
- [4] *A. Vori, Projektiranje rasvjete u edukacijskim ustanovama s naglaskom na osiguranje kvalitete, Završni rad, Varaždin, 2022..*
- [5] *R. Ribarić, Teorija i primjena umjetne rasvjete te primjer proračuna, Završni rad, Karlovac, 2021..*
- [6] *Norma HRN EN 12464-1:2021.*
- [7] »How to Calculate Lighting Uniformity?, <https://www.zgsm-china.com/blog/how-to-calculate-lighting-uniformity.html>, pristup 30.08.2023.,« [Mrežno].
- [8] »Calculating maintained illuminance, <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/a692a007f2d79f44/4db3ad24dea76288b4dd113f828d7c2ba8d27da4bc420679d76889751c7096cd/calculating-maintained-illuminance.pdf?implicit-login=true>, pristup 30.08.2023.,« [Mrežno].
- [9] *Lighting Design Considerations, <https://www.sitelogiq.com/blog/lighting-design-considerations/>, pristup 30.08.2023..*
- [10] »Lumen method, <https://dialux4.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000078303-lumen-method->, pristup 30.08.2023.,« [Mrežno].
- [11] *Ir. Dr. Sam C. M. Hui, Lighting Calculations, PowerPoint, Faculty of Science and Technology.*
- [12] »LIGHTING DESIGN BY LUMEN METHOD, <https://www.linkedin.com/pulse/lighting-design-lumen-method-examples-hasan-tariq>, pristup 30.08.2023.,« [Mrežno].
- [13] »Point by Point Method for Lighting Design , <http://www.electrical-knowhow.com/2012/12/point-by-point-method-for-lighting.html>, pristup 30.08.2023.,« [Mrežno].
- [14] »<https://electrical-engineering-portal.com/7-key-steps-in-lighting-design-process>, pristup 12.07.2023.,« [Mrežno].

- [15] *Svjetlotehnički priručnik, katalog energetske učinkovite rasvjete, 2013.*
- [16] »<https://www.ledyilighting.com/hr/everything-you-need-to-know-about-dali-dimming/>, pristup 10.8.2023.,« [Mrežno].
- [17] »<https://www.nvcuk.com/technical-support/view/what-is-dali-8>, pristup 10.08.2023.,« [Mrežno].
- [18] *T. Griva, Osnove upravljanja 1-10V, DSI, DALI, DMX, PowerPoint, ZUMTOBEL.*
- [19] »[https://luminaires.dialux.com/en-US/article/xjBBHMOgR4yuKZH6ReGTPQ?\\_Y=3952](https://luminaires.dialux.com/en-US/article/xjBBHMOgR4yuKZH6ReGTPQ?_Y=3952), pristup 21.7.2023.,« [Mrežno].
- [20] »<https://www.lipapromet.hr/Usluge/ProjektiranjeSvjetlotehnike/Profesionalnarasvjeta/tabid/70/itemid/304/amid/567/rasvjeta-uionica.aspx>, pristup 23.07.2023.,« [Mrežno].
- [21] »[https://luminaires.dialux.com/en-US/article/bDJTMiYHT5WQF0NZQ3IrnQ?\\_Y=2496](https://luminaires.dialux.com/en-US/article/bDJTMiYHT5WQF0NZQ3IrnQ?_Y=2496), pristup 21.7.2023.,« [Mrežno].
- [22] »<https://luminaires.dialux.com/en-US#2>, pristup 15.07.2023.,« [Mrežno].
- [23] »<http://mojracun.hep.hr/kalkulator/>, pristup 10.08.2023.,« [Mrežno].
- [24] »<https://evo.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000115314-energy-consumption>, pristup 30.07.2023.,« [Mrežno].

## **SAŽETAK**

Ovim završnim radom naglašava se koliko je važno pridržavati se normi i smjernica prilikom projektiranja unutarnje rasvjete radnih prostora kako bi se osigurala optimalna kvaliteta rasvjete, udobnost korisnika i energetska učinkovitost. Primijenjene metode projektiranja i razumijevanje DALI sustava otvaraju nove mogućnosti za inovacije i poboljšanja u području unutarnje rasvjete. U radu su razmotreni ključni čimbenici koji utječu na kvalitetu rasvjete u unutarnjim prostorima, uključujući razdiobu sjajnosti, rasvijetljenost, bliještanje, aspekte boja. Također je kroz rad naglašeno optimalno korištenje umjetne rasvjete uz što više korištenja prirodne rasvjete. Navedeni parametri opisani su normom HRN EN 12464-1:2021. Određivanje energetske učinkovitosti i uštede primjera učionice prikazana je računalnim programom DIALux.

Ključne riječi: HRN EN 12464-1:2021, DIALux, metode projektiranja, energetska učinkovitost

## **ABSTRACT**

This final work emphasizes how important it is to adhere to norms and guidelines when designing the interior lighting of workspaces to ensure optimal lighting quality, user comfort and energy efficiency. The applied design methods and understanding of the DALI system open new opportunities for innovation and improvement in the field of indoor lighting. The paper discusses the key factors that influence the quality of lighting in interior spaces, including brightness distribution, illuminance, glare, color aspects. The work also emphasized the optimal use of artificial lighting with as much use of natural lighting as possible. The specified parameters are described by the HRN EN 12464-1:2021 standard. Determination of energy efficiency and savings of a classroom example is shown with the computer program DIALux.

Keywords: HRN EN 12464-1:2021, DIALux, design methods, energy efficiency

## ŽIVOTOPIS

Luka Božanović rođen je 06. 02. 2002. u Vinkovcima. Pohađao je Osnovnu školu Bartola Kašića Vinkovci. Nakon toga upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića Vinkovci smjer elektrotehnika. Po završetku srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studiranja opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Tijekom cijelog obrazovanja bavi se nogometom, neki klubovi u kojim je trenirao su: HNK Cibalia Vinkovci, NK Dilj Vinkovci i ŠD Croatia Novi Jankovci.

---

Luka Božanović