Učinkovitost električne rasvjete prema normi EN 15193:2017

Kukić, Danijel

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:776956

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**

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

UČINKOVITOST ELEKTRIČNE RASVJETE PREMA NORMI EN 15193:2017

Diplomski rad

Danijel Kukić

Osijek, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. POJAM RASVJETE OPĆENITO 2

2.1. Svjetlotehničke veličine 3

2.2. Vrste rasvjete 5

3. UPRAVLJANJE RASVJETOM 7

3.1 Upravljanje energijom 7

3.2. Upravljanje estetikom 9

4. ENERGETSKA UČINKOVITOST RASVJETE 10

4.1 Energetska učinkovitost LED rasvjete 11

4.2 Napredni sustavi upravljanja rasvjetom 12

5. SUSTAV UPRAVLJANJA RASVJETOM PREMA NORMI EN 15193:2017 14

6. PRORAČUN ENERGIJE RASVJETE NA PRIMJERU JEDNE ETAŽE ZGRADE U PROGRAMU RELUX DESKTOP 24

6.1. Proračun rasvijetljenosti 24

6.1.1. Proračun rasvijetljenosti umjetnom rasvjetom po prostorijama 28

6.1.2. Rasvijetljenost dnevnim svjetlom po prostorijama 33

6.1.3. Rasvijetljenost predavonice umjetnim i dnevnim svjetlom 37

6.2. Utjecaj dnevnog svjetla 38

7. ANALITIČKI PRORAČUN ENERGIJE RASVJETE 40

7.1 Brza metoda 41

7.2. Složena metoda 42

8. ZAKLJUČAK 47

LITERATURA 49

SAŽETAK 50

1. UVOD

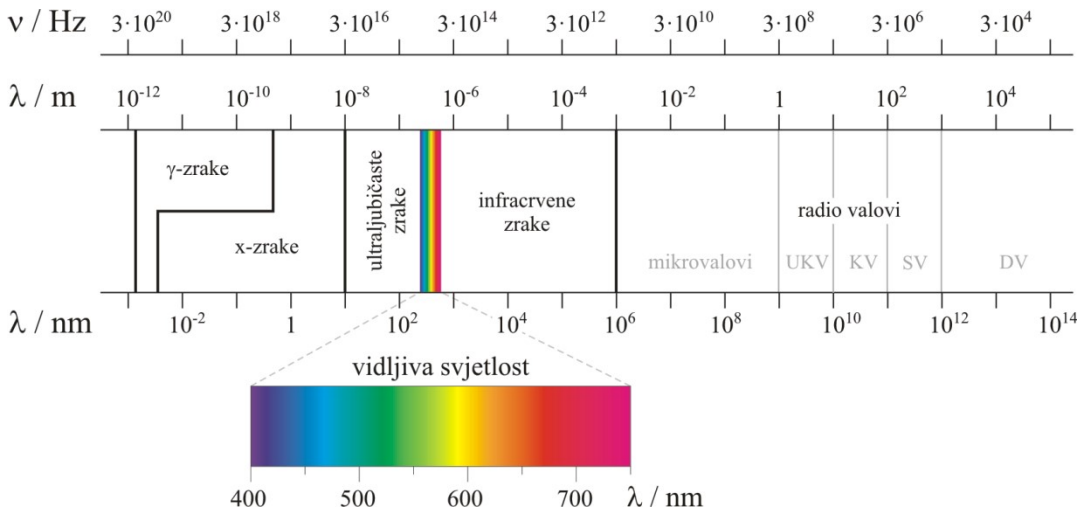
Suvremenom čovjeku život bez rasvjete je nezamisliv. Kao što je svjetlost neophodni element za život čovjeka, tako je u današnje vrijeme nezamisliv život bez umjetne rasvjete. Od primjene u domaćinstvima do primjene rasvjete u raznim laboratorijima, bolnicama, tvorničkim pogonima i ostalim ustanovama. Može se zaključit kako je rasvjeta dio svakodnevnog života za normalan rad i komfor čovjeka. Svjetlost se može podjelit na umjetnu i dnevnu svjetlost. Umjetna svjetlost je ona koju je čovjek osmislio, dok je dnevna svjetlost vanjska odnosno prirodna svjetlost. Umjetna svjetlost dobiva se najčešće pretvorbom električne energije u svjetlosnu posredstvom svjetlosnih izvora (žarulja).

Glavni zadatak i svrha ovog diplomskog rada je vezan za pojam učinkovitosti rasvjete. Kao što je u prethodnom odlomku opisano, za dobivanje umjetnog svjetla potrebna je pretvorba energije. Tako pri korištenju rasvjete težnja svakog čovjeka bilo privatne ili pravne osobe je u uštedi energije. Učinkovitije korištenje rasvjete leži u tome da se dobije što više svjetla za što manju potrošnju energije. Pripadajuća norma govori o učinkovitosti odnosno kako uz pojedino upravljanje rasvjetom bilo ručno ili automatski odgovarajuće uštedjeti energiju. Brojčani pokazatelj učinkovitosti električne rasvjete je indeks LENI koji govori o potrošnji energije za rasvjetu na nekom prostoru. Kroz ovaj rad ključni pokazatelj je upravo indeks LENI o kojemu će biti dosta riječi već od 4. poglavlja.

U drugom i trećem poglavlju općenito je opisana rasvjete te neki od načina upravljanja. Odgovarajućim upravljanjem rasvjete, a osobito upravljanjem na način što većeg iskorištenja dnevnog svjetla dolazi se do smanjenja potrošnje energije bez znatnog smanjenja rasvijetljenosti. U četvrtom poglavlju nešto je više rečeno o samoj učinkovitosti rasvjete što je i svrha ovog rada. Zatim u petom poglavlju objašnjena je norma EN 15193:2017 prema kojoj su dobivene vrijednosti LENI indeksa, a u svrhu učinkovitosti. U šestom pa i sedmom poglavlju na jednom konkretnom primjeru iz prakse odnosno na jednoj etaži zgrade uz pomoć RELUX softvera proračunata je rasvijetljenost kao i moguća dnevna iskoristivost dnevnog svjetla. Analitički izračun brojčanog pokazatelja rasvjete kako to norma predviđa prikazan je u sedmom poglavlju. Na kraju svega iznesen je odgovarajući zaključak osobito na rezultate izračuna i simulacije.

2. POJAM RASVJETE OPĆENITO

Pojam rasvjete vrlo je raširen, te je dio svakodnevnog života. U današnjici vrlo je teško zamisliti život bez rasvjete. Stoga se rasvjeta može definirati kao primjena svjetlosti za rasvjetljavanje vanjskih ili unutrašnjih prostora. Tu se već mogu vidjeti dvije temeljne vrste rasvjete: vanjska i unutarnja. No prije same podjele, potrebno je definirati pojam svjetlosti. Svjetlost je moguće definirati kao pojam elektromagnetskog vala koji se nalazi u vidljivom spektru elektromagnetskog zračenja. Na sljedećoj slici prikazan je vidljivi spektar elektromagnetskog vala. S ovim spektrom započinje teorija svjetlosti.



Sl.2.1 Spektar elektromagnetski valova – vidiljivi spektar svjetlosti, [1]

Uz rasvjetu veže se i rasvjetno tijelo čiji je zadatak raspodjela svjetlosti. Postoji nekoliko vrsta tehnologija izrade, odnosno podjela rasvjetnih tijela prema tehnologiji izrade. Postoje žarulje sa žarnom niti, halogene žarulje, fluorescentne, natrijeve, metal – halogene, LED itd, [2].

U ovom radu korištena je LED rasvjeta jer je najučinkovitija u odnosu na ostale u svrhu štednje električne energije, o čemu će još biti riječi u poglavlju energetska učinkovitost rasvjete.

2.1. Svjetlotehničke veličine

Svjetlotehničke veličine su fizikalne veličine koje opisuju svjetlost i koriste se u proračunima rasvjete. Neke osnovne svjetlotehničke veličine su svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvijetljenost, sjajnost, svjetlosna iskoristivost i slično, [2].

Jakost svjetlosti

Candela (Cd) je mjerna jedinica za jakost svjetlosti ili svjetlosni intenzitet, a definira se kao količina vidljive svjetlosti u jedinici vremena po jedinici prostornog kuta, [2].

$$\mathrm{I} = \frac{\phi}{\Omega}[Cd] \quad (1.1)$$

Φ – **Svjetlosni tok**

Svjetlosni tok se izražava u lumenima (*lm*). *1lm* je svjetlosni tok, kojeg u prostorni kut jednog steradijana zrači točkasti izvor svjetlosti čija je svjetlosna jakost u svim smjerovima prostora jednaka jednoj kandeli (*Cd)* [2].

Rasvijetljenost (E)

Rasvijetljenost je fizikalna veličina koja se definira kao rasvijetljenost površine jednog kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspoređeni svjetlosni tok od jednog lumena, [2].

$$E = \frac{\Phi}{A}[lux] \quad (1.2)$$

Sjajnost

Sjajnost ili luminancija je fizikalna veličina koja se definira kao jakost svjetlosti koja zrači jednu kandelu po metru kvadratnom površine, [2].

Sjajnost je jedina svjetlotehnička veličina, koju čovječje oko neposredno osjeća. Ona predstavlja i mjerilo za svjetlinu, to jest za svjetlosni osjet o manjoj ili većoj sjajnosti svjetleće ili rasvijetljene površine. Sjajnost je definirana omjerom između: svjetlosnog toka, koji napušta plošni element s promatranom točkom, ili dolazi na taj element ili ga pak prolazi, i koji se u

danom smjeru širi unutar elementa prostornog kuta i umnoška elementa prostornog kuta i ortogonalne projekcije plošnog elementa na ravninu, koja je pravokutna na smjer zračenja, [2].

Postoji još jedna svjetlotehnička veličina vezana uz energetsku učinkovitost rasvjete.

Svjetlosna iskoristivost je fizikalna veličina koja govori o stupnju ekonomičnosti izvora svjetlosti, a definira se kao omjer između emitiranog svjetlosnog toka i primljene električne snage, [2].

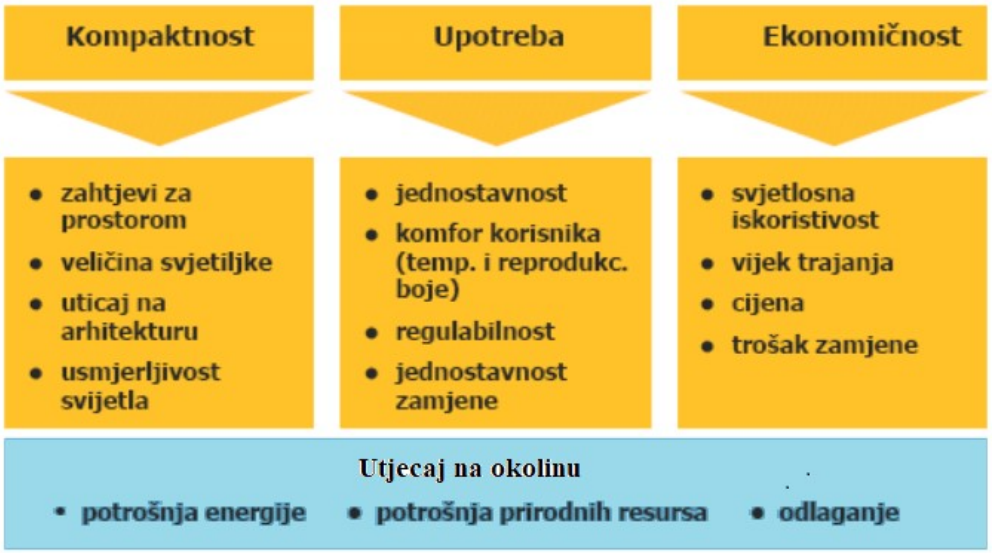
Osim spomenutih svjetlotehničkih veličina u proračunima prema potrebi pojavljuju se i sljedeće:količina svjetlosti (Q), ekpozicija (H), svjetlosno isijavanje (M), svjetlosna iskoristivost zračenja (K).

Svjetlosni tok je kao parametar zadan na svakom rasvjetnom tijelu. Najvažniji paramteri rasvjetnog tijela su svjetlosni tok, električna snaga, temperatura, boja svjetlosti, tehnologija izrade. U svjetlotehničkim proračunima jedna od najvažnijih veličina je rasvijetljenost na nekoj površini, stoga kao ulazni parametar za rasvijetljenost je veličina prostorije ili objekta koji treba rasvijetliti. Rasvijetljenost je podatak koji se dobiva proračunom i potrebno ga je uskladiti prema normama za rasvijetljenost prostora različitih namjena. Veličina koja je usko vezana uz rasvijetljenost neke površine ukoliko je poznata rasvijetljenost točaka u prostoru je srednja rasvijetljenost prostora E_m ,[2].

$$E_m = \sum_{i=1}^{N} \frac{Ei}{N} \quad (1.3)$$

Raster točaka je najčešće definiran međunarodnim standardima ili prilagodljiv specifičnim zahtjevima.

U proračunima je potrebno odabrati određena rasvjetna tijela koji zadovoljavaju normu u pogledu učinkovitosti i rasvijetljenosti prostora, te je u tim slučajevima često potreban kompromis. Zahvaljujući LED tehnologiji, takva rasvjetna tjela zahtijevaju vrlo malu električnu snagu pri tome daju zadovoljavajući svjetlosni tok pri neznatnim temperaturama. Kada je riječ o izvorima svjetlosti pri proračunima je potrebno voditi računa o sljedećem: svjetlosni tok, intenzitet svjetlosti, reprodukcija boje, temperatura boje, svjetlosna iskoristivost. Na sljedećoj slici to je zorno prikazano:



Sl.2.2. Parametri koji utječu pri izboru rasvjetnog tijela, [2]

Osim navedene rasvjete dobivene rasvjetnim tijelima, tzv. umjetne rasvjete postoji i dnevna rasvjeta, odnosno prirodni izvori svjetlosti. Takvi izvori svjetlosti emitiraju svjetlost termičkim zračenjem (sunce), električnim zračenjem (atmosferska pražnjenja) ili luminiscencijom.

2.2. Vrste rasvjete

Kao što je prethodno spomenuto, postoje dvije temeljne podjele rasvjete: na unutarnju i vanjsku rasvjetu. U ovom će radu više riječi biti o unutarnjoj rasvjeti. Vanjsku rasvjetu podrazumijeva svako rasvjetljavanje vanjskih prostorija, bilo cestovna, bilo ulična, parkirna rasvjeta, rasvjetna sportskih terena na otvorenom i niz drugih. Za svaku podvrstu vanjske rasvjete standardi donose određene razine rasvijetljenosti te se prema tome odabire rasvjeta. Razlika u odnosu na unutarnju rasvjetu je veliki doticaj dnevne svjetlosti, te se shodno tome vanjska rasvjeta koristi u noćnim uvjetima kad je smanjen dotok dnevnog svjetla.

Od ovog potpoglavlja naglasak je na unutarnjoj rasvjeti. Kao što je prethodno rečeno vezano uz svjetlotehnički proračun i standardizaciju rasvijetljenosti nekih objekata, sljedeća tablica prikazuje primjere nekih prostora i objekata uz pripadajuću potrebnu rasvijetljenost prema normi EN 12464.

Tablica 2.1 Razine rasvijetljenosti prema standardizaciji,[3]

Prostorija	Razina rasvijetljenosti	Rasvijetljenost (lx)
Kupaonica	Mala	200 lx
Hodnik	Mala	100 lx
Čitaonica	Srednja	500 lx
Tehničko crtanje	Velika	750 lx
Operacijske sale	Izuzetno velika	10 000 lx

Prilikom određivanja rasvijetljenosti potrebno je pripaziti na ravnomjernost jer svako povećanje rasvijetljenosti iznad dopuštene razine može biti opasno za oko. Dolazi do umaranja oka i smanjenje oštrine vida. Sljedeća tablica donosi neke vrijednosti ravnomjernosti rasvijetljenosti. Ona se može definirati kao omjer između rasvijetljenosti najslabijeg rasvijetljenog mjesta u prostoriji i srednje rasvijetljenosti prostorije.

Tablica 2.2 Ravnomjernost rasvijetljenosti,[4]

Vidni zahtjev	Ravnomjernost rasvijetljenosti
Vrlo mali	1:6 do 1:3
Mali	1:3
Srednji	1:2,5
Veliki	1:1,5

Osim ravnomjernosti rasvijetljenosti postoji i ravnomjernost sjajnosti. Postoje tri područja ravnomjernosti sjajnosti: područje minimalnih sjajnosti, područje preporučenih sjajnosti i područje granične sjajnosti. Postoje upute o najvećoj dopuštenoj ravnomjernosti sjajnosti čije se vrijednosti mogu svrstati u prethodno tri navedene kategorije, [4].

Osim navedenih ravnomjernosti postoji i ograničenje bliještanja i smjer upada svjetlosti. Postoje dvije vrste bliještanja direktno i refleksno blještanje. Velika blještanja uzrokuju smanjenje vidnih sposobnosti, te psihičku neudobnost i zamor. Direktno bliještanje dolazi od izvora svjetlosti dok refleksno dolazi zbog refleksije na zrcalnim površinama u prostoriji. Osim ovoga potrebno je pripaziti i na smjer upada svjetlosti. Potrebno je obratiti pozornost o tome kako svjetlost upada u radno područje, upada li tako da se stvara velika sjena ili pravilno upada na radnu površinu, [4].

3. UPRAVLJANJE RASVJETOM

Područje upravljanja rasvjetom vrlo je široko. Ovdje neće biti prikazani svi načini upravljanja nego samo opći pregled upravljanja rasvjetom. Upravljanje rasvjetom može se svrstati u dva temeljna područaja, a to je upravljanje estetikom i upravljanje energijom. Upravljanje estetikom doprinosi kvaliteti rasvjete u nekom objektu. Najvažniji element upravljanja estetikom je upravljanje rasvijetljenošću prostora, odnosno namještanje rasvjete u odnosu na dnevno svjetlo. Također osim elementa rasvijetljenosti kod estetskog upravljanja rasvjetom važno je i upravljanje bojom, dekoracijom rasvjete i niz drugih. Upravljanje energijom važan je faktor zbog energetske učinkovitosti i smanjenja potrošnje energije rasvjete, [5].

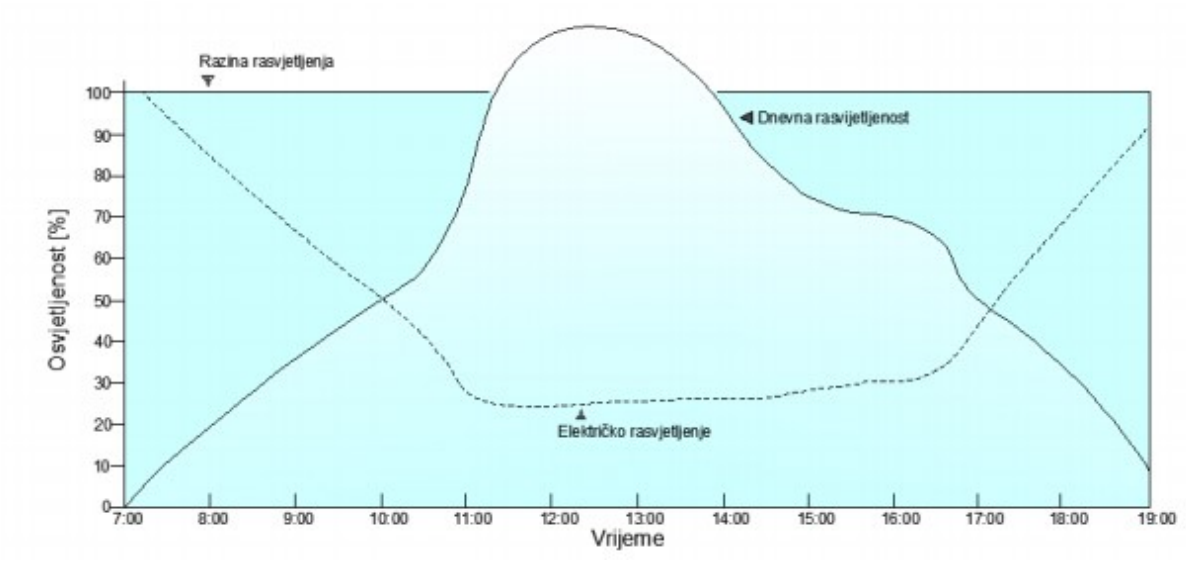
3.1 Upravljanje energijom

Upravljanje energijom važan je element upravljanja rasvjetom. Poželjno je unaprijed znati kako će se pojedini objekt ili prostorija koristiti. Stoga postoje sljedeći čimbenici upravljanja energijom rasvjete: predvidivi raspored korištenja prostorije, nepredvidivi raspored korištenja prostorije, količina dnevnog svjetla, stanje rasvijetljenosti prostora,[5].

Predvidivi raspored korištenja prostorija govori o tome kako će se prostorija koristiti, odnosno u koje vrijeme će biti zauzeta, a u koje neće. U tome uvelike doprinosi radno vrijeme objekta, u primjeru u ovom radu biti će razmatran objekt koji se koristi za poduke, instrukcije, tečajeve i sl. Prostorija koja je vrlo važna u tom objektu je predavaonica jer se u njoj obavljaju sve te aktivnosti. Stoga je važno znati u koje vrijeme je predavaonica zauzeta, također važno je znati borave li u predavaonici odrasli ili djeca. Ukoliko borave odrasli potrebna je veća rasvijetljenost, ukoliko borave djeca potrebna je manja rasvijetljenost. Uključivanje rasvjete samo u slučaju zauzeća prostorija i unaprijed definiranog rasporeda zauzeća doprinosi smanjenju potrošnje energije rasvjete, [5].

Nepredvidivi raspored korištenja prostorije (u konkretnom slučaju predavaonice) čest je u praksi. Događa se za aktivnosti koje nije moguće predvidjeti: izvanredni slučajevi, godišnji odmori, bolovanja, nedostatak kadra i otkazivanje termina zauzeća predavaonice zbog nepredvidivih slučajeva i niz drugih. U tome slučaju vrlo je teško učinkovito upravljati rasvjetom, stoga postoje rješenja u vidu automatskog upravljanja uporabom senzora. Ukoliko je netko prisutan u prostoriji senzor reagira i daje impuls upravljačkim elementima koji uključuje rasvjetu.

Upravljanje energijom rasvjete uz pomoć dnevnog svjetla može uvelike doprinijeti učinkovitom korištenju rasvjete i smanjenju potrošnje energije rasvjete. Utjecaj dnevnog svjetla uvelike ovisi o atmosferi, lokaciji objekta, obliku zgrade, dizajnu, te aktivnostima u zgradi. Ovisno o tome koliko ima prozora i kakve su veličine moguć je veći ili manji doticaj dnevnog svjetla. Proračunom umjetne rasvjete i utjecaja dnevnog svjetla moguće je uvelike smanjiti potrošnju energije rasvjete. Na slici 3.1 vidi se kako prigušivači aktivirani fotoćelijama održavaju stalnu razinu rasvjete, postavljajući izlaz rasvjetnog tijela u skladu s promjenom rasvijetljenosti okoline, [5].



Sl.3.1 Održavanje stalne razine rasvijetljenosti pomoću prigušivača aktiviranih fotoćelijama, [5].

3.2. Upravljanje estetikom

Upravljanje estetikom rasvjete čini važan dio u upravljanju rasvjetom. Stvara ugođaj prostora u kojem borave ljudi, prigušivanjem i pojačavanjem izvora svjetlosti doprinosi efektu ugođaja i komfornosti. Osim navedenog, upravlja se i bojom rasvjete, dekoracijom i slično.

Primjerice ukoliko se jedna prostorija koristi za više namjena, primjer je jedna konferencijska dvorana koja služi za prezentacije, održavanje sastanaka, predavanja i sl. Za svaku namjenu ovakve prostorije potrebna je različita razina rasvijetljenosti. U tu svrhu upravlja se prigušivanjem ili pojačavanjem rasvjete,[5].

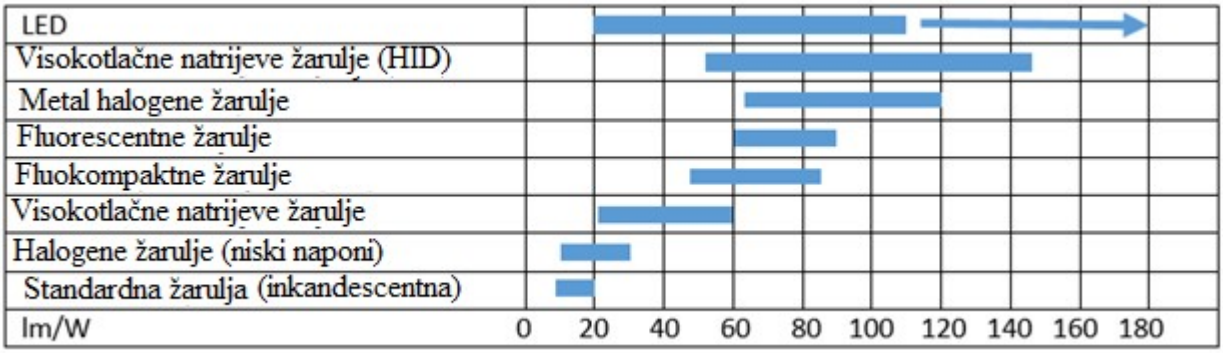
Postoji ručno i automatsko upravljanje rasvjetom. Ručno upravljanje sastoji se od sklapanja ili prigušivanja rasvjete uz pomoć sklopke i prigušivača. Automatsko upravljanje rasvjetom dijeli se na upravljanje pomoću centralnog sustava, upravljanje pomoću lokalnog sustava i drugih upravljačkih sustava, [5].

4. ENERGETSKA UČINKOVITOST RASVJETE

Učinkovitost rasvjete važan je element kod svakog proračuna rasvjete odabirom odgovarajućih rasvjetnih tijela. Učinkovitost rasvjete polazi od učinkovitosti pojedinih rasvjetnih tijela. Danas je najučinkovitija LED rasvjeta, jer daje veliku količinu svjetlosti uz vrlo mali utrošak električne energije. Žarulja sa žarnom niti je najneučinkovitija zbog topline koju razvija. Električna energija na žarulji sa žarnom niti većinom se pretvara u toplinsku energiju, a tek mali dio u svjetlosnu energiju.

Svjetlosna iskoristivost se može definirati kao količina svjetlosti koju emitira svjetlosni izvor u odnosu na uloženu električnu energiju. Uzimajući u obzir učinkovitost izvora svjetlosti, gubitke u vodičima,predspojnim napravama i gubitke ostale opreme, može se doći do izračuna ukupne učinkovitosti sustava rasvjete. Što je učinkovitost veća, niži su troškovi i manji utrošak električne energije,[6].

Učinkovitost izvora svjetlosti izražava se u jedinici Lm/W. Sljedeća slika prikazuje učinkovitost u Lm/W za različita rasvjetna tijela.



Sl.4.1 Usporedba energetske učinkovitost za različite izvore rasvjete, [7]

Prema prethodnoj slici može se vidjeti kako razvijanjem LED tehnologije, LED rasvjeta postaje najučinkovitija. Od ostalih žarulja visoku učinkovitost zauzima visokotlačna natrijeva žarulja.

U ovom radu koristit će se LED rasvjeta zbog njezine velike prednosti u odnosu na ostale, stoga u daljnjem razmatranju biti će riječi o energetskoj učinkovitosti LED rasvjete.

4.1 Energetska učinkovitost LED rasvjete

LED žarulja koristi standardno grlo E27, te se sastoji od svjetlećih dioda smještenih u kućište žarulje. Svjetleće diode imaju visok svjetlosni intenzitet te dugi životni vijek i vrlo malu potrošnju energije. Ušteda doseže i do 80% u odnosu na žarulje sa žarnom niti, [8]. Sljedeća tablica prikazuje usporedbu LED žarulje u odnosu na žarulje sa žarnom niti.

Tablica 4.1 Usporedna LED žarulja sa konvencionalnim žaruljama,[8]

Tehničke karakteristike	Žarulja sa žarnom niti	Štedna žarulja (fluokompaktna)	LED žarulja
Nazivni napon	230 V	230 V	230 V
Nazivna snaga	60 W	15 W	6 W
Svjetlosni tok	710 lm	820 lm	650 lm
Životni vijek	1 000 h	6 000 h	>30 000 h
Tip grla	E27	E27	E27
Temperatura boje	2 700 K	2 700 K	3 500 K

Učinkovitost LED rasvjete ne ovisi samo o svjetlećim diodama nego i o upravljanju samom rasvjetom. U prethodnom poglavlju opisane su neke vrste upravljanja rasvjetom, ovdje će biti iznesen tzv. koncept upravljanja inteligentnom rasvjetom u svrhu energetske učinkovitosti. Koncept upravljanja inteligentnom rasvjetom čine detektor kretanja i rasvijetljenosti, hibridni sustav napajanja, web upravljanje aplikacije, LED rasvjeta napajana solarnom energijom ili iz mreže. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, upravljanje rasvjetom omogućuje maksimalno i optimizirano korištenje dnevnog svjetla što doprinosi velikim uštedama. Prije bilo kakve odluke o načinu upravljanja rasvjetom potrebno je provjeriti isplativost same investicije. Najbrži povrat investicije postiže se upotrebom upravljivih elektroničkih predspojnih naprava. Kod većih investicija i većih objekata u obzir je potrebno uzeti i toplinsku energiju koju isijavaju rasvjetna tijela. Ponovno prednost korištenja LED rasvjete je taj što koriste daleko manju radnu temperaturu u odnosu na ostala rasvjetna tijela, time doprinosi smanjenju troškova hlađenja. U velikim prostorima taj utjecaj je osjetan za razliku u malim prostorima gdje je taj utjecaj gotovo i neznatan, [8].

Neke od mogućnosti uštede električne energije raznim načinima upravljanja rasvjetom:

- upravljanje ovisno o prisutnosti dnevnog svjetla donosi 20 – 40 % uštede
- povećanje prodora dnevnog svjetla donosi 20 % uštede (uz pomoć prozora)
- detekcija prisutnosti ili odsutnosti uz pomoć senzora prisutnosti donosi 15 – 30 % uštede
- vremensko upravljanje rasvjetom, donosi 5 – 15 % uštede
- održavanje konstantne rasvijetljenosti donosi 10 – 20 % uštede, [8]

Osim navedenih stavki za postizanje energetski učinkovite rasvjete važno je postići i još neke stavke koje su ispod navedeni. Osim spomenutog energetski učinkovitog izvora rasvjete i upravljanja potrebno je i sljedeće:

Prigušnice – omogućuje veću kvalitetu rasvjete, uz to elektroničke prigušnice doprinose i manjim gubicima u odnosu na elektromagnetske prigušnice. Prigušnice se koriste za rad izvora s izbojem u plinu, [9].

Regulacija svjetlosti – postavljaju se senzori za prisutnost i senzori rasvjete prostora koji daju impulse ostalim elementima koji onda dalje upravljaju rasvjetom (smanjuju, povećavaju intenzitet svjetla, automatski uključuju i isključuju rasvjetu i sl.),[9].

Estetski uređene prostorije kao što je boja zidova, jer svijetle boje zidova omogućuju veću refleksiju svjetlosti i time manje korištenje umjetne rasvjete. Osim dosad spomenutih načina optimiziranja u svrhu povećanja energetske učinkovitosti pristupa se i zamjeni svih neučinkovitih žarulja,[9].

4.2 Napredni sustavi upravljanja rasvjetom

Sljedeća slika prikazuje neke od elemenata koji se koriste pri naprednom sustavu upravljanja rasvjetom.

Napredni sustavi upravljanja rasvjetom temelje se na sustavu automatskog upravljanja. Takvi sustavi sadrže senzore, aktuatore, upravljačke module, komunikacijske mreže, korisničko sučelje i ostale alate za upravljanje mrežom. Postoje dva pristupa sustavu automatskog upravljanja, centralizirani pristup koji karakterizira niz spojenih senzora i aktuatora povezanih sa upravljačkom jedinicom preko komunikacijskih protokola. Takav način upravljanja je stariji i ne može pratiti današnje zahtjeve za napredne sustave upravljanja rasvjetom. Danas se razvija drugi moderniji pristup upravljanju, tzv. decentralizirani pristup. Takav pristup karakteriziraju čvorovi

povezani u upravljačku mrežu. Nema centraliziranog upravljanja, nego svaki čvor ima svoju upravljačku funkciju i veći naglasak je na prijenosu informacija, [8].

Sl.4.2 Elementi naprednog sustava upravljanja rasvjetom, [10]

Važan pokazatelj energetske učinkovitosti unutarnje rasvjete je indeks LENI (eng. Lighting Energy NumericIndicator) odnosno brojčani pokazatelj energije rasvjete. LENI se definira kao omjer ukupne godišnje potrošnje energije za rasvjetu i površine objekta koji se promatra. Više o samom indeksu LENI biti će riječi u sljedećem poglavlju. Kako bi se proračunao indeks LENI potrebno je odvojeno mjeriti energiju potrebnu za rad rasvjete. Postoji nekoliko načina za mjerenje energije rasvjete. Neke od njih su pomoću brojila za rasvjetne krugove, pomoću lokalnih watmetara, pomoću sustava za upravljanje rasvjetom građevine (engl. Building Management System - BMS) te ostalih sustava za upravljanje rasvjetom. Težnja je da indeks LENI bude što manji jer to označava učinkovitiju rasvjetu, odnosno manja je potrošnja energije rasvjete za istu razinu rasvjete. To se postiže određenim načinom upravljanja rasvjetom ili odabirom odgovarajućih rasvjetnih tijela, [8].

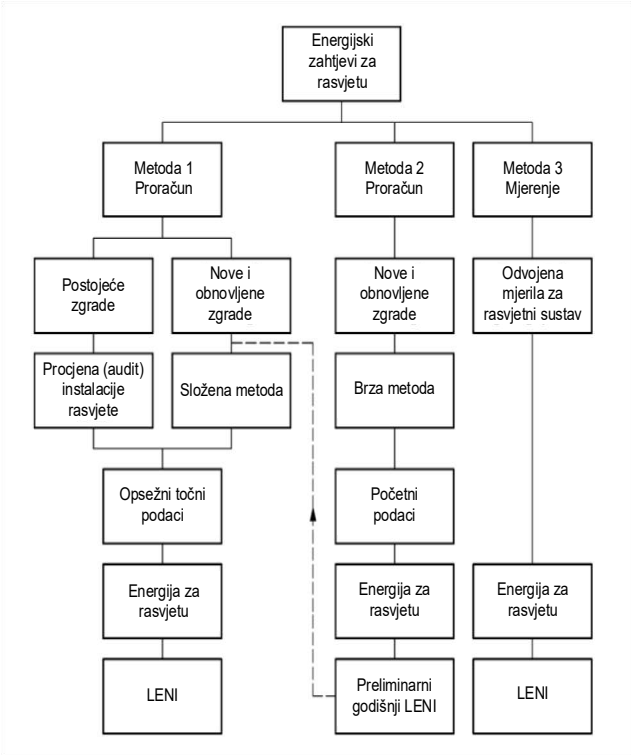
5. SUSTAV UPRAVLJANJA RASVJETOM PREMA NORMI EN 15193:2017

Navedena norma donesena je radi uspostavljanja konvencija i procedura za procjenu energijskih potreba za rasvjetu u zgradama te radi određivanja brojčanog pokazatelja energije rasvjete (LENI). Osim navedenog, norma daje i upute za uspostavljanje nacionalnih ograničenja za energiju potrebnu za napajanje rasvjete. Kao što je i rečeno u prethodnom poglavlju u svezi određivanja indeksa LENI potrebno je odvojeno mjerenje potrošnje energije za rasvjetu. Norma daje određene upute i savjete i za odvojeno mjerenje energije rasvjete, [11].

Prethodno izdanje norme, iz 2008 govori o brojčanim pokazateljima energije rasvjete te o učinkovitosti rasvjete. U odnosu na prethodno izdanje,novije izdanje norme iz 2017 ima određene promjene u vidu proširenja metoda izračuna, uključivanje rasvjete za stambene zgrade i još neke značajnije uređivačke promjene, [11].

Norma navodi i metodologiju za procjenu energijskih potreba sustava rasvjete u stambenim i nestambenim zgradama te za izračun ili mjerenje iznosa potrebne ili potrošene energije u zgradama. Metoda se primjenjuje bilo za nove, postojeće ili obnovljene zgrade, [11].

Na sljedećoj slici može se vidjeti struktura izračuna energijskih potreba za rasvjetu.



Sl.5.1 Metode izračuna energijskih potreba za rasvjetu, [11]

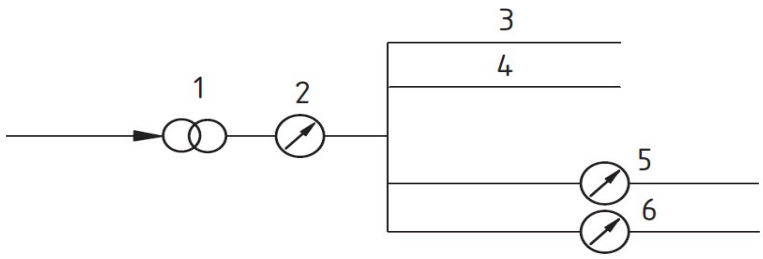
Na prethodnoj slici vide se tri metode za izračun energijskih pokazatelja rasvjete. Ove tri metode imaju različitu razinu točnosti instalirane snage, procjene boravka i dostupne dnevne svjetlosti. Metoda 1 ima najtočniju proceduru proračuna (složena metoda). Metoda 2 se još naziva i brza metoda, a služi za brzu procjenu energetskog pokazatelja upotrebljavajući tablice koje norma donosi, a upotrebljavaju se većinom prije izvedbe. Osim spomenute dvije metode za proračune, postoji i treća metoda odnosno metoda mjerenja. Ona pruža najtočnije informacije o energiji za rasvjetu, ali upotrebljava se tek kada je zgrada ili objekt završen i useljen, [11].

Metoda 3 –mjerenje

Ova metoda se koristi za mjerenje potrošnje električne energije za rasvjetu, a upotrebljava se tamo gdje je moguće odvojeno mjerenje električne energije samo za rasvjetu. Također se upotrebljava u zgradama gdje postoji upravljački sustav zgrade BMS (engl. Building Management System). Postoji nekoliko metoda za mjerenje električne energije za rasvjetu, a to su: brojilom električne energije u krugu rasvjete, lokalnim vatmetrima, automatskim sustavom za upravljanje rasvjetom koji može izračunati utrošenu električnu energiju za rasvjetu i dostaviti podatke BMS-u, sustavom za upravljanje koji izračunava potrošenu energiju po djelu zgrade i sustavom za upravljanje rasvjetom koji ima mogućnost zapisivanja vremena rada rasvjete i razinu intenziteta rasvjete. Pored ovih nabrojanih metoda za mjerenje energije rasvjete postoji i daljinsko mjerenje, ali samo u onim zgradama koje imaju posebnu instalaciju za napajanje rasvjete građevine, [11].

Sljedeća slika prikazuje zgradu s odvojenim strujnim krugovima rasvjete po katovima

1. napajanje zgrade
2. Brojilo ukupne energije
3. Strujni krug 1
4. Strujni krug 2
5. Brojilo – rasvjeta krug 1
6. Brojilo – rasvjeta krug 2



Sl.5.2 Odvojeno mjerenje energije rasvjete po katovima, [11]

Energija potrošena za rasvjetu W_t u nekom vremenskom periodu (koraku) t_s dobiva se s mjernog uređaja. Ukupna izmjerena energija dobiva se prema sljedećem izrazu, [11]:

$$W_{mt} = \sum W_t \, [\frac{kW}{t_s}] \tag{5-1}$$

Godišnja utrošena energija za rasvjetu dobiva se pomoću sljedećeg izraza

$$W = \sum \left(\frac{8760}{t_s} \times W_{mt}\right) \quad [\frac{kW}{godišnje}] \tag{5-2}$$

Metoda 2 - Brza metoda

Brza metoda za izračun brojčanog pokazatelja rasvjete se najčešće koristi unutar samog projekta prije izvođenja radova, temelji se na očitavanju podataka iz tablica i s odgovarajućim izabranim rasvjetnim tijelima. Nakon iščitanih podataka pristupa se izračunu LENI indeksa. Brza metoda manje je točna u odnosu na složenu metodu i daje veće vrijednosti LENI indeksa, [11].

Godišnja električna energija potrebna za rasvjetu nekog područja (površine) dobiva se prema izrazu:

$$W_{az} = LENI_{sub} \times A_i \quad [\frac{kW}{godišnje}] \tag{5-3}$$

$LENI_{sub}$ - LENI indeks za određenu zonu ili površinu

A_i - ukupna korisna površina poda određenog područja

Sljedeći izraz daje izračun brzom metodom LENI indeksa za određeno područje

$$LENI_{sub} = \sum\{F_c \times (P_j/1000) \times F_o[(t_D \times F_D) + t_N]\} + 1{,}0 + 1{,}5 \left[\frac{kWh}{m^2} godišnje\right] \tag{5-4}$$

Gdje je:

P_j - gustoća snage $[W/m^2]$

t_N - vrijeme uporabe bez dnevnog svjetla

F_c - faktor konstantosti rasvjete

F_o - koeficijent ovisnost i boravku

F_D - koeficijent ovisnost o dnevnom svjetlu

t_D - vrijeme uporabe pri dnevnom svjetlu

Sljedeći izraz daje ukupan LENI za sve prostorije:

$$LENI = \frac{\sum_{i=1}^{n} (LENI_{sub} \cdot A_i)}{A} \tag{5-5}$$

A – ukupna površina zgrade

n – broj područja koja ulaze u proračun

Sljedeća slika prikazuje standardne vrijednosti potreba za energijom za rasvjetu. U navedenoj tablici na slici nalaze se referentne vrijednosti za energiju rasvjete, a prilikom izrade novih ili rekonstrukcije postojećih zgrada iz skupa referentnih vrijednosti iščitati energetske pokazatelje rasvjete. Navedeni podaci samo su procjena, prilikom izračuna mogu znatno varirati u odnosu na date podatke na slici, [11].

				P_n	t_D	t_N	F_C		F_O		F_D		Bez CTE		Sa CTE	
													LENI	LENI	LENI	LENI
													Limit. vrijednost		Limit. vrijednost	
	Klasa kvalitete	Parazitna energija: Nužna rasvjeta kWh/ (m^2/god.)	Parazitna energija Kontrola kWh/ (m^2/god.)	W/m^2	h	h	Bez CTE	Sa CTE	RK	AK	RK	AK	RK	AK	RK	AK
													kWh/(m^2/god.)		kWh/(m^2/god.)	
Uredi	*	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
Obrazovne ustanove	*	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
Bolnice	*	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	114,0
Hoteli	*	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
Restorani	*	1	5	10	1250	1250	1	0,9	1	1	1	-	29,6	-	27,1	-
	**	1	5	25	1250	1250	1	0,9	1	1	1	-	67,1	-	60,8	-
	***	1	5	35	1250	1250	1	0,9	1	1	1	-	92,1	-	83,3	-
Sportski objekti	*	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 centri	*	1	5	15	3000	2000	1	0,9	1	1	1	-	78,1	-	70,6	-
	**	1	5	25	3000	2000	1	0,9	1	1	1	-	128,1	-	115,6	-
	***	1	5	35	3000	2000	1	0,9	1	1	1	-	178,1	-	160,6	-
Tvornički pogoni	*	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	105,0

Sl.5.3 Tablica procijenjenih vrijednosti energetskih pokazatelja rasvjete, [11]

Kratice u tablici:

LENI - numerički indikator energije rasvjete,

P_N - instalirana gustoća ulazne snage rasvjete u zgradi [W/m^2],

CTE - primjena sustava automatske kontrole konstantne rasvijetljenosti,

RK - ručna kontrola rasvjete,

AK - automatska kontrola rasvjete.

Povećanjem klase kvalitete rasvjete poboljšavaju se uvjeti udobnosti korisnika, kao i njihovo zadovoljstvo, značajno raste potrebna gustoća instalirane snage rasvjete a s njom i LENI. Mogućnost smanjena LENI indeksa a da pri tome se ne smanji kvaliteta rasvjete su smanjene koeficijenata F_c , F_o, F_D odnosno što bolje iskorištenje dnevnog svjetla i što bolje upravljanje radom rasvjete, [11].

Sljedeća slika prikazuju tablicu standardnog godišnjeg broja sati rada rasvjete.

Vrste zgrada	Standardni godišnji broj sati rada rasvjete		
	Dan - t_D	Noć - t_N	Ukupno - t_O
Stambene zgrade	1820	1680	3 500
Uredi	2 250	250	2 500
Obrazovne ustanove	1 800	200	2 000
Bolnice	3 000	2 000	5 000
Hoteli	3 000	2 000	5 000
Restorani	1 250	1 250	2 500
Sportski objekti	2 000	2 000	4 000
Prodajni centri	3 000	2 000	5 000
Tvornički pogoni	2 500	1 500	4 000

Sl.5.4 Standardni godišnji broj sati rada rasvjete, [11]

Sljedeća slika prikazuje standardne vrijednosti koeficijenta ovisnosti o dnevnom svjetlu.

Vrsta zgrade	Vrsta upravljanja	F_D
Uredi, sportski objekti, tvornički pogoni	Ručno	1,0
	Dimanje fotoćelijom - sa senzorom dnevnog svjetla	0,9
Restorani, prodajni centri	Ručno	1,0
Obrazovne ustanove, bolnice	Ručno	1,0
	Dimanje fotoćelijom - sa senzorom dnevnog svjetla	0,8

Sl.5.5 Standardne vrijednosti koeficijenta ovisnosti o dnevnom svjetlu, [11]

Standardne vrijednosti koeficijenta F_o ovisno o vrsti na namjeni zgrada i primjenjemom sustavu upravljanja rasvjetom prikazane su sljedećom slikom, [11].

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 automatsko)	0,8

Sl.5.6. Standardne vrijednosti koeficijenata ovisnosti o boravku, [11]

Metoda 1 - Složena metoda

Složena metoda je točnija u odnosu na brzu metodu, daje točan izračun brojčanog pokazatelja energije rasvjete za godišnja ili mjesečna razdoblja.

Ukupna procijenjena energija dobiva se kao zbroj parazitne energije $W_{P,t}$ i energije za zadovoljenje svrhe i funkcije rasvjete građevine $W_{L,t}$, kao što i prikazuje sljedeća relacija

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{5-6}$$

Brojčani pokazatelj energije rasvjete LENI dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$\text{LENI} = \frac{\text{W}}{\text{A}}[kWh/m^2 godišnje] \tag{5-7}$$

Procjenje električna energija za zadovoljenje i svrhu rasvjete građevine dobiva se prema sljedećem izrazu

$$W_{L,t} = \frac{\sum (P_n \cdot F_c) \cdot F_0 \left[(t_D \cdot F_D) + t_N \right]}{1000} \tag{5-8}$$

Procijenjena parazitna energija koja je potrebna za punjenje baterija, sigurnosnu rasvjetu te za pripravnost sustava za upravljanje rasvjetom prikazana je sljedećim izrazom

$$W_{P,t} = \frac{\sum \left[(P_{PC} \cdot t_s) + (P_{em} \cdot t_e) \right]}{1000} \tag{5-9}$$

gdje je:

P_{PC}–ukupna instalirana parazitna snaga kada svjetiljke ne rade

t_s - vremensko razdoblje

P_{em} – ukupna instalirana snaga punjenja sigurnosne rasvjete

t_e - vrijeme punjenja baterija

Složena metoda podrazumijeva potpunu procjenu koeficijenata ovisnosti o dnevnom svjetlu kao i koeficijenata ovisnosti o boravku što se dobiva računanjem za razliku od brze metode kod koje su se navedeni parametri iščitavali iz tablice, [11].

Koeficijent ovisnosti o dnevnom svjetlu dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \times F_{D,C,n}) \tag{5-10}$$

Gdje je

$F_{D,S,n}$ - koeficijent dostupnosti dnevnog svjetla

$F_{D,C,n}$ - koeficijent sposobnosti sustava za iskorištavanje dnevnog svjetla

$$F_{D,S} = \alpha + b \cdot \gamma_{Položaj} \tag{5-11}$$

Rasvjetljenost prostora	Utjecaj dnevnog svjetla	a	b
[lux]			
300	slab	1,242 5	-0,011 7
	srednji	1,309 7	-0,010 6
	snažan	1,290 4	-0,008 8
500	slab	0,943 2	-0,009 4
	srednji	1,242 5	-0,011 7
	snažan	1,322 0	-0,011 0
750	slab	0,669 2	-0,006 7
	srednji	1,005 4	-0,009 8
	snažan	1,281 2	-0,012 1

Sl.5.7 Koeficijenti za izračun koeficijenta opskrbe dnevnim svjetlom, [11]

Prema prodoru dnevnog svjetla u prostor određene potrebne rasvijetljenosti i geografskog položaja dobiva se koeficijent opskrbe dnevnim svjetlom.

Upravljanje rasvjetom	Prodor dnevnog svjetla		
	Slab	Srednji	Snažan
Ručno	0,20	0,30	0,40
Automatski	0,75	0,77	0,85

Sl.5.8 Korekcijski koeficijent $F_{D,C,n}$, [11]

Određivanje koeficijenta ovisnosti o boravku

Koeficijent ovisnosti o boravku biti će jednak 1 ukoliko je prostor veći od 30 m^2 te ukoliko se rasvjeta uključuje centralno za više od jedne prostorije. Koeficijent će biti manji od 1 u

prostorijama za sastanke bez centralnog uključivanja te u području koji ima kontrolu rasvjete uz pomoć detekcije prisutnosti (senzora), [11].

Za iznad navedene slučajeve koeficijent F_O računa se prema sljedećim izrazima:

$$\text{Za } 0{,}0 \leq F_A < 0{,}2 \quad F_O = 1 - [(1 - F_{OC}) \times \frac{F_A}{0{,}2}]$$

$$\text{Za } 0{,}2 \leq F_A < 0{,}9 \quad F_O = F_{OC} + 0{,}2 - F_A$$

$$\text{Za } 0{,}9 \leq F_A \leq 1{,}0 \quad F_O = [7 - 10 \times F_{OC}] \times (F_A - 1) \tag{5-12}$$

Gdje je $F_A$udio vremena u kojem je prostor bez prisutnosti ljud, navedeni koeficijent se kreće između 0 i 1.

F_{OC} – koeficijent ovisnosti o tipu sustava kontrole rasvjete

Slika ispod prikazuje koeficijent F_{OC} za različite sustave kontrole rasvjete.

Sustavi bez automatske detekcije prisutnosti i/ili odsutnosti	**F_{OC}**
Ručno uključenje / isključenje sklopke	1,00
Ručno uključenje / isključenje sklopke + dodatni automatski signal za isključenje rasvjete noću	0,95
Sustavi sa automatskom detekcijom prisutnosti i/ili odsutnosti	**F_{OC}**
Automatsko uključenje / dimanje	0,95
Automatsko uključenje / automatsko isključenje	0,90
Ručno uključenje / dimanje	0,90
Ručno uključenje / automatsko isključenje	0,80

Sl.5.9 Koeficijent F_{OC}za različite sustave kontrole rada rasvjete, [11]

Norma daje tablicu iz koje se iščitava koeficijent F_A za prostorije različitih namjena, kao i za zgrade, obrazovne ustanove, tvornice te ostale objekte. Slika ispod prikazuje navedenu tablicu.

Proračun za cijelu zgradu		Proračun za pojedinu prostoriju u zgradi	
Tip zgrade	F_A	Tip prostorije	F_A
Uredi	0,2	Zatvoreni ured - 1 osoba	0,4
		Zatvoreni ured - 2-6 osoba	0,3
		Otvoreni ured >6 osoba / 30 m²	0
		Otvoreni ured >6 osoba / 10 m²	0,2
		Hodnik	0,4
		Ulazni hodnik	0
		Izložbeni prostor	0,6
		Kupaonica	0,9
		Sanitarni čvor	0,5
		Ostava / svlačionica	0,9
		Kotlovnica	0,98
		Kopiraonica / server soba	0,5
		Konferencijska dvorana	0,5
		Arhiva	0,98
Obrazovne ustanove	0,2	Učionica	0,25
		Prostorija za grupne aktivnosti	0,3
		Hodnik	0,6
		Zajednička prostorija	0,5
		Predavaonica	0,4
		Prostorija za osoblje	0,4
		Sportska dvorana	0,3
		Blagovaonica	0,2
		Zbornica	0,4
		Kopiraonica / ostava	0,4
		Kuhinja	0,2
		Knjižnica	0,4
Bolnice	0	Bolnička soba	0
		Ambulantna obrada / dijagnostika	0,4
		Predoperacijska soba	0,4
		Postoperativni postupak	0
		Operacijska sala	0
		Hodnik	0
		Tehnički koridori	0,7
		Čekaonica	0
		Ulazni hodnik	0
		Dnevna soba	0,2
		Laboratorij	0,2

Proračun za cijelu zgradu		Proračun za pojedinu prostoriju u zgradi	
Tip zgrade	F_A	Tip prostorije	F_A
Tvornički pogoni	0	Radni pogon / hala	0
		Radionica	0,2
		Zatvoreni skladišni prostor	0,4
		Otvoreni skladišni prostor	0,2
		Lakirnica	0,2
Hoteli i restorani	0	Ulazni hodnik, recepcija	0
		Hodnik	0,4
		Hotelska soba	0,6
		Blagovaonica / restoran / bar	0
		Kuhinja	0
		Konferencijska dvorana	0,4
		Ostava / Spremište	0,5
Veleprodajni i maloprodajni centri	0	Prodajna zona	0
		Skladišta (lokalna)	0,2
		Skladišta, hladnjače	0,6
Ostalo		Čekaonice	0
		Stubišta	0,2
		Kazališne dvorane i auditoriji	0
		Kongresne / izložbene dvorane	0,5
		Muzeji / izložbeni prostori	0
		Knjižnice / čitaonice	0
		Knjižnice / arhive	0,9
		Sportske dvorane	0,3
		Privatne garaže	0,95
		Javne garaže	0,8
Stambene zgrade	0	Dnevna soba	
		Spavaća soba	0,3
		Dječja soba ili soba za umirovljenike	0,4
		Blagovaonica	0,3
		Kuhinja	0,7
		Kupaonica	0,6
		Toalet (WC)	0,8
		Ulazni hodnik	0,9
		Hodnik, stubište	0,8
		Ostava	0,7
		Podrum	0,9
		Prostorija za rublje	0,95
		Ostava	0,98
		Radna soba	0,98
		Radionica	0,6
		Garaža	0,8
			0,95

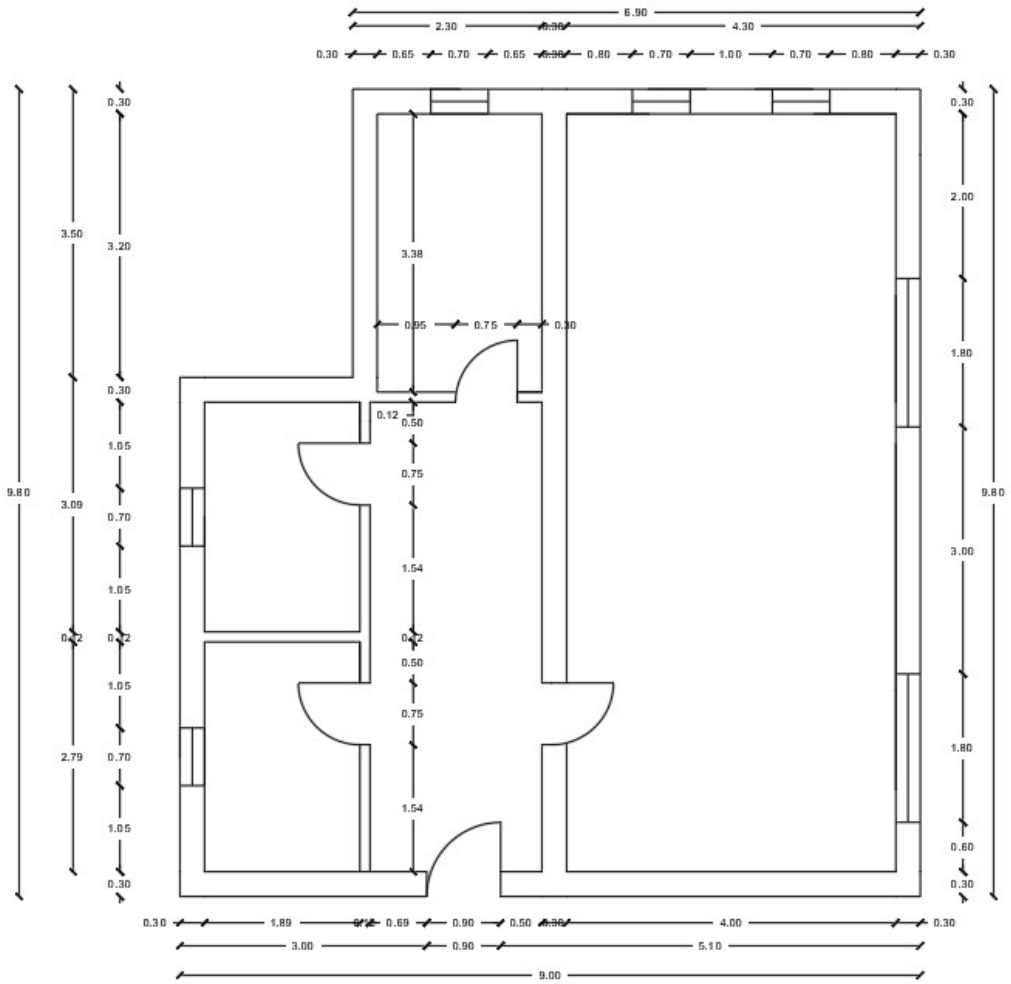
Sl.5.10 Određivanje koeficijenta F_A, [11]

6. PRORAČUN ENERGIJE RASVJETE NA PRIMJERU JEDNE ETAŽE ZGRADE U PROGRAMU RELUX DESKTOP

U ovom poglavlju prikazan je primjer proračuna rasvjete uz pomoć simulacijskog programa Relux desktop. Za primjer izabran je objekt jedne etaže zgrade čija je glavna namjena izvođenje tečajeva za djecu i odrasle te poduke i instrukcije za učenike i studente. S obzirom na namjenu proračun rasvijetljenosti usklađen je s pripadajućim normama. U sljedećem odjeljku prikazan je proračun rasvijetljenosti u simulacijskom programu.

6.1. Proračun rasvijetljenosti

Prije samog rada i izvođenja simulacija u programu Relux potrebno je nacrtati tlocrt pripadajuće etaže zgrade u programu AutoCad. Tlocrt je prikazan na slici 6.1. Na slici su prikazane sve potrebne dimenzije objekta.

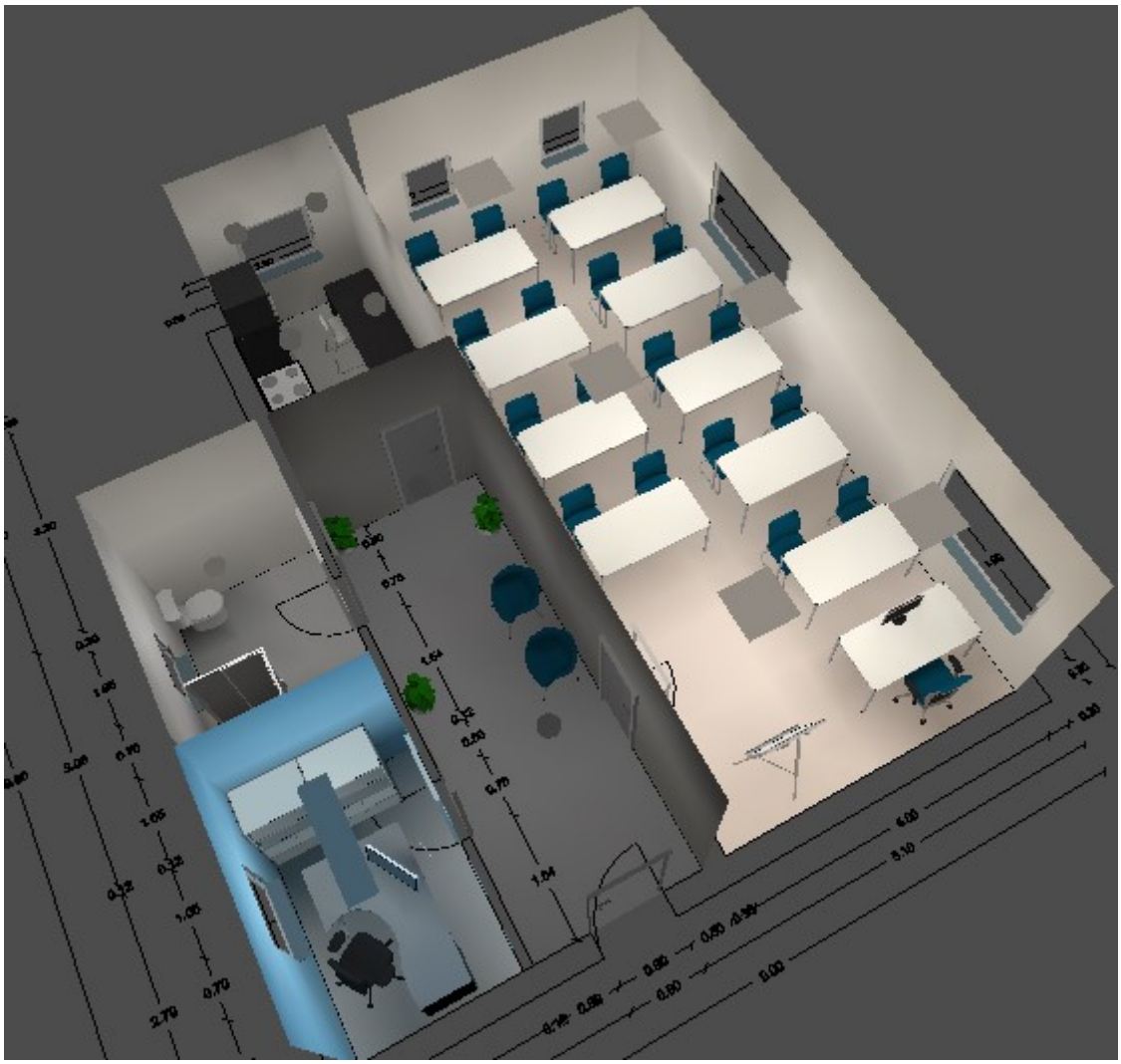


Sl.6.1 Tlocrt etaže zgrade izrađen u programu Autocad.

Tlocrt izrađen u AutoCadu potrebno je implementirat u Relux, odnosno .dwg datoteku ubacit u Relux softver. U Reluxu je dizajniran i interijer svih prostora. Tlocrt rasporeda interijera prikazan je na sljedećoj slici 6.2.

Sl.6.2 Tlocrt s rasporedom interijera

Sljedeća slika prikazuje 3D prikaz svih prostorija s rasporedom interijera.



Sl.6.3 3D prikaz prostorija s rasporedom namještaja

Etaža se sastoji od 5 prostorija različitih namjena. Sastoji se od predavaonice gdje se izvode tečajevi, poduke i instrukcije za učenike, studente i odrasle. Čajna kuhinja za djelatnike, zajednički sanitarni čvor, hodnik i prostorija uredske namjene koja osim za potrebe administracije, poslovanja služi i u svrhu arhiviranja dokumenata u djelatnosti objekta čiji je naziv Privatna škola.

Za ove prostore u svrhu što učinkovitije rasvjete izabrana je LED rasvjeta za svaki prostor. Izabrana rasvjetna tijela po prostorijama su:

Uredski prostor:

Proizvođač: Integral LED
Tipska oznaka: ILP 1230B 004
Naziv svjetiljke: Evo panel

Br.kom: 1

Žarulje: 1xLED 36 W/3600 lm

Čajna kuhinja:

Proizvođač: Integral LED

Tipska oznaka: ILBHA001

Naziv svjetiljke: Tough – ShellBulkhead

Br.kom: 4

Žarulje:1xLED 12W/ 924 lm

Hodnik:

Proizvođač: FRISCH- Licht

Tipska oznaka: ADL 2235A. 1583/S chaltbar, LED modul 18W

Naziv svjetiljke: LED – Aufbau-Downlight

Br.kom: 2

Žarulje: 1xLED 18W/1500 lm

Sanitarni čvor

Proizvođač: FRISCH- Licht

Tipska oznaka: EDL 2265A. 2864DA/DALI, LED modul 30W

Naziv svjetiljke: LED – Einbau – Downlight

Br. kom. 1

Žarulje: 1xLED 30W/ 2600 lm

Predavaonica

Proizvođač: Aurora

Tipska oznaka: EN – TF6060/40

Naziv svjetiljke: DuoLite™ 30W 600x600 Troffer

Br. kom: 6

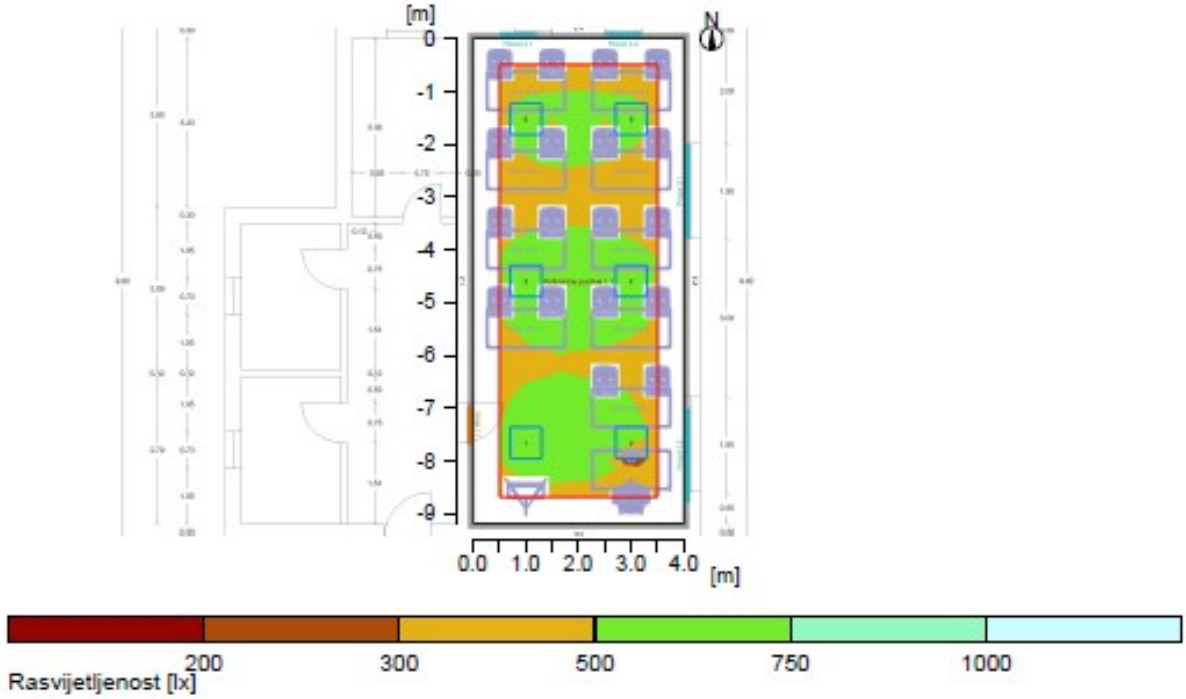
Žarulje: 1xLED 30 W / 3000 lm

Ukupno je upotrijebljeno 14 rasvjetnih tijela za sve prostorije. Ukupna površina cijele etaže iznosi 66 m^2. Ukupna instalirana snaga svih rasvjetnih tijela iznosi 330W.

6.1.1. Proračun rasvijetljenosti umjetnom rasvjetom po prostorijama

U ovom odjeljku prikazan je proračun rasvijetljenosti izvođenjem simulacija u programu Relux. U prvom slučaju razmatrana je rasvijetljenost ukoliko se koristi samo umjetna rasvjeta bez utjecaja dnevnog svjetla. Sljedeće slike prikazuju rasvijetljenost po prostorijama.

Predavaonica



Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	18000.00 lm
Ukupna snaga	180.0 W
Ukupna snaga po površini (36.80 m²)	4.89 W/m² (1.01 W/m²/100lx)

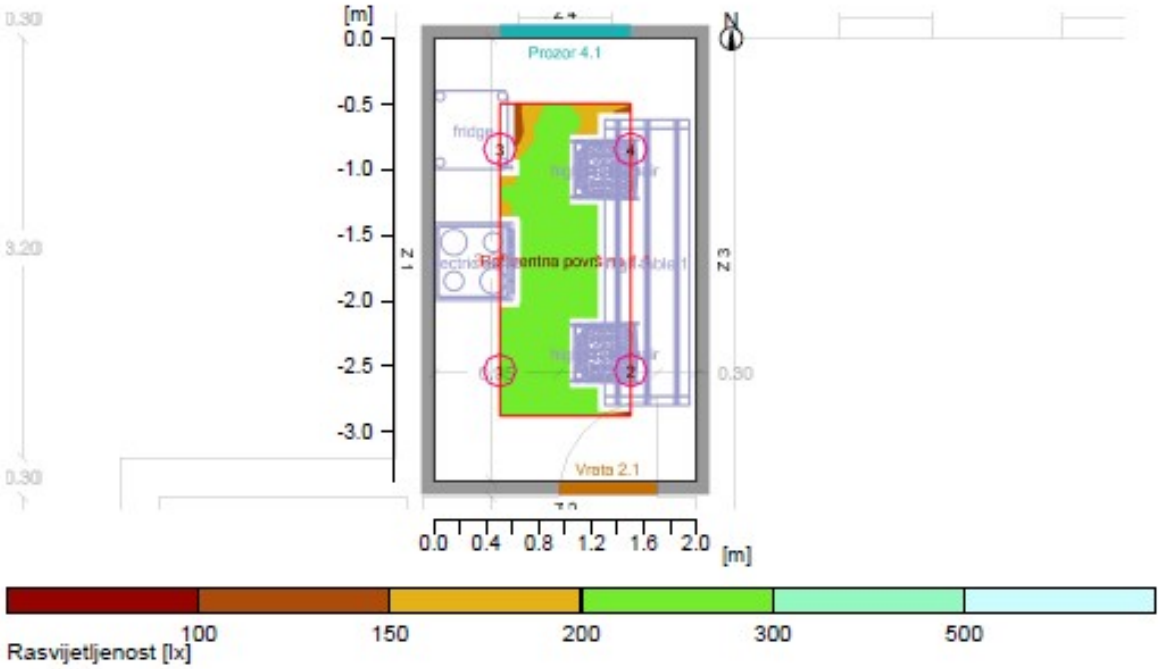
Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	484 lx
Emin	281 lx
Emin/Em (Uo)	0.58
Emin/Emaks (Ud)	0.50
UGR (2.5H 5.8H)	<=17.4
Pozicija	0.75 m

Sl.6.4. Prikaz rasvijetljenosti umjetne rasvjete za predavaonicu

S obzirom da se u predavaonici osim instrukcija i poduka izvode i tečajevi za djecu i odrasle većinom u večernjim terminima, stoga je izabrana rasvjeljenost između 300 i 500 lx prema normi

HRN EN 12464-1. Prosječna rasvijetljenost iznosi 484 lx što zadovoljava zahtjevima norme. Korišteno je ukupno 6 rasvjetnih tijela uz ukupnu instaliranu snagu od 180W. Prema zakonu o odgoju i obrazovanju predviđena je visina predavaonice od 3 m, u primjeru je korišten spušteni strop te je visina svjetiljke 2.8 m.

Čajna kuhinja



Općenito

Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	3696.00 lm
Ukupna snaga	48.0 W
Ukupna snaga po površini (6.76 m²)	7.10 W/m² (3.17 W/m²/100lx)

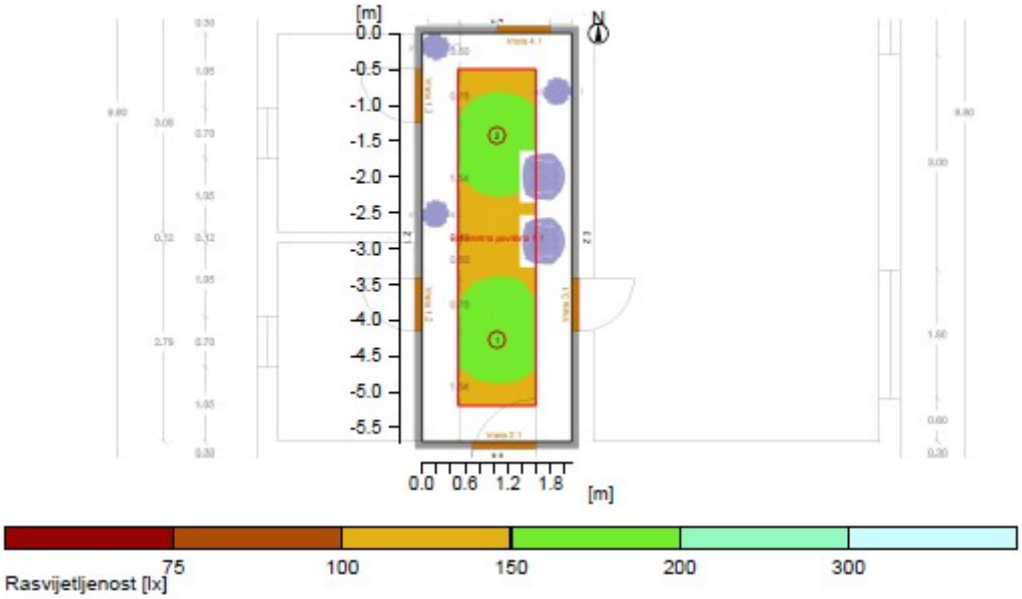
Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	224 lx
Emin	184 lx
Emin/Em (Uo)	0.82
Emin/Emaks (Ud)	0.75
UGR (1.3H 2.2H)	<=18.9
Pozicija	0.75 m

Sl.6.5. Prikaz rasvijetljenosti čajne kuhinje umjetnom rasvjetom

Za čajnu kuhinju predviđena je rasvijetljenost od 200 do 250 lx prema istoj normi HRN EN 12464-1. Čajna kuhinja ne pripada kategoriji većih kuhinja stoga je potrebna i manja

rasvijetljenost. Prosječna rasvijetljenost nakon izbora rasvjetnih tijela iznosi 224 lx što udovoljava zahtjevima norme za manje čajne kuhinje. Korišteno je ukupno 4 rasvjetna tijela uz ukupnu instaliranu snagu svih rasvjetnih tijela od 48 W.

Hodnik



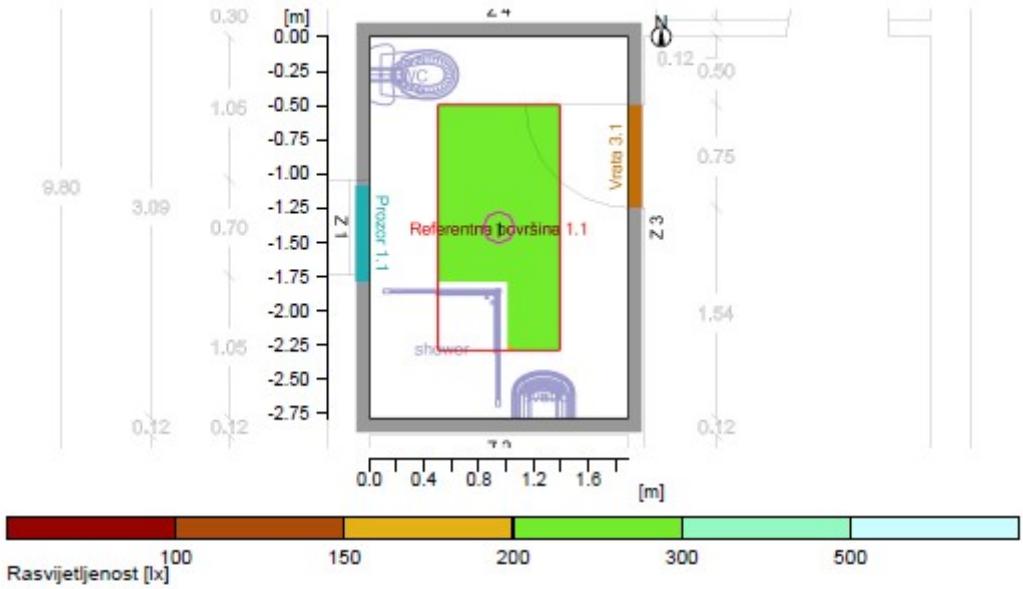
Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	3000.00 lm
Ukupna snaga	36.0 W
Ukupna snaga po površini (11.91 m²)	3.02 W/m² (2.09 W/m²/100lx)

Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	145 lx
Emin	117 lx
Emin/Em (Uo)	0.81
Emin/Emaks (Ud)	0.70
UGR (1.3H 3.6H)	<=22.2
Pozicija	0.75 m

Sl. 6.6. Prikaz rasvijetljenosti hodnika umjetnom rasvjetom

U hodniku nije postavljen niti jedan prozor te nema utjecaja dnevnog svjetla, za što učinkovitiju upotrebu rasvjete biti će postavljen senzor prisutnosti. Norma propisuje rasvijetljenost oko 100 lx, u primjeru korišteno je ukupno 2 rasvjetna tijela i prosječna rasvijetljenost iznosi 145 lx a minimalna 117 lx što udovoljava zahtjevima norme, a ukupna instalirana snaga rasvjetnih tjela iznosi 36 W.

Sanitarni čvor



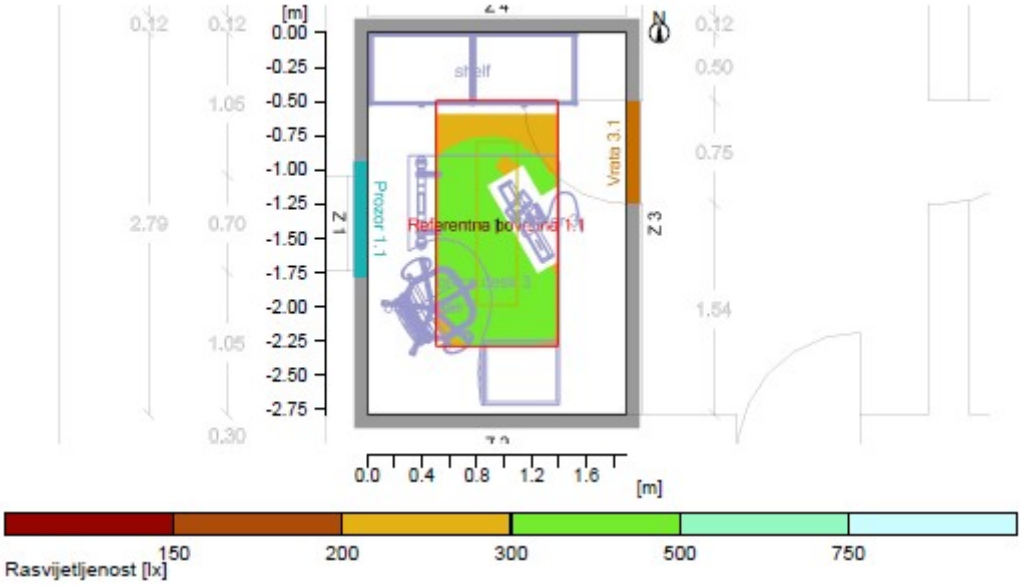
Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	2600.00 lm
Ukupna snaga	30.0 W
Ukupna snaga po površini (5.27 m²)	5.69 W/m² (2.29 W/m²/100lx)

Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	249 lx
Emin	202 lx
Emin/Em (Uo)	0.81
Emin/Emaks (Ud)	0.75
UGR (2.0H 2.0H)	<=23.7
Pozicija	0.75 m

Sl.6.7. Prikaz rasvijetljenosti sanitarnog čvora

Za usklađenost s normom DIN EN 1264 koja za sanitarne čvorove propisuje minimalnu rasvijetljenost od 200 lx. Nakon izbora rasvjetnog tijela, minimalna rasvjeljenost iznosi 202 lx a prosječna 249 lx što udovoljava zahtjevima norme. Snaga rasvjetnog tjela iznosi 30 W. U sanitarnom čvoru rasvjeta ne radi cijelo vrijeme, nego se uključuje u trenutku korištenja sanitarnog čvora što može biti regulirano ručno i automatski.

Uredski prostor



Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Faktor održavanja	0.80
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	3600.00 lm
Ukupna snaga	36.0 W
Ukupna snaga po površini (5.27 m²)	6.83 W/m² (2.21 W/m²/100lx)

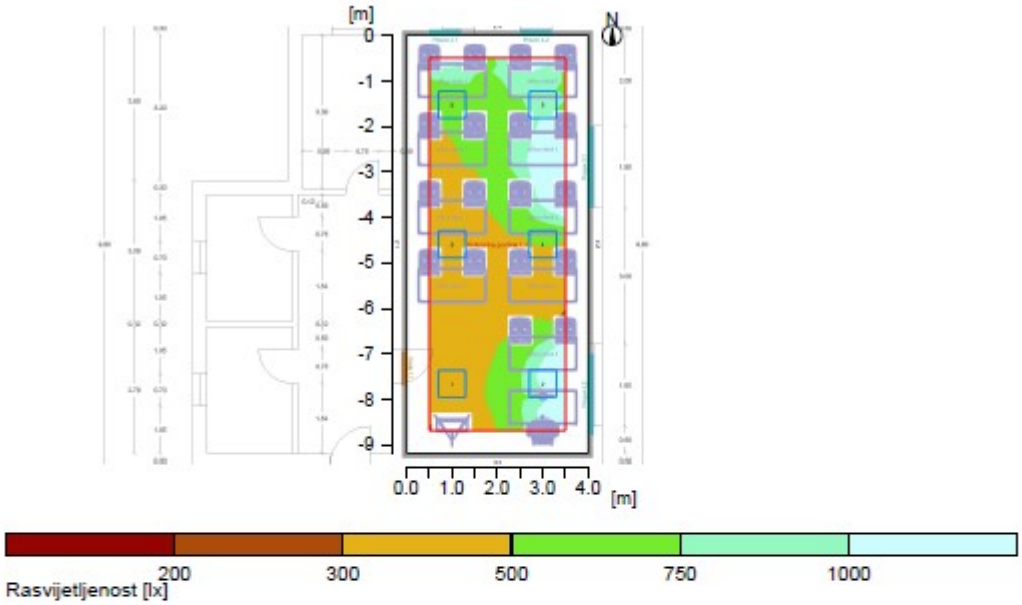
Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	309 lx
Emin	267 lx
Emin/Em (Uo)	0.86
Emin/Emaks (Ud)	0.79
UGR (2.0H 2.0H)	<=17.0
Pozicija	0.75 m

Sl.6.8. Prikaz rasvijetljenosti uredskog prostora

Za uredske prostore veći je zahtjev rasvijetljenosti. Ovaj uredski prostor osim klasičnih poslova administracije, vođenje poslovanja koristi se i za arhiviranje i još neke administrativne poslove što uključuje i komunikaciju sa polaznicima (klijentima). S obzirom na zahtjeve norma propisuje rasvijetljenostod oko 300 lx. U primjeru je korišteno jedno rasvjetno tijelo snage 36 W koje daje prosječnu rasvijetljenost od 309 lx što udovoljava zahtjevima norme.

6.1.2. Rasvijetljenost dnevnim svjetlom po prostorijama

Predavaonica



Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	18000.00 lm
Ukupna snaga	180.0 W
Ukupna snaga po površini (36.80 m²)	4.89 W/m² (0.82 W/m²/100lx)

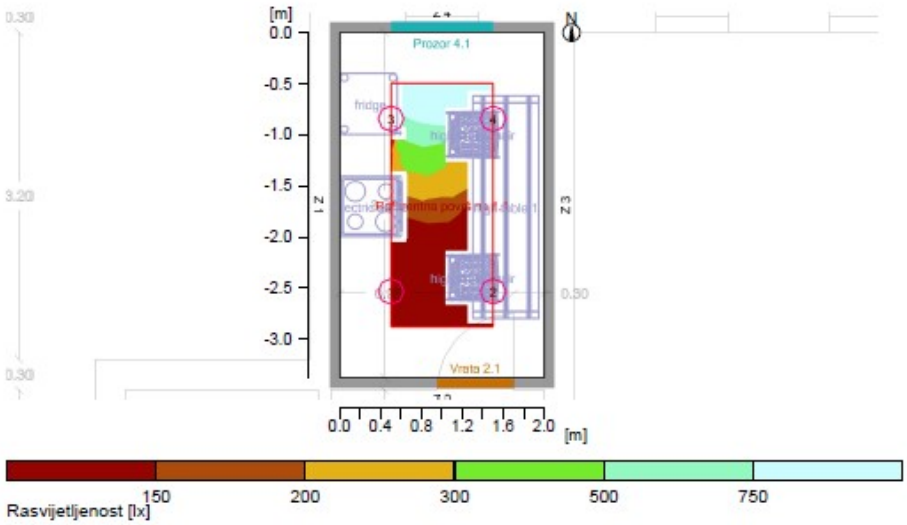
Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	598 lx
Emin	346 lx
Emin/Em (Uo)	0.58
Emin/Emaks (Ud)	0.20
UGR (2.5H 5.8H)	<=17.4
Pozicija	0.75 m

Sl.6.9. Prikaz rasvijetljenosti predavaonice dnevnim svjetlom

Predavaonica sadrži četiri prozora, te koristi veliki izvor dnevnog svjetla za rasvjetljavanje. Prosječna rasvjeljenost dnevnim svjetlom iznosi 598 lx, što je izuzetno dobra rasvijetljenost. U idealnim uvjetima (bez naoblake) tijekom dana nije potrebno korištenje umjetne rasvjete zbog izuzetnog dobrog izvora dnevnog svjetla, sve to donosi učinkovitije korištenje umjetne rasvjete te manju potrošnju električne energije.

Sl.6.10 3D prikaz rasvijetljenosti prostorije dnevnim svjetlom.

Čajna kuhinja



Općenito

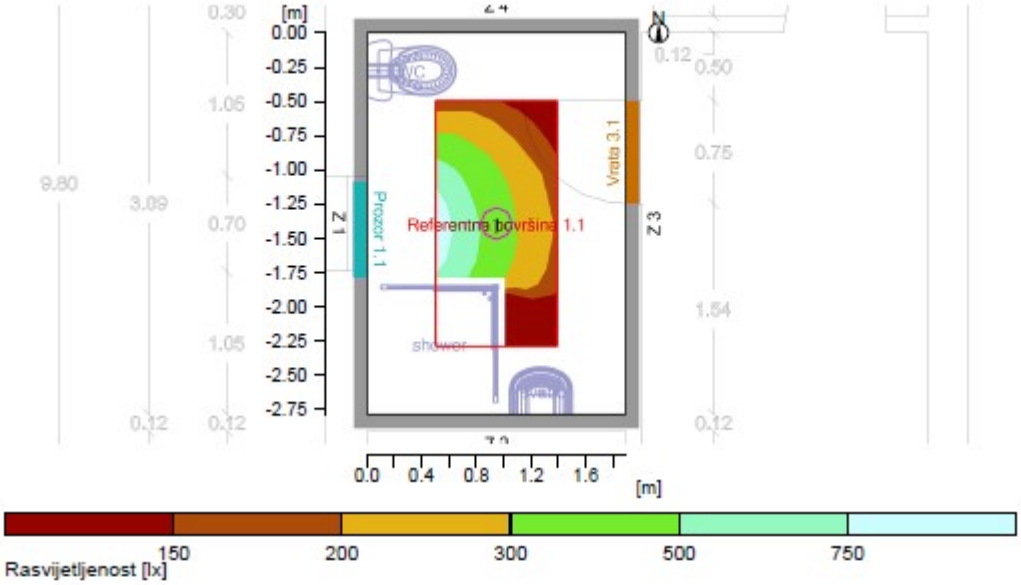
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	3696.00 lm
Ukupna snaga	48.0 W
Ukupna snaga po površini (6.76 m²)	7.10 W/m² (2.35 W/m²/100lx)

Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	303 lx
Emin	31 lx
Emin/Em (Uo)	0.10
Emin/Emaks (Ud)	0.02
UGR (1.3H 2.2H)	<=18.9
Pozicija	0.75 m

Sl.6.11 Prikaz rasvijetljenosti dnevnim sjetlom čajne kuhinje

Čajna kuhinja sadrži jedan prozor, te jedan dio prostorije sadrži rasvijetljenost manju od 150 lx.Stoga se tijekom dana mogu koristiti rasvjetna tijela s nižim intezitetom svjetla.

Sanitarni čvor



Općenito

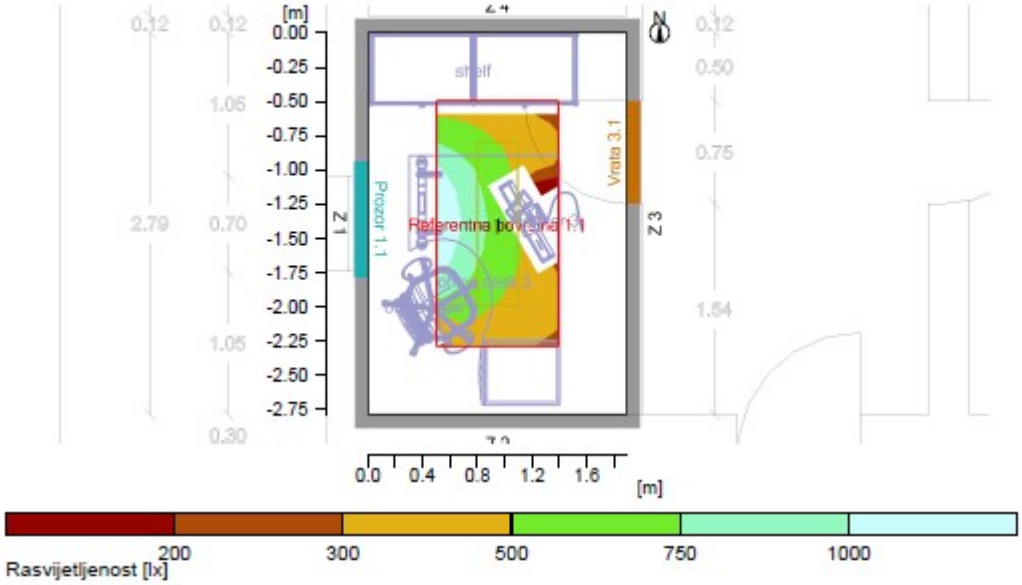
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	3.00 m
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	2600.00 lm
Ukupna snaga	30.0 W
Ukupna snaga po površini (5.27 m²)	5.69 W/m² (1.94 W/m²/100lx)

Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	293 lx
Emin	16 lx
Emin/Em (Uo)	0.05
Emin/Emaks (Ud)	0.02
UGR (2.0H 2.0H)	<=23.7
Pozicija	0.75 m

Sl.6.12. Prikaz rasvijetljenosti sanitarnog čvora dnevnim svjetlom

Prosječna rasvijetljenost dnevnim svjetlom iznosi 293 lx što predstavlja dobro korištenje potencijala dnevnog svjetla, nedostatak je da u nekim djelovim prostorije rasvijetljenost iznosi svega 16 lx, to su većinom kutni djelovi, što ne predstavlja veći problem.

Uredski prostor



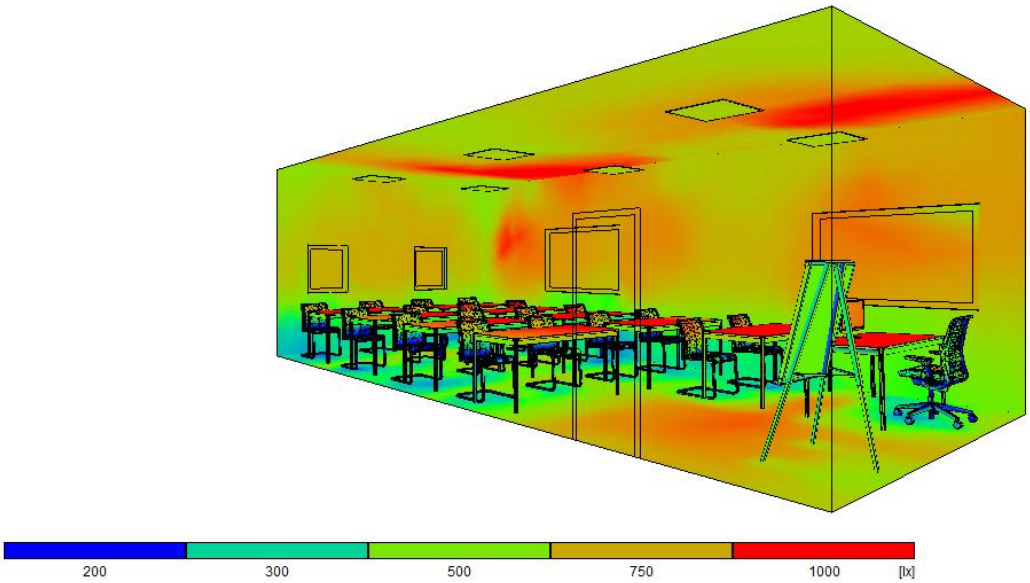
Općenito	
Upotrijebljeni računski algoritam	Svjetiljke s dir.-/indirektnom raspodjelom
Visina svjetiljke	2.80 m
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja	3600.00 lm
Ukupna snaga	36.0 W
Ukupna snaga po površini (5.27 m²)	6.83 W/m² (1.20 W/m²/100lx)

Površina izračuna 1	**Referentna površina 1.1**
	Horizontalno
Eavg	569 lx
Emin	148 lx
Emin/Em (Uo)	0.26
Emin/Emaks (Ud)	0.14
UGR (2.0H 2.0H)	<=17.0
Pozicija	0.75 m

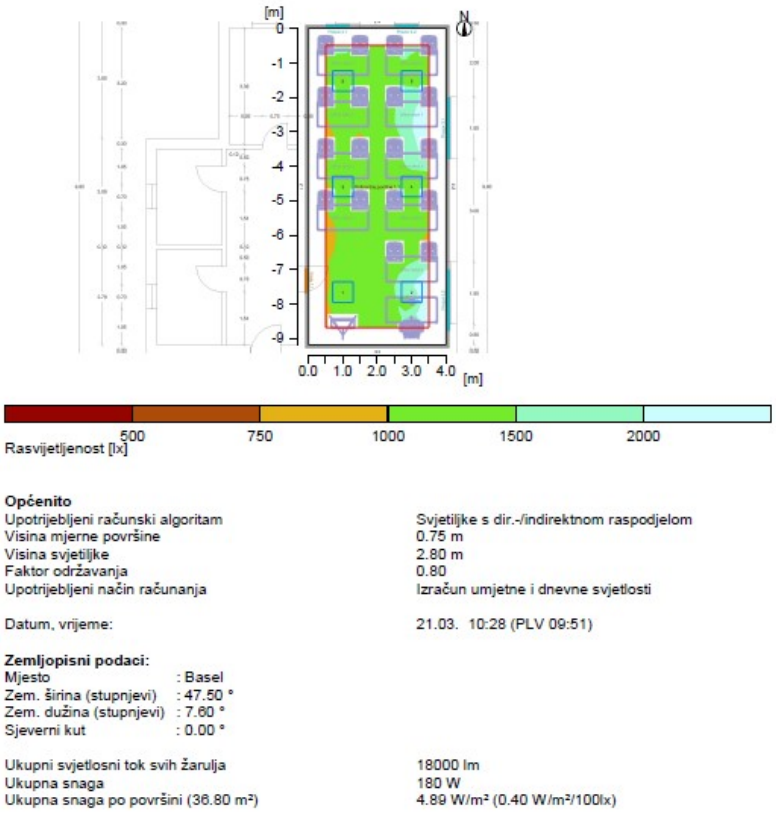
Sl.6.13 Rasvijetljenost dnevnim svjetlom uredskog prostora

Prosječna rasvjetlenost iznosi 569 lx što predstavlja izuzetno dobru rasvijetljenost dnevnim svjetlom, te u idealnim uvjetima (bez naoblake) tijekom dana nije potrebno korištenje umjetne rasvjete što predstavlja manji trošak električne energije i učinkovito korištenje.

6.1.3. Rasvijetljenost predavonice umjetnim i dnevnim svjetlom



Sl.6.14 3D prikaz rasvijetljenosti predavaonice uz istovremeno korištenje dnevnog i umjetnog svjetla.

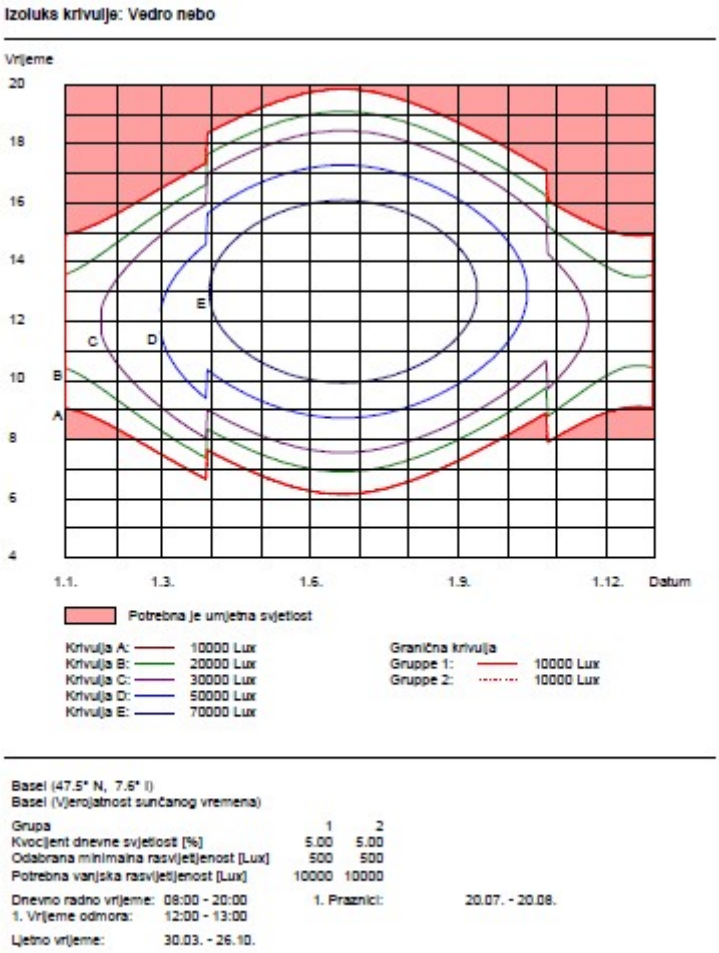


Sl.6.15 Prikaz rasvijetljenosti predavaonice dnevnom i umjetnom rasvjetom

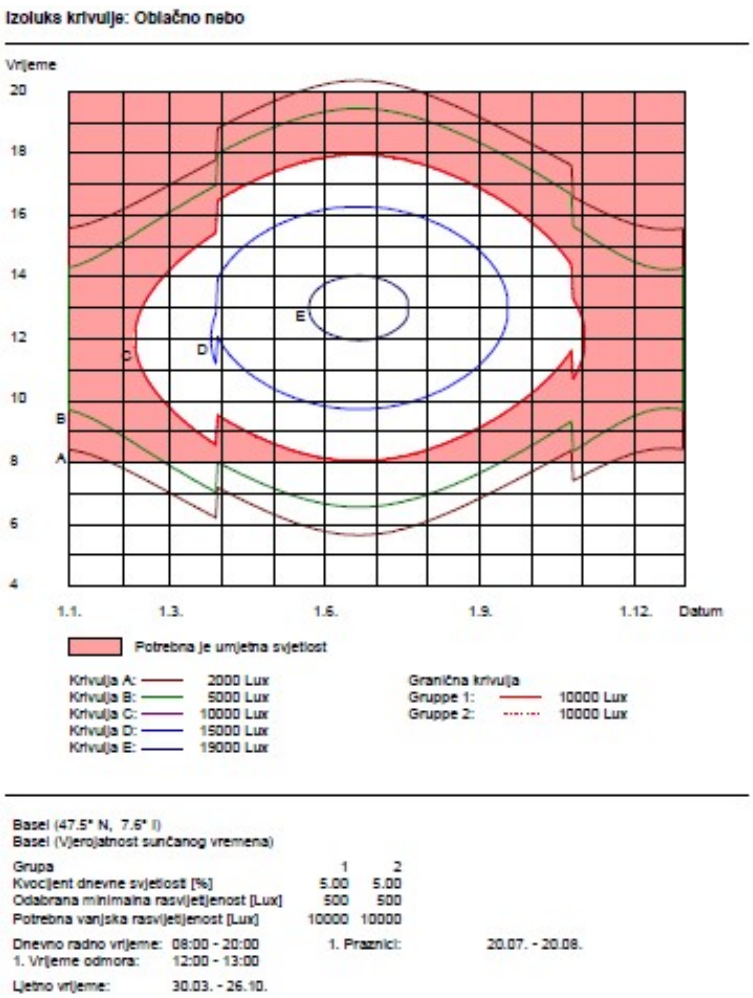
Na prethodnim slikama se vidi rasvijetljenost ukoliko se koristi istovremeno dnevna i umjetna rasvjeta. Rasvijetljenost je vrlo velikog iznosa, te bi takvo korištenje bespotrebno trošilo električnu energiju.

6.2. Utjecaj dnevnog svjetla

Na sljedećim slikama vide se izoluks krivulje za vedro i oblačno nebo. Prema tim krivuljama može se vidjeti razdoblje u godini kada je potrebno minimalno korištenje umjetnog svjetla. Krivulje su izrađene u RELUX desktop softveru za predavaonicu, kao glavnu prostoriju u projektu. U razdoblju od veljače do studenog od 8 do 18h većinski se može iskoristit dnevno svjetlo bez uporabe umjetnog svjetla što doprinosi učinkovitijom uporabom rasvjete. U razdoblju od studenog do veljače većinu vremena neophodno je koristiti umjetno svjetlo. Iz ovoga se dolazi do zaključka kako se u većini godine može iskoristiti dnevno svjetlo. Slika 6.16 prikazuje vedro nebo, a slika 6.17 oblačno nebo.



Sl.6.16 Izoluks krivulje – vedro nebo



Sl.6.17 Izoluks krivulje – oblačno nebo

Na temelju zaključaka iz izoluks krivulja dolazi se do podatka da se 75% godine i 83 % radnog vremena može učinkovitokoristiti dnevno svjetlo. U obzir je uzeto radno vrijeme od 8 do 20h svakog dana.

7. ANALITIČKI PRORAČUN ENERGIJE RASVJETE

Nakon proračuna u RELUX desktop softveru pristupa se analitičkom izračunu energije rasvjete uz korištenje norme EN 15193:2017. Proračun se sastoji od dvije metode brze i složene. U nastavku slijedi proračun uz pomoć obje metode.

Za proračun potrebni su sljedeći podaci po prostorijama:

Predavaonica

Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tijela: 180 W
Korisna površina: 36,80 m^2
Gustoća snage: 4,89 W/m^2
Broj sati rada rasvjete: dan- $\boldsymbol{t_D}$ =1800 h, noć- $\boldsymbol{t_N}$ = 200 h
Faktor konstantnosti rasvjete:*F*c=1 (površina nije konstantno rasvijetljena)
Faktor ovisnosti dnevnog svjetla:$\boldsymbol{F_D}$ =1,0 (ručno), $\boldsymbol{F_D}$ = 0,8 (dimanje fotoćelijom)
Faktor ovisnosti boravka: *F*o = 1,0 (ručno), *F*o = 0,9 (automatski)

Kuhinja

Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tijela:48 W
Korisna površina: 6,76 m^2
Gustoća snage:7,10 W/m^2
Broj sati rada rasvjete: dan-$\boldsymbol{t_D}$ =1800 h, noć-$\boldsymbol{t_N}$ =200 h
Faktor konstantnosti rasvjete *F*c=1 (površina nije konstantno rasvjetljena)
Faktor ovisnosti dnevnog svjetla: $\boldsymbol{F_D}$ =1,0 (ručno), $\boldsymbol{F_D}$ = 0,8 (dimanje fotoćelijom)
Faktor ovisnosti boravka: *F*o = 1,0 (ručno), *F*o = 0,9 (automatski)

Hodnik

Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tijela:36 W
Korisna površina: 11,91 m^2
Gustoća snage: 3,02 W/m^2
Broj sati rada rasvjete:dan- $\boldsymbol{t_D}$ =1800 h, noć- $\boldsymbol{t_N}$ =200 h
Faktor konstantnosti rasvjete*F*c =1
Faktor ovisnosti dnevnog svjetla: $\boldsymbol{F_D}$ =1,0 (ručno), $\boldsymbol{F_D}$ = 0,8 (dimanje fotoćelijom)
Faktor ovisnosti boravka: *F*o = 1,0 (ručno), *F*o = 0,9 (automatski)

Sanitarni čvor

Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tjela:30 W
Korisna površina: 5,27 m^2
Gustoća snage: 5,69 W/m^2
Broj sati rada rasvjete: dan- $\boldsymbol{t_D}$ =1800 h, noć- $\boldsymbol{t_N}$ =200 h
Faktor konstantnosti rasvjete Fc=1 (površina nije konstantno rasvjetljena)
Faktor ovisnosti dnevnog svjetla: $\boldsymbol{F_D}$ =1,0 (ručno), $\boldsymbol{F_D}$ = 0,8 (dimanje fotoćelijom)
Faktor ovisnosti boravka : *F*o = 1,0 (ručno), *F*o = 0,9 (automatski)

Ured

Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tijela: 36 W
Korisna površina: 5,27 m^2
Gustoća snage: 6,83 W/m^2
Broj sati rada rasvjete:dan- $\boldsymbol{t_D}$ =2250 h, noć- $\boldsymbol{t_N}$ =250 h
Faktor konstantnosti rasvjete: 1
Faktor ovisnosti dnevnog svjetla:$\boldsymbol{F_D}$ =1,0 (ručno), $\boldsymbol{F_D}$ = 0,9 (dimanje fotoćelijom)
Faktor ovisnosti boravka: *F*o = 1,0 (ručno), *F*o = 0,9 (automatski)

7.1 Brza metoda

Proračun LENI vrijednosti brzom metodom po prostorijama:

$$LENI_{sub} = \sum\{F_c \times (P_j/1000) \times F_o[(t_D \times F_D) + t_N]\} + 1{,}0 + 1{,}5 \left[\frac{kWh}{m^2} godišnje\right] \qquad (7\text{-}1)$$

Prikaz proračuna brzom metodom za predavaonicu - ručno upravljanje:

$$LENI_{sub} = \sum\{1 \times (4{,}89/1000) \times 1{,}0[(1800 \times 1{,}0) + 200]\} + 1{,}0 + 1{,}5 \left[\frac{kW}{m^2} godišnje\right] =$$

$$LENI_{sub} = 12{,}28$$

Automatsko upravljanje:

$$LENI_{sub} = \sum\{1{,}0 \times (4{,}89/1000) \times 0{,}9[(1800 \times 0{,}8) + 200]\} + 1{,}0 + 1{,}5 \left[\frac{kWh}{m^2} godišnje\right] = 9{,}71$$

Sljedeća tablica prikazuje proračun brzom metodom za sve ostale prostorije:

Tablica 7.1 Izračun brzom metodom LENI vrijednosti za sve prostorije

	Ručno	Automatski
Predavaonica	12,28	9,71
Kuhinja	16,7	12,97
Hodnik	8,54	6,95
Sanitarni čvor	13,88	10,89
Uredski prostor	19,58	16,48

Ukupan LENI za sve prostorije u slučaju kada je rasvjeta upravljana ručno:

$$LENI = \frac{\sum_{i=1}^{n}(LENI_{sub} \cdot A_i)}{A} = \frac{(12{,}28 \cdot 36{,}80) + (16{,}7 \cdot 6{,}76) + (8{,}54 \cdot 11{,}91) + (13{,}88 \cdot 5{,}27) + (19{,}58 \cdot 5{,}27)}{66{,}02}$$

$$\text{LENI} = 12{,}77 \text{ kWh/m}^2 \text{godišnje} \qquad (7-2)$$

Ukupan LENI u slučaju automatskog upravljanja rasvjetom:

$$LENI = 9{,}76 \ kWh/m^2 godišnje$$

7.2. Složena metoda

Ukupna procjenjena električna energija:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{7-3}$$

Indeks LENI:

$$\text{LENI} = \frac{\text{W}}{\text{A}} \tag{7-4}$$

Procjenjena električna energija potrebna za zadovoljenje funkcije i svrhe rasvjete građevine:

$$W_{L,t} = \frac{\sum (P_n \cdot F_c) \cdot F_0 \left[(t_D \cdot F_D) + t_N \right]}{1000} \tag{7-5}$$

Koeficijent ovisnoti o dnevnom svjetlu:

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \times F_{D,C,n}) \tag{7-6}$$

Koeficijent opskrbe dnevnim svjetlom:

$$F_{D,S} = \alpha + b \cdot \gamma_{Položaj} \tag{7-7}$$

Zemljopisna širina Basela: 47°33°

Tablica 7.2. Koeficijenti za određivanje opskrbe dnevnim svjetlom

	α	b
Predavaonica	1,3220	-0,0110
Ćajna kuhinja	1,2904	-0,0088
Hodnik	1,2425	-0,0117
Sanitarni čvor	1,2904	-0,0088
Uredski prostor	1,2904	-0,0088

Koeficijent opskrbe dnevnim svjetlom za predavaonicu prema izrazu 7-7:

$$F_{D,S} = 1{,}3220 + (-0{,}0110) \cdot 47°33° = 0{,}805$$

Tablica 7.3. Koeficijent opskrbe dnevnim svjetlom po prostorijama

Predavaonica	0,805
Čajna kuhinja	0,8768
Hodnik	0,6861
Sanitarni čvor	0,8768
Uredski prostor	0,8768

Koeficijent upravljanja umjetnom rasvjetom ovisno o dnevnom svjetlu (($F_{D,c}$) iznosi 0,85 za svaki prostor osim hodnika čija je vrijednost 0,75. Vrijednost koeficijenta je dobivena iz tablice dane u normi, a koja je objašnjena u poglavlju 5. Za svaku prostoriju čiji je koeficijent 0,85 prodor dnevnom svjetla je snažan, dok hodnik ima vrlo slab prodor dnevnog svjetla.

Koeficijent ovisnosti o dnevnom svjetlu računa se prema izrazu 7-6, te za predavaonicu iznosi:

$$F_{D,n} = 1 - (0{,}805 \times 0{,}850) = 0{,}3158$$

Za ostale prostorije koeficijent $F_{D,n}$ je prikazan u sljedećoj tablici

Tablica 7.4 Koeficijent ovisnosti o dnevnom svjelu

Predavaonica	0,3158
Kuhinja	0,2547
Hodnik	0,4854
Sanitarni čvor	0,2547
Uredski prostor	0,2547

Određivanje koeficijenta ovisnosti o boravku:

Koeficijenti se biraju iz tablica za sustave s automatskom detekcijom prisutnosti / odsutnosti.

Koeficijent F_A koji govori o udio vremena u kojem je promatrani prostor bez prisutnosti ljudi dobiva se iz tablice navedene u 5. poglavlju, također koeficijenti F_O i F_{OC} dobiveni su iz tablice koju definira norma.

Tablica 7.5 Koeficijenti ovisnosti o boravku

	F_A	F_{OC}	F_O
Predavaonica	0,4	0,9	0,700
Kuhinja	0,2	0,9	0,900
Hodnik	0,6	0,9	0,500
Sanitarni čvor	0,5	0,9	0,600
Uredski prostor	0,4	0,9	0,700

Određivanje procijenjene električne energije potrebne za zadovoljenje funkcije i svrhe rasvjete:

Navedeno se dobiva prema izrazu 7-5,faktoriF_0, F_D, prethodno su dobiveni, a ostali faktori dani su na početku 7. poglavlja, primjer izračuna za predavaonicu prikazan je ispod:

$$W_{L,t} = \frac{\sum (180 \cdot 1) \cdot 0{,}7\left[(1800 \cdot 0{,}3158) + 200\right]}{1000} = 96{,}82\ kWh$$

Sljedeća tablica prikazuje procjenjenu električnu energiju $W_{L,t}$ po prostorijama

Tablica 7.6 Procjenjena električna energija $W_{L,t}$ prema prostorijama

	$W_{L,t}[kWh]$
Predavaonica	96,82
Kuhinja	28,45
Hodnik	19,33
Sanitarni čvor	11,85
Uredski prostor	20,47

Instalirana snaga panik rasvjete:

$$\mathrm{P_{em}} = \frac{P_{rasvjetnog\ tijela} \cdot broj\ sati\ rada\ godišnje \cdot broj\ panik\ lampi}{površina \cdot 1000} \tag{7-8}$$

Primjer izračuna za predavaonicu

$$\mathrm{P_{em}} = \frac{10 \cdot 8760 \cdot 1}{36{,}80 \cdot 1000} = 2{,}38\ kWh/m^2\ godišnje$$

U tablici su prikazane instalirane snage panik rasvjete za sve prostorije

Tablica 7.7 Instalirana snaga panik rasvjete za sve prostorije

	Snaga panik lampe *[W]*	P_{em} $[kWh/m^2\ godišnje]$
Predavaonica	10	2,38
Kuhinja	1	1,29
Hodnik	1.5	1,10
Sanitarni čvor	1	1,66
Uredski prostor	1	1,66

Instalirana parazitna energija:

Dobiva se prema sljedećem izrazu

$$P_{PC} = \frac{snaga\ balasta\ [W] \cdot broj\ uređeđ \cdot broj\ sati\ godišnje}{površina \cdot 1000} \tag{7-9}$$

Prema izrazu 7-9 dobivena je parazitna energija za predavaonicu, a tablica prikazuje parazitnu energiju za sve ostale prostorije

$$P_{PC} = \frac{0{,}4 \cdot 8 \cdot 8760}{36{,}80 \cdot 1000} = 0{,}76\ kwh/m^2\ godišnje$$

Tablica 7.8 Parazitna energija za sve prostorije

	$P_{PC}\ [\frac{kWh}{m^2} godišnje]$
Predavaonica	0,76
Kuhinja	3,11
Hodnik	1,18
Sanitarni čvor	1,99
Uredski prostor	1,99

Procijenjena parazitna energija:

Dobiva se prema sljedećem izrazu

$$W_{P,t} = \frac{\sum\left[\left(P_{PC} \cdot t_s\right) + \left(P_{em} \cdot t_e\right)\right]}{1000} \qquad (7\text{-}10)$$

Procjenjenaparazitna energija za predavaonicu dobivena je pomoću prethodnog izraza 7-10, a za ostale prostorije vrijednosti parazitne energije prikazuje tablica

$$W_{P,t} = \frac{\sum\left[\left(0{,}76 \cdot 8760\right) + \left(2{,}38 \cdot 4\right)\right]}{1000} = 6{,}67\ kWh$$

Tablica 7.9 Procjenjenaparazitna energija za sve prostorije

	$W_{P,t}\ [kWh]$
Predavaonica	6,67
Kuhinja	27,25
Hodnik	10,43
Sanitarni čvor	17,43
Uredski prostor	17,43

Ukupna procjenjena električna energija:

Dobiva se prema izrazu 7-3, te primjer izračuna ukupne procjenjene električne energije za predavaonicu prikazan je ispod, a tablica prikazuje iznose za sve ostale prostorije

$$W_t = 96{,}82 + 6{,}67 = 103{,}49\ kWh$$

Tablica 7.10 Ukupna procjenjena električna energija za sve prostorije

	W_t $[kWh]$
Predavaonica	103,49
Kuhinja	55,7
Hodnik	29,76
Sanitarni čvor	29,28
Uredski prostor	37,9

Indeks LENI (automatska regulacija)

Indeks LENI dobiva se prema izrazu 7-4. Svi podaci prethodno dobiveni koriste se za automatsku regulaciju, te je i indeks LENI proračunat za automatsku regulaciju u svim prostorijama. Primjer izračuna za predavaonicu naveden je ispod, a tablica prikazuje LENI vrijednosti za sve prostorije.

$$\text{LENI} = \frac{103{,}49}{36{,}80} = 2{,}81\ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\ godišnje$$

Tablica 7.11 Vrijednost indeksa LENI za svaku prostoriju

	LENI $[\frac{\mathbf{kWh}}{\mathbf{m^2}}\ \boldsymbol{godišnje}]$
Predavaonica	2,81
Kuhinja	8,24
Hodnik	2,5
Sanitarni čvor	5,56
Uredski prostor	7,19

Usporedba LENI vrijednosti dobivene brzom metodom u slučaju automatskog i ručnog upravljanja rasvjetom, te vrijednosti dobivene složenom metodom za svaku prostoriju pojedinačno prikazuje sljedeća tablica.

Tablica 7.12 Usporedba LENI vrijednosti

	Brza metoda		Složena metoda
	Ručno upravljanje	Automatsko upravljanje	
Predavaonica	12,28	9,71	2,81
Kuhinja	16,7	12,97	8,24
Hodnik	8,54	6,95	2,5
Sanitarni čvor	13,88	10,89	5,56
Uredski prostor	19,58	16,48	7,19
Ukupan LENI	**12,77**	**9,76**	**3,88**

8. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada je bila usporedba teoretskog razmatranja učinkovitosti na stvarnom primjeru uz pomoć proračuna i simulacije uz uporabu norme EN 15 193:2017. Zbog sve veće upotrebe rasvjete u današnjem svijetu, pojavio se problem većeg utroška električne energije i velike emitirane količine topline. Stoga su se počele razvijati razne tehnologije s ciljem zamjene starih rasvijetnih tijela s novim, danas najčešće LED rasvjeta. Također u svrhu uštede električne energije počela se razvijati tehnologija automatskog upravljanja rasvjetom. Cilj takvog upravljaja je smanjiti nepotrebno uključivanje rasvjete uz što veću uporabu dnevnog svjetla. Kao pokazatelj energije rasvjete je indeks LENI. Što je veća vrijednost indeksa LENI to je niža učinkovitost rasvjete i obrnuto. Navedeno je pokazano na primjeru proračuna rasvjete na jednoj etaži zgrade (manje privatne škole).

Odabir rasvjetnih tijela, proračun rasvijetljenosti, dijagrami i simulacije rasvjete izvedene su uz pomoć suvremenog softverskog paketa RELUX desktop. Analizom rasvijetljenosti softver je odradio simulacije za rasvijetljenost umjetnog i dnevnog svjetla za svaku prostoriju pojedinačno. Nakon simulacije rasvijetljenosti softver je izvukao izoluks krivulje za utjecaj dnevnog svjetla na godišnjoj bazi, te je utvrđeno da 83% radnog vremena te 75% godine se može efikasno iskorištavati dnevno svjetlo.

Nakon simulacija u softveru, analitičkim putem izračunat je brojčani pokazatelj energije rasvjete. Usporedbom LENI vrijednosti vidi se kako je LENI niži za automatsku nego za ručnu kontrolu rasvjete. To je i očekivano, jer niže vrijednosti pokazatelja LENI označavaju učinkovitiju rasvjetu, a pri automatskom upravljanju uporabom odgovarajućih senzora moguće je veće iskorištenje dnevnog svjetla, te upravljanje rasvjetom ovisno o prisutnosti ljudi u prostoriji. Također usporedbom LENI vrijednosti brze i složene metode, vidi se da je LENI niži kod složene metode. Niža vrijednost indeksa kod složene metode leži u većoj točnosti samog proračuna koji je detaljniji nego kod brze metode. Ukoliko se uspoređuju LENI vrijednosti dobivene proračunom bilo složenom bilo brzom metodom vidi se kako su vrijednosti niže u odnosu na procjene koje norma predviđa. Razlog nižih vrijednosti najčešće je u tome što navedena norma daje samo procijenu LENI vrijednosti, dok proračun daje točnije rezultate. Osim ovoga objekt se sastoji od više prostorija gdje svaka prostorija ima različitu namjenu. Norma daje tablice procijenjenih parametara te svaki parametar nije precizan za svaku prostoriju pojedinačno što također doprinosi drugačijim rezultatima LENI indeksa u odnosu na procijenjene vrijednosti u tablici.

Konačno se može zaključit da se suvremenim načinom upravljanja rasvjetom mogu postići velike uštede i ostvariti znatno bolju učinkovitost korištenja električne energije u svrhu rasvjete. U današnje vrijeme sve se više prelazi na suvremeno upravljanje rasvjetom osobito u većim zgradama, gdje je potrebna veća instalirana snaga rasvjete poput obrazovnih ustanova, bolnica, tvorničkih pogona i sličnih objekata i institucija, a gdje suvremeni sustavi upravljanja rasvjetom dokazano donose velike uštede energije, uz isti ili veći komfor korisnika.

LITERATURA

[1] E.Generalic, Kemijski riječnik,2004 URL: https://glossary.periodni.com/preuzimanje_slike.php?name=spektar_elektromagnetskog_zracenja.png&source=infracrveno+zra%C4%8Denje (1.7.2021)

[2] Tehnomar d.o.o, URL: https://korak.com.hr/korak-051-svjetlost-1-dio-svjetlotehnicke-velicine-mjerne-jedinice-vrste-rasvjetnih-tijela/ (5.7.2021)

[3] Elektrotehnički portal, URL: https://www.elteh.net/el-instalacije/rasvjeta/razine-osvjetljenosti.html (11.7.2021)

[4] A.Čukušić, Vrste rasvjete, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac 2020

[5] J. Brajtenbah, Sustav upravljanja i nadzora rasvjete, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Sveučilište u Osijeku, Osijek, 2014

[6]: Telektra d.o.o, URL https://www.telektra.hr/site/mala-skola-rasvjete/ (14.8.2021)

[7] Nacionalni portal energetske učinkovitosti, URL: https://www.enu.hr/gradani/info-edu/rasvjeta-i-kucanski-uredaji/energetski-ucinkovite-sijalice/ (17.8.2021)

[8] N. Rado, Energetska učinkovitost LED rasvjete, primjer iz prakse, Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilište u Osijeku, Osijek 2017.

[9] Nacionalni portal energetske učinkovitosti, optimiziranje rasvjetnog sustava, URL: https://www.enu.hr/gradani/info-edu/rasvjeta-i-kucanski-uredaji/optimiziranje-rasvjeta/ (25.8.2021)

[10] Masinealati.rs, URL: https://hr.masinealati.rs/upravljanje-rasvjetom-i-automatizacija-rasvjete-2365 (27.8.2021)

[11] Hrvatska norma HRN EN 15193:2017

SAŽETAK

Ovim se diplomskim radom na primjeru jedne etaže zgrade odnosno manje obrazovne ustanove pokazalo kako je moguće uštediti energiju a time smanjiti iznos brojčanog pokazatelja energije rasvjete. Ovim razmatranjem utvrđeno je kako je u navedenom prostoru moguće efikasno korištenje dnevnog svjetla te znatne uštede električne energije. Sve je rađeno simulacijski uz upotrebu softvera RELUX desktop te analitički gdje su dobivene različite LENI vrijednosti za svaku prostoriju posebno. Osim ovoga ostala poglavlja diplomskog rada bave se rasvjetom općenito, osnovama svjetlotehničkog izračuna, upravljanju rasvjetom, mogućim vrstama upravljanja te energetskoj učinkovitosti rasvjete. Konačno je utvrđeno kako suvremenim načinom upravljanja rasvjetom dolazi do znatnog smanjena LENI indeksa odnosno do povećanja učinkovitosti, a time i smanjenja potrošnje električne energije.

Ključne riječi: upravljanje rasvjetom, energetska učinkovitost, LENI, HRN EN 15 193:2017

SUMMARY

This diploma thesis on the example of one floor of a building or smaller educational institution showed how it is possible to save energy and thus reduce the amount of numerical indicator of lighting energy. With this consideration, it was determined that efficient use of daylight and significant energy savings is possible in this area. Everything was done simulation using the RELUX desktop software and analytically where different LENI values were obtained for each room separately. In addition to this, other chapters of the thesis deal with lighting in general, the basics of lighting calculation, lighting management, possible types of management and energy efficiency of lighting. Finally, it was determined that the modern way of lighting management significantly reduces the LENI index, ie increases efficiency, and thus reduces electricity consumption.

Keywords: lighting management, energyefficiency, Lighting Energy NumericIndicator, HRN EN 15 193:2017