

Ekonomski isplativa i energetska učinkovita pametna rasvjeta

Čabraja, Ivica

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:863475>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-14**

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

**EKONOMSKI ISPLATIVA I ENERGETSKI
UČINKOVITA PAMETNA RASVJETA**

Diplomski rad

Ivica Čabraja

Osijek, 2017.

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	PAMETNA RASVJETA	2
2.1.	Elementi sustava pametne rasvjete	4
2.2.	LENI – brojčani pokazatelj energije rasvjete	8
3.	ZATEČENO STANJE RASVJETE	10
3.1.	Opis zatečenog stanja rasvjete	10
3.2.	Prikaz izračuna snage postojeće rasvjete	14
4.	PRORAČUN RASVIJETLJENOSTI	16
4.1.	Proračun rasvijetljenosti prema normi 12464-1:2011	16
4.2.	Projektiranje u Relux-u	18
4.3.	Projektirana energetski prihvatljiva rasvjeta	24
5.	PRIKAZ ENERGETSKE UČINKOVITOSTI I OSTVARENE UŠTEDE	25
5.1.	Izračun snage, energije i CO ₂ emisije postojećeg stanja	25
6.	EKONOMSKA ISPLATIVOST INVESTICIJE	37
7.	MODELI FINANCIRANJA	39
8.	ZAKLJUČAK	41
9.	LITERATURA	42
10.	SAŽETAK	43
11.	ŽIVOTOPIS	44
12.	PRILOG	45

1. UVOD

Prirodno ili dnevno svjetlo daje rasvijetljenost koja je ugodna za ljudsko oko i raspoloženje u svakodnevnom obavljanju radnih zadataka. Dnevno svjetlo omogućuje nam Sunce. Međutim, intenzitet prirodnog osvijetljenja se mijenja sa dobom dana, vremenskim promjenama (vedro-oblačno) i orijentaciji prozorskih otvora. Radni prostori ne smiju biti ni premalo ni previše osvijetljeni tako da treba napraviti kompromis između dnevne i umjetne svjetlosti. Umjetna svjetlost ostvaruje se rasvjetnim tijelima sa različitim izvorima svjetlosti kao npr. žarulje sa žarnom niti (sve manje), halogene, fluorescentne i fluokompaktne žarulje pa do sve popularnijih LED izvora svjetlosti. Svi navedeni izvori su energetske i ekonomski nepovoljni, redom od višeg prema manjem u odnosu na dnevno svjetlo. Uštede energije na rasvjeti u radnim prostorima postižu se zamjenom rasvjetnih tijela energetske prihvatljivijima uz ispunjavanje uvjeta iz norme HRN EN 12464-1:2011 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih prostora, 1. dio: Unutrašnji radni prostori). U slučaju starijih zgrada koje nisu duže vremena rekonstruirane, radni prostori ne udovoljavaju navedenoj normi ili čak ni jednoj normi i pravilniku, tu se kod zamjene rasvjete i usklađivanja sa normom ne postižu rezultati energetske učinkovitosti. Još k tome kad se pridodaju radni sati rasvjete kada je uključena bez potrebe, energetska učinkovitost se još pogoršava. Da bi se nekontrolirana potrošnja smanjila i svela na minimum najčešće se uvode rješenja sustavima pametne rasvjete kojima se upravlja i regulira rasvjetom. Instalacija za sustave pametne rasvjete sastoji se od tipkala za regulaciju, senzora rasvijetljenosti, senzora prisutnosti, kontrolera upravljanja i rasvjetnih tijela s time da se i kabelska instalacija nadograđuje signalnim kabelima koji povezuju senzore i rasvjetna tijela. Investicija u pametnu rasvjetu u odnosu na klasičnu instalaciju se povećava u startu za cca 30%. Prvim dijelom rada dan je opis sustava pametne rasvjete, moguće izvedbe i dijelovi sustava koji su potrebni za normalan rad sustava pametne rasvjete. Drugi dio rada prikazuje zatečeno stanje rasvjete i što točnije prikazati potrošnju električne energije i rasvijetljenost na radnoj površini te usklađenost ili neusklađenost s važećom normom, zatim simulaciju sa energetske najučinkovitijom rasvjetom koja ispunjava uvjete usklađenosti s normom. Nakon ispunjavanja zahtijevanih uvjeta prikazati opravdanost instalacije sustava pametne rasvjete i njenu svrhu u smislu financijske isplativosti, tj. omjeru uloženog i dobivenog te vremenskog perioda povrata investicije. U financijsku konstrukciju treba uključiti i načine financiranja investicije koji su dostupni u periodu izrade ovog rada ili su planirani u bliskoj budućnosti. Ovaj diplomski rad temelji se na projektu obrazovne srednjoškolske ustanove koji je u tijeku,

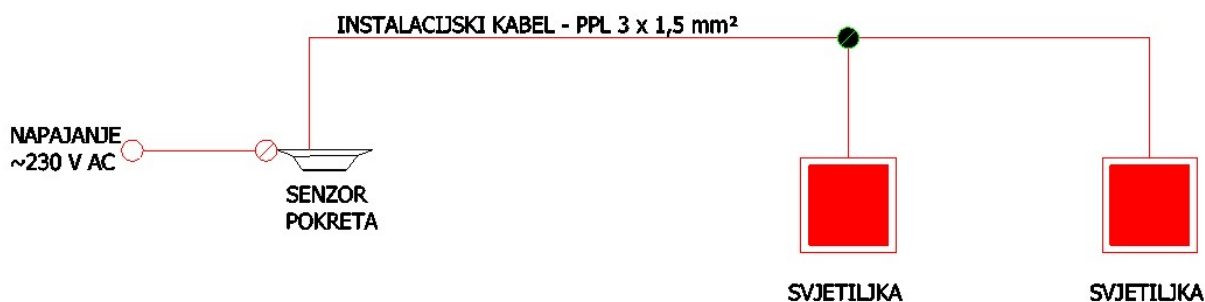
Poljoprivredno-prehrambene škole u Požegi koja je pod povijesnom zaštitom konzervatorskog odjela.

2. PAMETNA RASVJETA

Sustavi upravljanja koji su u načelu jednaki kod raznih proizvođača imaju istu svrhu kod rasvjete. Cilj sustava je regulirati i optimizirati potrošnju energije i produljiti vijek trajanja rasvjetnih tijela. Jedan od načina upravljanja rasvjetom je sustav DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) koji upravlja rasvjetom putem senzora povezanih sa rasvjetnim tijelima direktno ili preko kontrolera. To je međunarodni standard koji omogućuje zamjenjivost klasičnih predspojnih naprava (prigušnica) sa regulacijskim [2, str.10].

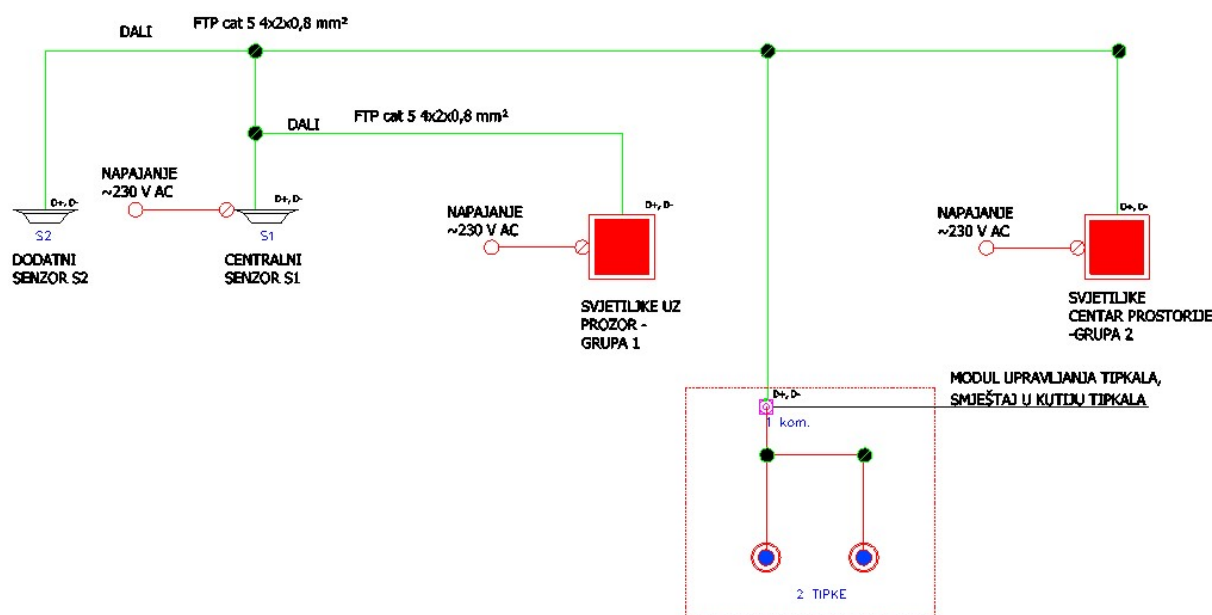
Prednosti sustava kod instalacije regulacijskih prigušnica je u jednostavnom kabliranju, mogućnost kontrole pojedinačnih i grupnih jedinica, istovremena kontrola svih jedinica u bilo koje vrijeme, obavijest porukom o stanju upravljačkog uređaja, automatsko traženje upravljačkog uređaja, jednostavno stvaranje grupa, automatsko i simultano osvjetljavanje svih jedinica kod odabira scene, logaritamsko ponašanje *dimminga* [2, str.11].

Senzori pokreta ili prisutnosti detektiraju situaciju u prostoru i na osnovu pokreta uključuju rasvjetu. To je jedan od jednostavnijih oblika upravljanja rasvjetom koje se u većini slučajeva instalira u prostore u kojima se ljudi ne zadržavaju duže vremena, kao npr. sanitarni čvorovi, manja spremišta, stubišta, komunikacijski prostori i sl. Senzori pokreta ujedno i detektiraju osvjetljenost prostora preko fotoreleja tako da ne uključuju rasvjetu za vrijeme dnevnog svjetla. KABELSKA instalacija je klasične izvedbe trožilnim kabelima za energetska napajanje (sl. 2.1.). Kod izvedbe ove vrste upravljanja svjetiljke ne trebaju nužno imati predspojne naprave sa driverima za DALI upravljanje jer senzor pokreta odrađuje klasično prekidanje napajanja prema rasvjeti.



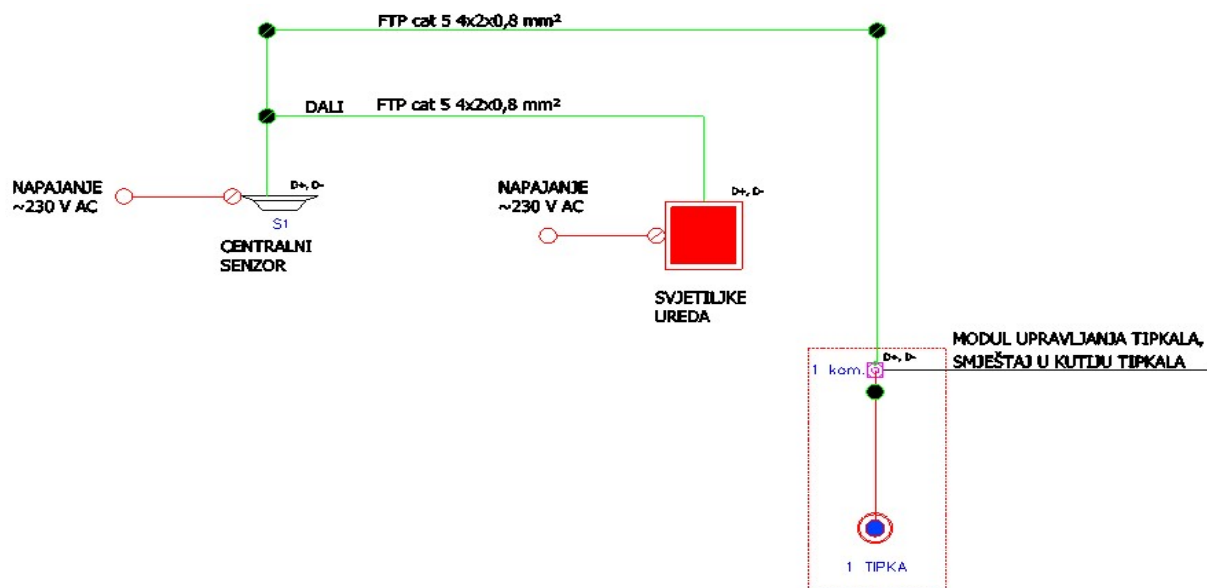
Sl. 2.1.: Blok shema upravljanja rasvjetom preko senzora pokreta.

U prostorima gdje se osobe zadržavaju neko određeno vrijeme za obavljanje raznih poslova ili skupova u dnevnim i noćnim terminima instalacija sustava pametne rasvjete za takve prostore planira se kao kombinirana izvedba senzora i tipkala za podešavanje intenziteta rasvijetljenosti. U takvim prostorima gdje postoji određena količina prirodnog svjetla planiraju se senzori koji prate prisutnost osoba i detekciju rasvijetljenosti pri čemu reguliraju intenzitet svjetla na osnovu upada dnevne svjetlosti kroz prozorske otvore. Senzori imaju mogućnost detekcije razine svjetla u prostoriji te na taj način prilagođavaju snagu svjetiljke ili je kompletno isključuju štedeći na taj način i do 70% električne energije (za svjetiljke koje su bliže prozorima). Također senzori prate prisutnost osoba u prostoru, te ukoliko je određeni dio vremena prostor nije okupiran ljudima rasvjeta se isključuje. U većim prostorima rasvjeta se raspoređuje u više grupa gdje svakom grupom se upravlja posebnim senzorom. Jedna grupa svjetiljki bliže otvorima sa upadom dnevnog svjetla dok su ostale raspoređene prema rasporedu prostora ili nekim posebnim zahtjevima (sl. 2.2.).



Sl. 2.2.: Blok shema upravljanja rasvjetom u većim prostorima sa dvije grupe svjetiljki.

U manjim prostorima gdje dnevna svjetlost dopire do većeg dijela površine prostora dovoljna je jedna grupa svjetiljki (sl. 2.3.).



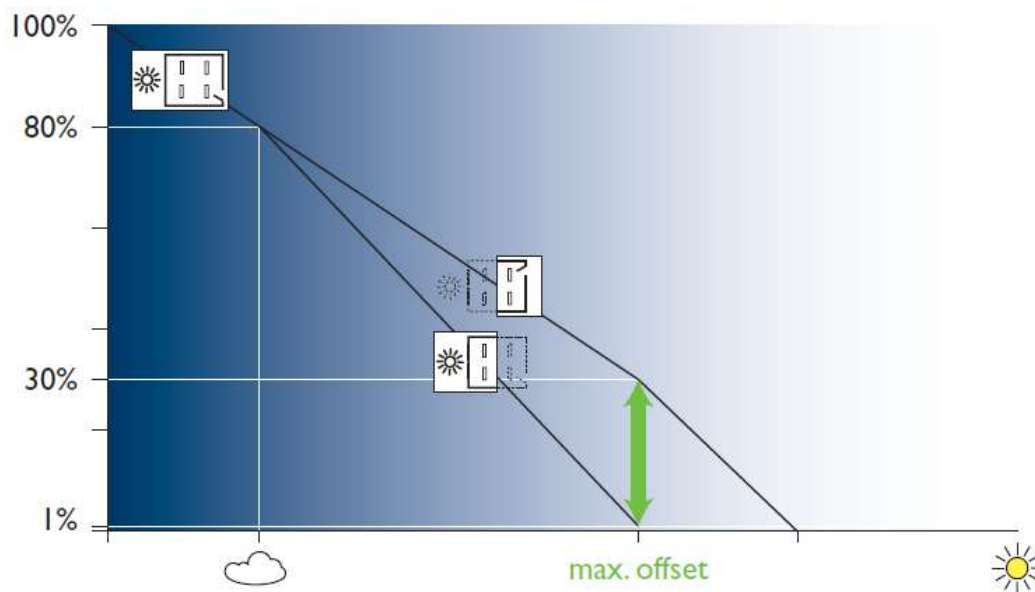
Sl. 2.3.: Blok shema upravljanja rasvjetom u manjim prostorima sa jednom grupom svjetiljaka.

2.1. Elementi sustava pametne rasvjete

Senzor (sl. 2.4.) – koriste se kao prekidači za uključivanje rasvjete u području koje obuhvaća. Moguće su izvedbe sa senzorom pokreta i senzorom rasvijetljenosti. Senzor pokreta uključuje rasvjetu na detekciju pokreta i u vremenskom intervalu ju isključuje. Senzor rasvijetljenosti modeliran je kao kombinirani senzor i regulator. Podešava intenzitet rasvjete u odnosu na dnevno svjetlo (sl. 2.5.). Dimenzionirani su za određene površine prostora prema namjeni, tako npr. za uredske prostore nadziru površinu 20-25 m² dok za učionice nadziru površinu do 40 m². Područje se može povećavati dodavanjem senzora za proširenje. U uredskim prostorima i učionicama predviđeni su za montažu na visine 2,5-4 m.



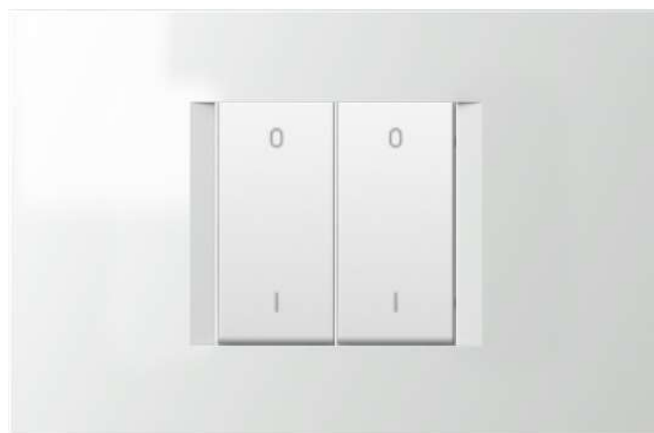
Sl. 2.4.: Senzor rasvijetljenosti za stropnu ugradnu montažu. Izvor: [4, str. 1]



Sl. 2.5.: Dijagram intenziteta rasvjete u odnosu na dnevno svjetlo. Izvor: [4, str. 2].

Tipkalo i regulacijski modul

Tipkalo za uključivanje i regulaciju (sl. 2.6.) pozicionira se u prostoru na najpovoljnijem mjestu za ulazak u osvijetljen prostor, dakle pored ulaznih vrata prostorije. Ovisno o veličini prostorije i modelu rasvjete moguće je izvesti tipkala sa jednim ili više modula. Tipkalo služi za uključivanje rasvjete na način da kratkim pritiskom u potpunosti uključimo ili isključimo rasvjetu i da dužim zadržavanjem tipke podešavamo intenzitet svjetla.



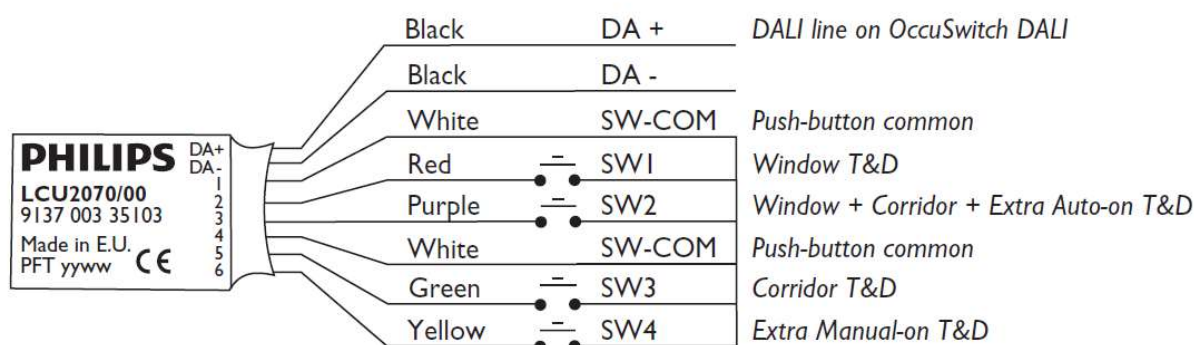
Sl. 2.6.: Tipkalo za uključivanje i regulaciju rasvjete, dva modula za dva područja regulacije.

U kutiji sa tipkalom montira se i regulacijski modul za povezivanje tipkala sa senzorima (sl. 2.7.). Zadatak modula je da regulira intenzitet svjetla i upravlja DALI jedinicama u svjetiljkama.



Sl.: 2.7. Regulacijski modul DALI sustava. Izvor: [4, str.4].

Regulacijski modul povezuje senzore i tipkala prema shemi spajanja (sl. 2.8.). Njegova uloga je da upravlja rasvjetom dobivajući naredbe od tipkala. Kod brzog pritiska tipke uključuje rasvjetu na 100% intenziteta isto tako ju i isključuje kod ponovnog brzog pritiska. Dužim zadržavanjem tipke regulacijski modul postepeno povećava intenzitet rasvjete dok tipkalo ne zaustavi. Isto tako dobiva naredbe od senzora pokreta i rasvijetljenosti i regulira rasvjetu.



Sl. 2.8.: Shema spajanja regulacijskog modula DALI sustava. Izvor: [4, str.4].

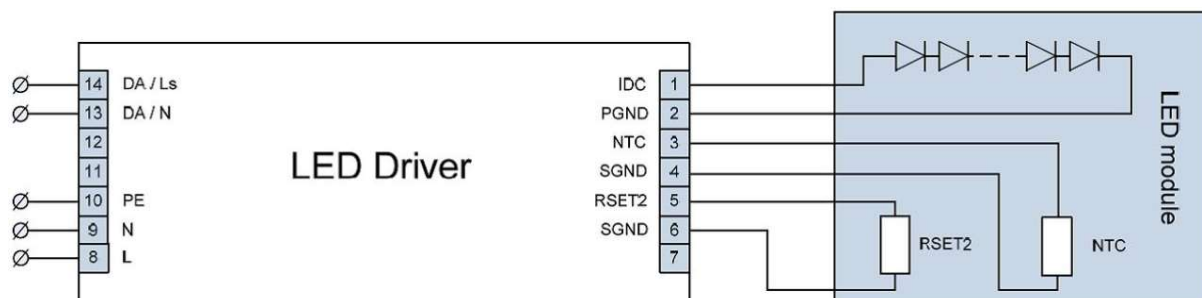
DALI predspojna naprava (LED driver)

Predspojna naprava je upravljačka jedinica rasvjete koja se instalira u rasvjetne armature. Predspojne naprave imaju ulogu regulacije intenziteta svjetlosti kao poveznica upravljačkih jedinica i izvora svjetlosti. Mogućnosti upravljanja predspojnom napravom su u izvedbi povezivanjem signalnim kabelima i bežičnom komunikacijom. DALI definira standardizirano sučelje za predspojne naprave i neovisno je o proizvođaču. Proizvođači rasvjete za dizajniranje rasvjete prema DALI sustavu moraju se pridržavati standarda prema normi IEC 60929 koji omogućuje zamjenjivost predspojnih naprava od bilo kojeg proizvođača.



Sl. 2.9.: DALI LED *driver*- predspojna naprava. Izvor: [3, str. 1].

Sheme spajanja prikazuju na koji način se predspojne naprave spajaju u svjetiljkama jer je moguće u rasvjetnu armaturu naknadno ugraditi predspojnu napravu i nadograditi sustav upravljanja. Vidljivo je gdje se spaja napajanje na stezaljke L, N i PE, a upravljanje sa regulacijskog modula na stezaljke DA/Ls i DA/N.



Slika 2.10.: Shema spajanja predspojne naprave,. Izvor: [3, str. 3].

2.2. LENI – brojčani pokazatelj energije rasvjete

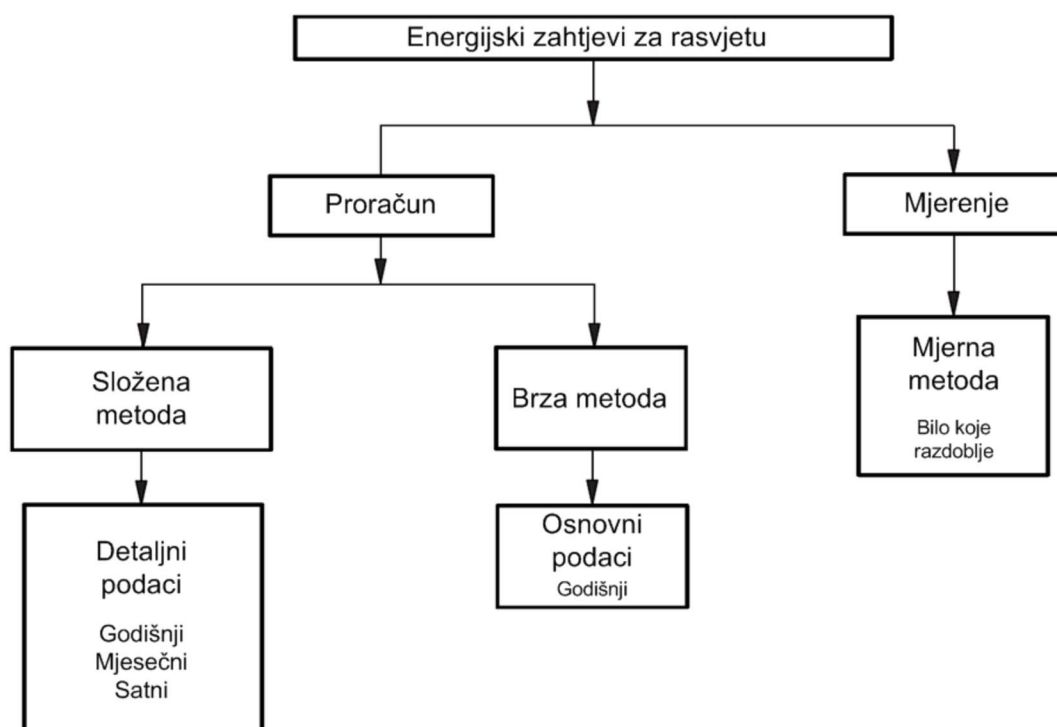
Prema [5] pri svakom razmatranju vezanom za energetska učinkovitost rasvjete unutarnjih prostora početna smjernica je pokazatelj LENI, kratica od engleskog naziva *Lighting Energy Numeric Indicator* (u prijevodu: brojčani pokazatelj energije rasvjete). Iznos pokazatelja dobijemo omjerom godišnje potrošnje energije za rasvjetu i ukupne rasvijetljene površine prema jednadžbi (2-1).

$$\text{LENI} = \frac{W}{A} \quad \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2, \text{god}} \right) \quad (2-1)$$

gdje je:

- W – ukupna godišnja električna energija potrebna za rasvjetu zgrade (kWh/god)
- A – ukupna korisna površina zgrade (m²)

Ukupna površina zgrade može se izračunati i za postojeće i projektirane zgrade, ali je važno moći odrediti godišnji iznos električne energije potrebne za rasvjetu zgrade. Tako bi se mogao izraditi što točniji proračun pokazatelja LENI. U proračunima se uzima isključivo unutarnja rasvjeta bez vanjske, koja služi korisnicima zgrade. Mogući načini određivanja pokazatelja LENI prikazani su dijagramom toka određivanja godišnje potrošnje električne energije za rasvjetu sukladno normi EN 15193, (sl. 2.11.).



Sl. 2.11.: Dijagram toka određivanja godišnje potrošnje električne energije za rasvjetu sukladno normi EN 15193. Prema [5, str.110]

Vidljivo iz dijagrama, mjerenje električne energije za rasvjetu zgrade je najtočniji način koji je primjenjiv samo za postojeće zgrade. U slučaju postojećih zgrada gdje mjerenje nije u potpunosti moguće zbog nepoznate instalacije, može se provesti brza metoda proračuna koja bitne koeficijente procjenjuje na razini cijele zgrade, što znači da ne uzima u obzir specifične prostore ili područja. Kod složene metode proračuna proračunava se svaki od utjecajnih koeficijenata i to za svaki prostor. Ova metoda daje realne pokazatelje potrošnje električne energije za rasvjetu zgrade, a s time i kvalitetne pokazatelje energetske učinkovitosti rasvjete koje mogu biti smjernice za daljnje povećanje iste. Mjerenje električne energije može se mjeriti na više načina. Pomoću električnih brojala ugrađenih u pojedinačna strujne krugove rasvjete ili sustave za upravljanje rasvjetom koji mogu računati potrošnju energije po dijelu zgrade, etažama ili različitim korisnicima ili vlasnicima dijela zgrade. Mjerenja omogućuju dostupnost informacija u zadanom formatu ili sustavom koji registrira vrijeme rada i intenzitet rasvjete te iste podatke povezuje sa unutarnjom bazom podataka. U modernijim sustavima upravljanje se postiže daljinskim mjerenjem u zgradama i preporuča se za objekte koji imaju potpuno odvojenu električnu instalaciju rasvjete. Za proračune energetske učinkovitosti rasvjete potrebno je znati nazivne snage rasvjetnih tijela kao i nazivnu snagu parazitnih potrošača. Parazitnim potrošačima smatraju se oni potrošači koji koriste električnu energiju za svoj rad, ali ne doprinose namjenskim potrebama prostora, kao npr. sigurnosna rasvjeta, tinjalice, senzori, displeji i sl. Parazitna snaga pri isključenoj rasvjeti (P_{pi}) definira se kao snaga rasvjetnog sustava za vrijeme dok je rasvjeta isključena, odnosno u stanju pripravnosti. Snaga kod rasvjete sa upravljanjem (P_{ci}) podrazumijeva snagu u stanju mirovanja, dok za sigurnosnu rasvjetu parazitna snaga (P_{ei}) se angažira tijekom punjenja baterijskog sustava. Brza metoda proračuna koristi se za procjenu godišnje potrošnje električne energije rasvjete u tipskim zgradama. S obzirom da su vrijednosti procijenjene ova metoda uglavnom daje veće LENI vrijednosti u odnosu na točniju složenu metodu.

3. ZATEČENO STANJE RASVJETE

3.1. Opis zatečenog stanja rasvjete

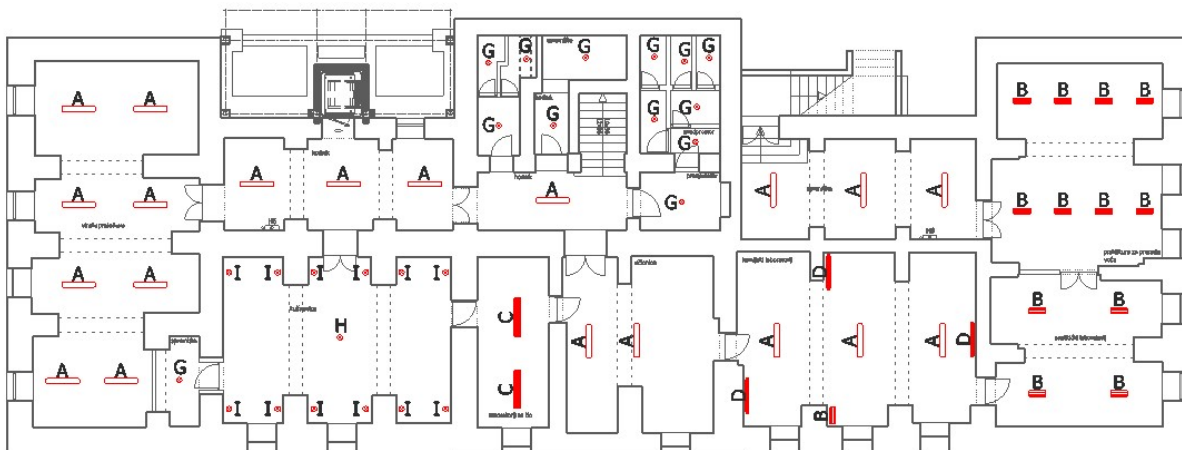
Rasvjeta u predmetnoj zgradi škole je izvedena fluo cijevima snage 18W, 36W i 58W te stropnim svjetiljkama i lusterima sa klasičnim žaruljama sa žarnom niti 40W i 75W. Sanitarne prostorije i dio školskih hodnika su osvijetljeni običnim žaruljama sa žarnim nitima. Prema izmjerenim vrijednostima (tab. 3.1., 3.2. i 3.3.) rasvijetljenost na radnoj plohi je daleko ispod zahtijevane vrijednosti određene normom HRN EN 12464-1:2011 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih prostora, 1. dio: Unutrašnji radni prostori). U navedenoj normi tablice 5.35 i 5.36 propisuju rasvijetljenost za određene prostorije od 300-500 lx u uredima, učionicama i prostorijama za radnu nastavu dok za opće i komunikacijske prostore od 100-200 lx. Mjerenja su izvršena mjernim instrumentom tipa TENMARS Lux/Fc Light Meter TM-201 (sl. 3.1.).



Sl. 3.1.: Mjerni instrument tip TENMARS Lux/Fc Light Meter TM-201

Tlocrt izvedenog stanja podruma (sl. 3.2.) prikazuje raspored zatečenog stanja rasvjete. Svjetiljke su označene slovnim oznakama kako bi se mogle kontrolirati (tab. 3.4.).

Tlocrt podruma:



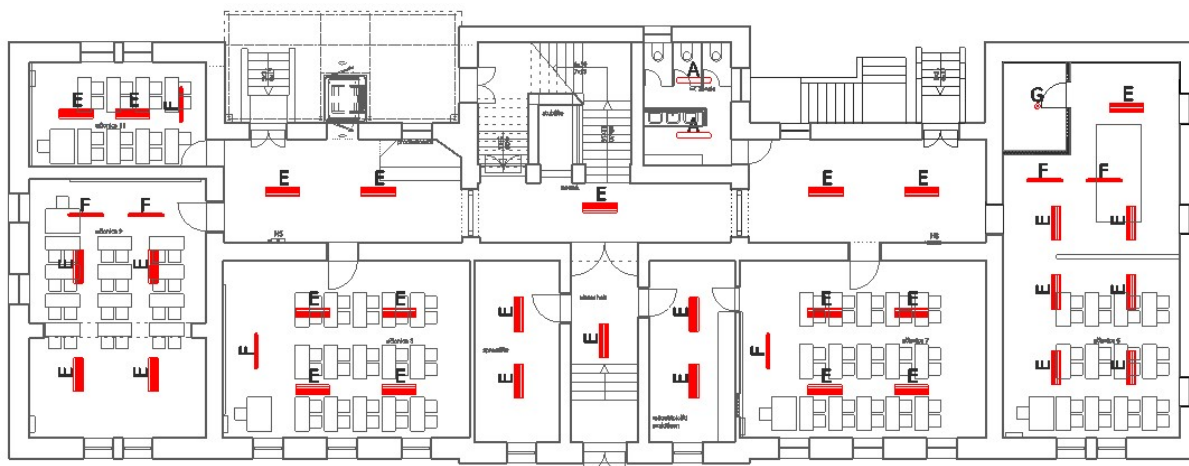
Sl. 3.2.: Skica podruma – postojeće stanje rasvjete

U podrumskim prostorijama (sl. 3.1.) izvedena je rasvjeta razine zaštite IP55, tj. vlagootporne rasvjetne armature u vlažnim prostorima i dekorativne zidne i stropne svjetiljke u prostorima za nastavu, prezentacijske skupove i sastanke. Rezultati mjerenja su pokazali malu razliku rasvijetljenosti, ali su rezultati daleko ispod zahtijevanih normom.

Tab. 3.1.: Rezultati mjerenja rasvijetljenosti na radnoj površini u prostorijama podruma.

R.br.:	Prostorija	Maksimalna izmjerena rasvijetljenost [lux]	Minimalna izmjerena rasvijetljenost [lux]
1.	Praktikum za preradu voća	35	25
2.	Analitički laboratorij	75	63
3.	Kemijski laboratorij	76	55
4.	Učionica	85	20
5.	Laboratorij za tlo	115	76
6.	Kušaonica	63	47
7.	Vinski praktikum	86	66
8.	Hodnik	78	34
9.	Spremište	46	28

Tlocrt prizemlja:



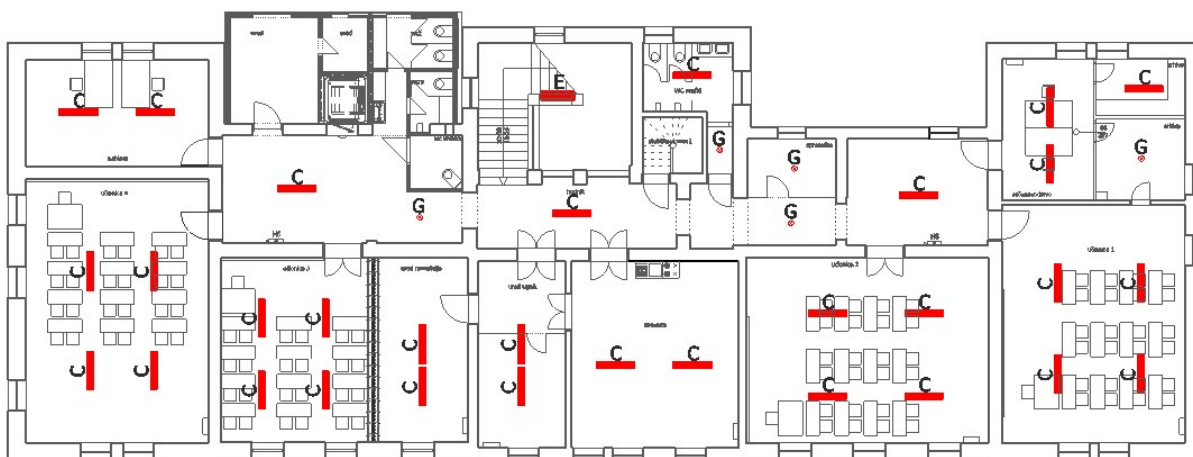
Sl. 3.3.: Tlocrt prizemlja – postojeće stanje rasvjete

Etaža prizemlja je namijenjena za učionice i laboratorije i rasvjeta je izvedena stropnim i ovjesnim rasvjetnim armaturama sa sjajnim rasterom i fluorescentnim izvorima svjetlosti. Predspojne naprave su EVG i izvori induktivne jalove snage što je dodatak energetske neefikasnosti. Kod većih prostorija razlika između minimalne i maksimalne rasvjetljenosti je velika uz to da su i rasvjetne armature i rasteri u jako lošem stanju (svjetiljke 4 x 36W sa sjajnim rasterom prikazane na slici 3.8.)

Tab. 3.2.: Rezultati mjerenja rasvjetljenosti na radnoj površini u prostorijama prizemlja

R.br.:	Prostorija	Maksimalna izmjerena rasvjetljenost [lux]	Minimalna izmjerena rasvjetljenost [lux]
1.	Učionica 6	150	47
2.	Učionica 7	123	32
3.	Spremište	62	60
4.	Mikrobiološki praktikum	180	120
5.	Učionica 8	190	20
6.	Učionica 9	322	39
7.	Učionica 11	266	70

Tlocrt prvog kata:



Sl. 3.4: Tlocrt prvog kata – postojeće stanje rasvjete

Najlošije stanje rasvjete je na katu gdje su dijelom učionice i uredi. Rasvjetne armature su stropne ovjesne na visinu +3,0m od kote gotovog poda s opalnim pleksiglasom i fluorescentnim izvorima svjetlosti i EVG predspojnim napravama. Rasvjeta na katu je u najlošijem stanju što je i vidljivo u rezultatima mjerenja (tab. 3.3.).

Tab. 3.3.: Rezultati mjerenja rasvjetljenosti na radnoj površini u prostorijama 1. kata

R.br.:	Prostorija	Maksimalna izmjerena rasvjetljenost [lux]	Minimalna izmjerena rasvjetljenost [lux]
1.	Učionica 1	70	41
2.	Učionica 2	60	18
3.	Učionica 3	113	41
4.	Učionica 4	80	50
5.	Ured pedagoga	63	60
6.	Ured računovodstva	75	68
7.	Zbornica	55	11
8.	Hodnik	175	5

3.2. Prikaz izračuna snage postojeće rasvjete

Vršna snaga instalirane rasvjete izračunata je prema broju svjetiljki i izvora u svjetiljki umnoženo sa izmjerenom izlaznom snagom svake pojedine vrste svjetiljke. Izlazna snaga mjerena je na svakoj vrsti svjetiljke kako bi se dobio točan rezultat sa svim gubicima i dodanim vrijednostima s obzirom da su svjetiljke sa induktivnim predspojnim napravama u kojima nema kapacitivnih elemenata koji bi kompenzirali jalovu snagu. Mjerenja su napravljena mjernim instrumentom METREL Eurotest 61557 (sl.3.9.) na jednoj izabranoj svjetiljci od svakog tipa (sl. 3.5.).

Tab. 3.4: Popis tipova postojećih svjetiljka i izračun instalirane snage

R.br.:	TIP	Oznaka	cos φ	i_s (kom)	P_s [W]	P_{uk} [W]
1.	Vlagootporna 2x36W IP65	A	0,95	22	99	2268
2.	Vlagootporna 2x18W IP65	B	0,95	13	54	731
3.	Svjetiljka 2x36W opal	C	0,95	33	108	3712
4.	Svjetiljka 1x36W FC	D	0,95	3	54	168
5.	Svjetiljka 4x36W sjajni raster	E	0,95	32	216	7200
6.	Svjetiljka 1x58W	F	0,95	7	87	634
7.	Stropna svjetiljka, žarna nit, E27 75W	G	1	19	75	1425
8.	Luster, žarna nit, E27 4x40W	H	1	1	160	160
9.	Zidna svjetiljka, žarna nit, E14 1x40W	I	1	12	40	480
Ukupna instalirana snaga zatečenog stanja				$\sum_1^9 P_{uk} = 16778$		

Izvor: izradio autor

Instalirana snaga rasvjete za pojedinu vrstu svjetiljke može se izračunati preko izraza (3-1):

$$P_i = \frac{i_s \cdot P_s}{\cos \varphi} \quad (3-1)$$

gdje je:

P_s – instalirana snaga svjetiljke

i_s – broj instaliranih svjetiljki

P_{uk} – ukupna instalirana snaga svjetiljke

$\cos\phi$ – faktor snage predspojne naprave

Prikaz svjetiljki zatečenog stanja predmetne zgrade dan je slikama 3.5., 3.6., 3.7., 3.8. Karakteristike navedenih svjetiljaka opisane su u tab. 3.4. Vlagootporna svjetiljka 2 x 36W IP65 (sl.3.5., r.br.1), stropna svjetiljka s opalnim staklom (sl.3.6., r.br.3), stropna svjetiljka E27 75W (sl.3.7., r.br.7), stropna ovjesna svjetiljka 4 x 36W sa sjajnim rasterom (sl.3.8., r.br.5). Svjetiljke su zbog dotrajalosti prljave i izvori svjetlosti su odradili veći dio vijeka trajanja tako da je i to jedan od lošijih karakteristika za rasvjetljenost što bi se u proračunima uzimalo kao faktor održavanja 0,5.



Sl. 3.5.: Stropna vlagootporna svjetiljka



Sl. 3.7.: Stropna svjetiljka



Sl. 3.6.: Stropna svjetiljka sa opalnim staklom



Sl. 3.8.: Stropna ovjesna svjetiljka



Sl. 3.9.: Mjerenje izlazne snage svjetiljke 2 x 36 W IP65

4. PRORAČUN RASVIJETLJENOSTI

4.1. Proračun rasvjetljenosti prema normi 12464-1:2011

Prema [6] sukladno normi HRN EN 12464-1:2011 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih prostora, 1. dio: Unutrašnji radni prostori) definirani su zahtjevi za projektiranje unutrašnjeg radnog prostora koji su bitni za obavljanje poslova predviđenih za odabrani prostor. Uz srednju rasvjetljenost E_m određenu u luksima[lx] potrebno je izračunom dobiti i jednoliku rasvjetljenost U_0 koja se određuje omjerom minimalne i prosječne vrijednosti rasvjetljenosti (E_{min}/E_m) i mora biti veća ili jednaka određenoj u normi. Proračunom je potrebno odrediti i kontrolu blještanja, bitan izračun za osobe koje će koristiti predmetni prostor, pri čemu razlikujemo psihološko blještanje (utječe na vizualne performanse) i neugodno blještanje (uzrokuje umor korisnika prostora). Proračun nivoa rasvjetljenosti matematičkim načinom dobivamo svjetlotehničkim proračunom, uzevši u obzir dizajn rasvjetnog sustava. Projektant je obavezan proračunom odrediti koliko svjetiljaka je potrebno u predmetnom prostoru i s kojim izvorima svjetlosti da se odredio nivo rasvjetljenosti.

Nivo srednje rasvjetljenosti na radnoj plohi dobijemo iz relacije (4-1),

$$E_m = \frac{n_s \cdot n_i \cdot \Phi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot f}{a \cdot b} \quad (4-1)$$

gdje je:

n_s – broj svjetiljki

n_i – broj izvora svjetlosti u svjetiljci

Φ – svjetlosni tok izvora svjetlosti

η_L – pogonska iskoristivost svjetiljke

η_R – faktor iskoristivosti prostora (pokazuje nam odnos između svjetlosnog toka svjetiljke i svjetlosnog toka koji pada na radnu plohu.

f – faktor održavanja prostora

a, b – dimenzije prostorije

Za određivanje potrebnog broja svjetiljki dovoljnog za nazivnu rasvjetljenost, koristimo jednadžbu (4-2);

$$n_s = \frac{a \cdot b \cdot E_m}{n_i \cdot \Phi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot f} \quad (4-2)$$

Uz srednju rasvjetljenost, standardi iz norme EN 12464-1 propisuju i određene klase kontrole blještanja. Krivulje blještanja (tzv. Söller krivulje) dostupne su kod proizvođača svjetiljaka i različite su za pojedine svjetiljke. Ograničenje blještanja ovisi o nivou rasvjetljenosti i položaju svjetiljke u odnosu na promatrača. Krivulja blještanja određuje nam rezultat u samo jednoj svjetiljki, a ne cijelog sustava, tako da je razvijena metoda UGR (Unified Glare Rating) koja uzima u obzir utjecaj svih svjetiljaka i sjajnost pozadine, jednadžba (4-3).

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (4-3)$$

gdje je:

L_b – sjajnost pozadine;

L - sjajnost svjetiljke u smjeru promatrača;

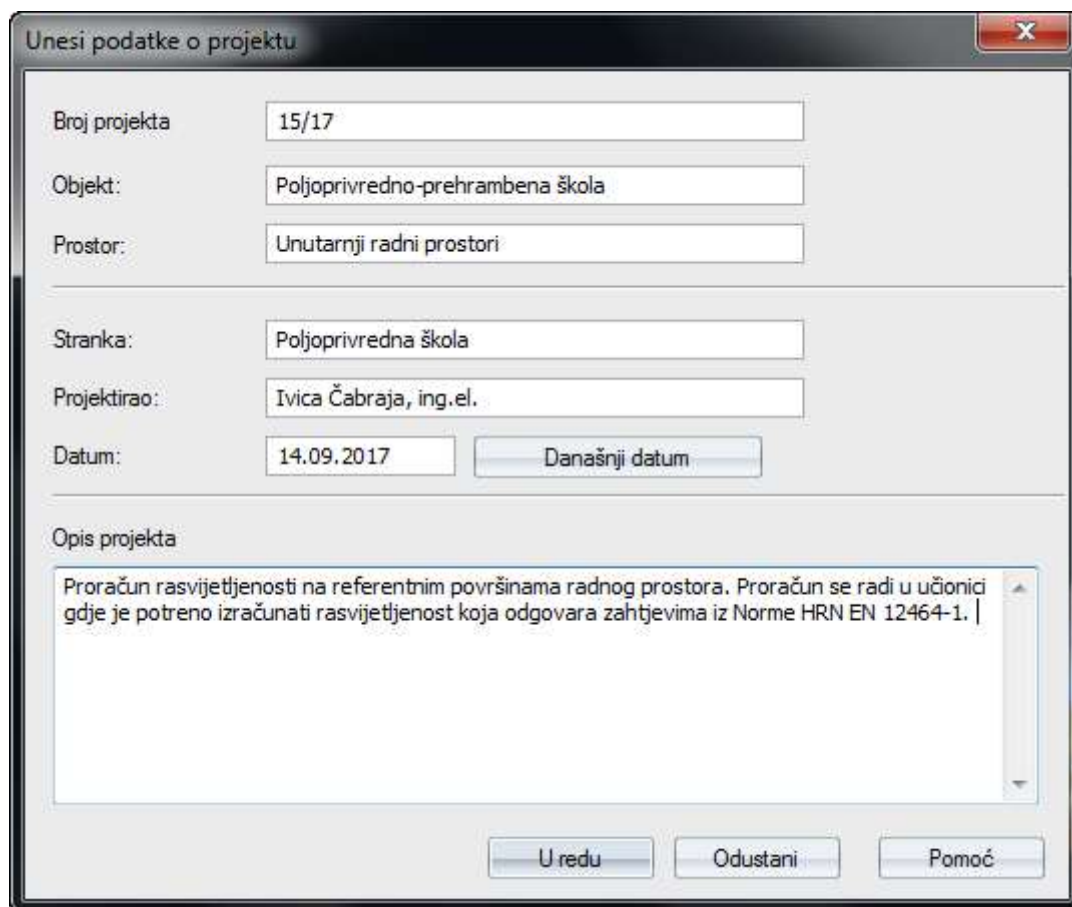
ω – prostorni kut promatrača (između 45° i 85°);

p – Guth indeks

Parametre koje zahtjeva norma (sl.4.3.) uređujemo u željenim vrijednostima projektiranog prostora u kojoj su definirane granične vrijednosti rezultata proračuna.

4.2. Projektiranje u Relux-u

U prvim koracima proračuna rasvjetljenosti u programu Relux potrebno je definirati opće podatke o projektiranom prostoru. Svaki projekt mora imati svoj redni broj, naziv objekta i prostora u kojima se proračunava zahtijevana rasvjetljenost, naziv investitora (stranke) i naziv projektanta, datum i opis projekta (sl. 4.1.).



The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Unesi podatke o projektu". It contains the following fields and controls:

- Broj projekta:** Text box containing "15/17".
- Objekt:** Text box containing "Poljoprivredno-prehrambena škola".
- Prostor:** Text box containing "Unutarnji radni prostori".
- Stranka:** Text box containing "Poljoprivredna škola".
- Projektirao:** Text box containing "Ivica Čabraja, ing.el.". Below this is a button labeled "Današnji datum".
- Datum:** Text box containing "14.09.2017".
- Opis projekta:** A large text area containing the text: "Proračun rasvjetljenosti na referentnim površinama radnog prostora. Proračun se radi u učionici gdje je potrebno izračunati rasvjetljenost koja odgovara zahtjevima iz Norme HRN EN 12464-1.".
- Buttons:** At the bottom are three buttons: "U redu", "Odustani", and "Pomoć".

Sl. 4.1.: Relux – podaci o projektu

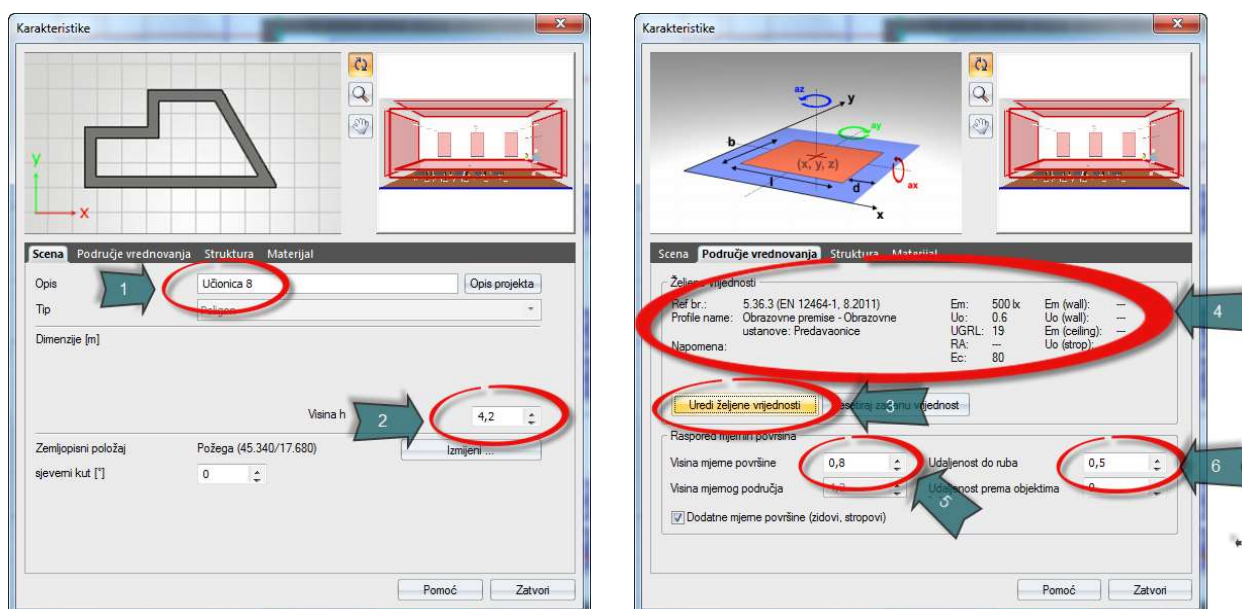
Nakon upisa općih podataka definiramo osnovne parametre prostora (sl. 4.2.):

Scena -

1. Upisujemo naziv projektiranog prostora – učionica 8
2. Određujemo visinu projektiranog prostora – vrlo bitno za daljni tijek proračuna

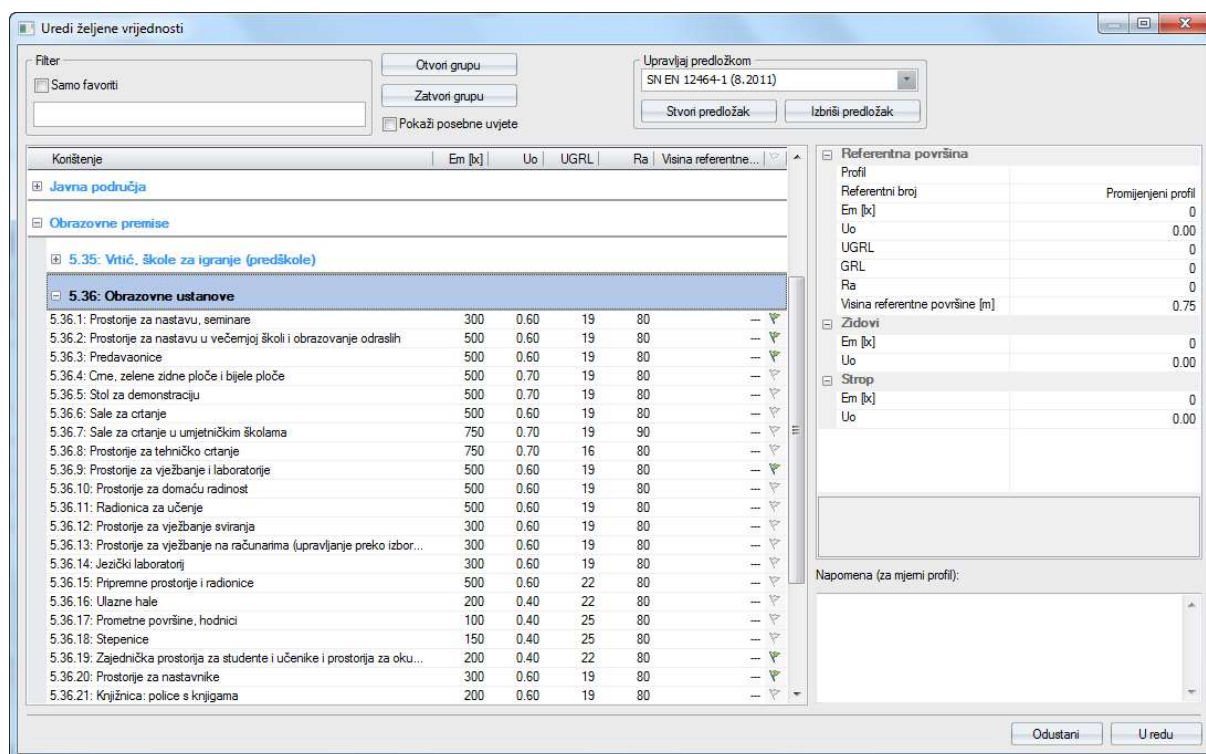
Područje vrednovanja -

3. Odabiremo ikonu Uredi željene vrijednosti kako bi odredili vrstu prostora kojeg ćemo projektirati.
4. Naziv odabranog prostora i popis zahtjevanih vrijednosti za projektiranje prema normi HRN EN 12464-1 definiranih u odabiru prema (sl. 4.3.)
5. Određujemo područje mjerenja (vrednovanja) – visina referentne površine. Ovaj parametar definira virtualnu plohu na kojoj će se prikazati mjereni rezultati, visina referentne površine za ovaj tip prostora određuje se prema visini radne površine, u ovom slučaju radnog školskog stola kojemu je visina prema standardu 0,8 m.
6. Određivanje pomaka ruba referentne površine od zida.



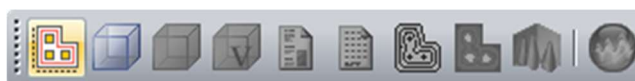
Sl. 4.2.: Određivanje parametara projektiranog prostora

Nakon određivanja parametara i definiranja dimenzija prostora i mjernih površina određujemo željene vrijednosti i odabiremo vrstu prostora prema kojima ćemo projektirati rasvjetljenost sukladno normi 12464-1:2011, (sl. 4.3.).



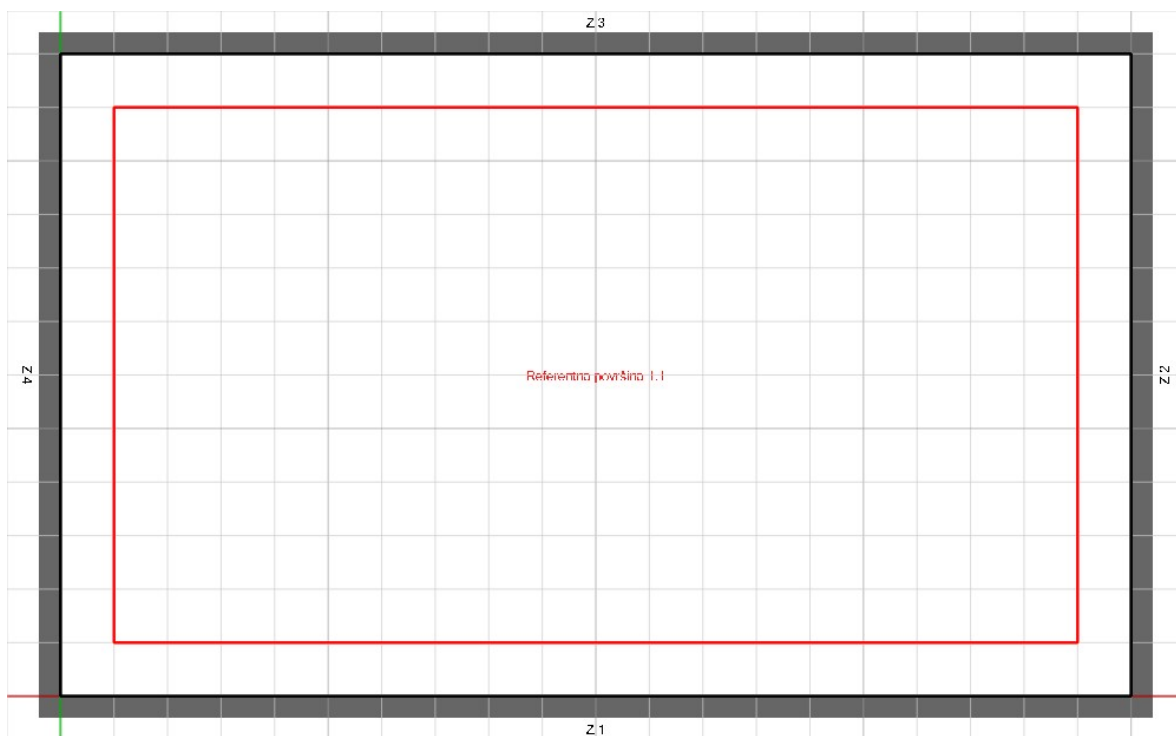
Sl. 4.3.: Odabir vrste prostora prema normi EN 12464-1:2011

Određivanjem prethodnih parametara projekta i prostora prikazuje nam se tlocrtni prikaz prostora prema slici 4.5. uključen sa ikonom na alatnoj traci (sl. 4.4.). Trodimenzionalni prikaz prostora (sl.4.7.) uključen u alatnoj traci (sl. 4.6.)



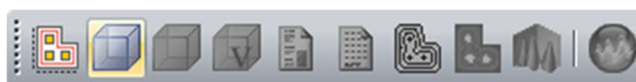
Sl. 4.4.: Alatna traka za izbor tlocrtnog prikaza

Alatnom trakom odabiremo prikaze izračunatih vrijednosti, osim na ikoni (sl. 4.4.) na kojoj je tlocrtni prikaz prostora za projektiranje.



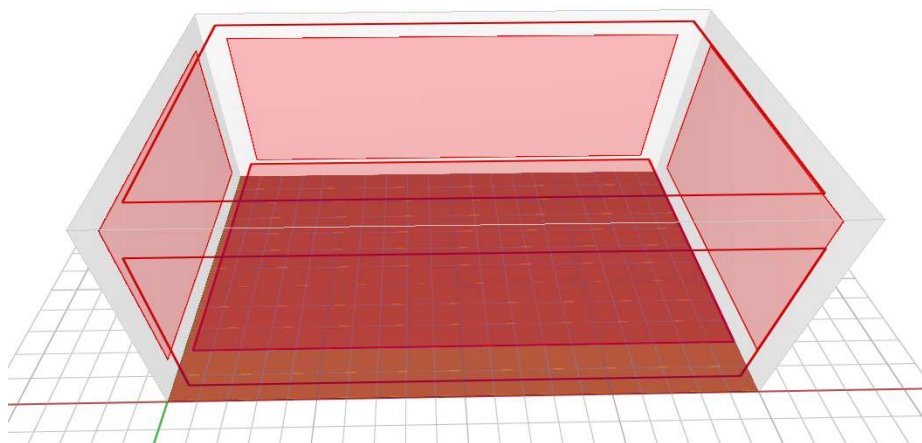
Sl. 4.5.: Tlocrtni prikaz prostorije prema odabranim dimenzijama

Trodimenzijsalni prikaz prostora (sl.4.7.) uključen u alatnoj traci (sl. 4.6.).



Sl. 4.6.: Alatna traka za izbor trodimenzionalnog prikaza

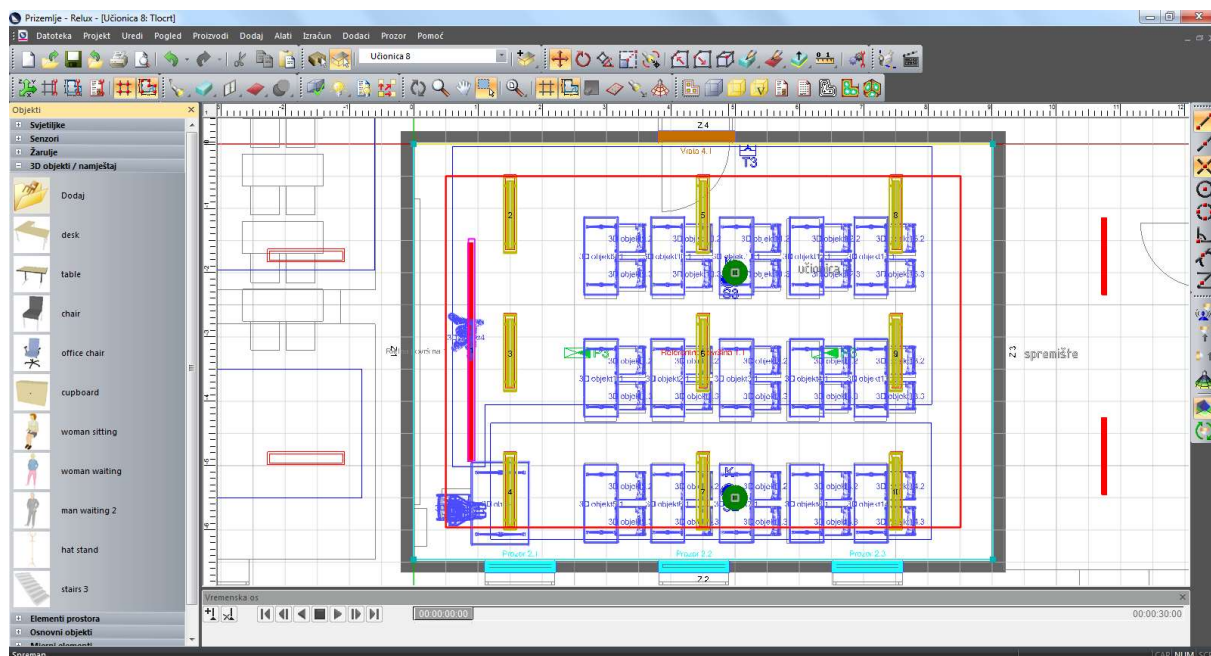
U 3D prikazu crveno označene plohe su područja vrednovanja (referentne površine) koje smo odabrali u parametrima prostora (sl. 4.2.) u koracima 3 i 4.



Sl. 4.7.: 3D prikaz prostora

Dodavanje elemenata prostora koristi se iz programskog kataloga Relux-a (sl. 4.8.) iz kojeg se odabiru svjetiljke, senzori, 3D objekti, elementi prostora, osnovni objekti, mjerni elementi i materijali i teksture projektiranog prostora.

Tlocrtni prikaz prostora sa dodanim elementima u prostoru, 3D objekti/namještaj



Sl. 4.8.: Tlocrtni prikaz prostora s elementima u prostoru

Izgled prostora u trodimenzionalnom pogledu (sl. 4.9.), gdje je vidljiva visina referentne površine iznad radne površine stola u učionici kao i referentnih površina na zidovima. U alatnoj traci „Objekti“ odabire se ikona 3D objekti/namještaj (sl. 4.8.).

Pogled na 3D prostor s objektima u prostoru i mjernim površinama uključujemo u alatnoj traci (sl. 4.6.).



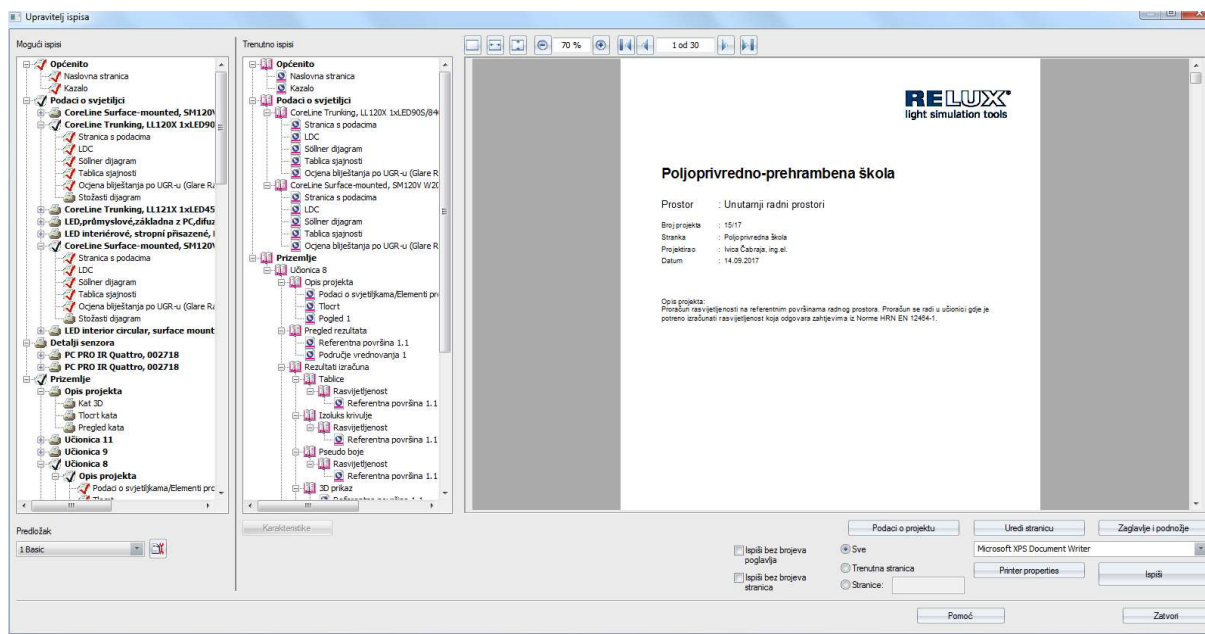
Sl. 4.9.: 3D prikaz prostora s elementima u prostoru

Ikona pisača na alatnoj traci (sl. 4.10.) uključuje upravitelj ispisa gdje određujemo koje vrijednosti i izračune ćemo ispisati u dokument sa rezultatima izračuna.



Sl. 4.10.: Alatna traka za izbor ispisa proračuna

Kod upravitelja ispisa (sl. 4.11.) određujemo koje podatke o prostoru i elementima prostora, kao i rasvjete ćemo odrediti za ispis. U stupcu mogući ispisi određujemo koji podaci i izračuni će biti ispisani. Također određujemo i izgled ispisa, numeriranje stranica i poglavlja kao i podatke na zaglavlju i podnožju stranica. Ikona Podaci o projektu uređuju podatke na naslovnoj stranici. Za predmetnu učionicu ispisani dokument je ispisan i priložen uz ovaj rad kao zaseban dokument.



Sl. 4.11.: Upravitelj ispisa dokumenta

4.3. Projektirana energetska prihvatljiva rasvjeta

U tab. 4.1. navedeni su nazivi i karakteristike rasvjetnih tijela koje su prema Relux proračunu zadovoljavaju zahtjeve rasvijetljenosti i ispunjavaju uvjete iz zahtijevane norme HRN EN 12464-1.

Tab. 4.1.: Popis tipova novih svjetiljki i izračun instalirane snage

R.br.:	TIP	Oznaka	i_s (kom)	P_s [W]	P_{uk} [W]
1.	5200lm, LED 39W	A1	8	39	312
2.	LED 37W	A2	103	33	3399
3.	LED 90W	A3	11	69	759
4.	3200lm, LED 25W	A4	27	33	891
5.	4400lm, LED 33W	A5	10	33	330
6.	2400lm, LED 18W	A6	35	18	630
7.	LED 45W	A7	1	35	35
8.	LED 34W	A8	46	31	1426
	Ukupna instalirana snaga rasvjete	P_n			7782
1.	Upravljačka jedinica u tipkalu	S1	14	1,7	24
2.	Upravljačka jedinica u tipkalu	S2	12	1,7	20
3.	Upravljačka jedinica u tipkalu	S3	11	1,7	19
4.	Upravljačka jedinica u tipkalu	S4	19	1,7	32
	Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja -sustav upravljanja rasvjetom	P_{pc}			95
1.	Sigurnosna svjetiljka 3W LED 360 lm za osvjetljavanje evakuacijskog puta	P1	7	3,2	22,4
2.	Sigurnosna svjetiljka LED 1W za označavanje evakuacijskog puta	P2	2	1	2
3.	Sigurnosna svjetiljka 3W LED 390 lm za osvjetljavanje evakuacijskog puta	P3	28	3	84
4.	Sigurnosna svjetiljka 1W LED za označavanje evakuacijskog puta	P4	14	1	14
5.	Sigurnosna svjetiljka 3W LED 370 lm za osvjetljavanje evakuacijskog puta	P5	9	3	27
6.	Sigurnosna svjetiljka LED 1W za označavanje evakuacijskog puta	P6	3	1	3
	Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja -sustav sigurnosne rasvjete				152,4

Izvor: izradio autor

Za novi sustav rasvjete korištene su snage iskazane u tehničkim podacima proizvođača svjetiljke.

5. PRIKAZ ENERGETSKE UČINKOVITOSTI I OSTVARENE UŠTEDE

5.1. Izračun snage, energije i CO₂ emisije postojećeg stanja

Tab. 5.1.: Izračun snage i energije postojećeg sustava rasvjete

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]	16,78	Energetski pregled	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav upravljanja rasvjetom	P_{pc}	[W]	0	Energetski pregled	
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	16,78	Energetski pregled	
Faktor konstante osvjetljenosti	F_c	broj	1	AOEZUSRZ tab. 6.	
Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju	F_D	broj	1	AOEZUSRZ tab. 6.	
Faktor okupiranosti prostora	F_0	broj	1	AOEZUSRZ tab. 6.	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana	t_D	[h]	1.800	AOEZUSRZ tab. 6.	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći	t_N	[h]	200	AOEZUSRZ tab. 6.	
Broj sati u godini	t_y	[h]	8760		
Podaci koji se računaju					
Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t	$W_{L,t}$	[kWh]	33556	AOEZUSRZ Formula 2.	$W_{L,t} = \frac{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)]}{1000}$
Energija potrebna za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu t	$W_{P,t}$	[kWh]	0	AOEZUSRZ Formula 3.	$W_{P,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)]}{1000}$
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t	W_t	[kWh]	33556	AOEZUSRZ Formula 1.	$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$

Izvor: izradio autor prema [7]

$$W_{L,t} = \frac{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)]}{1000} = \frac{(16778 \cdot 1) \cdot [(1800 \cdot 1 \cdot 1) + (200 \cdot 1)]}{1000} = 33556 \text{ kWh} \quad (5-1)$$

$$W_{P,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D \cdot t_N)]}{1000} = \frac{0 \cdot [8760 - (1800 \cdot 200)]}{1000} = 0 \text{ kWh} \quad (5-2)$$

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} = 33556 + 0 = 33556 \text{ kWh} \quad (5-3)$$

Tab. 5.2.: Izračun snage, energije postojećeg sustava rasvjete i CO₂ emisije zatečenog stanja rasvjete

Ukupno svi prostori zajedno				
Izračunati podatci	Oznaka	Mjerna jedinica	Iznos	Napomena
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	16,78	
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t	W_t (5-3)	[kWh]	33556	
CO ₂ emisija onečišćujućih tvari	CO ₂	[t/god]	7,78	Faktor emisije CO ₂ za električnu energiju 0,23481 [kgCO ₂ /kWh]

Izvor: izradio autor prema [7]

Novo stanje

Tab. 5.3. 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]	7782	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav upravljanja rasvjetom	P_{pc}	[W]	95,20	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga parazitnog opterećenja-sustav sigurnosne rasvjete	P_{em}	[W]	152,40	Glavni projekt	
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje+sigurno sna rasvjeta	P_{uk}	[kW]	8,03	Glavni projekt	
Faktor konstante osvijetljenosti	F_c	broj	0,90	AOEZUSRZ tab. 6.	
Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvijetljenju	F_D	broj	0,80	AOEZUSRZ tab. 6.	
Faktor okupiranosti prostora	F_0	broj	0,90	AOEZUSRZ tab. 6.	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana	t_D	[h]	1800	AOEZUSRZ tab. 6.	
Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći	t_N	[h]	200	AOEZUSRZ tab. 6.	
Radno vrijeme rada sigurnosne rasvjete	t_e	[h]	8760		
Broj sati u godini	t_y	[h]	8760		
Podaci koji se računaju					
Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t	$W_{L,t}$ (5-4)	[kWh]	10337,61	AOEZUSRZ Formula 2.	$W_{L,t} = \frac{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)]}{1000}$
Energija potrebna za potrošnju parazitnih opterećenja u određenom vremenskom periodu t	$W_{P,t}$ (5-5)	[kWh]	1978,58	AOEZUSRZ Formula 3.	$W_{P,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \cdot t_e)}{1000}$
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t	W_t (5-6)	[kWh]	12316,18	AOEZUSRZ Formula 1.	$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$

Izvor: izradio autor prema [7]

$$W_{L,t} = \frac{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)]}{1000} = \frac{(7782 \cdot 0,9) \cdot [(1800 \cdot 0,9 \cdot 0,8) + (200 \cdot 0,9)]}{1000} = 10337,61 \text{ kWh} \quad (5-4)$$

$$W_{P,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \cdot t_e)}{1000} = \frac{95,20 \cdot [8760 - (1800 + 200)] + (152,4 \cdot 8760)}{1000} = 1978,58 \text{ kWh} \quad (5-5)$$

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} = 10337,61 + 1978,58 = 12316,18 \text{ kWh} \quad (5-6)$$

Tab.5.4.: Izračun snage, energije novog sustava rasvjete i CO2 emisije postojećeg sustava rasvjete prema Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama

Ukupno svi prostori zajedno				
Izračunati podatci	Oznaka	Mjerna jedinica	Iznos	Napomena
Ukupna instalirana snaga rasvjete+upravljanje	P_{uk}	[kW]	8,03	
Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t	W_t	[kWh]	12316,18	
CO ₂ emisija onečišćujućih tvari	CO ₂	[t/god]	2,89	Faktor emisije CO ₂ za električnu energiju 0,23481 [kgCO ₂ /kWh]

Izvor: izradio autor prema [7]

Tab.5.5.: Prikaz ostvarenih ušteda prema zahtjevima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost

Ostvarene uštede				
Izračunati podatci	Oznaka	Mjerna jedinica	Iznos	Postotno
Instalirana snaga	ΔP_{uk} (5-7)	[kW]	8,75	52% (5-8)
Električna energija	W_t (5-9)	[kWh]	21239,8	63% (5-10)
Ukupna investicija s PDVom	Investicija (tab. 5.6.)	[kn]	593.782,03	
Odnos ukupno planiranih sredstava (vrijednost ukupne investicije s PDV-om) i očekivane godišnje uštede energije (razlika kWh)	Inv/W_t	[kn/kWh]	27,95	
CO ₂ emisija onečišćujućih tvari	CO ₂ (5-11)	[t/god]	4,89	63%
Odnos ukupno planiranih sredstava (vrijednost ukupne investicije s PDV-om) i očekivanog godišnjeg smanjenja emisije stakleničkih plinova (razlika t CO ₂)	Inv/CO_2 (5-12)	[kn/tCO ₂]	121.427,82	

Izvor: izradio autor prema [7]

Rezultati izračuna prikazanih (tab. 6.) dobiveni su iz slijedećih jednažbi:

Uštede na instaliranoj snazi -

$$\Delta P_{uk} = P_{ips} - P_{ins} = 16,78 - 8,03 = 8,75 \text{ kW} \quad (5-7)$$

Postotne uštede na instaliranoj snazi -

$$P_{\%} = \left(1 - \frac{P_{ins}}{P_{ips}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{8,03}{16,78}\right) \cdot 100 = 52\% \quad (5-8)$$

Uštede na električnoj energiji -

$$W_t = W_{tps} - W_{tns} = 33556 - 12316,18 = 21239,8 \text{ kWh} \quad (5-9)$$

Postotne uštede na električnoj energiji -

$$W_{\%} = \left(1 - \frac{W_{tns}}{W_{tps}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{12316,18}{33556}\right) \cdot 100 = 63\% \quad (5-10)$$

Razlika smanjenja emisije CO_2 -

$$CO_{2,ou} = CO_{2,ps} - CO_{2,ns} = \frac{7,78t}{god} - \frac{2,89t}{god} = 4,89 \text{ t/god} \quad (5-11)$$

Odnos ukupno planiranih sredstava (vrijednost ukupne investicije s PDV-om) i očekivanog godišnjeg smanjenja emisije stakleničkih plinova (razlika t CO_2) -

$$Inv/CO_2 = \frac{593.782,03 \text{ kn}}{4,89 \text{ t/god}} = 121.427,82 \text{ kn/tCO}_2 \quad (5-12)$$

gdje je:

ΔP_{uk} – ukupna razlika instalirane snage

P_{ips} – instalirana snaga postojećeg stanja

P_{ins} – instalirana snaga novog stanja

$P_{\%}$ - postotna razlika instalirane snage

W_{tps} – potrošnja električne energije postojećeg stanja rasvjete u godini

W_{tns} – potrošnja električne energije novog stanja rasvjete u godini

$W_{\%}$ - postotna razlika potrošnje električne energije

$CO_{2,ps}$ –emisije CO_2 u t/god na postojećem stanju rasvjete

$CO_{2,ns}$ – emisije CO_2 u t/god na novom stanju rasvjete

$CO_{2,ou}$ – ostvarene uštede emisije CO_2 u t/god

Tab. 5.6.: Specifikacija materijala i troškovnik instalacije rasvjete – investicija

r.br.	Opis	jed. mjere	količina	Jed.cijena	Ukupno	Napomena / oznaka:
1.	Isporučiti materijal i izvesti izvod za rasvjetu kabelom tipa PPY 3 x 1,5 mm ² uvučenim u CS20 i položenim podžbukno. Prosječna duljina izvoda je 8 m.	kom	245	120,00	29.400,00	
2.	Isporučiti materijal i povezati senzore i tipkala sa rasvjetnim tijelima signalnim kabelom tipa FTP 4x2x0,6 mm ² uvučenim u CS20 i položenim podžbukno.	m	245	38,00	9.310,00	
3.	Isporučka, montaža i spajanje nadgradne svjetiljke, LED izvor svjetlosti, kućište od polikarbonata, difuzor od polikarbonata, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 4270lm, snaga sistema max 39W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 109 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, zaštita od zaprljanja IP54, mehanička zaštita IK10, životni vijek uz L80B20 50 000 sati, kao tip: Trevos LINEA 2.4ft 5200/840 39W LED	kom	8	536,00	4.288,00	A1
4.	Isporučka, montaža i spajanje nadgradne svjetiljke, LED izvor svjetlosti, metalno kućište, pokrov od prizmatičnog difuzora, UGR<19, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 3700lm, snaga sistema max 33W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 112 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, zaštita IP20, IK02, životni vijek uz L70B50 50 000 sati, DALI komunikacijsko sučelje, kao tip: Philips CoreLine Surface-mounted SM120V LED37S/840 PSD W20L120 VAR-PC, komplet sa ovjesnim priborom i svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	103	1.685,60	173.616,80	A2

5.	Isporuka, montaža i spajanje nadgradne svjetiljke za rasvjetu školske ploče, LED izvor svjetlosti, metalno kućište, asimetrična optika izvedena sustavom optičkih leća, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 9000lm, snaga sistema max 69W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 130 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, duljina svjetiljke 3,62m, zaštita IP20, životni vijek 50000 sati uz L80B50, isporuka sa zaslonom protiv blještanja, DALI komunikacijsko sučelje, kao tip: Philips CoreLine trunking LL120X LED90S/840 PSD A WH, komplet sa stropnim krutim nosačem L=1000 mm i vijčanim priborom.	kom	11	3.794,20	41.736,20	A3
6.	Isporuka, montaža i spajanje nadgradne svjetiljke LED izvor svjetlosti, kućište od polikarbonata, difuzor od polikarbonata, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 2920lm, snaga sistema max 25W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 117 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, zaštita od zaprljanja IP54, mehanička zaštita IK10, životni vijek uz L80B20 50 000 sati, kao tip: Trevos LINEA 1.4ft 3200/840 25W LED, komplet sa svim montažnim i spojnim materijalom.	kom	27	424,00	11.448,00	A4
7.	Isporuka, montaža i spajanje nadgradne svjetiljke LED izvor svjetlosti, kućište od polikarbonata, pokrov od polikarbonata, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 4080lm, snaga sistema max 33W (LED izvor+driver, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 123 lm/W, boja svjetlosti 4000K, uzvrta boje Ra 80, zaštita od zaprljanja IP66, mehanička zaštita IK10, životni vijek uz L80B50 50 000 sati, kao tip: Trevos PRIMA LED 1.4ft PC 4400-840 33W, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	10	489,60	4.896,00	A5

8.	Isporuca montaža i spajanje stropne nadgradne svjetiljke LED izvor svjetlosti, kućište od polikarbonata, difuzor od polikarbonata, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 2040lm, snaga sistema max 18W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 113 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, životni vijek 50000 sati L80B20, zaštita od zaprljanja IP54, mehanička zaštita IK10 kao tip: Trevos LINEA ROUND 2400/840 18W LED, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	35	438,40	15.344,00	A6
9.	Isporuca, montaža i spajanje ovjesne nadgradne svjetiljke za rasvjetu školske ploče, LED izvor svjetlosti, metalno kućište, asimetrična optika izvedena sustavom optičkih leća, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 4500lm, snaga sistema max 35W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 128 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, duljina svjetiljke 1,75m, zaštita IP20, životni vijek 50000 sati uz L80B50, isporuka sa zaslonom protiv blještanja, DALI komunikacijsko sučelje, kao tip: Philips CoreLine trunking LL121X LED45S/840 PSD A WH, komplet sa stropnim krutim nosačem L=1000 mm, vijčanim priborom i ostalim spojnim i montažnim materijalom.	kom	1	1.995,00	1.995,00	A7
10.	Isporuca, montaža i spajanje ovjesne nadgradne svjetiljke, LED izvor svjetlosti, metalno kućište, pokrov od prizmatičnog difuzora, UGR<19, efektivni svjetlosni tok ili svjetlosni tok svjetiljke s uračunatim gubicima u optičkom sustavu min 3400lm, snaga sistema max 31W (LED izvor+driver), ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 110 lm/W, Ra>80, temperatura boje svjetlosti 4000K, zaštita IP20, IK02, životni vijek uz L70B50 50 000 sati, DALI komunikacijsko sučelje, kao tip: Philips CoreLine Surface-mounted SM120V LED34S/840 PSD W20L120 VAR-PC, komplet sa svim ovjesnim i spojnim materijalom.	kom	46	1.556,80	71.612,80	A8

11.	Isporučka, montaža i spajanje sigurnosne svjetiljke za rasvjetu evakuacijskog puta, LED izvor svjetlost, autonomija 3h, funkcija auto testa, pripravní spoj, 3,2W, 360lm, IP65, Awex HWM/3W/B/3/SA/AT/TR HELIOS HWM 3W LED 360 lm PREMIUM IP65 3h battery non-maintained with autotest transparent cover, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	7	480,00	3.360,00	P1
12.	Isporučka, montaža i spajanje svjetiljke za označavanje evakuacijskoga puta, s jednostranim piktogramom, LED izvor svjetlosti, vrijeme autonomije 3h, stalni spoj, funkcija autotesta, IP65, kao tip: Awex HL/1W/B/3/SA/AT/OP HELIOS LED 1W LED PREMIUM IP65 3h battery maintained/non-maintained with autotest opal cover, komplet sa piktogramom smjer kretanja ravno i svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	2	324,00	648,00	P2
13.	Isporučka, montaža i spajanje nadgradne sigurnosne svjetiljke za rasvjetu evakuacijskog puta, autonomija 3h, funkcija auto testa, pripravní spoj, optika za rasvjetu otvorenog prostora, 3W, 390lm, IP20, Awex LB2U/3W/B/3/SA/AT/WH LOVATO II L-BOX universal optic 3W LED 390 lm PREMIUM IP41 3h battery maintained/non-maintained/autotest, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	28	638,40	17.875,20	P3
14.	Isporučka, montaža i spajanje svjetiljke za označavanje evakuacijskoga puta, s dvostranim piktogramom, LED izvor svjetlosti, 1W, vrijeme autonomije 3h, stalni spoj, funkcija autotesta, IP41, kao tip: Awex TW/1W/B/3/SA/AT/SR TWINS 1W LED PREMIUM IP41 3h battery maintained/non-maintained with autotest silver color - smjer kretanja ravno, komplet sa piktogramom i svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	14	352,00	4.928,00	P4
15.	Isporučka, montaža i spajanje nadgradne sigurnosne svjetiljke za rasvjetu evakuacijskog puta, autonomija 3h, funkcija auto testa, pripravní spoj, optika za rasvjetu otvorenog prostora, 3W, 370lm, IP20, Awex LB2R/3W/B/3/SA/AT/WH LOVATO II L-BOX escape route optic 3W LED 370 lm PREMIUM IP41 3h battery maintained/non-maintained with autotest.	kom	9	638,40	5.745,60	P5

16.	Isporučka, montaža i spajanje svjetiljke za označavanje evakuacijskoga puta, s dvostranim piktogramom, LED izvor svjetlosti, 1W, vrijeme autonomije 3h, stalni spoj, funkcija autotesta, IP41, kao tip: Awex TW/1W/B/3/SA/AT/SR TWINS 1W LED PREMIUM IP41 3h battery maintained/non-maintained with autotest silver color - smjer kretanja lijevo/desno, komplet sa piktogramom i svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	3	352,40	1.057,20	P6
17.	Isporučka, montaža i spajanje senzora prisutnosti sa ugrađenim senzorom i regulatorom kontinuirane regulacije nivoa rasvjetljenosti, ugradnja u spuštenu strop ili nadgradnu montažnu kutiju, dimenzije 80x52 mm, bijele boje, za montažu do visine h = 3.5 m, kut detekcije 360°, radijus detekcije r = 5.25 m pri montaži na visinu h = 3.5 m, 2 DALI izlazno sučelje za svjetiljke (grupa do prozora, grupa do zida), IP20 stupanj zaštite, ugrađen sklop za vremensko kašnjenje, IR senzor za podešavanja daljinskim upravljačem, regulacija osvjetljenja 250-1000lux podesivo na senzoru, zadržka isklopa 1-30min, kao tip: Philips OCCUSWITCH LRM2070 Basic,m komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	14	848,80	11.883,20	S1
18.	Isporučka, montaža i spajanje senzora prisutnosti za proširenje dometa occuswitch senzora, ugradnja u spuštenu strop ili nadgradnu montažnu kutiju, dimenzije 80x52 mm, bijele boje, za montažu do visine h = 3.5 m, kut detekcije 360°, radijus detekcije r = 5.25 m pri montaži na visinu h = 3.5 m, 1 DALI izlazno sučelje za povezivanje na master senzor, IP20 stupanj zaštite, ugrađen sklop za vremensko kašnjenje., kao tip: Philips OCCUSWITCH LRM8118, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	12	604,80	7.257,60	S2

19.	Isporuka, montaža i spajanje senzora prisutnosti sa ugrađenim senzorom i regulatorom kontinuirane regulacije nivoa rasvjetljenosti, ugradnja u spuštenu strop ili nadgradnu montažnu kutiju, dimenzije 80x52 mm, bijele boje, za montažu do visine $h = 3.5$ m, kut detekcije 360° , radijus detekcije $r = 5.25$ m pri montaži na visinu $h = 3.5$ m, 1 DALI izlazno sučelje za svjetiljke (grupa do prozora, grupa do zida), 1 DALI komunikacijsko sučelje za povezivanje s drugim senzorima (paralelni rad), IP20 stupanj zaštite, ugrađen sklop za vremensko kašnjenje, IR senzor za podešavanja daljinskim upravljačem, regulacija osvjetljenja 250-1000 lx podesivo na senzoru, zadržka isklopa 1-30min, kao tip: Philips OCCUSWITCH LRM2080 Advanced, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	11	925,60	10.181,60	S3
20.	Isporuka, montaža i spajanje senzora pokreta, ugradnja u spuštenu strop ili nadgradnu montažnu kutiju, dimenzije 80x52 mm, bijele boje, za montažu do visine $h = 3.5$ m, kut detekcije 360° , radijus detekcije $r = 5.25$ m pri montaži na visinu $h = 3.5$ m, IP20 stupanj zaštite, ugrađen sklop za vremensko kašnjenje, za uklapanje opterećenja do 6A (EM fluo), dnevno/noćni režim rada 250-100lux podesivo na senzoru, kašnjenje isklopa 1-30min, kao tip: Philips OCCUSWITCH LRM1070, mkomplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	19	758,40	14.409,60	S4
21.	Isporuka i montaža nadgradne montažne kutije za senzor prisutnosti OCCUSWITCH, dimenzije 85x60 mm., kao tip: Philips SURFACE BOX LRH2070/00	kom	56	120,00	6.720,00	K
22.	Usluga parametrisiranja sustava upravljanja rasvjetom, izrada korisničke i tehničke dokumentacije, tehnička podrška subjektu koji izvodi ožičenje i montažu elemenata, izobrazba tehničkog osoblja službe održavanja	komplet	1	5.000,00	5.000,00	
23.	Isporuka, montaža i spajanje jednofaznog tipkala sa input modulom za povezivanje do 4 tipkala na 1 senzor. Koristi DALI liniju i nisu potrebna dodatna napajanja, kao tip: Philips LCU2070 OSD PBU, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	11	889,00	9.779,00	T1

24.	Isporučka, montaža i spajanje jednopolnog tipkala sa 1 tipkom tip kao Asfora EPH0800321	kom	1	13,60	13,60	T2
25.	Isporučka, montaža i spajanje jednopolnog tipkala sa 3 tipke + trostruki okvir i Input modul za povezivanje do 4 tipkala na 1 senzor. Koristi DALI liniju i nisu potrebna dodatna napajanja, kao tip: Philips LCU2070 OSD PBU, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	11	897,00	9.867,00	T3
26.	Isporučka, montaža i spajanje jednopolnog tipkala sa 3 tipke Asfora EPH0800321 x 3 + trostruki okvir EPH5800321, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	1	48,32	48,32	T4
27.	Isporučka, montaža i spajanje jednopolnog tipkala sa dvije tipke i Input modulom za povezivanje do 4 tipkala na 1 senzor. Koristi DALI liniju i nisu potrebna dodatna napajanja, kao tip: Philips LCU2070 OSD PBU, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	3	863,50	2.590,50	T5
28.	Isporučka, montaža i spajanje jednopolnog tipkala sa 2 tipke Asfora EPH1100121, komplet sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	1	14,40	14,40	T6

REKAPITULACIJA:

UKUPNO (neto):	475.025,62
PDV 25%:	118.756,41
SVEUKUPNO (bruto):	593.782,03

Izvor: izradio autor

6. EKONOMSKA ISPLATIVOST INVESTICIJE

U (tab.6.1.) prikazana je kalkulacija odnosa potrošnje električne energije (u kWh) za predmetnu zgradu Poljoprivredno-prehrambene škole u Požegi, u slučajevima upotrebe „konvencionalne“ i „pametne“ rasvjete. Izračun se bazira na porastu cijene od 5% godišnje, te na konstantnoj potrošnji kroz 10 godina.

Tab. 6.1.: Kalkulacija odnosa potrošnje električne energije

Godišnji trošak rasvjete			
	Cijena (kn/kWh)	El.energija (kWh)	Porast cijene godišnje - 5%
Konv.	1,08	33.556,00	
Pametna	1,08	12.316,18	Razlika u potrošnji (5-10) – 63%

G_{pp}	G_k	T_{kr} (kn)	T_{pr} (kn)	U_{god} (kn)	U_{kumul} (kn)
0.	2018.	36.401,55 kn	13.360,59 kn	23.040,96 kn	23.040,96 kn
1.	2019.	38.221,63 kn	14.028,62 kn	24.193,00 kn	47.233,96 kn
2.	2020.	40.132,71 kn	14.730,05 kn	25.402,65 kn	72.636,62 kn
3.	2021.	42.139,34 kn	15.466,56 kn	26.672,79 kn	99.309,40 kn
4.	2022.	44.246,31 kn	16.239,88 kn	28.006,43 kn	127.315,83 kn
5.	2023.	46.458,63 kn	17.051,88 kn	29.406,75 kn	156.722,58 kn
6.	2024.	48.781,56 kn	17.904,47 kn	30.877,09 kn	187.599,66 kn
7.	2025.	51.220,63 kn	18.799,69 kn	32.420,94 kn	220.020,60 kn
8.	2026.	53.781,67 kn	19.739,68 kn	34.041,99 kn	254.062,59 kn
9.	2027.	56.470,75 kn	20.726,66 kn	35.744,09 kn	289.806,68 kn
10.	2028.	59.294,29 kn	21.763,00 kn	37.531,29 kn	327.337,97 kn

SVEUKUPNO UŠTEDA: 1.782.045,90 kn

Izvor: izradio autor

gdje je:

G_{pp} – godina provedbe projekta

G_k – kalendarska godina

T_{kr} – trošak konvencionalne rasvjete (u kunama)

T_{pr} – trošak pametne rasvjete (u kunama)

U_{god} – ušteda po godini (u kunama)

U_{kumul} – ušteda kumulativ (u kunama)

Troškovi konvencionalne rasvjete u (tab.6.1.) dobiveni su slijedećim postupcima izračuna:

$$T_{kr,2018} = C_{konv} \cdot W_{konv} = 1,08 \cdot 33556 = 36.401,55 \text{ kn} \quad (6-1)$$

$$T_{kr,2019} = T_{kr,2018} \cdot 1,05 = 36.401,55 \cdot 1,05 = 38.221,63 \text{ kn} \quad (6-2)$$

Za svaku slijedeću godinu umnožava se prethodna godina sa povećanjem od 5% povećanja cijena u svakoj godini. Koeficijent 1,05 je umnožak za povećanje od 5%. Tako da će za zadnju predviđenu godinu 2028. Biti prema jednadžbi (6-3):

$$T_{kr,2028} = T_{kr,2027} \cdot 1,05 = 85.832,95 \cdot 1,05 = 59.294,29 \text{ kn} \quad (6-3)$$

Istim postupkom izračunavaju se troškovi T_{pr} za pametnu rasvjetu i godišnje uštede U_{god} samo se uzimaju vrijednosti iz tab. 8 za pametnu rasvjetu i godišnje uštede.

gdje je:

C_{konv} – cijena električne energije prema tarifnom modelu nadležnog distributera sa uračunatim PDV-om u kunama

W_{konv} – godišnja potrošnja električne energije konvencionalne rasvjete u kWh

Za kumulativne uštede po godinama zbrajaju se uštede iste godine i kumulativne uštede prethodne godine, prema jednadžbi (6-4)

$$U_{kumul,2019} = U_{god,2019} + U_{kumul,2018} = 25.345,05 + 23.040,96 = 48.386,01 \text{ kn} \quad (6-4)$$

Parametri su slijedeći:

Potrošnja električne energije (konvencionalna): 33556 kWh (prema jednadžbi 5-3)

Potrošnja električne energije (pametna): 12316,18 kWh (prema jednadžbi 5-6)

Vremenski horizont izračuna: 10 godina

Cijena el. energije prema tarifnom modelu nadležnog distributera je 0,96 kn/kWh + PDV 13%. Godišnji porast cijena el. energije od 5% određen je na osnovu podataka nadležnog distributera o porastu cijena električne energije za tarifni model predmetne zgrade i na osnovu računa električne energije u proteklih 10 godina, dakle u periodu od 2007.g. do 2017. g. cijena električne energije je porasla za 52,62%, što kad procijenimo na navedeni period donosi prosjek od 5,26% godišnje. Porast je zaokružen na 5% i s tim porastom određena je projekcija porasta za idućih 10 godina. Prema uvidu u račune električne energije, cijena 2007.g. je bila 0,56 kn/kWh + PDV 22% što je u bruto iznosu 0,70 kn/kWh.

Kao što je prikazano (tab. 8), pametna rasvjeta rezultira sa 63% uštede u potrošnji u odnosu na konvencionalnu. Tako svaka godina generira određenu uštedu, što u kumulativu iznosi 1.782.045,90 kuna, nakon 10 godina korištenja pametne, a ne konvencionalne rasvjete.

7. MODELI FINANCIRANJA

Prema [8] u bilo kojem smislu energetske učinkovitosti pristupni fondovi Europske Unije nude različite modele financiranja. Mogućnosti financiranja nude se i iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti putem financiranja projekata za smanjenje energetske potrošnje u zgradama javnog sektora. U slučaju predmetne zgrade javne i obrazovne ustanove projekt kandidira lokalna samouprava, tj. Požeško-Slavonska županija kao osnivač navedene ustanove. Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja preko Europskog fonda za regionalni razvoj nudi financiranje putem Energetske obnove zgrada i korištenje obnovljivih izvora energije u javnim ustanovama koje obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja što je za predmetnu zgradu predviđeno. Razdoblje provedbe projekta traje od 1.siječnja 2014 g. do 31.prosinca 2020.g.

Prihvatljivi prijavitelji i partneri mogu biti jedinice lokalne ili područne (regionalne) samouprave, a to su:

- vlasnici zgrada koje su predmet projekta u kojima javne ustanove, osnovane od strane jedinice lokalne ili područne (regionalne) samouprave ili Republike Hrvatske, obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja, ili
- osnivači javnih ustanova koje obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja u zgradama koje su predmet projekta, pri čemu su zgrade koje su predmet projekta u vlasništvu te javne ustanove ili jedinice lokalne ili područne (regionalne) samouprave ili Republike Hrvatske; i javne ustanove koje obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja ako ispunjavaju kumulativno sljedeća dva uvjeta:

- da su osnovane od strane jedinice lokalne ili područne (regionalne) samouprave ili Republike Hrvatske, i
- da su zgrade u kojima obavljaju navedenu djelatnost u njihovom vlasništvu ili u vlasništvu jedinice lokalne ili područne (regionalne) samouprave ili Republike Hrvatske.

Prihvatljive aktivnosti koje su predviđene za financiranje na području kontinentalne Hrvatske prema indeksu razvijenosti jedinice područne (regionalne) samouprave „I“ (prema tablici u literaturi [8, str.3]) su:

- projektna dokumentacija je sufinancirana u iznosu 85% ukupne vrijednosti
- glavni projekt i pripadajući elaborati izrađeni prema Zakonu o gradnji (NN 153/13, 20/17), Pravilniku o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina (NN 64/14, 41/15, 105/15,61/16) te ostalim propisima donesenim na temelju Zakona o gradnji i posebnim propisom.

- Energetska obnova je sufinancirana u iznosu 60% ukupne vrijednosti investicije
 - zamjena unutarnje rasvjete učinkovitijom je jedna od stavki energetske obnove koja je i predmet ovog rada.

Projekti se sufinanciraju u potpunosti na teritoriju Republike Hrvatske.

Komercijalni modeli financiranja mogući su putem komercijalnih banaka ili Hrvatske banke za obnovu i razvoj (HBOR) koja prema svom programu kreditiranja projekata zaštite okoliša, energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije za cilj imaju, između ostalog i provedbu nacionalnih energetske programa te poticanje energetske učinkovitosti. Kreditiranjem se povećava vremenski rok otplate investicije zbog kamatne stope koju određuje banka.

8. ZAKLJUČAK

Ovim radom provedena je analiza postojeće konvencionalne rasvjete u javnoj obrazovnoj ustanovi. Analizom je utvrđeno da rasvjeta ne udovoljava zahtjevima iz pravovaljane norme HRN EN 12464-1:2011 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih prostora, 1. dio: Unutrašnji radni prostori). Mjerenjima rasvijetljenosti na referentnoj površini radne plohe došli smo do poražavajućih rezultata koji su i do deset puta manji od rezultata zahtijevanih navedenom normom. Isto tako je provedena analiza potrošnje električne energije za konvencionalnu rasvjetu kako bi se utvrdilo stanje potrošnje kroz kalendarsku godinu.

Na temelju izrađenih grafičkih podloga snimka izvedenog stanja predmetne zgrade i prostorija unutarnje, provedeni su proračuni rasvijetljenosti u programskom paketu Relux. Kroz kratki opis rada u navedenom računalnom programu određene su odgovarajuće vrste i količine rasvjetnih tijela koje su potrebne da bi se udovoljilo zahtjevima u ranije navedenoj normi kao i visine i pozicije montaže istih.

Određenom količinom i karakteristikama svjetiljki dobivena je vršna snaga energetske učinkovitije rasvjete i na temelju tih podataka moglo se doći do izračuna energetske učinkovitosti u odnosu na staru konvencionalnu rasvjetu. Instalacijom elemenata pametne rasvjete, tj. senzora pokreta i rasvijetljenosti energetske učinkovita rasvjeta je dobila na većoj učinkovitosti regulirajući intenzitet i uključivanje ovisno o prisutnosti osoba i količini prirodnog svjetla.

Kalkulacijom odnosa potrošnje kroz ekonomsku isplativost prikazano je da je ušteda u potrošnji električne energije 63% godišnje u odnosu na staru neučinkovitu rasvjetu. Izračunom ušteda u narednom periodu od 10 godina, uz procijenjeni godišnji porast cijene energije od 5% godišnje, procijenjena kumulativna ušteda u navedenom periodu je 1.782.045,90 kn što u odnosu na predviđenu investiciju je tri puta veće. Može se pretpostaviti da bi se investicija u energetske učinkovite pametne rasvjetu mogla isplatiti u trogodišnjem periodu.

9. LITERATURA

- [1] Elma Kurtalj d.o.o., dr.sc. V. Zanki, V. Lokas, Tipska mjera 6.3. Inteligentna rasvjeta, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP).
Link: <http://www.enu.sibensko-kninska-zupanija.hr/media/0023/doc/63.pdf>
- [2] DALI AG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) of ZVEI, Division Luminaires, 2001., Link: http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/DALI_Manual_engl.pdf
- [3] www.phillips.com, ODLXitanium_75W_0.12-0.4A_215V_TD_230V
- [4] LRM20xx_OccuSwitchDALI_ds_V2Fin, General description,
Link: <http://www.readbag.com/lighting-philips-pwc-li-main-products-controls-assets-lrm20xx-occuswitchdali-ds-v2fin>
- [5] 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, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek 2015.
- [6] Čabraja, I., Glavaš, H., Tačković, K., Petrović, I., Analiza rasvjete unutarnjeg radnog prostora i usklađenosti sa HRN EN 12464-1, Elektrotehnički Fakultet Osijek, Svibanj 2016.
- [7] Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva za rasvjetu u zgradama, Zagreb, rujan 2012.g.,
Link: http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2014/11/5-Algoritam_Rasvjeta-2012_09.pdf
- [8] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, Energetska obnova zgrada i korištenje obnovljivih izvora energije u javnim ustanovama koje obavljaju djelatnost odgoja i obrazovanja, <http://www.strukturnifondovi.hr/natjecaji/1309>

10. SAŽETAK

Analizom zatečenog stanja rasvjete u radnim i obrazovnim prostorima provjereno je zadovoljava li uvjete norme HRN EN 12464 koja se klasificira kao norma za rasvijetljenost unutarnjih radnih prostora. Cilj rada bio je simulacijskim programom RELUX izraditi proračune rasvijetljenosti u učionicama i radnim prostorima sukladno navedenoj normi odabirom optimalnog rješenja za poboljšanje energetske učinkovitosti ugradnjom rasvjete i sustava upravljanja takozvanom pametnom rasvjetom. Također, procjenom troškova zamjene postojeće rasvjete energetski učinkovitim rasvjetom odrediti vrijeme isplativosti i moguće načine financiranja investicije.

Ključne riječi: HRN EN 12464-1, RELUX, LENI, energetska učinkovitost, sustav upravljanja rasvjetom, investicija, isplativost, financiranje

SUMMARY

By analyzing the current lighting situation in classrooms and workplaces, we checked the HRN EN 12464 requirements which are classified as a standard for the interior workplace illumination. Using the RELUX simulation program, we aimed to calculate illumination in classrooms and workplaces according to the specified standard by choosing the optimal solution for improving energy efficiency and smart lighting controlling system. Estimating a cost price for replacing the existing lights with energy-efficient lighting, we aimed to determine possible cost effectiveness and means of financing the investment.

Key words: HRN EN 12464-1, RELUX, LENI, energy efficiency, lighting control system, investment, profitability, financing

11. ŽIVOTOPIS

Rođen u Požegi, 29.8.1980. godine. Sa stalnim prebivalištem u Vidovcima, Obrtnička 6. Oženjen, u braku sa suprugom Majom, otac dvije kćerke, Edite i Tene.

Osnovnu školu završio u Požegi, potom upisujem srednju Tehničku školu u Požegi, smjer elektrotehničar koju završavam 1998. godine. 2000. godine odslužio vojni rok i zapošljam se u obiteljskom elektroinstalaterskom obrtu koji vodi brat Tomislav.

2004. godine upisujem VI. stupanj Elektrotehničkog fakulteta Osijek, dislocirani studij u Požegi kojeg uspješno završavam 2009. godine.

2013. godine zapošljam se u projektantskoj tvrtci Puni krug d.o.o. gdje radim na poslovima projektiranja elektrotehničkih instalacija. Iste godine upisujem razlikovnu godinu na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku koju završavam 2015. godine.

Nakon uspješno položene razlikovne godine, iste 2015. godine upisujem Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike, smjer održiva elektroenergetika.

Potpis:

Ivica Čabraja

12. PRILOG

U prilogu je dan ispis svjetlotehničkog proračuna izrađenog u računalnom programu Relux.