Projekt energetski učinkovite rasvjete u javnoj ustanovi

Hanzer, Damir

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:221981

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

Sveučilišni studij

PROJEKT ENERGETSKI UČINKOVITE RASVJETE U JAVNOJ USTANOVI

Diplomski rad

Damir Hanzer

Osijek, 2017. godina

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 19.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Damir Hanzer
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 888, 12.10.2015.
OIB studenta:	71096539058
Mentor:	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš
Član Povjerenstva:	Marko Vukobratović
Naslov diplomskog rada:	Projekt energetski učinkovite rasvjete u javnoj ustanovi
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 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:	19.09.2017.

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, 01.10.2017.

Ime i prezime studenta:	Damir Hanzer
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 888, 12.10.2015.
Ephorus podudaranje [%]:	1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Projekt energetski učinkovite rasvjete u javnoj ustanovi**

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:

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA

Ja, Damir Hanzer, OIB: 71096539058, student/ica na studiju: Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **diplomski rad**:

Projekt energetski učinkovite rasvjete u javnoj ustanovi

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 01.10.2017.

_____

potpis

Sadržaj

1. UVOD 1
2. LED TEHNOLOGIJA 2
2.1. Princip rada svjetlećih dioda 2
2.2. Upravljanje temperaturom svjetlećih dioda 4
2.3. LED rasvjetna tijela 5
2.4. Ušteda potrošnje električne energije primjenom regulacije 7
3. POSTOJEĆI I NOVI SUSTAV RASVJETE 9
3.1. Opis postojećeg stanja rasvjete – postojeći sustav rasvjete 10
3.2. Opis planiranog tehničkog rješenja – novi sustav rasvjete 11
3.3. Karakteristike projektiranih svjetiljki 12
3.4. Proračun rasvjete za karakteristične prostorije 12
4. PRORAČUN UŠTEDE ENERGIJE 29
4.1. Prikaz izračuna snage postojećeg sustava rasvjete 34
4.2. Izračun snage, energije i CO2 emisije 36
5. ZAKLJUČAK 42
LITERATURA 43
SAŽETAK 44
ABSTRACT 44
ŽIVOTOPIS 45

1. UVOD

Energetska učinkovitost je skup mjera s ciljem smanjenja količine potrebne energije uz zadržavanje kvalitete usluge. U zgradama se taj skup mjera odnosi na sustave grijanja, sustave pripreme tople vode, sustave klimatizacije, velike ventilacijske sustave i sustave rasvjete. Kako zgrade čine 40 posto ukupne potrošnje energije i 60 posto potrošnje električne energije u Europskoj uniji (EU) [1], a uslijed ograničenosti fosilnih goriva te i zbog klimatskih promjena, pojavila se inicijativa za proizvodnju sve više energije iz obnovljivih izvora uz smanjenje emisije stakleničkih plinova, što rezultira i smanjenjem potreba za potrošnju energije u zgradama. Od ukupne količine električne energije otprilike 18-19 posto koristi se za rasvjetu prema podacima Međunarodne agencije za energiju (eng. IEA, International Energy Agency). Prema europskoj direktivi za energijska svojstva zgrada iz 2010. godine i direktivi o energetskoj učinkovitosti iz 2012. godine dane su smjernice za smanjenje potrošnje energije.

U ovom radu napraviti će se praktični primjer projektiranja energetski učinkovite rasvjete na objektu javne ustanove s ciljem energetske uštede. Mjere energetske obnove koje su projektirane dane su u Uputama za prijavitelje Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost. Tehnički uvjeti koji se moraju zadovoljiti prema uputama su slijedeći:

- Rekonstruirana rasvjeta mora biti barem 20 % učinkovitija u odnosu na postojeću
- Svjetlotehnički pokazatelji moraju biti sukladni normi za unutarnju rasvjetu HRN EN 12464-1:2012

Oprema kojom će se postići traženi tehnički uvjeti su energetski učinkovita rasvjeta temeljena na LED tehnologiji i regulacijski sklopovi i sustavi upravljanja prema ulaznim veličinama prisutnosti osoba, količina prirodne svjetlosti i vrijeme. Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke mora biti minimalno 60 lm/W [2].

Prikazati će se uštede u električnoj energiji i emisiji stakleničkih plinova u odnosu na postojeće stanje dobiveno energetskim pregledom. Projektirana je rasvjeta s LED tehnologijom kao zamjena za postojeću rasvjetu koja se sastoji od svjetiljki s fluorescentnim cijevima i svjetiljki sa žarnom niti kao izvorima svjetla. Uz samu zamjenu svjetiljki projektirana je i regulacija svjetiljki prema količini dnevne svjetlosti u prostoru i prema prisutnosti osoba pomoću DALI senzora čime će se postići još veće uštede. Osnovna polazna točka prilikom zamjene postojeće rasvjete osim energetske uštede je i zadovoljavanje svjetlotehničkih vrijednosti sukladno normi za unutarnju rasvjetu HRN EN 12464-1:2012 u ovisnosti o namjeni prostora.

Sam proračun rasvjete u karakterističnim prostorima izvesti će se u programu "Relux", a rezultati proračuna biti će prikazani u prilozima iz kojih je vidljivo da odabrana rasvjeta zadovoljava svjetlotehničke vrijednosti prema normi.

2. LED TEHNOLOGIJA

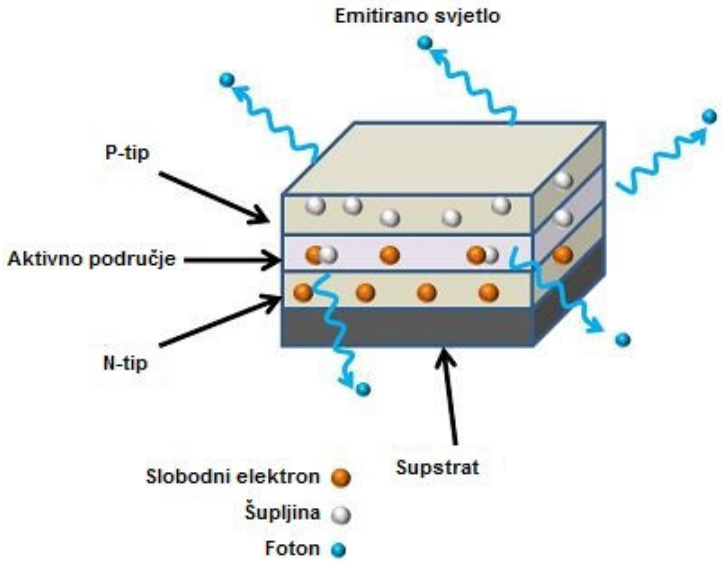
LED (engl. *Light Emitting Diodes*), odnosno svjetleća dioda, je poluvodička elektronička komponenta koja emitira svjetlo nakon što se na njenim elektrodama primijeni odgovarajući napon. Dioda se sastoji od P-N spoja koji, nakon što se primijeni odgovarajući napon, elektroluminiscencijom proizvodi svjetlost boje koja odgovara energijskom pojasu poluvodiča.

Svjetiljke s LED izvorom svjetlosti imaju mnoge prednosti u odnosu na svjetiljke sa žarnom niti ili svjetiljke s fluorescentnim izvorima svjetlosti koje smo sreli na objektu. Te prednosti su:

- dugi životni vijek izvora (može biti i preko 100.000 h)
- manje dimenzije rasvjetnog tijela
- trenutno uključivanje i isključivanje
- bolja energetska učinkovitost (ušteda i do 90 % u odnosu na žarnu nit)
- ekološki je prihvatljivija od fluorescentnih izvora (nemaju štetnih tvari kao npr. živu)
- ne emitira svjetlost u UV spektru
- veliki raspon radne temperature
- indeks uzvrata svjetlosti Ra (u novije vrijeme preko 90)

2.1. Princip rada svjetlećih dioda

Kako smo ranije spomenuli, nakon što se primjeni napon na elektrodama diode ona emitira svjetlost postupkom zvanim elektroluminiscencija. Fizikalni proces koji se iza toga događa je slijedeći. Dioda ima dvije elektrode, pozitivnu anodu i negativnu katodu. Nosioci naboja, elektroni i šupljine, kreću se prema suprotno nabijenim elektrodama te se susreću i elektroni padaju u niži energijski pojas te oslobađaju energiju u obliku fotona kako je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. *Princip rada svjetleće diode*

(izvor: http://www.physics-and-radio-electronics.com/electronic-devices-and-circuits/semiconductor-diodes/lightemittingdiodeledconstructionworking.html)

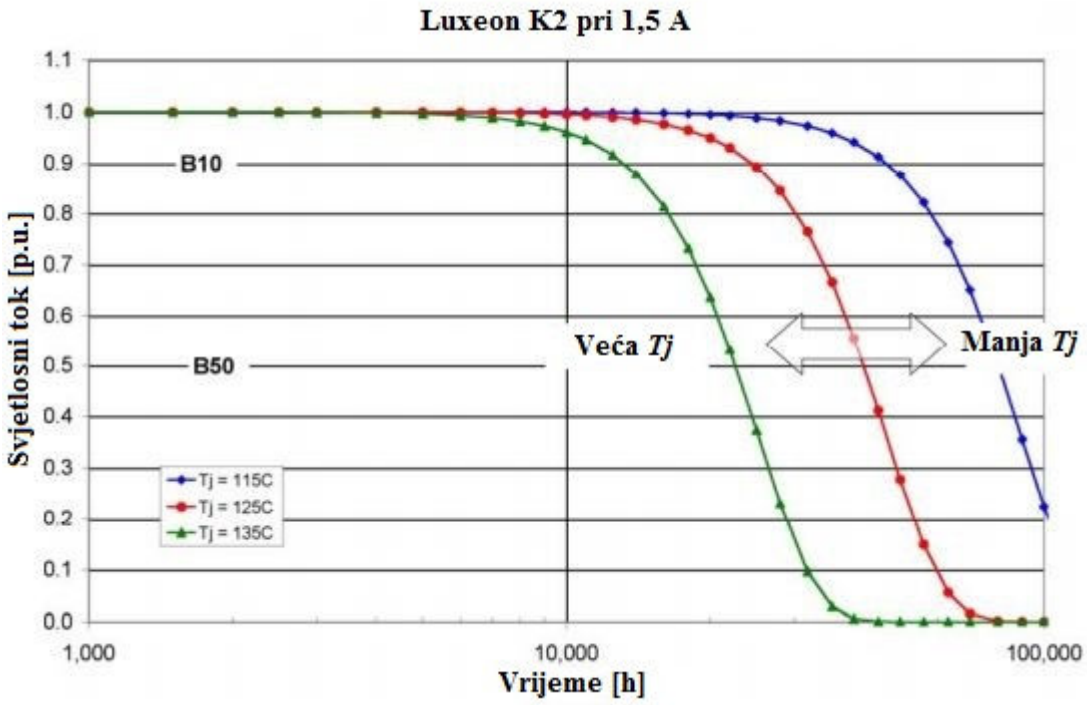
Svaki foton je određene frekvencije koja određuje boju svjetlosti koju vidimo. Boja svjetlosti koju će dioda emitirati ovisi o materijalu od koje je poluvodička komponenta izvedena kako je prikazano u tablici 2.2.

Tablica 2.2. *Boja svjetlosti u ovisnosti o materijalu poluvodičkih komponenti*

Materijal poluvodiča	Valna duljina	Boja	V_F @ 20mA
GaAs	850-940 nm	Infracrvena	1,2 V
GaAsP	630-660 nm	Crvena	1,8 V
GaAsP	605-620 nm	Jantar	2,0 V
GaAsP:N	585-595 nm	Žuta	2,2 V
AlGaP	550-570 nm	Zelena	3,5 V
SiC	430-505 nm	Plava	3,6 V
GaInN	450 nm	Bijela	4,0 V

2.2. Upravljanje temperaturom svjetlećih dioda

S razvojem svjetlećih dioda većih snaga (> 0,5 W) postalo je moguće koristiti ih u rasvjetnim tijelima kako bi zamijenile konvencionalne izvore svjetlosti. Svjetleće diode imaju učinkovitost od 20-30 posto, odnosno taj se iznos od ukupne električne energije utrošene na diodi pretvori direktno u svjetlost, a ostatak 70-80 posto u toplinu. Kod dioda većih snaga to znači i velike gubitke u obliku topline. Temperatura spoja *Tj*, odnosno najviša radna temperatura diode ima direktan utjecaj na životni vijek izvora svjetla. S povećanjem temperature spoja smanjuje se očekivani životni vijek što se vidi iz krivulja prikazanih na slici 2.3. Oznaka B predstavlja postotak izvora svjetla za koje se očekuje da neće preživjeti, tako na primjer oznaka B10 predstavlja 10 posto izvora svjetla za koje se očekuje da neće preživjeti. Kažemo očekuje zato što to nije posljedica direktno dobivenih rezultata iz mjerenja nego rezultata matematičkog modela dobivenog korištenjem Weibull-ove distribucije. Ovaj pristup daje točnost od 90 posto pri ekstrapolaciji životnog vijeka svjetleće diode [3].



Slika 2.3. *Utjecaj temperature spoja na životni vijek LED-a*
(izvor: Philips, Understanding Power LED Lifetime Analysis)

S obzirom da povećanje topline znatno utječe na životni vijek same svjetleće diode, potrebno je izvesti kvalitetno odvođenje topline ugradnjom hladnjaka na samu diodu. U većini slučajeva taj hladnjak se izvodi kao pasivni i to najčešće od aluminija. Umjesto hladnjaka može se upotrebljavati i toplinski vodljivo ljepilo. Svjetiljke koje smo koristili u projektu izvedene su s pasivnim hlađenjem. Uz fizički izvedeno hlađenje na svjetlećoj diodi upotrebljava se i još jedna

metoda upravljanja temperaturom. U slučaju kada temperatura spoja pređe predviđenu vrijednost preko regulacijskog modula u upravljačkom spoju svjetiljke smanjuje se struja vođenja kroz diodu i samim time i temperatura diode *Tj*. U tom slučaju uz smanjenje temperature kao negativnu popratnu pojavu imamo i smanjenje svjetlosnog toka svjetiljke koje može dovesti do smanjena tražene vrijednosti rasvijetljenosti.

2.3. LED rasvjetna tijela

Ubrzanim razvojem LED tehnologije posljednjih godina i sve većom brigom za očuvanje okoliša povećala se i proizvodnja LED rasvjetnih tijela u svim područjima rasvjete. Prema procjeni "Frost & Sullivan, Global LED Lighting Market (2017 Update)" udio LED svjetiljki na tržištu ukupne rasvjete u 2016. godini činio je skoro 60 posto, a procjena je da će do 2025. godine činiti 98 posto ukupnog udjela u tržištu rasvjete [4]. LED rasvjetna tijela proizvode se u više oblika i za više vrsta primjena. Tako uz integrirane svjetleće diode nalazimo LED cijevi kao zamjenu za fluorescentne cijevi koje za rad ne zahtijevaju prigušnicu, starter ili kondenzator, slika 2.4. Veliki dio tržišta također predstavljaju i LED žarulje u izvedbi s više vrsta grla koja se mogu naći u kućnoj rasvjeti kao što su npr. E27, E14, GU10 i sl. U projektu samo koristili svjetiljke sa integriranim svjetlećim diodama jer imaju niz prednosti u odnosu na zamjenske LED žarulje i cijevi.



Slika 2.4. *Prikaz svjetlećih dioda u svjetiljci*
(izvor: Trevos,a.s.)

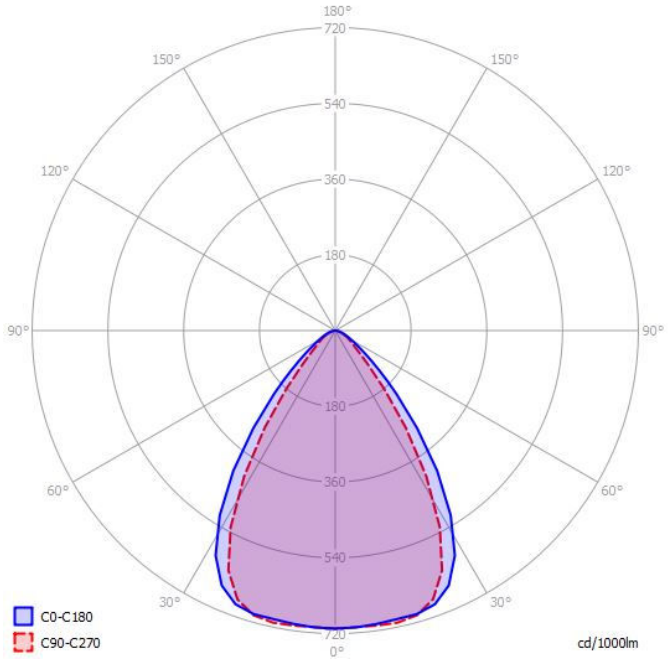


Slika 2.5. *Prikaz aluminijskog hladnjaka na svjetiljci*
(izvor: Trevos,a.s.)

Uz to za LED žarulje i cijevi ne postoje fotometrijske datoteke za svjetiljku i žarulju u kompletu kao što postoje za svjetiljke sa integriranim svjetlećim diodama. Svjetlost sa LED modula ne raspoređuje se ravnomjerno u svim smjerovima u prostoru. Razlog tome je različit oblik i vrsta izvora svjetlosti. Kako bi se svjetlost usmjerila prema namjeni koriste se različite optike na samom izvoru svjetlosti kao i pokrovi svjetiljke izrađeni od različitih materijala i tehnologija. Ta raspodjela svjetlosti prikazuje se trodimenzionalnim grafom prikazanim na slici 2.6. koji prikazuje krivulju distribucije svjetlosti [8].

LED rasvjetna tijela dolaze u više boja svjetlosti pa su tako najčešće izvedbe s 3000 K, 4000 K i 6500 K. Temperatura boje svjetlosti označava onu temperaturu pri kojoj je zračenje crnog tijela jednako kao obojenost izvora svjetlosti. Neutralno bijela svjetlost temperature 4000 K ima veću učinkovitost od toplijih boja svjetla na primjer toplo bijele temperature 3000 K. U projektu smo koristili svjetiljke sa bojom svjetla od 4000 K.

Indeks uzvrata boje odnosno CRI s razvojem LED tehnologije postaje sve bolji pa je tako danas u primjeni najčešće CRI > 80, a za posebne primjene se mogu se naći i svjetiljke s uzvratom boje većim od 90.



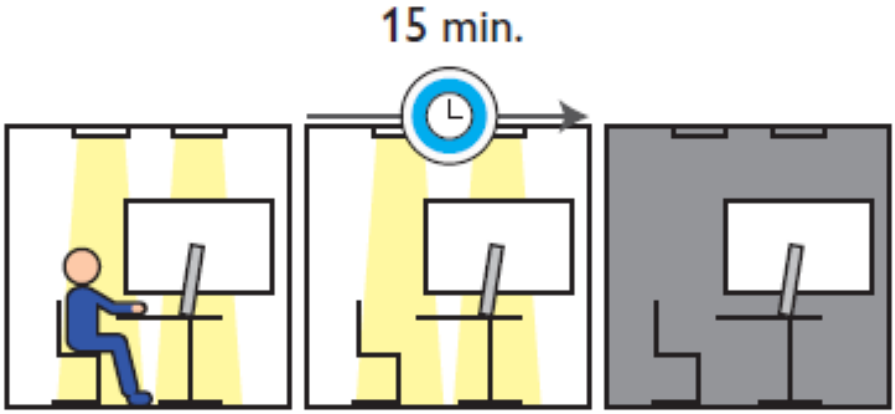
Slika 2.6. *Fotometrijska krivulja svjetiljke SM120V 34S W20L120 VAR-PC (izvor: Philips Lighting)*

2.4. Ušteda potrošnje električne energije primjenom regulacije

Kako bi se ušteda električne energije bila maksimalna, predviđena je uporaba suvremenog sustava regulacija rasvjete putem digitalnog adresabilnog rasvjetnog sučelja DALI (*eng. Digital Addressable Lighting Interface*) proizvođača Philips pod tržišnim nazivom Occuswitch. DALI je specificiran kao globalni tehnički standard i pruža sigurnost kako bi sustavi različitih proizvođača međusobno funkcionirali. Sastoji se od upravljačkog uređaja i jednog ili više podređenih uređaja kojima se dodjeljuje statička adresa u numeričkom rasponu od 0 – 63 što čini ukupno 64 uređaja u osnovnom sustavu. Sustav se po potrebi može proširivati dodavanjem mrežnih pristupnika. Digitalno sučelje povezuje se parom vodiča preko kojih se odvija komunikacija brzinom 1200 bit/s [5].

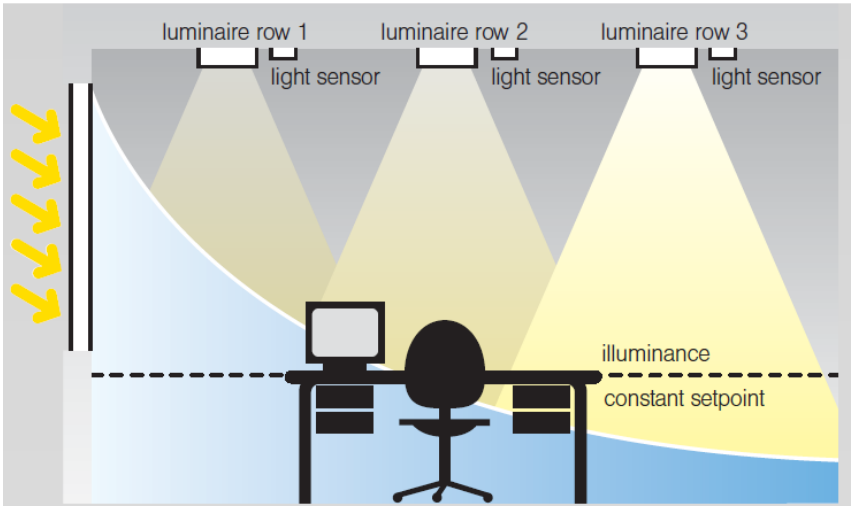
Sustav se sastoji od senzora prisutnosti kojim se prati prisutnost osoba u prostoru i regulacije svjetlosti prema količini dnevnog svjetla u prostoru. *Occuswitch* DALI senzori imaju mogućnost detekcije razine svijetla u prostoriji te na taj način prilagođavaju snagu svjetiljke ili ih gase u potpunosti štedeći na taj način i do 70 posto električne energije (za svjetiljke koje su bliže prozorima) [6]. Uz detekciju razine svjetla u prostoriji, senzori također prate i prisutnost osoba u prostoru. Ukoliko za zadani vremenski period sustav ne detektira prisutnost osoba u prostoriji svjetiljke se gase. Za prostore poput školskih učionica, ureda, kabineta i hodnika postoji poseban programski način rada. U svim prethodnim prostorima predviđena je kontinuirana regulacija

rasvjete uporabom DALI protokola. U prostorima WC-a nije potrebna kontinuirana regulacija nego je predviđena uporaba regulacije pali/gasi uz praćenje prisutnosti osoba u prostoru [7]. Nadzor prisutnosti odvija se na sljedeći način, a kako je prikazano na slici 2.7. Rasvjeta se pali kada je prostor zauzet, a petnaest minuta nakon napuštanja prostora rasvjeta se regulira na neku zadanu vrijednost ili se gasi u potpunosti. Na taj način postiže se ušteda do 30 posto [8].



Slika 2.7. *Nadzor prisutnosti u prostoru*
(izvor: Philips Lighting)

Uz nadzor prisutnosti postoji još jedan način rada, a to je utjecaj dnevnog svjetla. Ovisno o količini dnevnog svjetla senzor regulira količinu svjetla u prostoriji što se vidi na slici 2.8. Kako u učionicama ima puno dnevnog svjetla zahvaljujući velikim staklenim stijenama postiže se ušteda električne energije do 40 posto [8]. Uz ova dva načina rada postoji i treći koji omogućuje lokalnu prilagodbu razine rasvijetljenosti pojedinca, ovisno o njegovim subjektivnim potrebama. Uz navedene načine rada koristi se i održavanje konstantne rasvjetljenosti "CLO" (*eng. Constant lumen output*) funkcija koja smanjuje svjetlosni tok svjetiljke dok su one nove. Kako svjetiljka stari tako polagano podiže svjetlosni tok kako bi se kompenzirao efekt smanjenja rasvijetljenosti u prostoru sa starenjem rasvjetnog tijela. Na taj način postiže se ušteda od 10 - 15 posto [8].



Slika 2.8. *Utjecaj dnevnog svjetla*
(izvor: Philips Lighting)

Prema trenutnim podacima razina primjene pojedinih načina upravljanja u EU je sljedeća [8]:

- Ručno upravljanje (pali/gasi) oko 97 %
- Upravljanje prema prisutnosti dnevnog svjetla < 8 %
- Detekcija prisutnosti < 8 %
- Vremensko upravljanje rasvjetom < 4 %
- Održavanje konstantne rasvijetljenosti < 3 %

Iz prikazanih podataka vidljivo je kako sustavi upravljanja nude mogućnost velikih ušteda kod sustava rasvjete.

3. POSTOJEĆI I NOVI SUSTAV RASVJETE

Podatke o postojećem sustavu rasvjete dobili smo pregledom na samom objektu gdje su popisani svi tipovi svjetiljki s pripadnim snagama i vrstama izvora svjetlosti. Planirana ušteda potrošnje električne energije ostvariti će se zamjenom zastarjelih i dotrajalih svjetiljki novim suvremenim rasvjetnim tijelima kao i upotrebom regulacije rasvijetljenosti.

Ušteda električne energije predviđena je uporabom svjetiljki s LED izvorima svjetlosti dugog životnog vijeka i visoke energetske učinkovitosti, svjetiljki optimalnih svjetlotehničkih svojstava

i uporabom elektroničkih sklopova za regulaciju kojima se ostvaruje dodatna ušteda električne energije.

Primjenom predloženih metoda, a uz pomoć korištenja svjetiljki s LED tehnologijom izvora svjetlosti dugog životnog vijeka, smanjiti će se godišnji troškovi održavanja. Uz uštede električne energije popraviti će se razina rasvijetljenosti i blještanje UGR (engl. *Unified Glare Rating*) u prostorijama, a prema normi za unutarnju rasvjetu HRN EN 12464-1:2012, što za posljedicu ima poboljšanje kvalitete radnog prostora [9].

Troškovi održavanja postojećeg sustava rasvjete za pojedinu svjetiljku:

- Periodično redovno održavanje podrazumijeva zamjene izvora svjetlosti (žarulje), ovisno o kvaliteti što je potrebno obaviti svake 2-3 godine po svakoj svjetiljci [7].
- Izvanredno održavanje podrazumijeva zamjenu prigušnice, odsijača, spojnog kabela ili grla zbog dotrajalosti [7]

Troškovi održavanja nove LED rasvjete za pojedinu svjetiljku:

- Periodično redovno održavanje: obzirom da svjetlosni tok nakon 10 godina pada na 70% i u tom razdoblju većina svjetiljki mora biti ispravno, unutar 10 godina ne predviđa se gotovo se nikakvo održavanje [7]
- Izvanredno održavanje podrazumijeva zamjenu LED izvora, drivera ili spojnog kabela zbog dotrajalosti ili zbog mogućih prenapona, vandalizma ili udara stranog predmeta u svjetiljku [7]

3.1. Opis postojećeg stanja rasvjete – postojeći sustav rasvjete

Postojeći sustav rasvjete objekta izveden je pretežno svjetiljkama s fluorescentnim cijevima snage 18 ili 36 W, a primjer postojećih svjetiljki je dan na slici 3.1. U sanitarnim čvorovima i u dijelu podruma su rasvjeta je uglavnom izvedena svjetiljkama sa žarnim nitima snage 60W.



Slika 3.1. *Postojeća rasvjeta objekta*

3.2. Opis planiranog tehničkog rješenja – novi sustav rasvjete

Kao novo projektirano rješenje predviđena je kompletna zamjena postojećih svjetiljki zasnovanih na starijim tehnologijama izvora svjetlosti, kao što su fluorescentne cijevi i žarulje sa žarnom niti, svjetiljkama u LED izvedbi. Korištenje LED tehnologije omogućit će značajniju uštedu električne energije, kao i smanjenje troškova održavanja rasvjete. Odabrane svjetiljke uz energetske uštede korištenjem optika i pokrova primjerenih specifičnim prostorijama zadovoljavaju tražene kvalitativne i kvantitativne pokazatelje rasvjete u prostoru kako bi boravak i rad u prostoriji bio što ugodniji i ne umarajući.



Slika 3.2. *Nova LED rasvjeta objekta*

Svjetiljke će se paliti pomoću senzora prisutnosti u prostorijama te će biti implementirana automatska regulacija razine rasvijetljenosti prema količini dnevnog svjetla što će omogućiti veće uštede, a pogotovo za prostore s puno prirodnog svjetla. Uz automatske regulacije u radnim prostorijama biti će moguće i osobno ugađanje rasvjete pomoću tipkala.

3.3. Karakteristike projektiranih svjetiljki

U tablicama u prilogu A prikazane su karakteristike svjetiljki predloženih za modernizaciju unutarnje rasvjete. Projektirane svjetiljke imaju visok stupanj iskoristivosti izvora, te dug životni vijek s visokom energetskom učinkovitošću. Sve projektirane svjetiljke temeljene su na LED izvorima svjetlosti, a tehničke karakteristike prikazane su u sljedećim tablicama uz oznaku i vrstu prostora za koju će se koristiti.

3.4. Proračun rasvjete za karakteristične prostorije

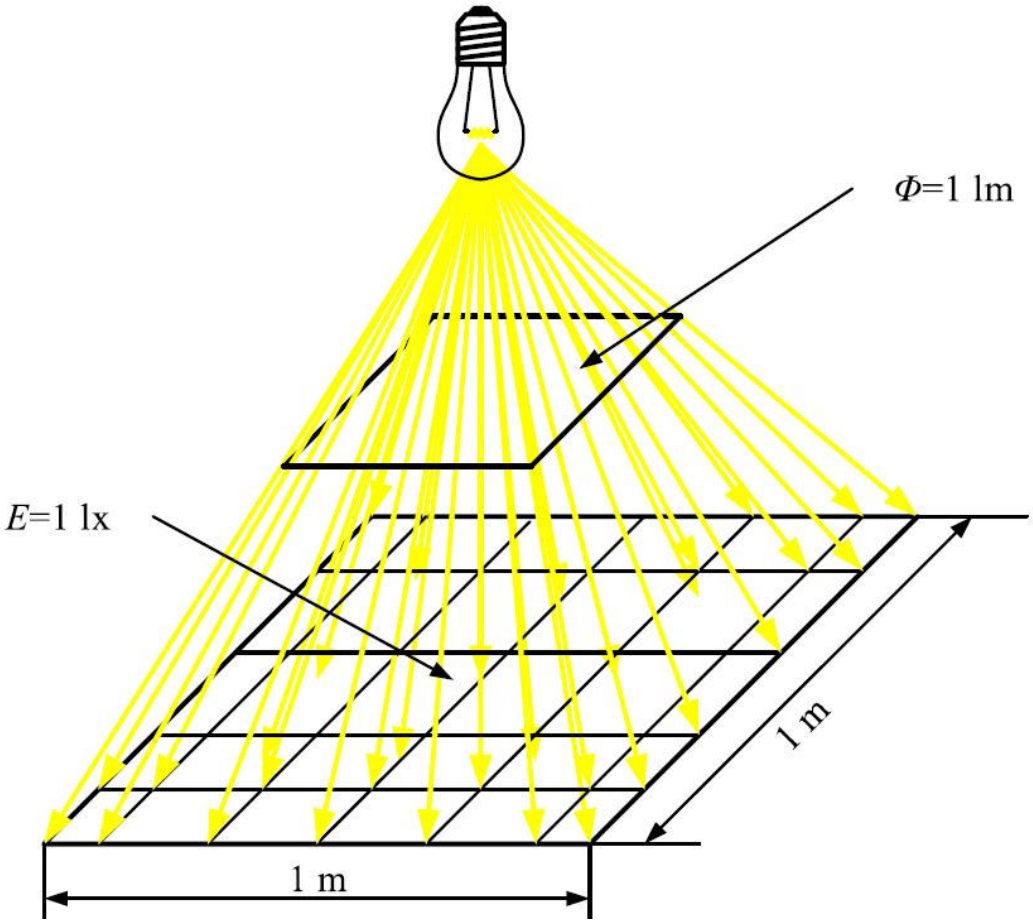
Za proračun unutarnje rasvjete postavljeni su određeni zahtjevi koji moraju biti ispunjeni.

- Namjena prostora određuje jakost i tip rasvjete
- Geometrija prostora određuje izvedbu (način ugradnje)
- Specifični zahtjevi
- Razina rasvijetljenosti (E_m) – u Republici Hrvatskoj su prihvaćene dvije europske norme iz područja rasvjete (HRN EN 12464-1 i HRN EN 12464-2)

Prema normi zadani su i podaci o refleksivnosti površina koji su zadovoljeni koristeći sljedeće vrijednosti:

- Stropovi 70 % (prema normi dozvoljeno 70-90 %)
- Zidovi 50 % (prema normi dozvoljeno 50-80 %)
- Pod 20 % (prema normi dozvoljeno 20-40 %)

Uz razinu rasvijetljenosti iznimno je bitno zadovoljiti dodatne kvalitativne i kvantitativne pokazatelje rasvijetljenosti. Zahtjevi rasvijetljenosti određeni su kako bi zadovoljili tri osnovne ljudske potrebe. Vizualni komfor, gdje osobe imaju osjećaj zadovoljstva, na posredan način to također pridonosi višoj produktivnosti i kvaliteti rada. Vizualne performanse, gdje su osobe sposobne obavljati svoje vizualne zadatke, čak i pod teškim uvjetima okolnostima i tijekom dužih razdoblja i kao treću potrebu sigurnost. Glavni parametri koje smo morali zadovoljiti su razina rasvjete mjerena u luksima, jednolikost rasvjete i bliještanje. Razina rasvijetljenosti dana je u luksima koja predstavlja osvjetljenje plohe kojoj je na jedan metar kvadratni jednoliko raspodijeljen svjetlosni tok od jednog lumena, slika 3.3. Jednolikost rasvjete dana je omjerom srednje rasvijetljenosti prostora i minimalne rasvijetljenosti u prostoru.



Slika 3.3. *Definicija jedinice za rasvijetljenost*
(Izvor: M. Stojkov, D. Šljivac, D. Topić, K. Trupinić, T. Alinjak, S. Arsoski, Z. Klaić, D. Kozak, "Energetski učinkovita rasvjeta", Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, 2015. godina.*)*

Uz ova dva parametra morali smo zadovoljiti i dozvoljeno bliještanje u prostoru koje računa program automatski prema normi pomoću slijedeće formule:

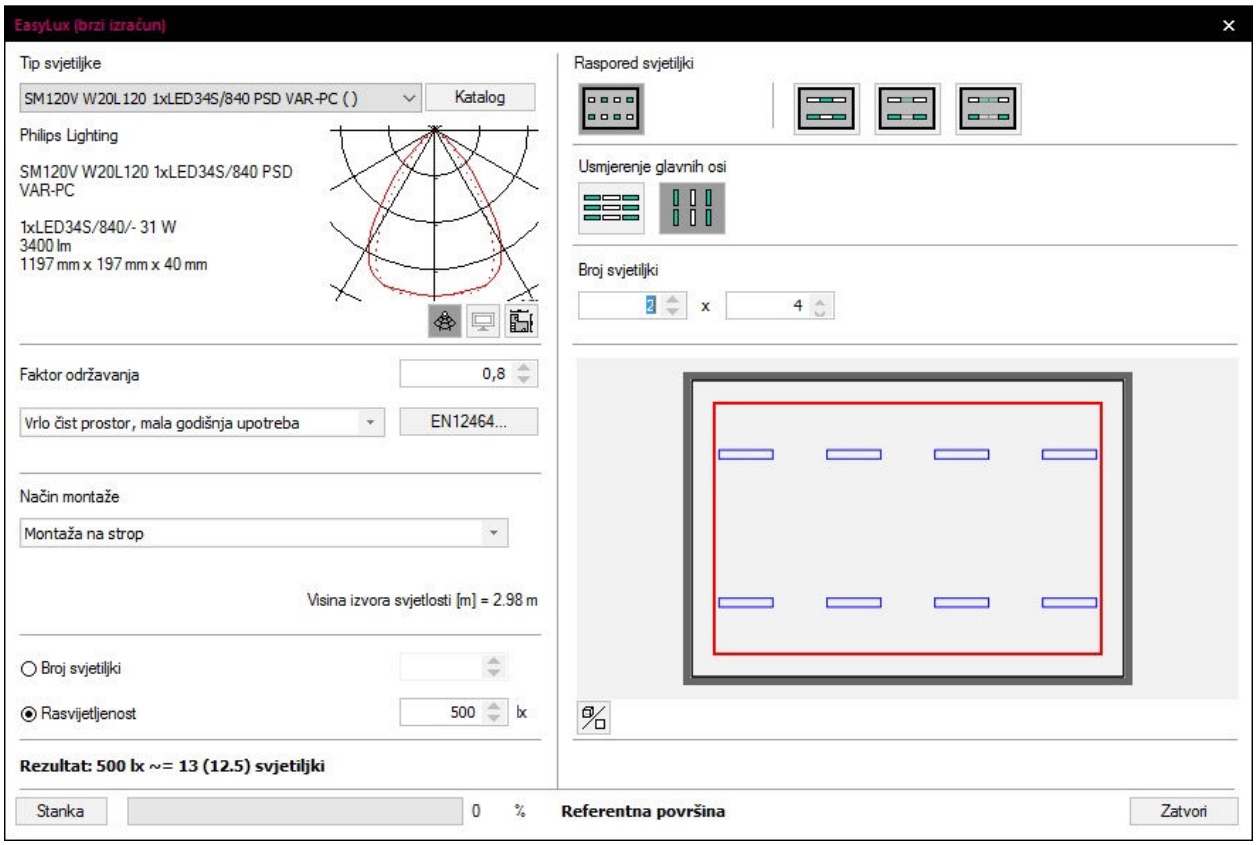
$$UGR = 8\log_{10}\left(\frac{0{,}25}{L_B}\right)\sum\frac{L^2\omega}{p^2} \quad (1)$$

Sukladno normi u prostorima učionica i ureda potrebno je upotrijebiti svjetiljke koje imaju stupanj bliještanja UGR≤19 što je izvedeno optičkim sustavom same svjetiljke. Izbor razine rasvijetljenosti, bliještanja i jednolikosti rasvjete za pojedine prostore napravljen je prema tablici 3.1, a sukladno normi za unutarnju rasvjetu HRN EN 12464-1:2012.

Tablica 3.1. *Svjetlotehnički zahtjevi prema HRN EN 12464-1:2012*

Tip prostora:	Razina rasvjete	Jednolikost rasvjete (Uo)	Bliještanje (UGR)
Učionica	500 lx	0,6	≤19
Školske ploče	500 lx	0,7	≤19
Ured	500 lx	0,6	≤19
Kabinet	300 lx	0,6	≤19
Školska kantina	200 lx	0,4	≤22
Hodnik	100 lx	0,4	≤25
Ulazni hodnik	200 lx	0,4	≤25
WC	200 lx	0,4	≤25

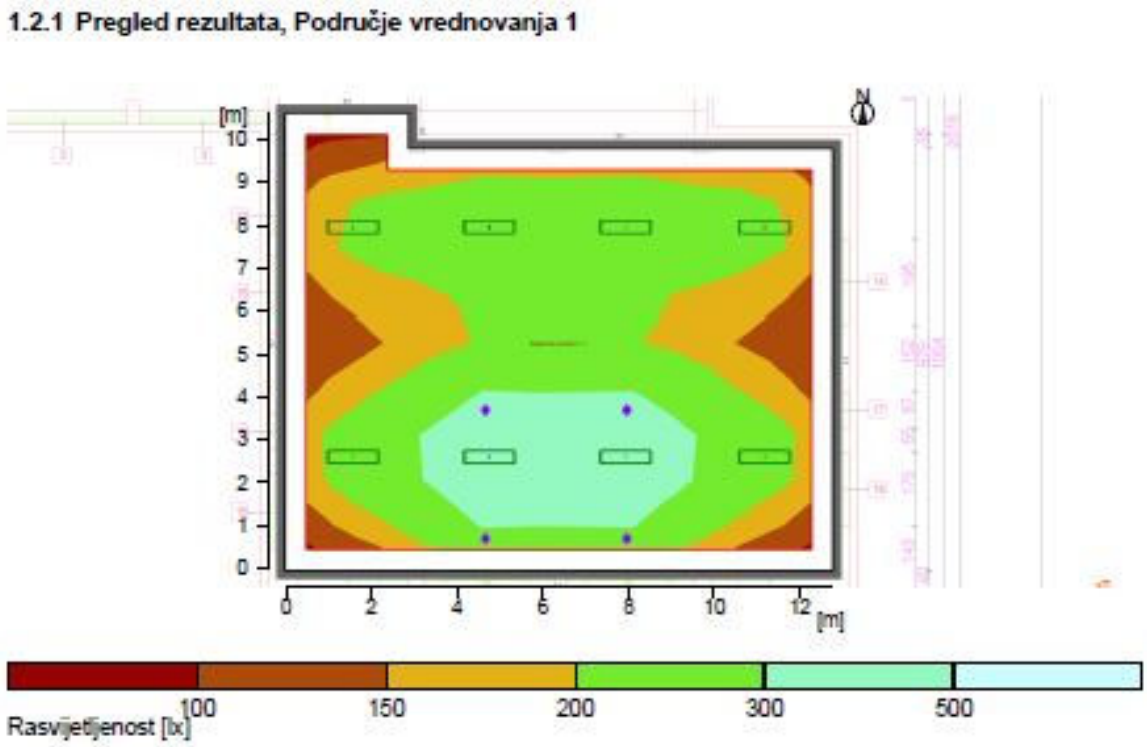
Proračun je izveden programom *Relux 2017.1.11.0* koji je baziran na ranije spomenutoj normi. Sam proračun izvodi se odabirom geometrije prostora, područja vrednovanja, refleksivnosti materijala, zemljopisnim položajem te odabirom željenih vrijednosti prema normi. Nakon toga dodajemo svjetiljke putem mreže ili dodataka koje instaliramo sa stranica proizvođača. Kada smo odabrali svjetiljke pristupamo njihovom razmještanju u prostoru koje možemo izvesti pomoću asistenta razmještanja ili ručno. U asistentu razmještanja možemo birati tip svjetiljke, faktor održavanja, način montaže, raspored svjetiljki i usmjerenje glavnih osi kako je prikazano na slici 3.4. Nakon odabira prema asistentu razmještanja ili prema ručnom razmještanju dobijemo rezultate kao na slici 3.5.



Slika 3.4. *Asistent razmještanja programa Relux*

Kako se vidi u proračunima, upotrijebljene svjetiljke u navedenim prostorima udovoljavaju postavljenim zahtjevima.

Za hodnik smo odabrali svjetiljke sa opalnim pokrovom kako za ovaj prostor blještanje nije jako zahtjevno, vrijednost UGR-a mora biti manja ili jednaka 25, slika 3.6. Korištena svjetiljka je ugradna s obzirom na spušteni strop u prostoru na visini 3 m. Rezultat je prikazan kvantitativno dobivenim vrijednostima srednje rasvijetljenosti, jednolikosti te kvalitativno kroz izoluks krivulje. Visina mjernog područja je 0 m odnosno na podu s obzirom da se radi o hodniku. Uz prikazane rezultate dana je i ukupna snaga svjetiljki u prostoru kao i ukupna snaga po površini u W/m^2.



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	38000 lm
Ukupna snaga	388.0 W
Ukupna snaga po površini (127.20 m2)	3.05 W/m2 (1.30 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1 **Referentna površina 1.1**

Korisnički profil: Obrazovne premise - Obrazovne ustanove 5.36.16 (EN 12464-1, 8.2011) Ulazne hale (Ra >80.00)

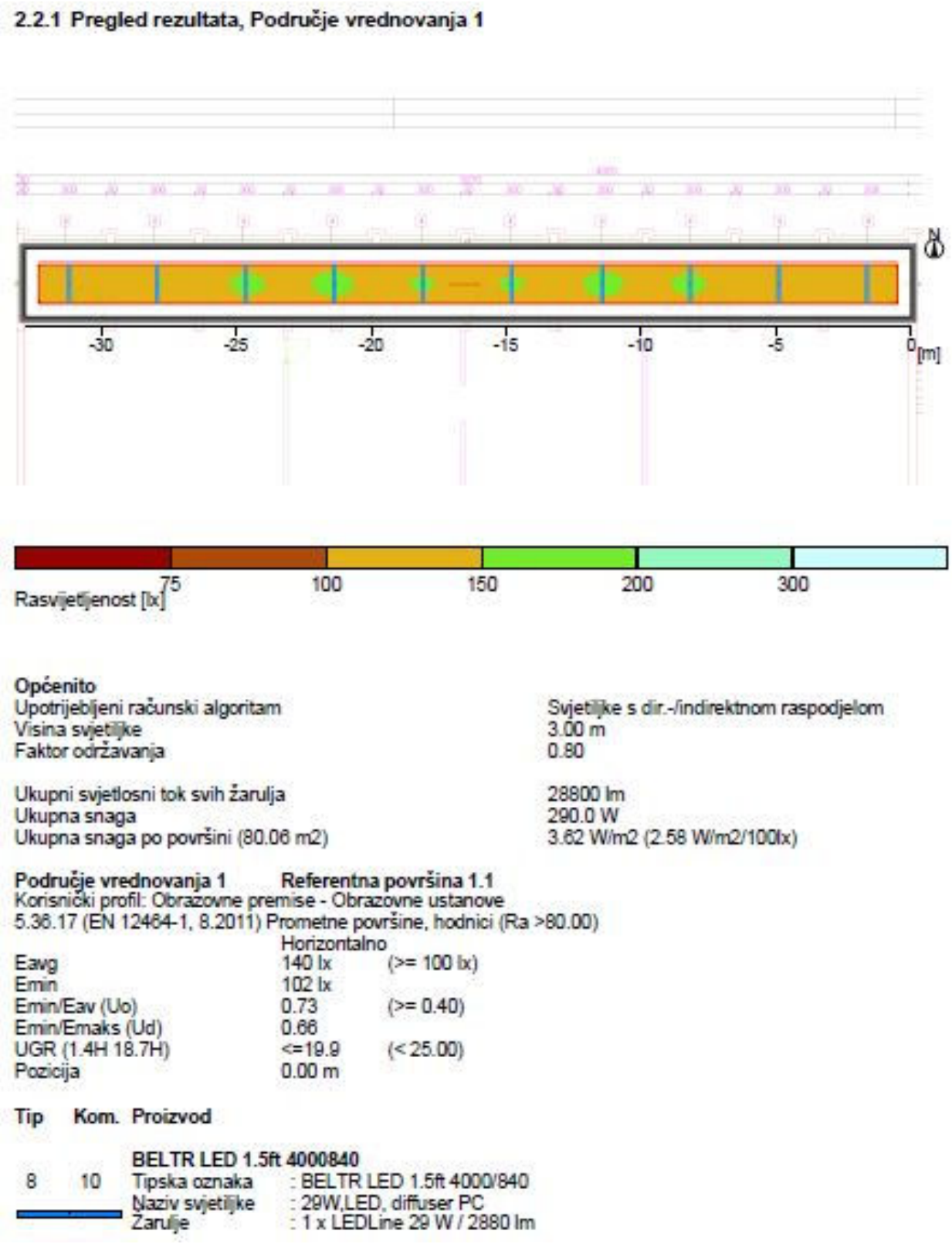
	Horizontalno	
Eavg	235 lx	(>= 200 lx)
Emin	120 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.51	(>= 0.40)
Emin/Emaks (Ud)	0.32	
Pozicija	0.00 m	

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
6	8	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: RC120B W30L120 1xLED37S/840 PSD
		Žarulje	: 1 x LED37S/840/- 37.5 W / 3700 lm
7	4	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: DN130B D217 1xLED20S/840
		Žarulje	: 1 x LED20S/840/- 22 W / 2100 lm

Slika 3.5. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za ulazni hodnik*

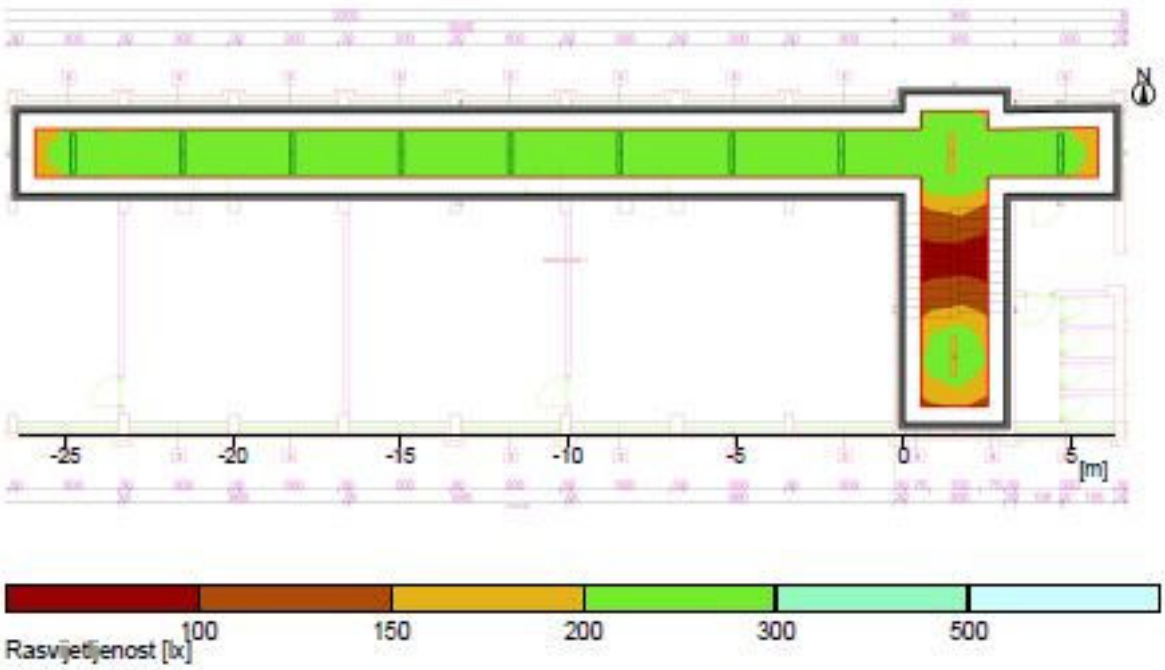
Na slici 3.6, 3.7. i 3.8. prikazan je proračun za prostore hodnika. Za razliku od ulaznog hodnika kod kojeg se zahtjeva vrijednost srednje rasvijetljenosti od 200 lx ovdje je dovoljno i 100 lx uz jednolikost veću ili jednaku 0,4 i bliještanje manje ili jednako od 25. Iz rezultata proračuna vidi se

da odabrane svjetiljke i raspored zadovoljavaju vrijednosti norme. U ovom slučaju kako je u pitanju strop od betonskih gredica odabrana je nadgradna svjetiljka za montažu na strop.



Slika 3.6. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za hodnik 1*

4.2.1 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



Općenito

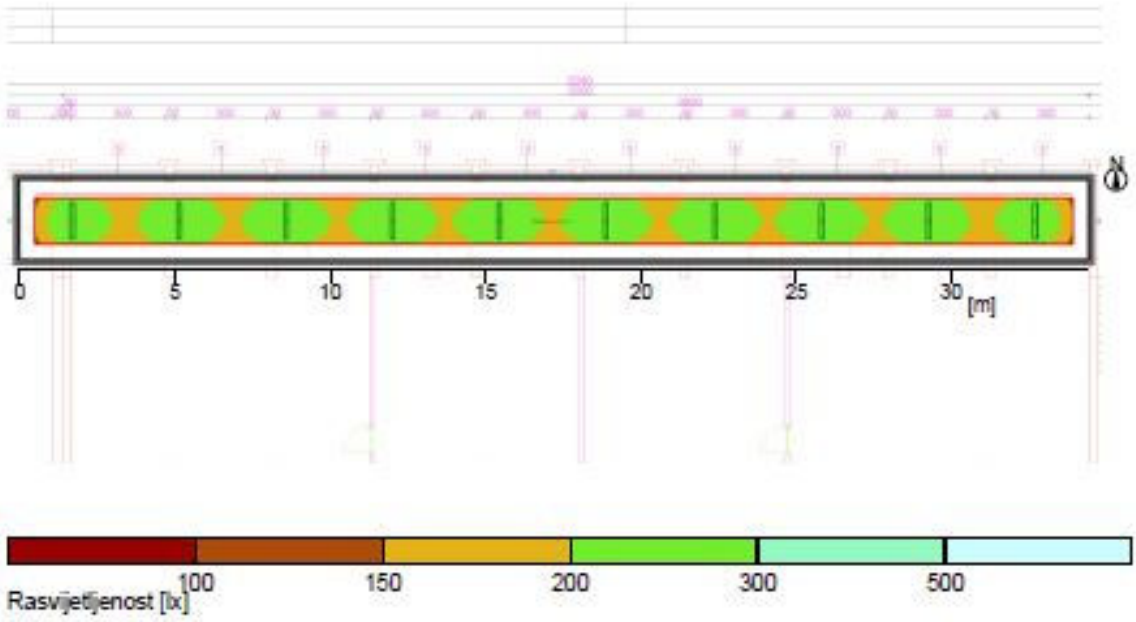
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.50 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	43550 lm
Ukupna snaga	449.0 W
Ukupna snaga po površini (101.77 m2)	4.41 W/m2 (2.00 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	221 lx
Emin	94 lx
Emin/Eav (Uo)	0.43
Emin/Emaks (Ud)	0.33
Pozicija	0.00 m (rot: 0°/0°)

Tip	Kom.	Proizvod	
		BELTR LED 2.4ft 6400840	
11	2	Tipska oznaka	: BELTR LED 2.4ft 6400/840
		Naziv svjetiljke	: 49W,LED, diffuser PC
		Žarulje	: 1 x LEDLine 49 W / 4900 lm
		BELTR LED 2.4ft 5200_840	
15	9	Tipska oznaka	: BELTR LED 2.4ft 5200/840
		Naziv svjetiljke	: 39W,LED, diffuser PC
		Žarulje	: 1 x LEDLine 39 W / 3750 lm

Slika 3.7. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za hodnik 2*

2.2.1 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	37500 lm
Ukupna snaga	390.0 W
Ukupna snaga po površini (85.66 m2)	4.55 W/m2 (2.08 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1 **Referentna površina 1.1**
Korisnički profil: Obrazovne premise - Obrazovne ustanove
5.36.17 (EN 12464-1, 8.2011) Prometne površine, hodnici (Ra >80.00)

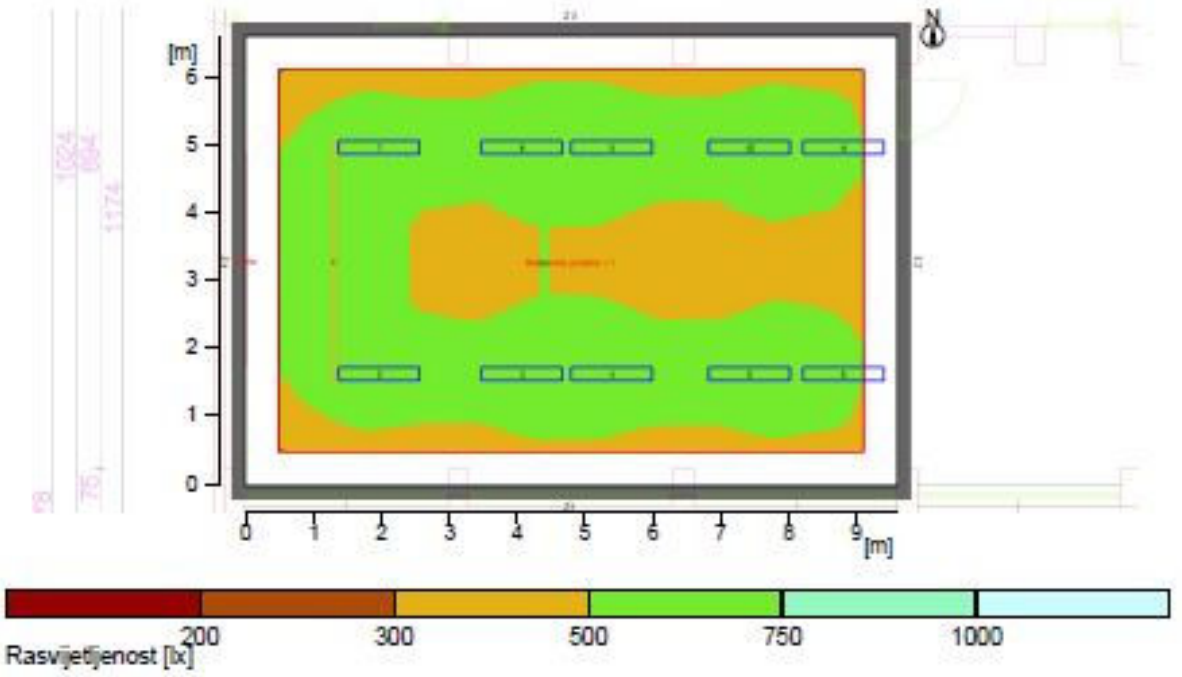
	Horizontalno	
Eavg	221 lx	(>= 100 lx)
Emin	151 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.68	(>= 0.40)
Emin/Emaks (Ud)	0.55	
UGR (1.4H 19.4H)	<=20.4	(< 25.00)
Pozicija	0.75 m	

Tip	Kom.	Proizvod	
		BELTR LED 2.4ft 5200_840	
15	10	Tipska oznaka	: BELTR LED 2.4ft 5200/840
		Naziv svjetiljke	: 39W,LED, diffuser PC
		Žarulje	: 1 x LEDLine 39 W / 3750 lm

Slika 3.8. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za hodnik 3*

Na slici 3.9. prikazan je proračun za karakterističnu učionicu. Svjetiljka za opću rasvjetu je predviđena za montažu na strop, a svjetiljka za školsku ploču je predviđena za spuštanje na ovjesni pribor. Svjetiljka za školsku ploču je s asimetričnom optikom kako bi se snop svjetla usmjerio učinkovitije prema samoj ploči. Kao dodatni pribor koristi se i zaslon protiv bliještanja kako bi se ono svelo na minimalnu vrijednost.

3.2.2 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



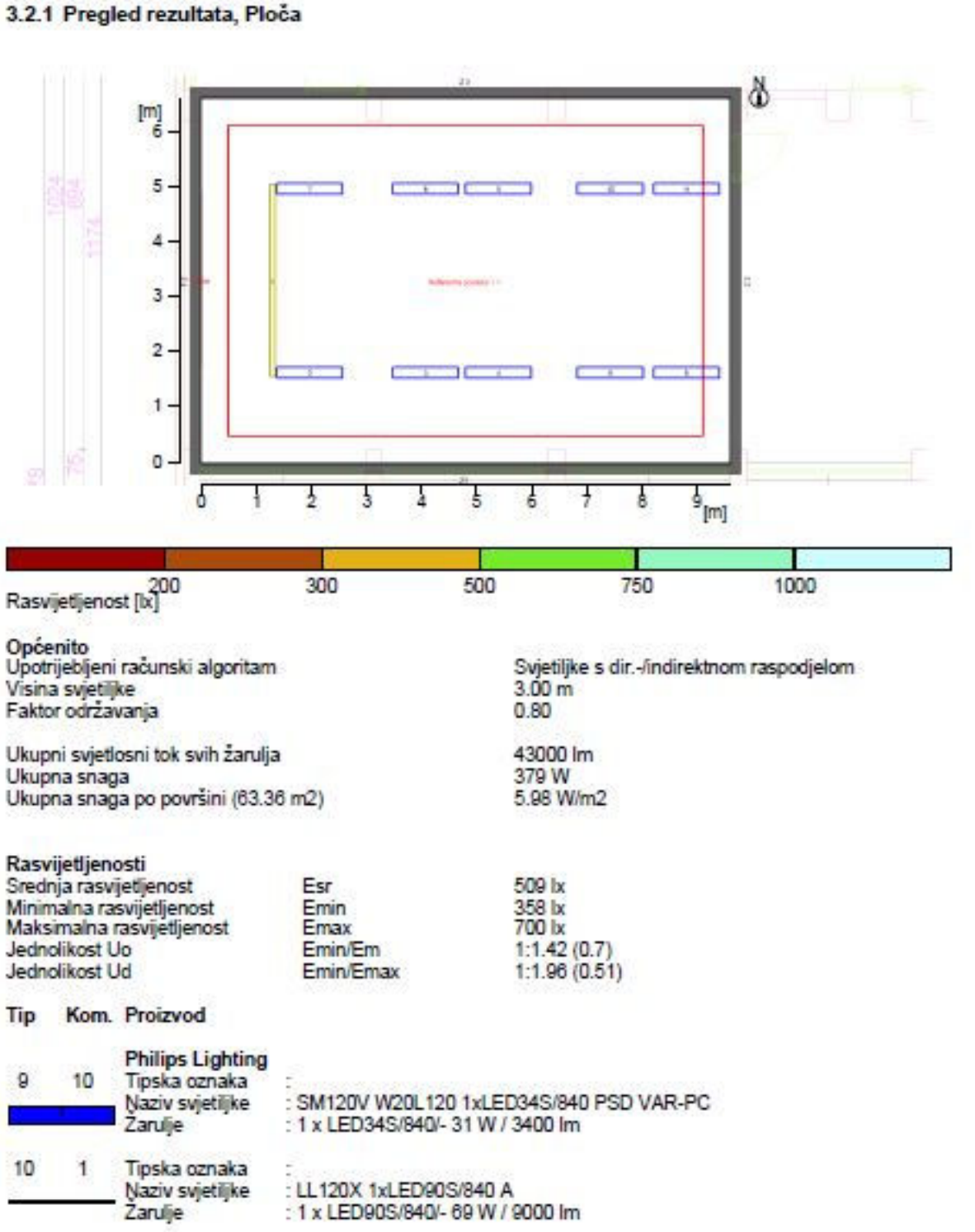
Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	43000 lm
Ukupna snaga	379.0 W
Ukupna snaga po površini (63.36 m2)	5.98 W/m2 (1.07 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	560 lx
Emin	422 lx
Emin/Eav (Uo)	0.75
Emin/Emaks (Ud)	0.60
Pozicija	0.75 m

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
9	10	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: SM120V W20L120 1xLED34S/840 PSD VAR-PC
		Žarulje	: 1 x LED34S/840/- 31 W / 3400 lm
10	1	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: LL120X 1xLED90S/840 A
		Žarulje	: 1 x LED90S/840/- 69 W / 9000 lm

Slika 3.9. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za učionicu 1*

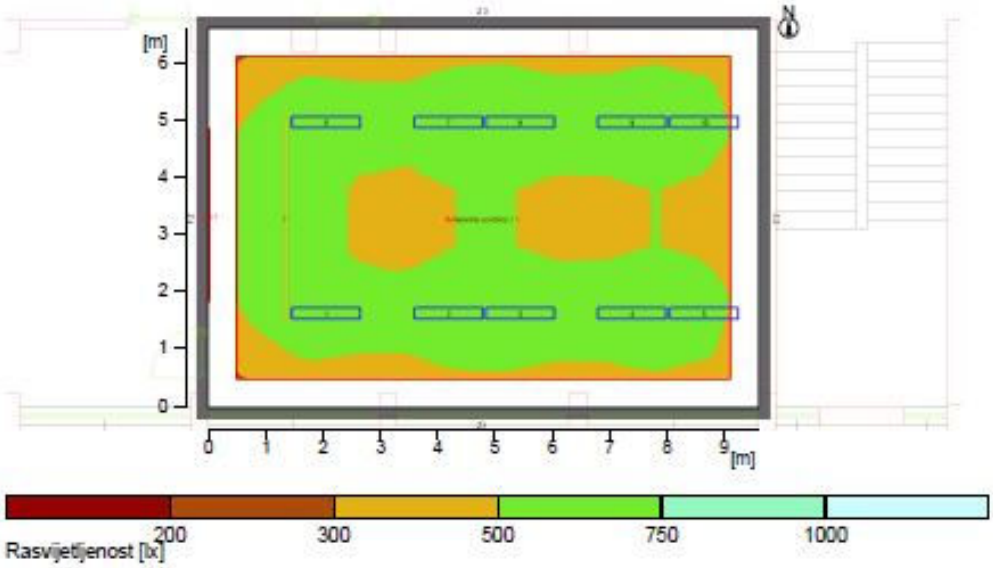
Ukupna površina prostorije je 63,36 m^2 te je ukupna snaga po površini 5,98 W/m^2. Svjetiljke za opću rasvjetu su sa mikorprizmatičnim difuzorom kako bi se smanjilo blještanje i svelo na vrijednost ispod 19 kako se zahtjeva u normi. Na slici 3.10. prikazani su rezultati proračuna za školsku ploču. Prema normi za školske ploče zahtjeva se srednja rasvijetljenost od 500 lx i jednolikost od barem 0,7, a u proračunu se vidi da odabrana svjetiljka zadovoljava tražene parametre.



Slika 3.10. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete ploče za učionicu 1*

Nadalje na slikama 3.11, 3.12, 3.13. i 3.14 prikazani su proračuni za ostale karakteristične učionice i njima pripadajuće ploče. U proračunima se vidi da su postignute minimalne vrijednosti pokazatelja kvalitete rasvjete prema normi. U svim slučajevima korištene su iste svjetiljke za opću rasvjetu kao i za rasvjetu ploča. Vidi se i da je ukupna snaga po površini za sve učionice vrlo slična, kreće se u granicama od 5,98 do 6,13 W/m^2 što smo i očekivali s obzirom na iste odabrane svjetiljke i sličnu geometriju prostorija. Mjerna površina za učionice je 0,75 m, odnosno visina radnog stola.

5.2.2 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	43000 lm
Ukupna snaga	379.0 W
Ukupna snaga po površini (63.36 m2)	5.98 W/m2 (1.05 W/m2/100lx)

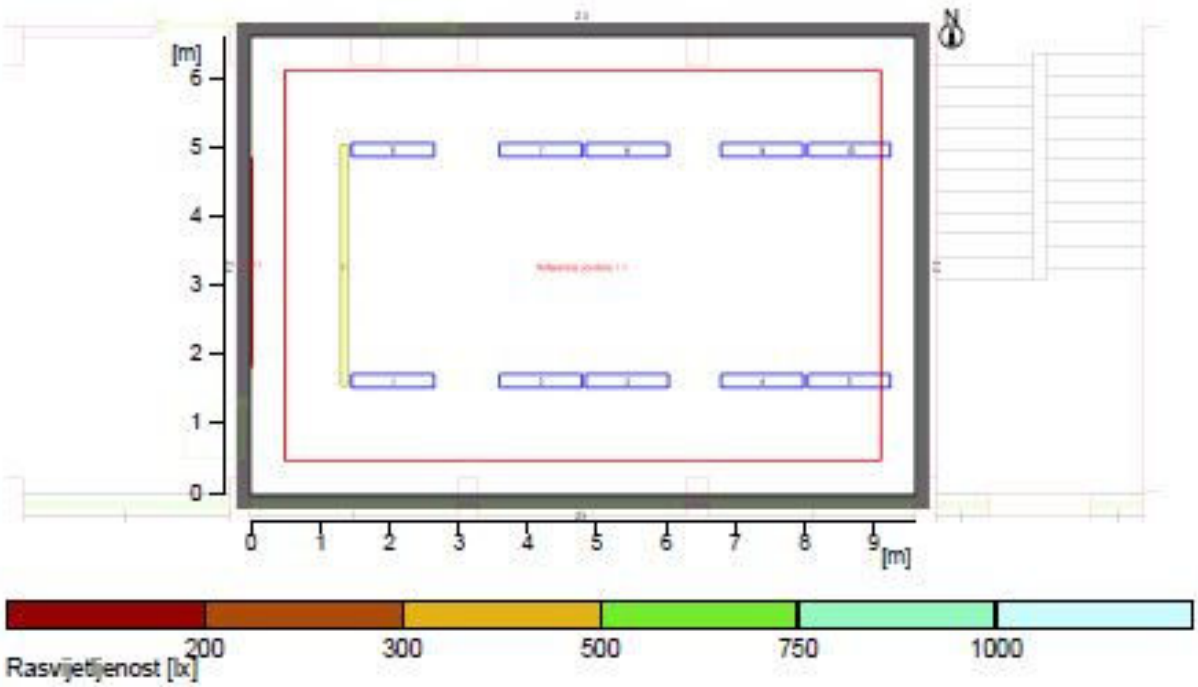
Područje vrednovanja 1 **Referentna površina 1.1**
Korisnički profil: Obrazovne premise - Obrazovne ustanove
5.36.3 (EN 12464-1, 8.2011) Predavaonice (Ra >80.00)

	Horizontalno	
Eavg	568 lx	(>= 500 lx)
Emin	418 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.74	(>= 0.60)
Emin/Emaks (Ud)	0.58	
Pozicija	0.75 m	

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
9	10	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: SM120V W20L120 1xLED34S/840 PSD VAR-PC
		Žarulje	: 1 x LED34S/840/- 31 W / 3400 lm
10	1	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: LL120X 1xLED90S/840 A
		Žarulje	: 1 x LED90S/840/- 69 W / 9000 lm

Slika 3.11. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za učionicu 2*

5.2.1 Pregled rezultata, Mjerna površina 1



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	43000 lm
Ukupna snaga	379 W
Ukupna snaga po površini (63.36 m2)	5.98 W/m2

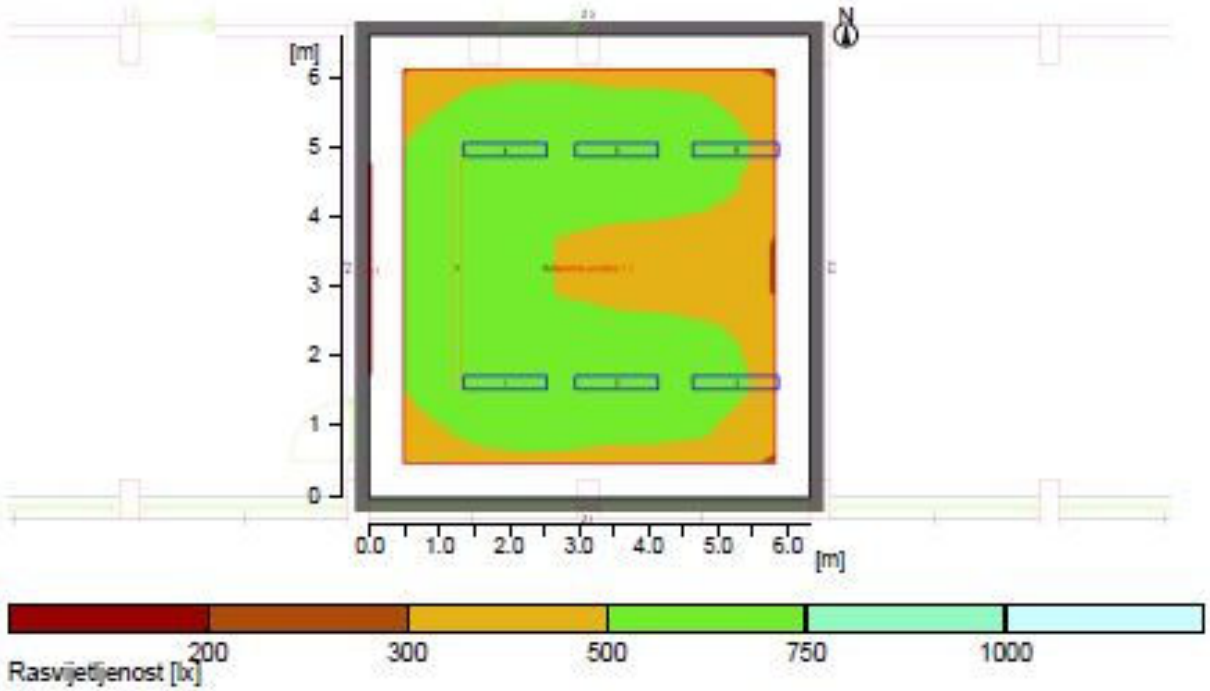
Rasvijetljenosti

Srednja rasvijetljenost	Esr	511 lx
Minimalna rasvijetljenost	Emin	356 lx
Maksimalna rasvijetljenost	Emax	686 lx
Jednolikost Uo	Emin/Em	1:1.43 (0.7)
Jednolikost Ud	Emin/Emax	1:1.93 (0.52)

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
9	10	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: SM120V W20L120 1xLED34S/840 PSD VAR-PC
		Žarulje	: 1 x LED34S/840/- 31 W / 3400 lm
10	1	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: LL120X 1xLED90S/840 A
		Žarulje	: 1 x LED90S/840/- 69 W / 9000 lm

Slika 3.12. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete ploče za učionicu 2*

7.2.2 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	29400 lm
Ukupna snaga	255.0 W
Ukupna snaga po površini (41.58 m2)	6.13 W/m2 (1.08 W/m2/100lx)

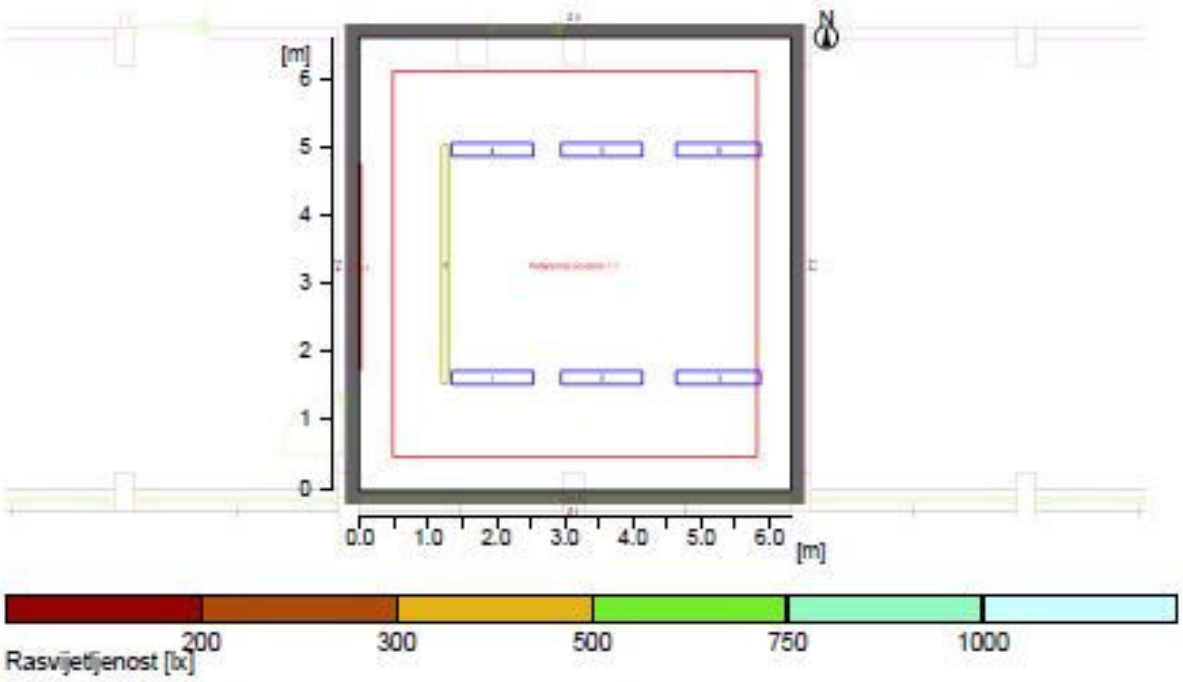
Područje vrednovanja 1 **Referentna površina 1.1**
Korisnički profil: Obrazovne premise - Obrazovne ustanove
5.36.3 (EN 12464-1, 8.2011) Predavaonice (Ra >80.00)

	Horizontalno	
Eavg	566 lx	(>= 500 lx)
Emin	338 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.60	(>= 0.60)
Emin/Emaks (Ud)	0.47	
Pozicija	0.75 m (rot: 0°/0°)	

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
9	6	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: SM120V W20L120 1xLED34S/840 PSD VAR-PC
		Žarulje	: 1 x LED34S/840/- 31 W / 3400 lm
10	1	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: LL120X 1xLED90S/840 A
		Žarulje	: 1 x LED90S/840/- 69 W / 9000 lm

Slika 3.13. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za učionicu 3*

7.2.1 Pregled rezultata, Mjerna površina 1



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	29400 lm
Ukupna snaga	255 W
Ukupna snaga po površini (41.58 m2)	6.13 W/m2

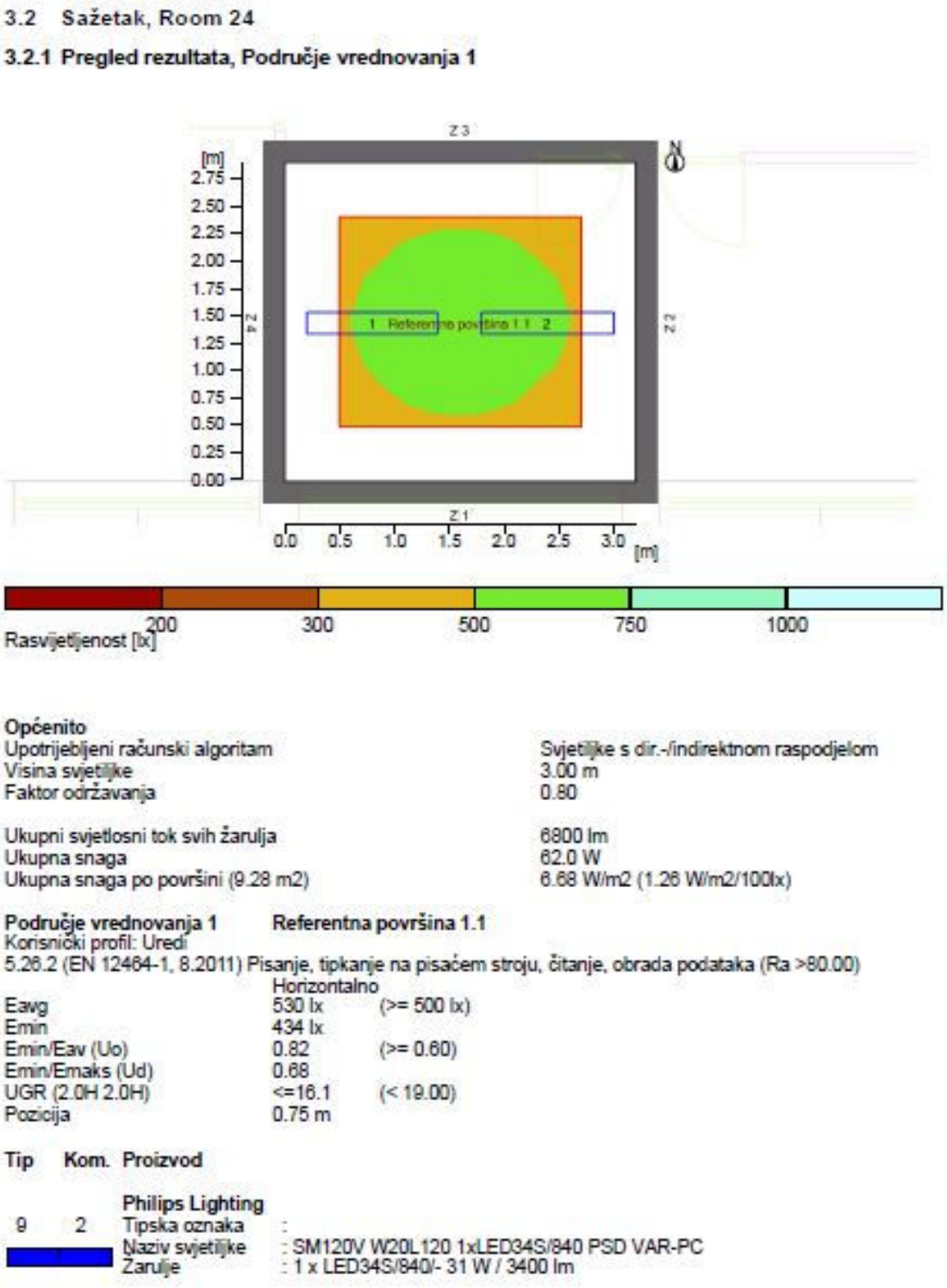
Rasvijetljenosti

Srednja rasvijetljenost	Esr	560 lx
Minimalna rasvijetljenost	Emin	393 lx
Maksimalna rasvijetljenost	Emax	739 lx
Jednolikost Uo	Emin/Em	1:1.42 (0.7)
Jednolikost Ud	Emin/Emax	1:1.88 (0.53)

Tip	Kom.	Proizvod	
		Philips Lighting	
9	6	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: SM120V W20L120 1xLED34S/840 PSD VAR-PC
		Žarulje	: 1 x LED34S/840/- 31 W / 3400 lm
10	1	Tipska oznaka	:
		Naziv svjetiljke	: LL120X 1xLED90S/840 A
		Žarulje	: 1 x LED90S/840/- 69 W / 9000 lm

Slika 3.14. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete ploče za učionicu 3*

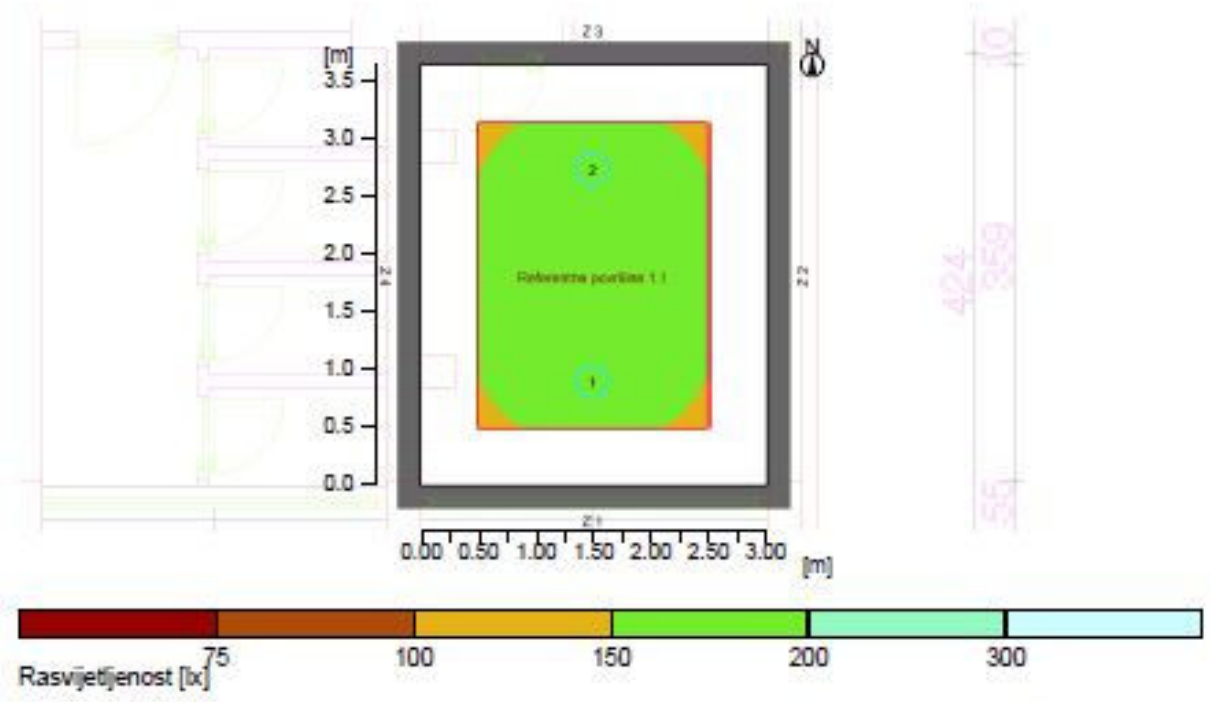
U karakterističnim prostorijama kabineta nastavnika predviđene su svjetiljke kao i za opću rasvjetu učionica zbog niske vrijednosti blještanja i visoke učinkovitosti. Mjerna površina je i u ovom slučaju na visini radnog stola, a postignute vrijednosti su u skladu s zahtjevima norme kako je prikazano na slici 3.15. Svjetiljka se montira na strop visine 3 m.



Slika 3.15. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za kabinet*

Za prostore ostave predviđene su svjetiljke sa polikarbonatnim pokrovom i zaštitom od IP65 kod koje prva znamenka označava zaštitu od prodiranja krutih tvari, a druga znamenka zaštitu od prodiranja vode. U slučaju zaštite IP65 radi se o zaštiti od prodiranja prašine u kućište pri podtlaku od 20 mbar, te zaštiti od vode koja je iz bilo kojeg smjera u mlazu usmjerena prema kućištu ne smije štetno djelovati. U rezultatima proračuna vidi se kako su ispunjeni zahtjevi iz norme.

2.2.1 Pregled rezultata, Područje vrednovanja 1



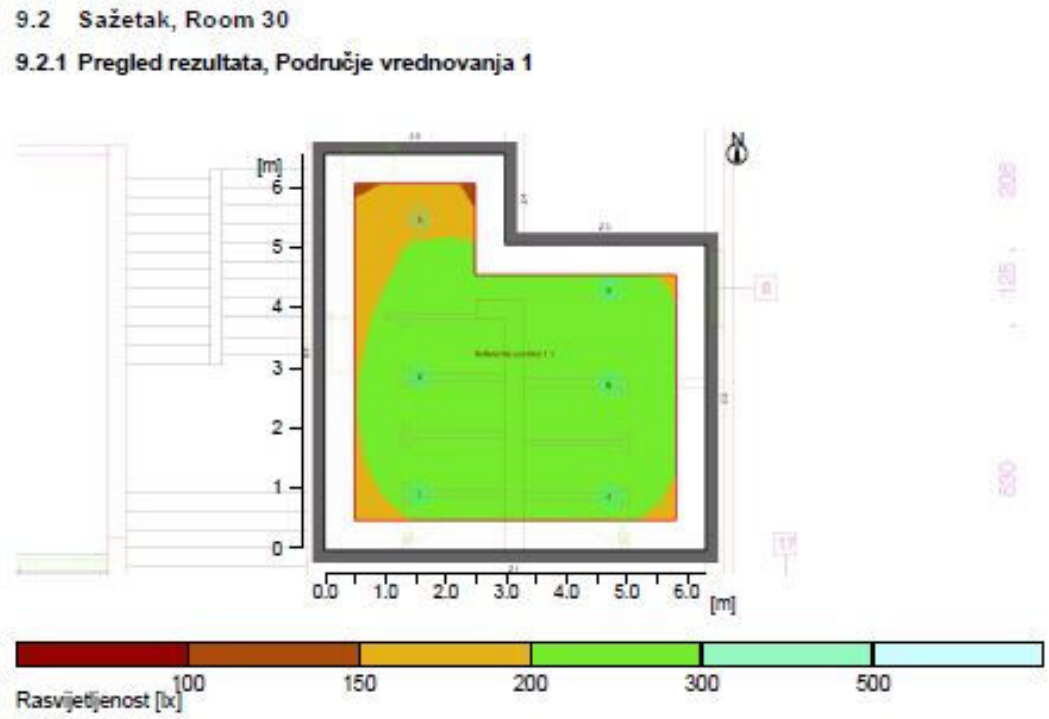
Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	5860 lm
Ukupna snaga	54.0 W
Ukupna snaga po površini (10.92 m2)	4.95 W/m2 (2.90 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1	**Referentna površina 1.1** Horizontalno
Eavg	171 lx
Emin	151 lx
Emin/Eav (Uo)	0.89
Emin/Emaks (Ud)	0.81
UGR (1.7H 2.1H)	<=19.1
Pozicija	0.00 m (rot: 0°/0°)

Tip	Kom.	Proizvod	
		LINEA ROUND 3600_840	
13	2	Tipska oznaka	: LINEA ROUND 3600/840
		Naziv svjetiljke	: 27W, LED interior circular, surface mounted
		Žarulje	: 1 x LEDline - 2930lm 27W 27 W / 2930 lm

Slika 3.16. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za ostavu*

Na slici 3.17 prikazani su rezultati proračuna rasvjete za prostor sanitarnog čvora. Kao i za slučaj ostave i ovdje su korištene svjetiljke u zaštiti IP65 kako bi se spriječilo štetne posljedice uslijed slučajnog prskanja vode prema svjetiljci. U prostorima sanitarija uključivanje svjetiljki izvedeno je pomoću senzora prisutnosti ali nema regulacije nego se vrši samo uključivanje i isključivanje.



Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	17580 lm
Ukupna snaga	162.0 W
Ukupna snaga po površini (36.28 m2)	4.46 W/m2 (1.92 W/m2/100lx)

Područje vrednovanja 1 **Referentna površina 1.1**
Korisnički profil: Opća područja unutar zgrada - Prostorije za pauzu, sanitaciju i prvu pomoć
5.2.4 (EN 12464-1, 8.2011) Garderoba, prostorija za pranje, kupatila, toaleti (Ra >80.00)

	Horizontalno	
Eavg	233 lx	(>= 200 lx)
Emin	167 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.72	(>= 0.40)
Emin/Emaks (Ud)	0.61	
UGR (3.6H 3.7H)	<=22.2	(< 25.00)
Pozicija	0.00 m	

Tip	Kom.	Proizvod	
		LINEA ROUND 3600_840	
13	6	Tipska oznaka	: LINEA ROUND 3600/840
		Naziv svjetiljke	: 27W, LED interior circular, surface mounted
		Žarulje	: 1 x LEDline - 2930lm 27W 27 W / 2930 lm

Slika 3.17. *Prikaz rezultata proračuna rasvjete za sanitarni čvor*

Sve korištene svjetiljke u proračunima imaju indeks uzvrata boje veći ili jednak od 80 što je prikazano u dodatku A gdje su prikazane tehničke karakteristike svih odabranih svjetiljki. Podaci su dobiveni iz tehničkih listova svjetiljki izdanim od strane proizvođača.

4. PRORAČUN UŠTEDE ENERGIJE

Proračun energijskih zahtjeva za rasvjetu postojećeg i novog stanja napravljen je uporabom ***Algoritma za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama*** koji se temelji na normi na koje upućuje pravilnik koji se odnosi na energetsko certificiranje zgrada – norma HRN EN 15193:2008. Proračunom se dobiva potrebna godišnja (električna) energija za rasvjetu zgrade izražena kao numerički indikator energije rasvjete LENI (Lighting Energy Numerical Indicator). LENI nam pomaže kako bismo lakše kvantificirali energetske zahtjeve rasvjete za zgrade, a računa se prema izrazu:

$$LENI = \frac{W}{A} \left[\frac{kWh}{m^2,god}\right] \tag{2}$$

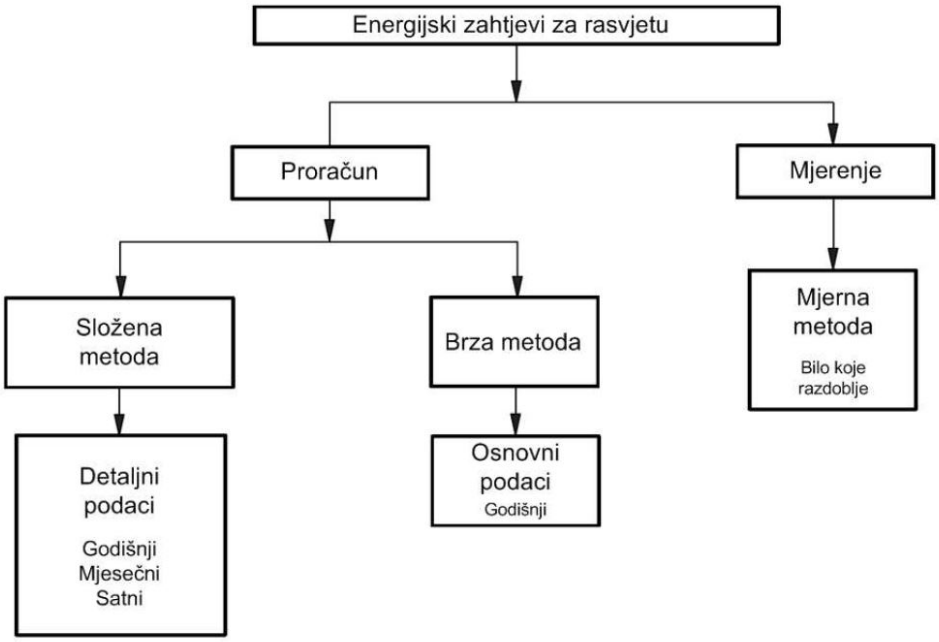
gdje su:

W – ukupna godišnja el. energija za rasvjetu zgrade (kWh/god)

A – ukupna korisna površina zgrade (m^2)

Kod ukupne godišnje električne energije se ne uzima energija potrebna za vanjsku rasvjetu zgrade već samo energija potrebna za unutrašnju rasvjetu. Prema definiciji u normi postoje dvije metode za proračun energetskih zahtijeva u zgradama, složena metoda i brza metoda. Složena metoda koristi detaljnije i preciznije (stvarne) podatke kalkulirane/definirane na mjesečnoj/dnevnoj bazi, a brza metoda temelji se na proračunu uz pomoć standardnih godišnjih podataka. S obzirom da je za određivanje godišnje potrebne energije za rasvjetu nužna i dovoljna godišnja razina podataka – obje metode zadovoljavaju potrebe izračuna [10]. Uz numeričkih metoda za izračun LENI postoji još i direktno mjerenje električne energije utrošene za rasvjetu zgrade. U našem slučaju nismo bili u mogućnosti provesti mjerenje električne energije jer nismo mogli odvojiti strujne krugove rasvjete od ostatka zgrade.

Na slici 4.1. prikazani su dijagrami toka određivanja pokazatelja LENI.



Slika 4.1. *Dijagram toka određivanja godišnje potrošnje električne energije za rasvjetu (izvor:* M. Stojkov, D. Šljivac, D. Topić, K. Trupinić, T. Alinjak, S. Arsoski, Z. Klaić, D. Kozak, "Energetski učinkovita rasvjeta", Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, 2015. godina.*)*

Potrebni izrazi za izračun su sljedeći. Ukupna energija potrebna za rasvjetu prostorije u određenom vremenskom periodu *t* :

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{3}$$

gdje su:

W_t – ukupna el. energija za rasvjetu prostorije u određenom vremenskom periodu *t* (kWh)

$W_{L,t}$ - energija za rasvjetu u određenom vremenskom periodu *t* (kWh)

$W_{P,t}$ - energija potrebna za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu *t* (kWh)

Izraz za procjenu električne energije potrebne za rasvjetu građevine:

$$W_{L,t} = \frac{\sum\{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)\}}{1000} \tag{4}$$

gdje su:

P_n – ukupna instalirana snaga za rasvjetu sobe [W]

F_C – faktor konstantne osvijetljenosti

F_D – faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju

F_O – faktor prisutnosti u prostoru

t_D – radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana [h]

t_N – radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći [h]

Izraz za energiju potrebnu za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu *t*:

$$W_{P,t} = \frac{\sum\{P_{pc}[t_y - (t_D + t_N)] + P_{em} t_e\}}{1000} \quad (5)$$

gdje su:

P_{pc} - ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja sustava upravljanja rasvjetom [W]

P_{em} - ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav sigurnosne rasvjete [W]

t_y – broj sati u godini [h]

t_e – vrijeme punjenja baterije sigurnosne rasvjete [h]

Kako bi izveli izračun potrebni su nam dodatni podaci, a prema izrazu 2, 3 i 4 iz kojih se vidi da nam je za izračun ukupne električne energije W_t potrebne za rasvjetu u nekom promatranom razdoblju *t* potrebna instalirana snaga u prostoriji P_n, te koeficijente F_D, F_O i F_C. Također su nam potrebni iznosi vrijednosti za godišnje radno vrijeme t_D, t_N koji su nam dani u tablici 4.1. kao i ukupno godišnje vrijeme t_y.

Tablica 4.1. *Godišnje radno vrijeme rasvjete*

Vrsta zgrade	Godišnji broj sati rada rasvjete		
	Dan - t_D	Noć - t_N	Ukupno - t_O
Uredi	2250	250	2500
Obrazovne ustanove	1800	200	2000
Bolnice	3000	2000	5000
Hoteli	3000	2000	5000
Restorani	1250	1250	2500
Sportski objekti	2000	2000	4000
Prodajni centri	3000	2000	5000
Tvornički pogoni	2500	1500	4000

Potrebni su nam i podaci o ukupnoj instaliranoj snazi parazitnog opterećenja sustava upravljanja rasvjetom P_{pc} kao i podaci ukupne instalirane snage parazitnog opterećenja sustava sigurnosne rasvjete P_{em} koji su dani u tablici 5.5, te ukupno vrijeme punjenja sigurnosne rasvjete $t_{em.}$ Kako u postojećem objektu nema sigurnosne rasvjete vrijednost P_{em} je nula.

Kako bi što više podigli energetsku učinkovitost rasvjete, odnosno smanjili vrijednost pokazatelja LENI potrebno je dodatno smanjiti koeficijente F_C, F_O i F_D. U sljedećim tablicama dane su vrijednosti za približno određivanje tih koeficijenata.

Tablica 4.2. *Vrijednosti energetskih pokazatelja i standarda opremljenosti za sustave rasvjete*

													Bez CTE		Sa CTE	
				PN	t_D	t_N	F_C		F_O		F_D		LENI	LENI	LENI	LENI
	Opremljenost	P_{em} (kWh/m^{2}a)	P_{pc} (kWh/m^{2}a)	(W/m^2)	(h)	(h)	Bez CTE	Sa CTE	Manual	Auto	Manual	Auto	Granične vrijednosti Manual (kWh/m^{2}a)	Granične vrijednosti Auto (kWh/m^{2}a)	Granične vrijednosti Manual (kWh/m^{2}a)	Granične vrijednosti Auto (kWh/m^{2}a)
Ured	*	1	5	15	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	42,1	35,3	38,3	32,2
	**	1	5	20	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	54,6	45,5	49,6	41,4
	***	1	5	25	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	67,1	55,8	60,8	50,6
Obrazovna ustanova	*	1	5	15	1800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	34,9	27,0	31,9	24,8
	**	1	5	20	1800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	44,9	34,4	40,9	31,4
	***	1	5	25	1800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	54,9	41,8	49,9	38,1
Bolnica	*	1	5	15	3000	2000	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	70,6	55,9	63,9	50,7
	**	1	5	25	3000	2000	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	115,6	91,1	104,4	82,3
	***	1	5	35	3000	2000	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	160,6	126,3	144,9	114
Hotel	*	1	5	10	3000	2000	1	0,9	0,7	0,7	1	1	38,1	38,1	34,6	34,6
	**	1	5	20	3000	2000	1	0,9	0,7	0,7	1	1	72,1	72,1	65,1	65,1
	***	1	5	30	3000	2000	1	0,9	0,7	0,7	1	1	108,1	108,1	97,6	97,6
Restoran	*	1	5	10	1250	1250	1	0,9	1	1	1	x	29,6	x	27,1	x
	**	1	5	25	1250	1250	x	0,9	1	1	1	x	67,1	x	60,8	x
	***	1	5	35	1250	1250	1	0,9	1	1	1	x	92,1	x	83,3	x
Sportski objekt	*	1	5	10	2000	2000	1	0,9	1	1	1	0,9	43,7	41,7	39,7	37,9
	**	1	5	20	2000	2000	1	0,9	1	1	1	0,9	83,7	79,7	75,7	72,1
	***	1	5	30	2000	2000	1	0,9	1	1	1	0,9	123,7	117,7	111,7	106,3
Prodajni centar	*	1	5	15	3000	2000	1	0,9	1	1	1	x	78,1	x	70,6	x
	**	1	5	25	3000	2000	1	0,9	1	1	1	x	128,1	x	115,6	x
	***	1	5	35	3000	2000	1	0,9	1	1	1	x	178,1	x	160,6	x
Proizvodni pogon	*	1	5	10	2500	1500	1	0,9	1	1	1	0,9	43,7	41,2	39,7	37,5
	**	1	5	20	2500	1500	1	0,9	1	1	1	0,9	83,7	78,7	75,7	71,2
	***	1	5	30	2500	1500	1	0,9	1	1	1	0,9	123,7	116,2	111,7	105

Tablica 4.3. *Koeficijent ovisnosti o dnevnom svjetlu*

Vrsta zgrade	**Vrsta upravljanja**	F_D
Uredi, sportski objekti, tvornički pogoni	Ručno	1,0
	Automatsko prigušenje rasvjete fotosenzorom s osjetnikom dnevnog svjetla	0,9
Restorani, prodajni centri	Ručno	1,0
Obrazovne ustanove, bolnice	Ručno	1,0
	Automatsko prigušenje rasvjete fotosenzorom s osjetnikom dnevnog svjetla	0,8

Kako bi se odabrao odgovarajući koeficijent F_D najmanje 60 % zgrade ili dijela zgrade mora biti izvedeno na isti način.

Tablica 4.4. *Koeficijent okupiranosti prostora*

Vrsta zgrade	Vrsta upravljanja	F_O
Uredi, obrazovne ustanove	Ručno	1,0
	Automatsko za > 60 % ukupne snage rasvjete zgrade	0,9
Prodajni centri, tvornički pogoni, sportski objekti, restorani	Ručno	1,0
Hoteli	Ručno	0,7
Bolnice	Ručno (mjestimično automatska kontrola)	0,8

U ovom radu proračuni se temelje na kombinaciji brze i složene metode. Složena metoda koristila se ukoliko je bilo moguće identificirati sve parametre potrebne za izračun, ukoliko to nije bio slučaj, izvodio se izračun temeljen na brzoj metodi.

4.1. Prikaz izračuna snage postojećeg sustava rasvjete

Kako je ranije spomenuto, podaci o postojećoj snazi sustava rasvjete dobiveni su uvidom na terenu, a prikaz rasvjetnih tijela s količinama i snagama dan je u tablici 5.1.

Tablica 5.1. *Prikaz postojeće snage sustava rasvjete*

R.br.	TIP	Oznaka	količina	jed.snaga [W]	ukupna snaga [W]
1.	FLUO SVJETILJKA sa fluo cijevi 18W		388	21,6	8381
2.	FLUO SVJETILJKA sa fluo cijevi 36W		523	43,2	22594
3.	SVJETILJKA SA ŽARNOM NITI 60W		26	60	1560
	Ukupna instalirana snaga rasvjete	P_n	**[W]**		**32534**

Izračun snage postojećih svjetiljki za izvore svjetlosti koje su spojene direktno na glavni priključak/el.mrežu (GRO, prekidač i sl.), svjetiljke s integriranim predspojnim napravama i sl. načinjen je na slijedeći način (nominalna deklarirana snaga svjetiljke/izvora svjetlosti/žarulje) × (broj svjetiljki). Izračun snage postojećih svjetiljki za izvore koji se spajaju preko zasebnih predspojnih naprava, transformatora i sl. na glavni priključak/el.mrežu (GRO, prekidač i sl.) izveden je uz koeficijent 1,2 što podrazumijeva 20 postotne gubitke u predspoju [11] na sljedeći način, 1,2 × (izvor svjetlosti) × (broj izvora svjetlosti).

Tablica 5.2.a. *Prikaz snage novog sustava rasvjete*

R.br.:	TIP	Oznaka	količina	jed.snaga [W]	ukupna snaga [W]
1.	FUTURA 2.4ft ABS Al 6400/840	A1	19	48	912,00
2.	FUTURA 2.2ft PC Al 2600/840	A2	13	21	273,00
3.	FUTURA 2.4ft PC Al 8800/840	A3	2	65	130,00
4.	BELTR LED 1.4ft 3200/840	A4	2	25	50,00
5.	CoreLine Surface-mounted SM120V LED37S/840 PSU W60L60	A5	6	37,5	225,00
6.	CoreLine Recessed RC120B LED37S/840 PSU W30L120	A6	8	37,5	300,00
7.	CoreLine Downlight DN130B LED20S/840 PSU W30L120	A7	4	22	88,00
8.	BELTR LED 1.5t 4000/840	A8	10	29	290,00
9.	CoreLine Surface-mounted SM120V LED34S/840 PSD W20L120 VAR-PC	A9	167	31	5.177,00
10.	CoreLine trunking LL120X LED90S/840 PSD A WH	A10	11	69	759,00
11.	BELTR LED 2.4t 6400/840	A11	7	48	336,00
12.	CoreLine Surface-mounted SM120V LED34S/840 PSD W60L60 VAR-PC	A12	6	31	186,00
13.	LINEA ROUND LED 3600/840	A13	8	27	216,00
14.	BELTR LED 2.3t 3900/840	A14	14	29	406,00
15.	BELTR LED 2.4t 5200/840	A15	22	39	858,00
	Ukupna instalirana snaga rasvjete	**P_n**	**[W]**		**10.206,00**

Tablica 5.2.b. *Prikaz izračuna snage parazitnog opterećenja sustava upravljanja rasvjetom*

R.br.:	TIP	Oznaka	količina	jed.snaga [W]	ukupna snaga [W]
1.	OCCUSWITCH LRM2070 Basic	S1	21	1,7	35,70
2.	OCCUSWITCH LRM8118	S2	36	1,7	61,2
3.	OCCUSWITCH LRM2080 Advanced	S3	59	1,7	100,3
4.	OCCUSWITCH LRM1070	S4	7	1,7	11,9
	Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustava upravljanja rasvjetom	**P_{pc}**	**[W]**		**209,1**

Izračun snage za novi sustav rasvjete izveden je prema tehničkim podacima proizvođača svjetiljki. Uz pomoć tih podataka i ukupne količine svjetiljki prema proračunu izračunata je snaga cjelokupnog novog sustava rasvjete. Podaci za snage svjetiljki dane su s gubicima u upravljačkom spoju.

4.2. Izračun snage, energije i CO_2 emisije

Za postojeći sustav rasvjete u tablici 5.3. dan je izračun za energiju potrebnu za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu *t* kao i pregled koeficijenata F_C, F_D, F_O. Kako u postojećem sustavu nemamo upravljanja rasvjetom tako je i ta snaga jednaka nuli. Energiju potrebnu za rasvjetu u određenom vremenskom periodu *t* izračunali smo iz izraza 3, a ukupnu energiju iz izraza 2. Kao izvor podataka služiti će nam podaci projekta, energetskog pregleda i algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama.

Tablica 5.3.a Izračun snage i energije postojećeg sustava rasvjete prema Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama

Prostorije	**Svi prostori zajedno**				
Ulazni parametri	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Izvor podatka**	**Izraz po kojemu se vrši izračun**
Ukupna instalirana snaga rasvjete	P_n	[W]	32.534,40	Energetski pregled	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav upravljanja rasvjetom	P_{pc}	[W]	0,00	Energetski pregled	
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	32,53	Energetski pregled	
Faktor konstante osvijetljenosti	Fc	broj	1,00	Algoritam	
Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju	F_D	broj	1,00	Algoritam	
Faktor okupiranosti prostora	F_0	broj	1,00	Algoritam	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana	t_D	[h]	1.800,00	Algoritam	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći	t_N	[h]	200,00	Algoritam	
Broj sati u godini	t_y	[h]	8.760,00		

Tablica 5.3.b Izračun snage i energije postojećeg sustava rasvjete prema Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama

Podaci koji se računaju					
Ulazni parametri	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Izvor podatka**	**Izraz po kojemu se vrši izračun**
Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu *t*	$W_{L,t}$	[kWh]	65.068,80	Algoritam	$W_{L,t} = \frac{\sum\{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)\}}{1000}$
Energija potrebna za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu *t*	$W_{P,t}$	[kWh]	0,00	Algoritam	$W_{P,t} = \frac{\sum\{P_{pc}[t_y - (t_D + t_N)] + P_{em} t_{em}\}}{1000}$
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu *t*	W_t	[kWh]	65.068,80	Algoritam	$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$

Tablica 5.4. Izračun snage, energije postojećeg sustava rasvjete i CO_2 emisije postojećeg sustava rasvjete

Ukupno svi prostori zajedno				
Izračunati podatci	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Napomena**
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	32,53	
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu *t*	W_t	[kWh]	65.068,80	
CO_2 emisija onečišćujućih tvari	CO_2	[t/god]	15,28	Faktor emisije CO_2 za električnu energiju 0,23481 [kgCO_2/kWh]

Za novo projektirani sustav rasvjete u tablici 5.5. dan je pregled izračunatih vrijednosti prema odabranim vrijednostima koeficijenata, iz prethodnih tablica, te prema formulama 2, 3 i 4 kao i za postojeći sustav.

Tablica 5.5.a Izračun snage i energije novog sustava rasvjete

Prostorije	**Svi prostori**				
Ulazni parametri	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Izvor podatka**	**Izraz po kojemu se vrši izračun**
Ukupna instalirana snaga rasvjete	P_n	[W]	10.206,00	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav upravljanja rasvjetom	P_{pc}	[W]	209,10	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav sigurnosne rasvjete	P_{em}	[W]	0,00	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje+sigurnosna rasvjeta	P_{uk}	[kW]	10,42	Glavni projekt	
Faktor konstante osvijetljenosti	Fc	broj	0,90	Algoritam	
Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju	F_D	broj	0,80	Algoritam	
Faktor okupiranosti prostora	F_0	broj	0,90	Algoritam	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana	t_D	[h]	1.800,00	Algoritam	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći	t_N	[h]	200,00	Algoritam	
Radno vrijeme rada sigurnosne rasvjete	t_e	[h]	8.760,00		
Broj sati u godini	t_y	[h]	8.760,00		

Tablica 5.5.b Izračun snage i energije novog sustava rasvjete

Podaci koji se računaju					
Ulazni parametri	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Izvor podatka**	**Izraz po kojemu se vrši izračun**
Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu *t*	$W_{L,t}$	[kWh]	13.557,65	Algoritam	$W_{L,t} = \frac{\sum\{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)\}}{1000}$
Energija potrebna za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu *t*	$W_{P,t}$	[kWh]	1.413,52	Algoritam	$W_{P,t} = \frac{\sum\{P_{pc}[t_y - (t_D + t_N)] + P_{em} t_{em}}{1000}$
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu *t*	W_t	[kWh]	14.971,17	Algoritam	$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$

Tablica 5.6. Izračun snage, energije novog sustava rasvjete i CO2 emisije novog sustava rasvjete

Ukupno svi prostori zajedno				
Izračunati podatci	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Napomena**
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	10,42	
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t	W_t	[kWh]	14.971,17	
CO_2 emisija onečišćujućih tvari		[t/god]	3,52	Faktor emisije CO_2 za električnu energiju 0,23481 [kgCO_2/kWh]

Brojčani pokazatelj LENI za postojeći sustav rasvjete prema formuli (2) iznosi:

$$LENI = \frac{65068{,}80}{2200} = 29{,}6\ [\frac{kWh}{m^2,god}]$$

Prema izračunatoj ukupnoj energiji potrebnoj za rasvjetu zgrade u određenom vremenskom periodu *t* i ukupnoj korisnoj površini zgrade je 2200 m^2, izračunat je brojčani pokazatelj energije rasvjete LENI prema formuli (2) što daje:

$$LENI = \frac{14971,17}{2200} = 6,8\ [\frac{kWh}{m^2,god}]$$

Tablica 5.7. Prikaz ostvarenih ušteda

Ostvarene uštede				
Izračunati podatci	**Oznaka**	**Mjerna jedinica**	**Iznos**	**Postotno**
Instalirana snaga	P_{uk}	[kW]	22,12	68%
Električna energija	W_t	[kWh]	50.097,63	77%
Ukupna investicija s PDVom	*Inv*	[kn]	709.732,50	
Odnos ukupno planiranih sredstava (vrijednost ukupne investicije s PDV-om) i očekivane godišnje uštede energije (razlika kWh)	*Inv/Wt*	[kn/kWh]	14,17	
CO_2 emisija onečišćujućih tvari	CO_2	[t/god]	11,76	77%
Odnos ukupno planiranih sredstava (vrijednost ukupne investicije s PDV-om) i očekivanog godišnjeg smanjenja emisije stakleničkih plinova (razlika t CO2)	Inv/CO_2	[kn/t CO_2]	60.333,83	
Cijena električne energije		[kn/kWh]	1,06	
Vrijeme povrata investicije		[god]	13,33	
Brojčani pokazatelj energije postojećeg sustava rasvjete	LENI	[kWh/m^2,god]	29,6	
Brojčani pokazatelj energije novog sustava rasvjete	LENI	[kWh/m^2,god]	6,8	

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu odradili smo projekt zamjene postojećeg sustava rasvjete s novim sustavom rasvjete uz regulaciju. Izračun smo radili na osnovi kombinacije brze i složene metode jer u nekim slučajevima nismo mogli identificirati sve parametre za složenu metodu. Kako se vidi iz izračuna ostvarena ušteda u energiji, te ostvarena ušteda u emisiji CO_2 u iznosu od 77 posto čini zamjenu postojećih svjetiljaka sa novim LED svjetiljkama u potpunosti opravdanom. Uz uštede ostvarene zamjenom postojeće rasvjete postići će se i dodatne uštede kroz održavanje rasvjete s obzirom na dulji životni vijek LED svjetiljki u odnosu na postojeće, što će dodatno poboljšati ekološki aspekt cijelog projekta.

S obzirom na za sad još uvijek veliku cijenu LED svjetiljki sam povrat investicije je prevelik i ne bi se isplatio samo s ekonomskog aspekta. Ali kako se projekt sufinancira uz pomoć Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost, te kako je postojeća rasvjeta dotrajala i bila bi potrebna velika ulaganja kako bi se održala njena funkcionalnost, rok povrata investicije time se smanjuje. Kako nam je cilj bio prvenstveno smanjenje potrošnje električne energije i emisije CO_2 a što smo i izračunom pokazali projekt je opravdan.

Uz proračun uštede električne energije napravljen je i izračun brojčanog pokazatelja energije rasvjete LENI. Dobiveni iznos za novu rasvjetu je 6,8 [kWh/m^2,god] što je postignuto korištenjem svjetiljki visoke učinkovitosti uz upotrebu regulacije.

U svim prostorijama obuhvaćenim energetskom obnovom rasvjete postignuti su kvantitativni i kvalitativni pokazatelji sustava rasvjete prema normi za rasvjetu unutrašnjih radnih prostora HRN EN 12464-1:2011 što je pokazano u proračunu rasvjete.

LITERATURA

[1] B. Lapillonne, K. Pollier, N. Samci "Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU"

[2] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, "Uputa za prijavitelje, Izrada projektne dokumentacije za energetsku obnovu zgrada i korištenje obnovljivih izvora energije u javnim ustanovama koje obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja"

[3] Philips Lumileds, Technology White paper, Understanding power LED lifetime analysis

[4] Frost & Sullivan, Global LED Lighting Market (2017 Update), 28.02.2017.

[5] AG DALI, Frankfurt am Main Richard Pflaum Verlag, Munich, DALI AG priručnik

[6] Philips Lighting, OccuSwitch movement detector, product guide

[7] G. Neralić, „Projekt energetski učinkovite rasvjete“, Brošura Lipapromet d.o.o., 2015. godina

[8] M. Stojkov, D. Šljivac, D. Topić, K. Trupinić, T. Alinjak, S. Arsoski, Z. Klaić, D. Kozak, "Energetski učinkovita rasvjeta", Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, 2015. godina.

[9] S.H.A.Begemann, G.J.van denBeld, A.D.Tenner, "Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses"

[10] Filip Prebeg, mag.ing.el.teh. Ivan Horvat, mag. ing. Mech, "Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama", Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, svibanj 2017. godine.

[11] Ir Martin WU Kwok-tin, "T5 Lamps and Luminaires – The 3rd Generation in Office Lighting"

SAŽETAK

U ovom radu napravljen je projekt energetski učinkovite rasvjete javne ustanove. Uvid u postojeće stanje dobiven je izvidom na terenu gdje je evidentirano postojeće stanje. Proračun nove rasvjete u objektu izveden je pomoću programskog paketa "*Relux*" te su prikazani rezultati u kvantitativnom i kvalitativnom obliku. Uz sam proračun rasvjete napravljen je i izračun energetske uštede električne energije i emisije CO_2 uz pomoć algoritma za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama. Iz rezultata proračuna rasvjete vidi se da su postignute vrijednosti zahtijevane po normi za unutarnju rasvjetu. Rezultati uštede električne energije i emisije CO_2 dani su u tablicama iz kojih se vidi da je postignuta ušteda od 77% u odnosu na postojeće stanje što čini samu zamjenu isplativom. Kako bi se dao uvid u učinkovitost ukupne instalacije rasvjete napravljen je i izračun brojanog pokazatelja energije rasvjete LENI te je dobiven iznos od 6,8 [kWh/m^2,god]. Prema procijenjenoj vrijednosti investicije i potrošnje električne energije dobiven je povrat investicije od 13,3 godine.

Ključne riječi: energetski učinkovita rasvjeta, LENI, proračun rasvjete, javna ustanova

ABSTRACT

This paper presents a project of energy efficient public institution lighting. An insight into the existing situation was obtained by field survey where the existing situation was recorded. The calculation of new lighting in the object was performed using the "Relux" program package and the results were presented in quantitative and qualitative form. Along with the calculation of lighting, a calculation of energy savings and CO_2 emissions are made with the help of the algorithm for determining the energy requirements and the efficiency of the lighting system in the buildings. From the results of the lighting calculation, it is seen that the values achieved are required by the norm for interior lighting. The results of electricity savings and CO_2 emissions are shown in tables showing that savings of 77% have been achieved in relation to the existing situation, which makes the replacement itself a viable one. In order to give an insight into the efficiency of the overall lighting installation, a calculation of the LENI lighting energy indicator has been made and the amount of 6.8 [kW /m^2, year] was obtained. According to the estimated value of investment and electricity consumption, a return on investment of 13.3 years was obtained.

Key words: energy efficient lighting, LENI, lighting calculation, public institution

ŽIVOTOPIS

Damir Hanzer rođen je 3. ožujka 1976. godine u Osijeku. Završio je osnovnu školu Borisa Kidriča u Osijeku. Nakon toga upisuje i završava Prvu tehničku školu u Osijeku, smjer automatika. Nakon toga odlazi na služenje vojnog roka te se zapošljava u poduzeću Elektroprojekt Osijek kao suradnik na projektiranju elektrotehničkih instalacija. S vremenom upisuje stručni studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku . U rujnu 2014. godine završava studij s odličnim uspjehom s temom završnog rada "Skladištenje električne energije u baterije". Iste godine upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer Elektroenergetika, modul Održiva elektroenergetika. Tijekom školovanja stekao je znanje engleskog na višoj razini znanja pisanja i govora. Stekao je znanje rada na računalu s operacijskim sustavom Windows i korištenje Microsoft Office paketa. Ima iskustva s radom u programskim paketima AutoCAD, Relux, Matlab, DIgSILENT i Easy Power.

PRILOG A (Tehnički podaci projektiranih svjetiljki)

Tablica A.1. *Svjetiljka A1 – koristiti će se u podrumu*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	49W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	5830
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	118
Pokrov svjetiljke	Akrilatni
Kućište	kemijski stabilno ABS kućište s aluminijskim hladnjakom
Stupanj IP zaštite	IP 66
Dimenzije [D x Š x V]	1172 x 145 x 111 mm

Tablica A.2. *Svjetiljka A2 – koristiti će se u podrumu*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	21W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2460
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	117
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Plastično kućište s aluminijskim hladnjakom
Stupanj IP zaštite	IP 66
Dimenzije [D x Š x V]	612 x 145 x 111 mm

Tablica A.3. *Svjetiljka A3 – koristiti će se u podrumu*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	65W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	7920
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	122
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Plastično kućište s aluminijskim hladnjakom
Stupanj IP zaštite	IP 66
Dimenzije [D x Š x V]	1172 x 145 x 111 mm

Tablica A.4. *Svjetiljka A4 – koristiti će se u hodnicima u podrumu*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	25W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2540
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	102
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Metalno kućište
Stupanj IP zaštite	IP 40
Dimenzije [D x Š x V]	1170 x 91 x 82 mm

Tablica A.5. *Svjetiljka A5 – koristiti će se u kantini*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju)[W]	37,5W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	30000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	3700
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	98
Pokrov svjetiljke	Satinirani linearni difuzor
Stupanj bliještanja svjetiljke UGR [%]	≤22
Kućište	Metalno kućište obojano u bijelu boju
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	597x 597 x 50 mm

Tablica A.6. *Svjetiljka A6 – koristiti će se u ulaznom hodniku*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju)[W]	37,5W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	30000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	3700
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	98
Pokrov svjetiljke	Satinirani linearni difuzor
Stupanj bliještanja svjetiljke UGR [%]	≤22
Kućište	Metalno kućište obojano u bijelu boju
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	1197x 297 x 32 mm

Tablica A.7. *Svjetiljka A7 – koristiti će se u ulaznom hodniku*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju)[W]	22
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	30000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2100
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	95
Pokrov svjetiljke	Satinirani pokrov
Stupanj bliještanja svjetiljke UGR [%]	≤22
Kućište	Bijelo polikarbonatno
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	Φ200 mm

Tablica A.8. *Svjetiljka A8 – koristiti će se u hodnicima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	29W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2920
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	101
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Metalno kućište
Stupanj IP zaštite	IP 40
Dimenzije [D x Š x V]	1450 x 91 x 82 mm

Tablica A.9. *Svjetiljka A9 – koristiti će se u učionicama, kabinetima i uredima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju)[W]	31W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	30000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	3400
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	109
Pokrov svjetiljke	Prizmatični difuzor
Stupanj bliještanja svjetiljke UGR [%]	≤19
Kućište	Metalno kućište obojano u bijelu boju
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	1172x 145 x 111 mm

Tablica A.10. *Svjetiljka A10 – koristiti će se za rasvjetu prezentacijskih ploča*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	69W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	9000
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	129
Pokrov svjetiljke	Sustav optičkih leća – asimetrična optika
Kućište	Metalno kućište obojano u bijelu boju
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	3620 x 97 x 52 mm

Tablica A.11. *Svjetiljka A11 – koristiti će se u hodnicima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	48W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	4670
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	97
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Metalno kućište
Stupanj IP zaštite	IP 40
Dimenzije [D x Š x V]	1170 x 146 x 58 mm

Tablica A.12. *Svjetiljka A12 – koristiti će se u kabinetima i uredima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju)[W]	31W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	30000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	3400
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	109
Pokrov svjetiljke	Prizmatični difuzor
Stupanj bliještanja svjetiljke UGR [%]	≤19
Kućište	Metalno kućište obojano u bijelu boju
Stupanj IP zaštite	IP 20
Dimenzije [D x Š x V]	597x 597 x 50 mm

Tablica A.13. *Svjetiljka A13 – koristiti će se u sanitarnom čvoru*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	27W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2930
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	109
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Plastično kućište
Stupanj IP zaštite	IP 54
Dimenzije [D x V]	300 x 85 mm

Tablica A.14. *Svjetiljka A14 – koristiti će se u hodnicima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	29W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	2860
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	99
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Metalno kućište
Stupanj IP zaštite	IP 40
Dimenzije [D x Š x V]	890 x 146 x 58 mm

Tablica A.15. *Svjetiljka A15 – koristiti će se u hodnicima*

Vrsta izvora svijetlosti	LED modul
Vršna snaga (s gubicima u predspoju) [W]	39W
Dodatna opcija	DALI regulacija
Životni vijek svjetiljke [h]	50 000 (za 80% svj. toka početne vrijednosti)
Temperatura boje svjetlosti CCT [K]	4000
Uzvrat boje svjetlosti	80
Efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu [lm]	3750
Ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke [lm/W]	96
Pokrov svjetiljke	Difuzor od polikarbonata
Kućište	Metalno kućište
Stupanj IP zaštite	IP 40
Dimenzije [D x Š x V]	1170 x 146 x 58 mm