

Projektiranje električne instalacije u ugostiteljskom objektu

Ivanković, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:200:378704>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIP JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**PROJEKTIRANJE ELEKTRIČNE INSTALACIJE U
UGOSTITELJSKOM OBJEKTU**

Završni rad

Mario Ivanković

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1 Opis zadatka.....	1
2. SVJETLOST	2
2.1. Osnovne svjetlotehničke veličine.....	3
2.1.1 Jakost svjetlosti	3
2.1.2. Svjetlosni tok.....	5
2.1.3. Svjetlosna iskoristivost.....	6
2.1.4. Rasvjetljenost	8
2.1.5. Sjajnost (luminancija).....	9
2.2. Razvoj umjetnih izvora svjetlosti	11
2.3. Faktori kvalitete unutarnje rasvjete.....	13
2.3.1. Razina rasvjetljenosti	13
2.3.2. Ravnomjernost rasvjetljenosti	14
2.3.3. Raspodjela svjetlosti	15
2.3.4. Ograničenje bliještanja	17
2.3.5. Smjer upada svjetlosti i sjenovitosti	18
2.3.6. Klima boja.....	18
2.3.7. Ograničenje stroboskopskog efekta	19
3. ENERGETSKA UČINKOVITOST	20
4. PROJEKTIRANJE RASVJETE.....	22
5. ZADATAK	24
5.1. Rasvjetna tijela s halogenim žaruljama.....	25
5.2. Rasvjetna tijela s fluorescentnim cijevima.....	28
5.3. LED rasvjetna tijela.....	30
5.4. Komentar na izračun	33
6. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA	35
SAŽETAK	36
ABSTRACT.....	36
ŽIVOTOPIS	37

1. UVOD

Svjetlost je pojava potrebna kako čovjeku, tako i svim živim bićima. Omogućava normalno kretanje, obavljanje rada i snalaženje u prostoru. Ljudi su se kroz povijest trudili iskoristiti svjetlost što je više moguće za razne potrebe. Kako bi rasvijetlili prostore u kojima borave, koristila se dnevna svjetlost sve do pojave umjetnih izvora svjetlosti. Upravo ti umjetni izvori svjetlosti, njihove vrste i rasvjeta unutarnjeg prostora biti će tema ovog završnog rada. Na početku objasnit će se sama pojava svjetlosti te definirati svjetlotehničke veličine koje će se spominjati u zadatku rada. Govorit će se i o pojavi umjetnih izvora svjetlosti te njihovom razvoju kroz povijest. Pri rasvjeti unutarnjeg prostora, treba obratiti posebnu pažnju na određene faktore koji će biti detaljno opisani u radu. Upoznaje se s normom HRN EN 15193 koja postavlja posebne zahtjeve energetske učinkovitosti i kojih se treba držati prilikom projektiranja rasvjete unutarnjeg prostora. Pri projektiranju unutarnje rasvjete, koriste se razni programski alati koji uvelike olakšavaju posao te omogućavaju puno kvalitetnije i preciznije proračune i simulacije. U zadatku ovog rada korišten je program ReluxPro za projektiranje rasvjete i pokretanje različitih simulacija.

1.1 Opis zadatka

Potrebno je napraviti model ugostiteljskog objekta. Prema zahtjevima normi odrediti svjetlotehničke veličine koje je potrebno zadovoljiti te po tim zahtjevima odabrati vrste svjetiljki kojima će se rasvijetliti prostor. Napraviti potpuni svjetlotehnički proračun za različite vrste rasvjetnih tijela i komentirati rezultate.

2. SVJETLOST

Svjetlost se u užem smislu definira kao elektromagnetsko zračenje vidljivo ljudskom oku. Time su obuhvaćena sva zračenja valnih duljina od 380 do 780 nm. Ta se zračenja nazivaju vidljivom svjetlosti, a različite valne duljine ljudsko oko razlikuje kao boje. Za fizikalni aspekt, svjetlost se promatra u širem smislu te u nju ubrajamo ultraljubičasto i infracrveno zračenje. Svjetlost se širi konačnom brzinom c koja se još naziva i brzina svjetlosti te u vakuumu ona iznosi 299792458 m/s (oko 300 000 km/s). Pojava svjetlosti dualne je prirode, a ona se može opisati pomoću Planckove (ili čestične) teorije, kao i Maxwelllovom (ili valnom) teorijom elektromagnetskih valova.

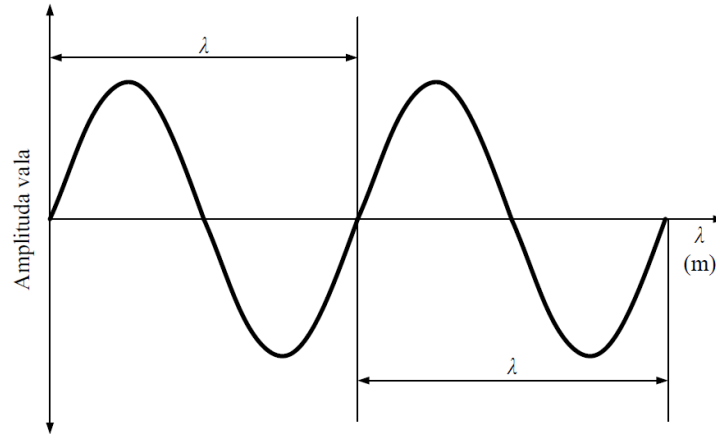
$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad (2-1)$$

Autori literature [1] navode kako je prema Planckovoj teoriji: „svaka masa u gibanju povezana je s valom čija je valna duljina određena izrazom (2-1).

Gdje je:

- λ - valna duljina valnog gibanja (m)
- h - planckova konstanta koja iznosi $6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js
- m – masa čestice (kg)
- c – brzina čestice (m/s)“

Isti ti autori navode kako je: „svjetlost također i valne prirode pa se može opisati amplitudom, frekvencijom, valnom duljinom i brzinom.“



Slika 2.1. Karakteristika vala svjetlosti [1]

2.1. Osnovne svjetlotehničke veličine

Svjetlost se opisuje kako fizikalnim tako i svjetlotehničkim veličinama. U literaturi [1] piše kako se: „fizikalnim veličinama podrazumijevaju veličine koje definiraju svjetlost uz pomoć energetske jedinice, dok se pod svjetlotehničkim veličinama podrazumijevaju one veličine koje se temelje na vrednovanju svjetlosti na osnovi ljudskog organa vida odnosno oka.“ Poznato je kako su: jakost svjetlosti, svjetlosni tok, svjetlosna iskoristivost, rasvijetljenost te sjajnost odnosno luminancija osnovne svjetlotehničke veličine.

2.1.1 Jakost svjetlosti

U literaturi [1] stoji kako se jakost svjetlosti definira „kao snaga zračenja koju emitira izvor svjetlosti u određenom smjeru u prostoru.“

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \left(\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{cd} \right)$$

(2-2)

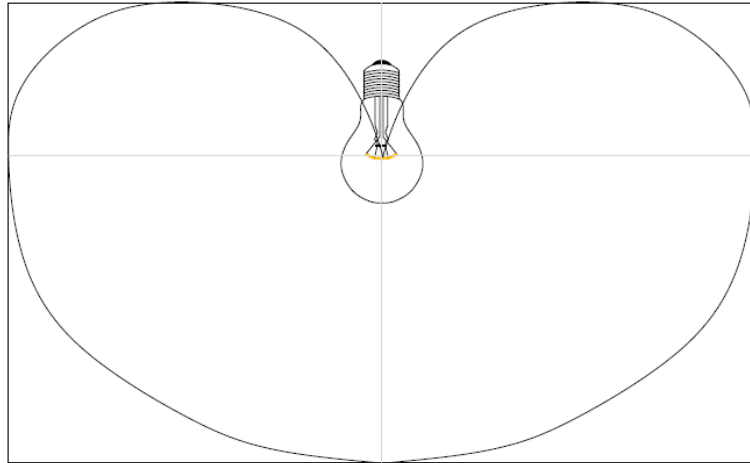
Jakost svjetlosti se označava sa slovom I te računa prema izrazu (2-2). Mjerna jedinica kojom se jakost svjetlosti opisuje je kandela (cd). Kandela je osnovna fizikalna jedinica na temelju koje su definirane sve svjetlotehničke veličine. Kandela se povijesno definirala kao jakost svjetlosti standardne svijeće. Prema literaturi [1]: „od 1979. godine se koristi sljedeća definicija prema SI sustavu mjernih jedinica“, a ona glasi: „1 kandela se definira kao intenzitet svjetlosti u određenom smjeru koju emitira izvor svjetlosti monokromatskog zračenja frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ Hz čiji je intenzitet energije u već spomenutom smjeru $1/683$ W/sr.“

Jakost svjetlosti idealnog točkastog izvora jednaka je u svim smjerovima, dok se u praksi jakost svjetlosti ne raspoređuje u prostoru jednoliko zbog različitih vrsta i oblika izvora svjetlosti te različitim načinima usmjeravanja svjetlosti. Raspodjela jakosti prikazana je slikom 2.3.. Uređaj za mjerenje jakosti svjetlosti naziva se fotometar, prikazan na slici 2.2..



Slika 2.2. Fotometar[12]

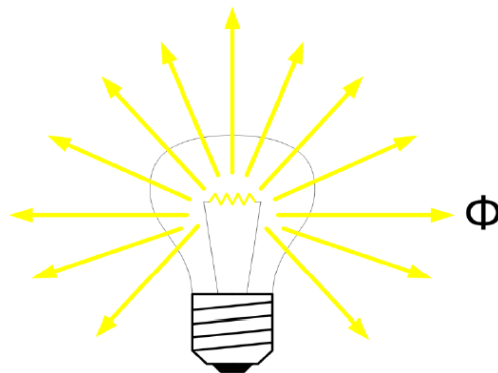
Za prikazivanje simetričnog izvora svjetlosti (npr. jedne žarulje) dovoljna je jedna krivulja jakosti svjetlosti dok su kod aksijalno simetričnih izvora svjetlosti potrebne dvije krivulje, najčešće prikazane na jednom dijagramu.



Slika 2.3. „Raspodjela jakosti svjetlosti simetričnog izvora“ [1]

2.1.2. Svjetlosni tok

Energija koju izvori svjetlosti transformiraju ne može se u potpunosti iskoristiti za proizvodnju svjetla. Primjerice, klasična žarulja sa žarnom niti pretvara samo oko 10% ulazne energije u svjetlost koju ljudsko oko vidi, dok se preostalih 90% energije gubi u obliku topline. Najosnovnija veličina elektromagnetskog zračenja koje emitira izvor je svjetlosni tok. U literaturi [4] se svjetlosni tok opisuje kao: „ukupan iznos svjetlosti (ili zračenja) koju neki izvor svjetla emitira u svim smjerovima u jednoj sekundi.“ Slika 2.4. prikazuje svjetlosni tok.



Slika 2.4. Svjetlosni tok [1]

Svjetlosni tok se u svijetu označava sa grčkim slovom Φ i mjeri se u lumenima (lm). Lumen je izvedena jedinica SI sustava. U literaturi [5] autori navode kako „jedan lumen definiramo kao svjetlosni tok koji daje točkasti monokromatski izvor kada u prostorni kut od jednog steradiana zraci svjetlosnom jakosti iznosa jedna kandela (cd).“ Zračenje iznosa 1W pri valnoj duljini 555nm, odnosno kada je pri fotopskom vidu osjetljivost ljudskog oka najveća, može proizvesti svjetlosni tok od 683 lm. Promatrajući krivulju koja prikazuje ovisnost valne duljine o osjetljivosti ljudskog oka o monokromatskom zračenju, vidi se da će ista snaga zračenja nekog izvora, za sve ostale valne duljine emitirati manju vrijednost svjetlosnog toka.

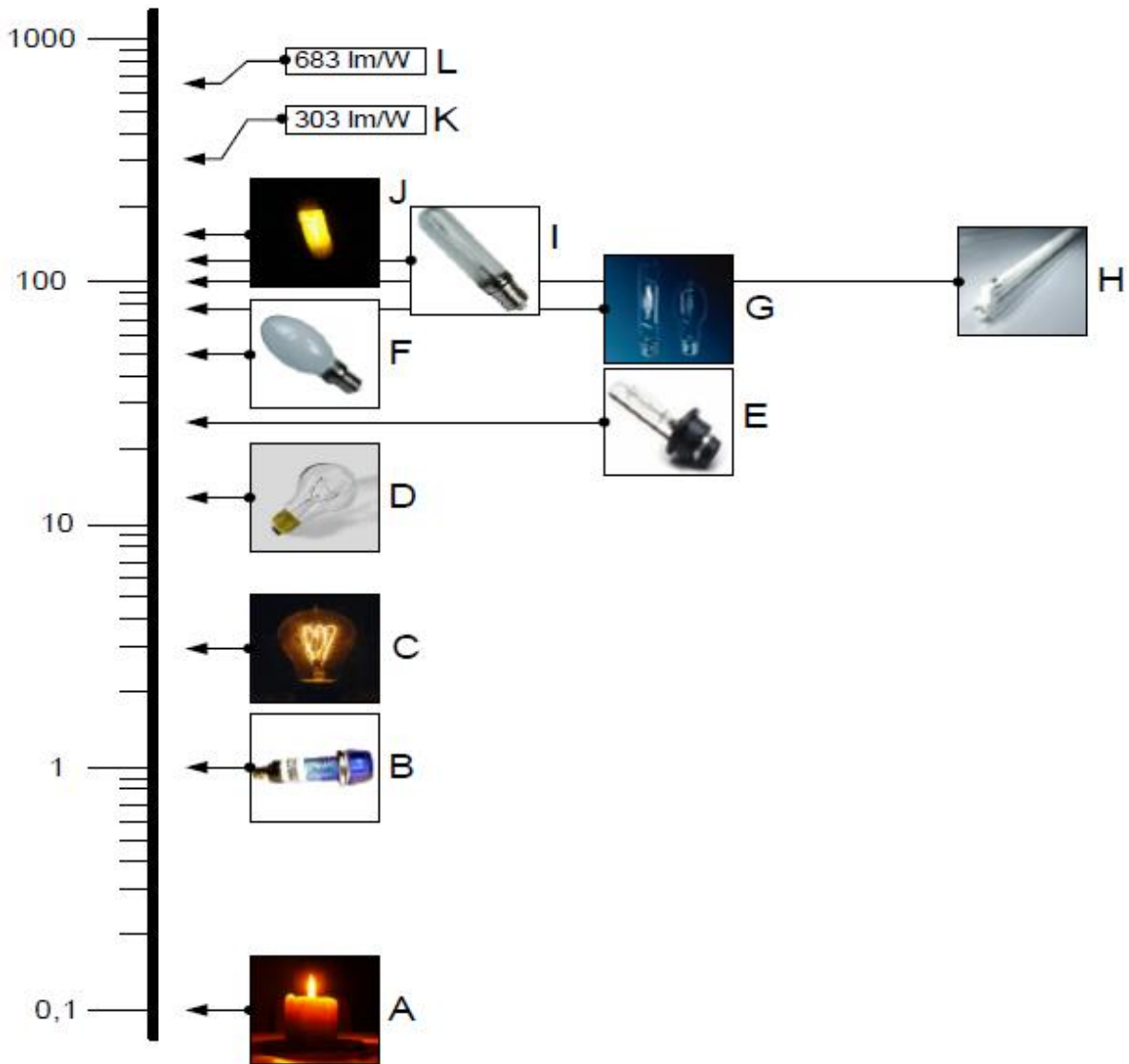
2.1.3. Svjetlosna iskoristivost

Autori u literaturi [7] definiraju su svjetlosnu iskoristivost: „kao omjer svjetlosnog toka nekog izvora svjetlosti i snage koju taj izvor svjetlosti koristi za razvijanje tog svjetlosnog toka.“ Radi se o izvedenoj veličini iz SI sustava, a označavamo je grčkim slovom η .

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right) \quad (2-3)$$

Iz izraza (2-3) dobije se i mjerna jedinica svjetlosne iskoristivosti koja glasi lm/W.

Svjetlosna je iskoristivost najveći skok u napretku imala u tehnologiji svjetlećih LE dioda (engl. LED – light emitting diode). Godine 2006, najveća iskoristivost iznosila je 161 lm/W, a 2014. godine taj iznos se povisio na čak 303 lm/W. Može se primijetiti da se u razmaku od samo 8 godina iskoristivost gotovo udvostručila.



Slika 2.5. Orijentacijske vrijednosti svjetlosne iskoristivosti za pojedine izvore svjetlosti [1]

Na slici 2.5. oznakom „A“ označena je svijeća kao izvor svjetlosti s najnižom svjetlosnom iskoristivošću, dok su oznaku „L“ autori literature [5] objasnili kao: „označena maksimalna teorijska vrijednost koju svjetlosna iskoristivost može poprimiti, a ona iznosi 683 lm/W.“ To je, naime, slučaj kada se sva utrošena električna snaga izvora svjetlosti „iskoristi“ odnosno pretvori u vidljivu zelenu svjetlost valne duljine 555nm. Autori literature [7] kazuju kako ovisno o vrsti izvora svjetlosti „svjetlosna iskoristivost može biti promjenjiva, ali je uvijek ispod maksimalne

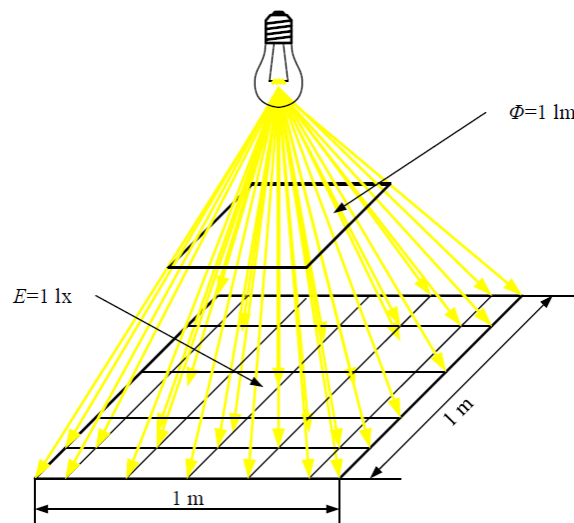
teorijske vrijednosti od 683 lm/W.“ Pri odabiru svjetiljke, svjetlosna iskoristivost je jedan od najvažnijih faktora koji treba uzeti u obzir.

2.1.4. Rasvjetljenost

Rasvjetljenost je fizikalna svjetlotehnička veličina kojom se opisuje upadanje svjetlosnog toka na neku plohu. Ono je određeno omjerom svjetlosnog toka koji pada na plohu i površinom iste te plohe.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx} \right) \quad (2-4)$$

Iz izraza (2-4) može se zaključiti da je rasvjetljenost slabija, što je izvor svjetlosti udaljeniji od plohe, jer se isti svjetlosni tok dijeli na veću površinu. Mjerna jedinica za rasvjetljenost je luks (lx). Kao što literatura [7] navodi: „jedan luks definiran je kao svjetlosni tok iznosa 1 lm koji pada ravnomjerno na površinu 1m².“ Slika 2.6. prikazuje definiciju rasvjetljenosti.



Slika 2.6. Definicija jedinice za rasvjetljenost [1]

$$E' = \frac{\Phi}{A} \cdot \cos \alpha = E \cdot \cos \alpha \quad (\text{lx}) \quad (2-5)$$

U praksi, svjetlost rijetko pada ravnomjerno na površinu. Ukoliko pod nekim kutom α , svjetlosni tok pada na površinu, tada će rasvijetljenost biti manja te će se računati prema izrazu (2-5).

U tablici 2.1. prikazana je rasvijetljenost tijekom dana s karakterističnim vremenskim uvjetima kao i potrebne količine rasvjete za neke poslove.

Tablica 2.1. Primjeri različitih razina svjetlosti

Primjer	Rasvijetljenost (lx)
Rasvjeta operacijskog stola	20 000 – 12 000
Sunčan ljetni dan	60 000 – 10 000
Oblačan ljetni dan	20 000
Oblačan zimski dan	3 000
Dobro rasvijetljeno radno mjesto	500 – 750
Pješačka zona	5 – 100
Noć s punim mjesecom	0,25
Noć s mladim mjesecom	0,01

2.1.5. Sjajnost (luminancija)

Autori literature [1] navode kako je: „luminancija efekt sjajnosti rasvijetljene površine kako je vidi ljudsko oko.“

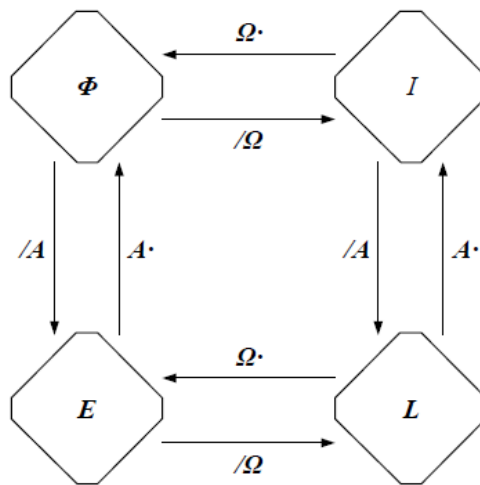
$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \beta} \quad \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right) \quad (2-6)$$

Označava se velikim slovom L, a mjerna jedinica luminancije je kandela po kvadratnom metru (cd/m^2) te se računa prema izrazu (2-6). Gdje je $A \cdot \cos\beta$ prividna površina. Iznosi prosječne vrijednosti limunancije prikazani su tablicom 2.2..

Tablica 2.2. Iznosi prosječne vrijednosti luminancije za različite izvore svjetlosti

Izvor svjetla	Prosječna luminancija (cd/m^2)
Sunce u podne	$1,6 \cdot 10^9$
Ksenon kino žarulja	$0,2 - 5 \cdot 10^9$
Bistra standardna žarulja	$2 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^7$
Fluorescentna cijev	$1,2 \cdot 10^4$
Bijeli oblak	$1 \cdot 10^4$
Svijeća	7 500
Vedro nebo	3 000 - 5 000
Mjesec	2 500
Ugodna unutarnja rasvjeta	50 - 500
Bijeli papir pri 500 lx	100
Bijeli papir pri 5 lx	1
Noćno nebo	10^{-3}

Spomenuto je 5 najvažnijih svjetlotehničkih veličina koje je bitno razumjeti jer će se daljnji tekst oslanjati upravo na poznavanje tih veličina. Na slici 2.7. prikazani su međusobni odnosi svjetlotehničkih veličina te se može vidjeti da je uz poznavanje parametara (površine A i prostornog kuta Ω) i jedne svjetlotehničke veličine, moguće definirati bilo koju drugu veličinu.

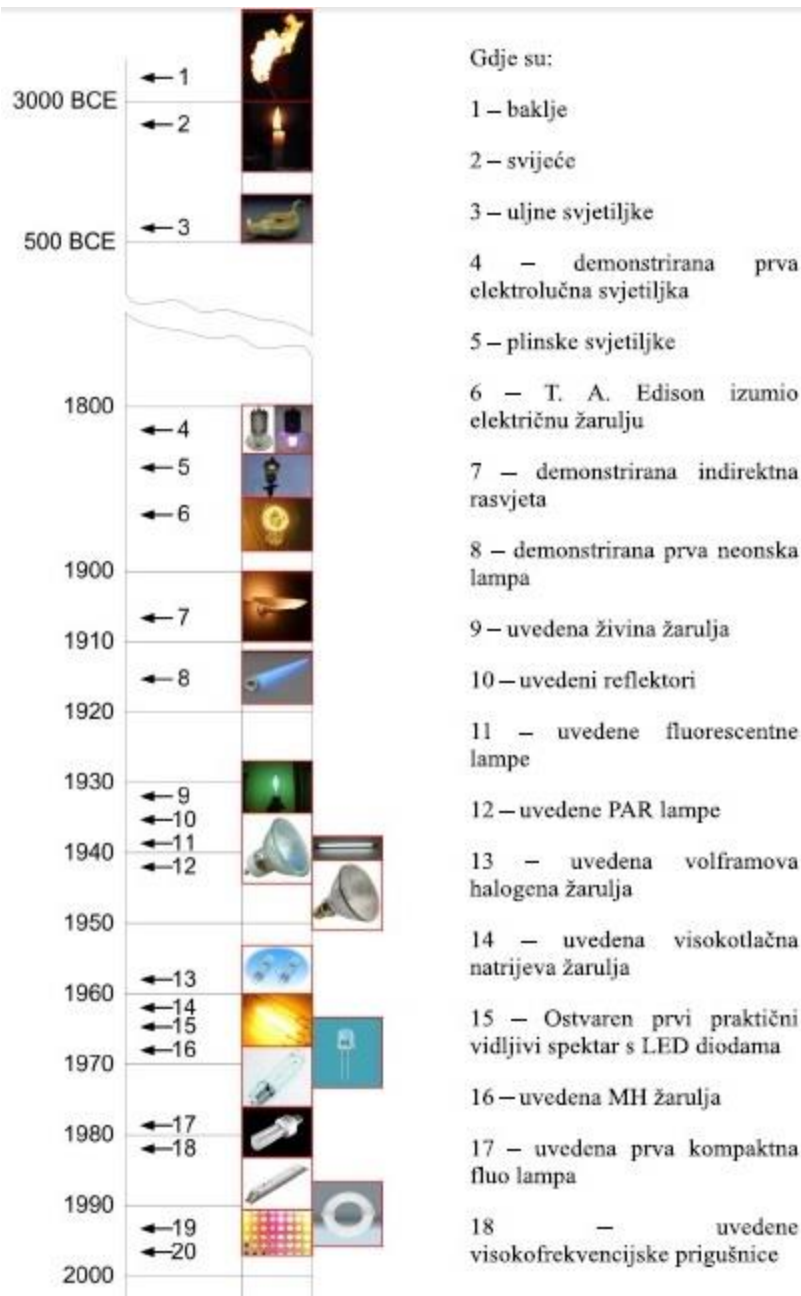


Slika 2.7. Međusobni odnosi svjetlotehničkih veličina[1]

2.2. Razvoj umjetnih izvora svjetlosti

Autori literature [1] navode kako su: „vatra baklje i svijeće prvi umjetni izvori svjetlosti koje je čovjek koristio.“ Autori iste te literature [1] kazuju kako su: „prve svijeće osmislili drevni Egipćani koji su pravili rupe u kamenu i punili ih mastima, a biljna vlakna koristila su kao fitilj te da se u srednjem vijeku počinju praviti svijeće od loja, kasnije od pčelinjeg voska ili parafina.“ Danas svijeće imaju isključivo dekorativnu namjenu. Tijekom srednjeg vijeka počinju se koristiti uljne svjetiljke. Prema literaturi [1] „prva revolucija dogodila se kada je švicarski kemičar François Pierre Ami Argand 1784. godine izumio svjetiljku u kojoj je koristio šuplji fitilj što je omogućavalo bolji dotok zraka plamenu koji je davao daleko jače svijetlo.“ Kasnije je dodan stakleni cilindar koji je omogućio stabilniji plamen. Krajem 1800-tih i početkom 1900-tih glavni izvor svjetlosti bile su plinske svjetiljke dok ih nisu počele mijenjati električnim žaruljama. Električne žarulje postaju popularne tek nakon što su neovisno jedan o drugom Sir Joseph Swan i Thomas Edison razvili žarulju sa žarnom niti. U 20. st. dolazi do brzog razvoja umjetnih izvora svjetlosti. Nakon žarulje sa žarnom niti javlja se ona s volframovom niti, a kasnije dolaze i živine žarulje. Od 1939. dostupne su fluorescentni izvori svjetlosti, zatim se javlja Volframova žarulja, te metal halogene i visokotlačne žarulje, a 1990-ih na tržištu se javljaju prve lampe bez elektroda i LED rasvjeta.

Slika 2.8. prikazuje povijest razvoja umjetnih izvora svjetlosti prema literaturi [1].



Slika 2.8. „Povijest razvoja umjetnih izvora svjetlosti“ [1]

Umjetni izvori svjetlosti s obzirom na način na koji daju svjetlost dijeli se u tri skupine:

1. izvor svjetlosti je termičko zračenje
2. izvor svjetlosti je luminiscencija(izboj)
3. Poluvodički izvori svjetlosti

Tablica 2.3. Podjela umjetnih izvora svjetlosti

UMJETNI IZVORI SVJETLOSTI				
Žarulje s termičkim zračenjem		Izvori svjetlosti s izbojem u plinovima		Poluvodički izvori svjetlosti
Žarulje sa žarnom niti	Halogene žarulje (230 V)	Niskotlačne žarulje	Visokotlačne žarulje	LED (engl. <i>Light Emiting Diode</i>)
		Fluorescentne žarulje	Živine žarulje	
	Niskonaponske halogene žarulje (12 V, 24 V)	Kompaktne fluorescentne žarulje	Metalhalogene žarulje	
		Niskotlačne natrijeve žarulje	Visokotlačne natrijeve žarulje	

2.3. Faktori kvalitete unutarnje rasvjete

Pri izvedbi rasvjete unutarnjeg prostora potrebno je voditi računa da ono zadovoljava svjetlotehničke značajke, te da se u okviru arhitektonskog oblikovanja harmonički uklopi u cjelinu prostorije. Faktori kvalitete unutrašnje rasvjete su:

1. razina rasvijetljenosti
2. ravnomjernost rasvijetljenosti
3. raspodjela sjajnosti
4. ograničenje bliještanja
5. smjer upada svjetla i sjenovitost
6. klima boja
7. ograničenje stroboskopskog efekta.

2.3.1. Razina rasvijetljenosti

Potrebna je određena razina rasvijetljenosti za izvršavanje radnih i vidnih zadataka, koji ovisi o značaju rada i značaju vidnih zadataka koji su s tim radom povezani. Razlikuju se tri osnovna područja razina rasvijetljenosti kod unutrašnje rasvjete; minimalna razina rasvijetljenosti za

komunikacijske prostorije, minimalna razina rasvijetljenosti za radni prostor , optimalna razina rasvijetljenosti za radne prostore

Potrebna je određena količina svjetla ovisno o namjeni prostora. Prema hrvatskoj normi HRN EN 12464-1, potreban iznos rasvijetljenosti za ugostiteljski objekt prikazan je u tablici 2.4.

R označava učinak neke vrste svjetla na obojenost promatranog objekta, a $UGRL$ je jedinstvena ocjena bliještanja sustava umjetne rasvjete.

Tablica 2.4. Potrebni iznosi rasvijetljenosti za restorane i hotele

Namjena	Iznos rasvijetljenosti E_m (lx)	UGR_L	Uzvrat boje R	Napomene
Recepcije i portirnice	300	22	80	
Kuhinje	500	22	80	Treba biti prijelazna zona između kuhinje i restorana
Restorani i blagovaonice	-	-	80	Rasvjeta treba biti tako dizajnirana da stvori prikladan ugođaj
Samposlužni restorani	200	22	80	
Buffet	300	22	80	
Konferencijske prostorije	500	19	80	Rasvjeta treba imati mogućnost kontrole
Hodnici	100	25	80	Tijekom noći prihvatljive su i niže razine rasvijetljenosti

2.3.2. Ravnomjernost rasvijetljenosti

U prostorijama ne smiju biti velike razlike rasvijetljenosti jer uzrokuju smanjene vidne sposobnosti i umor. Zbog toga potrebna je dobra prostorna ravnomjernost rasvijetljenosti. Ravnomjernost rasvijetljenosti definirana je razmjerom između rasvijetljenosti najslabije rasvijetljenog mjesta u prostoriji i srednje rasvijetljenosti prostorije.

Tablica 2.5. Ravnomjernost rasvjetljenosti

VIDNI ZAHJEV	RAVNOMJERNOST RASVIJETLJENOSTI E _{min} : E _s
Vrlo malo	1 : 6 do 1 : 3
Mali	1 : 3
Srednji	1 : 2.5
Veliki Vrlo veliki Vanredno veliki	1 : 1.5

2.3.3. Raspodjela svjetlosti

Vidni uvjeti su bolji što su manje razlike sjajnosti između radne površine i okolnih površina. Potrebno je pridržavati se uputa o najvećem dopuštenom omjeru sjajnosti kako bi se postigli prikladni vidni uvjeti i povoljna raspodjela sjajnosti u prostoriji. Literatura [6] navodi kako se: „odnos sjajnosti između radnog polja i neposredne okoline mora biti 3:1, između radnog polja i dalje okoline maksimalno 10 : 1, između izvora svjetlosti i susjednih površina maksimalno 20 : 1. Premale razlike sjajnosti uzrokuju monotoni utisak u prostoriji.“ Prema literaturi [6] postoje tri osnovna područja sjajnosti:

- „1. područje minimalnih sjajnosti (od 1 do 20 cd/m²)
2. područje preporučenih sjajnosti (između 100 i 400 cd/ m²)
3. područje granične sjajnosti (između 500 i 10000 cd/m²).“

Razdioba jakosti svjetlosti predstavlja se karakteristikom razdiobe svjetlosti koja daje iznos jakosti svjetlosti u pojedinim smjerovima i određenim kutovima u sfernom koordinatnom sustavu. Literatura [1] navodi kako se: „rasvjetna tijela, prema CIE-u, a prema postotnom iznosu ukupnog svjetlosnog toka raspodijeljenog ispod i iznad horizontalne ravnine, mogu podijeliti na sljedeće tipove:

- direktne
- poludirektne
- direktno-indirektne
- difuzne

- poluindirektne
- indirektne.“

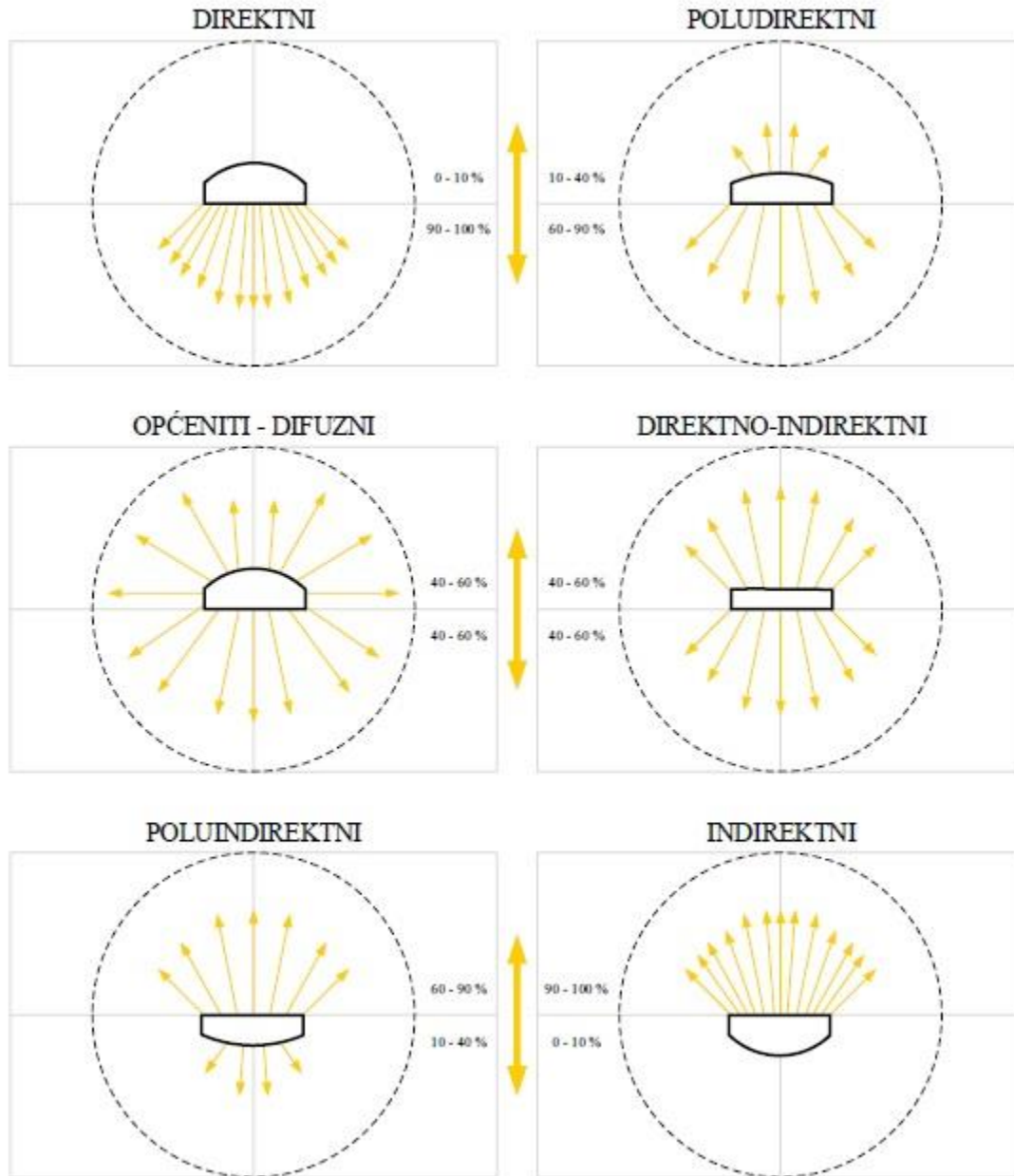
S obzirom na simetriju emitiranog svjetlosnog toka rasvjetnih tijela radimo sljedeću podjelu:

1. rasvjetna tijela sa simetričnom raspodjelom: kod rasvjetnih tijela sa simetričnom raspodjelom svjetlosni tok se širi simetrično u odnosu na os simetrije i prostornu raspodjelu jakosti svjetlosti i se može prikazati fotometrijskom krivuljom.
2. rasvjetna tijela s asimetričnom raspodjelom: kod rasvjetnih tijela s asimetričnom raspodjelom svjetlosni tok širi se asimetrično u odnosu na os simetrije i prostornu raspodjelu jakosti svjetlosti.

Tablica 2.6. Klasifikacija za unutrašnju rasvjetu prema CIE-u u ovisnosti o raspodjeli svjetlosnog toka

Tip rasvjetnog tijela	% svjetlosnog toka iznad horizontalne ravnine	% svjetlosnog toka ispod horizontalne ravnine
Direktni	0 – 10	90 – 100
Poludirektni	10 – 40	60 – 90
Direktno-indirektni	40 – 60	40 – 60
Difuzni	40 – 60	40 – 60
Poluindirektni	60 – 90	10 – 40
Indirektni	90 – 100	0 – 10

Tablica 2.6. prikazuje CIE-u ovisnost o raspodjeli svjetlosnog toka. Ista ta tablica prikazana je i slikom 2.9..



Slika 2.9. Tipovi rasvjetnih tijela za unutrašnju rasvjetu prema raspodjeli svjetlosnog toka[1]

2.3.4. Ograničenje bliještanja

Bliještanje prema literaturi [4] „uzrokuje smanjenje vidnih sposobnosti, a kod dužeg zadržavanja u prostoriji psihičku neudobnost i zamor čime se smanjuje radna sposobnost.“ Također prema istoj literaturi [4]: „postoje dvije vrste bliještanja: direktno i refleksno bliještanje. Direktno

bliještanje pojavljuje se kada su sjajnosti svjetiljki u usporedbi s općom svjetlošću u prostoriji mnogo veće. Ovakvo bliještanje zavisi od: sjajnosti svjetiljaka, boja svjetiljki i veličine svjetlećih površina svjetiljki u vidnom polju, položaja svjetiljki u vidnom polju, sjajnosti površina neposredne i posredne okoline svjetiljki.“ Glavni uzročnik direktnog bliještanja je sjajnost svjetiljke, stoga je potrebno ograničiti njezinu sjajnost. Refleksno bliještanje prouzrokovano je refleksijom na zrcalnim površinama u prostoriji. Ova bliještanja otklanja se tako da se skupi što više svjetiljki u grupe dobrom rasvjetom stropova. Isto tako smjer odbijanja svjetlosti ne smije se poklapati sa smjerom gledanja te matiranjem površine radnih mjesta.

2.3.5. Smjer upada svjetlosti i sjenovitosti

Autori literature [4] navode kako za: „raspoznavanje predmeta u prostoru, njihovih oblika i izgleda površina utječe raspodjela upadnog svjetla izvora svjetlosti i time uzrokovane sjenke.“ Vrlo difuzna raspodjela svjetla izvora svjetlosti (indirektna rasvjeta) otežava raspoznavanje plastičnosti objekata. Ako je upad svjetla iz neprirodnog smjera, može dovesti u ekstremnom slučaju do vizualne obmane. Rasvjeta ne smije biti siromašno sjenama. Tvrdoća sjene mora biti mala (ne smije biti pretamna), a granica sjenke (prijelaz) mekana. Kod mnogih vidnih zadataka (npr. čitanje, pisanje, crtanje) sjenke nisu poželjne, ponekad čak i smetaju, pa ih je potrebno po mogućnosti smanjiti, npr. s difuznom svjetlošću svjetiljke velike svjetleće površine. Difuzna rasvjeta bez sjene, naročito u velikim prostorijama, često djeluje dosadno i zamarajuće. Zbog toga je u takvim prostorijama poželjno namjestiti svjetiljke s jakim usmjerenim svjetlom. Svjetlost tih svjetiljki ne smije utjecati na vidni zadatak na radnom mjestu, ali treba oku pri pogledu s predmeta rada na okolni prostor, omogućiti ugodnu promjenu i opuštenost.

2.3.6. Klima boja

Klima boja kod unutarnje rasvjete predstavlja faktor kvalitete, koji određeni prostor čini ugodnim te omogućuje dobro raspoznavanje boja predmeta. Literatura [4] navodi kako: „svjetlo izvora svjetlosti i boje u prostoriji omogućavaju gledanje okoline, a ljudsko oko ih fiziološki registrira kao boju svjetlosti i boju predmeta. Psihofizička djelovanja nastaju pod utjecajem

svjetlosti i boja.“ Višestruki uzrok tih djelovanja, nazvan „klima boja“ djeluje na raspoloženje ljudi. Klima boja, prema [4], je u prostorijski uzrokovana određenim komponentama: „

- bojom svjetlosti izvora svjetlosti
- bojom prostorijske i predmeta
- reprodukcijom boja
- razinom rasvjetljenosti.“

Pravilno izabrana boja svjetlosti i dobra reprodukcija boja čine prostorijsku ugodnom i harmoničnom, dok slaba boja svjetlosti i reprodukcija boja daju utisak disharmonije i vizualne neudobnosti. Boju svjetlosti bilo kojeg izvora svjetlosti moguće je označiti na dva načina: trikromatskim koordinatama i temperaturom boje.

Da bismo bolje shvatili pojam temperature boje spominje se i pojam kolorimetrije. Kolorimetrija je prema [1] znanost koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem boja. Za označavanje koristi međunarodno prihvaćen trikromatski sustav koji miješanjem triju prikladno odabranih boja omogućava ostvarenje neke druge boje. Dva su kolorimetrijska sustava prihvaćena od strane Međunarodne komisije za rasvjetu:

1. Standardni kolorimetrijski sustav CIE - 1931.
2. Dopunski kolorimetrijski sustav CIE - 1964.

Za vrednovanje boja, osim kolorimetrijskih sustava prema literaturi [1] „koristi se i temperatura boje. Temperatura boje označava boju svjetla izvora svjetlosti, a označava onu temperaturu pri kojoj je zračenje crnog tijela prema obojenosti jednako kao obojenost izvora svjetlosti koji se promatra.“

2.3.7. Ograničenje stroboskopskog efekta

Kod izvora svjetlosti na izboj dolazi do njihanja svjetlosnog toka uslijed izmjeničnog napona. Uslijed njihanja dolazi do vidnih smetnji te vizualne obmane. Prema [3]: „vizualna obmana, kod koje se čini da predmet, koji rotira, stoji ili da rotira većom ili manjom brzinom u istom ili suprotnom smjeru, naziva se stroboskopski efekt.“ Spomenuti efekt predstavlja izvor opasnosti za radnike koji rade kod strojeva s rotirajućim dijelovima.

3. ENERGETSKA UČINKOVITOST

Poglavlje „Energetska učinkovitost“ napisano je uz pomoć literature [1]. Literatura [1] navodi kako je: „europska norma HRN EN 15193 stvorena radi uspostave i procedura za procjenu potrebne energije za rasvjetu u zgradarstvu i za analizu energetske učinkovitosti rasvjete uz definiranje graničnih vrijednosti energije nužne za napajanje rasvjete.“ Isto tako u literaturi stoji kako se „pri tome poštuju dosadašnja pravila i procedure proračuna rasvijetljenosti površina, ovisno o njihovoj namjeni. Normom su dane mjerna i računska metoda za procjenu iznosa energije koja se koristi za rasvjetu unutar zgrade, za određeni vremenski period. Pritom se određuje tzv. numerički indikator godišnje potrebe energije za rasvjetu, koji se koristi u svrhu certifikacije.“ Proračun se radi dva puta, „prvi se temelji na brzjoj metodi i daje prosječne godišnje vrijednosti energije za rasvjetu, a drugi se bazira na sveobuhvatnoj metodi, kojom se dobivaju satne vrijednosti potrošnje energije za rasvjetu.“

Autori literature [1] kazuju kako „konačni rezultat proračuna, prema bilo kojoj od dvije metode, je tzv. faktor LENI, koji govori koliko se godišnje troši električne energije po kvadratu površine. Kako se radi o specifičnoj vrijednosti, moguća je direktna usporedba potrošnje energije za rasvjetu za zgrade slične namjene, ali različite veličine.“

Prema [1], „ulazni podaci potrebni za proračun energetske učinkovitosti sustava unutarnje rasvjete su:

- instalirana snaga rasvjete,
- godišnji broj sati rada rasvjete za dana i tijekom noći,
- utjecajni faktori (ϵ_1):
- faktor korištenja dnevnog svjetla,
- faktor zauzeća prostora,
- faktor konstantne rasvjete,
- površina zone ili prostorije.“

Autori literature [1] navode kako se: „potrebna energija za rasvjetu može smanjiti koristeći neki od sljedećih zahvata na rasvjetnom sustavu, odnosno u zoni ili prostoriji:

- osjetilno upravljanje rasvjetom,
- korištenje dnevnog svjetla,
- korištenje detektora prisutnosti,
- inteligentno održavanje, ovisno o broju sati rada instalacije,
- energetske učinkoviti izvori svjetlosti,
- adekvatan izbor svjetiljki i izvora svjetlosti u ovisnosti o konkretnoj primjeni (ured, prodajni salon, tvornička hala, hotelska soba i sl.),
- upravljanje konstantne rasvijetljenosti (upravljanje prema održavanju).“

Spomenute metode prema gore navedenoj literaturi [1]: „su zapravo mjere koje se mogu provesti s ciljem povećanja energetske učinkovitosti postojećih instalacija rasvjetnih sustava. Da bi određena mjera bila provediva, potrebno je izraditi proračun isplativosti koji se može svesti na određivanje vrijednosti jednostavnog perioda povrata investicije u određenu mjeru.“ Neke od uobičajenih mjera za povećanje energetske učinkovitosti, prema [1] su:

- „zamjena izvora svjetlosti niske svjetlosne iskoristivosti učinkovitijima (inkandescentne žarulje ->fluokompaktne ili LED žarulje),
- zamjena pred spojnih naprava fluorescentnim cijevima (elektromagnetske prigušnice - > elektroničke prigušnice),
- zamjena fluorescentnih armatura zajedno s cijevima (loša optika, T8 cijev -> napredna optika, T5 cijev),
- zamjena fluorescentnih cijevi LED cijevima,
- ugradnja detektora prisutnosti,
- ugradnja sustava konstantne rasvjete,
- ugradnja centralnog sustava za upravljanje rasvjetom.“

4. PROJEKTIRANJE RASVJETE

Energetski učinkovite instalacije rezultat su projektiranja sustava rasvjete, pazeći pri tome da je ono vođeno priznatom inženjerskom praksom te da se poštuju odredbe relevantnih normi. Takve rasvjetne instalacije, prema već navedenoj literaturi [1], „osiguraju vizualni komfor, koji se očituje u sljedećem:

- odgovarajuća razina rasvijetljenosti,
- ravnomjernost rasvijetljenosti,
- jednolikost luminancije,
- ograničenje luminancije,
- zadovoljavajući kontrasti,
- ispravno usmjerenje rasvjete,
- varijabilnost svjetlosti,
- odgovarajući faktor uzvrata boje,
- odgovarajuća temperatura boje svjetlosti,
- ograničenje bliještanja,
- ograničenje treperenja.“

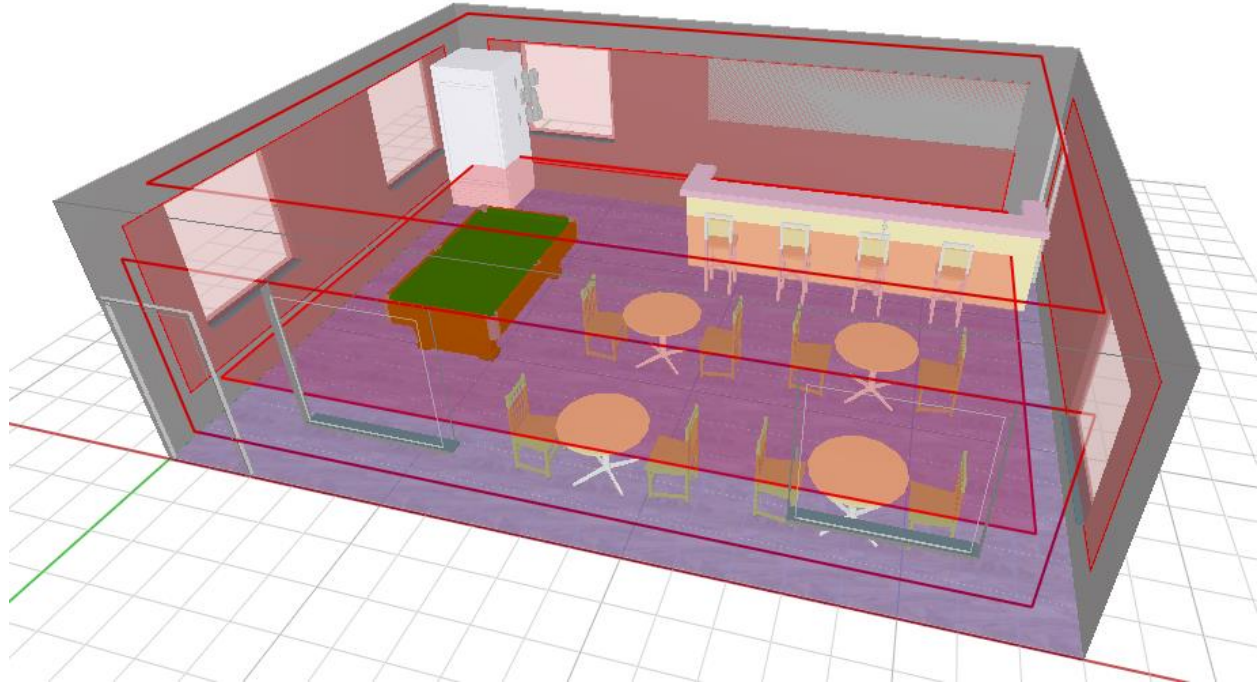
Ista ta literatura [1] navodi kako „pored vizualnog komfora važno je postići i odgovarajuću učinkovitosti rasvjetnog sustava, koja se ogleda u:

- niskoj potrošnji električne energije,
- primjerenim troškovima održavanja rasvjetnog sustava.“

Projektiranje suvremenih rasvjetnih instalacija zahtijeva primjenu suvremenih alata poput računalnih programa Relux, Dialux i slični, koji projektantima uvelike ubrzavaju te olakšavaju, kako literatura [1] navodi: „put do konačnog svjetlotehničkog rješenja.“

Na samom početku projektiranja rasvjete, u ovisnosti o tome što se rasvijetljava i svim ostalim kriterijima koje izvor svjetlosti mora moći zadovoljiti, bira se odgovarajući izvor svjetlosti. Projektant može sam ili uz pomoć računalnih alata odrediti potreban broj odabranih izvora svjetlosti i svjetiljki, uz jasno definirane svjetlotehničke parametre i specifične zahtjeve.

U literaturi [1] stoji kako: „ostatak projektantskog posla obuhvaća zadatke poput iscrtavanja električne instalacije, projektiranja strujnih krugova za napajanje rasvjete, uobičajeni proračuni poput dimenzioniranja kabela, proračuna pada napona i sl. i dalje su poslovi koje će projektanti u većoj ili manjoj mjeri odraditi samostalno ili uz pomoć nekog od specijaliziranih alata (Ecodial, ePLAN, SEE ElectricalCADdy++ i sl.)“.



Slika 5.2. 3D model referentnog prostora[P.5.1.]

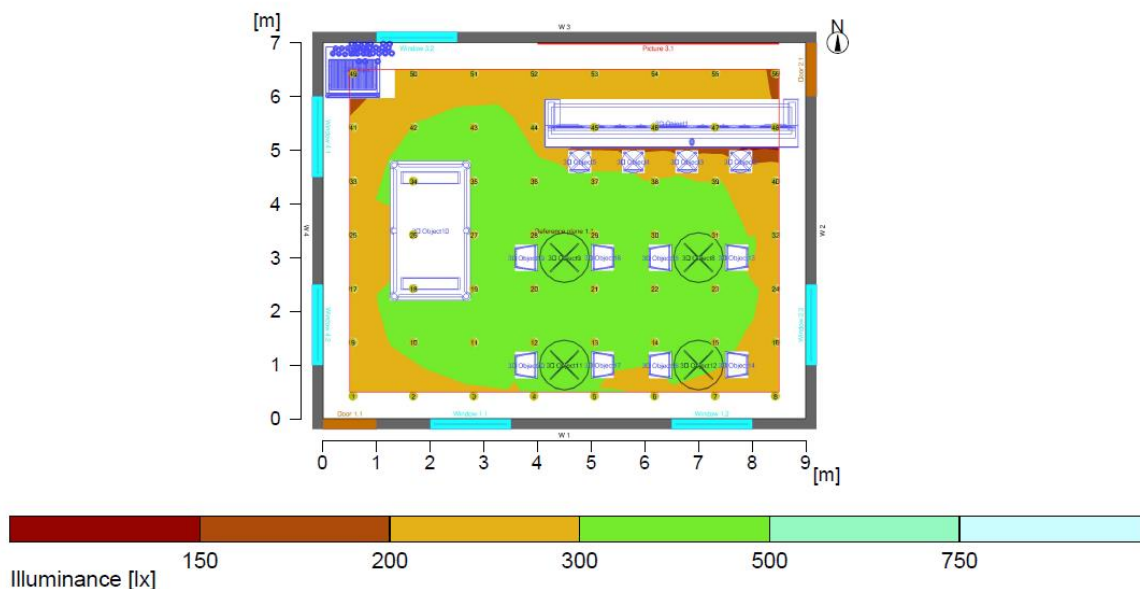
Na modelu napravljenom u Relux-u prikazani su scenariji s tri vrste rasvjetnih tijela koje se najčešće koriste, a to su:

- Rasvjetna tijela s halogenim žaruljama
- Rasvjetna tijela s fluorescentnim cijevima
- LED rasvjetna tijela

5.1. Rasvjetna tijela s halogenim žaruljama

Halogene žarulje su žarulje koje imaju žarnu nit te koriste toplinsko zračenje pri stvaranju svjetla. Od standardnih žarulja sa žarnom niti razlikuju se po dodatku halogenida (brom, klor, fluor i jod) unutar same žarulje te se time potpuno sprječava crnjenje balona žarulje pa tako svjetlosni tok ne slabi, nego ostaje stalan kroz cijeli vijek trajanja. Kod halogenih žarulja povećana je i svjetlosna iskoristivost u odnosu na standardne električne žarulje jer je žarnu nit moguće ugrijati na puno višu temperaturu (oko 3000 K). Kružni proces je glavno svojstvo žarulja ove vrste. Sa žarne niti isparava volfram prilikom grijanja te odlazi do stjenke balona, gdje se

spaja s halogenidima na temperaturi manjoj od 1400K. Termičko strujanje približava taj spoj žarnoj niti gdje se pri temperaturi većoj od 1400 K razgrađuje, a atom volframa se vraća na žarnu nit. Balon žarulje izrađen je od kvarcnog stakla koje zadržava štetno ultraljubičasto zračenje i može podnijeti visoke temperature jer temperatura stakla doseže i do 250°C.



Slika 5.3. Svjetlotehnički proračun[P.5.1.]

Ukupan svjetlosni tok: 45920 lm

Ukupna snaga svih svjetiljki: 3360.0 W

Ukupna snaga po jedinici površine: 53.33 W/m²

Maksimalna rasvjetljenost: 406 lx

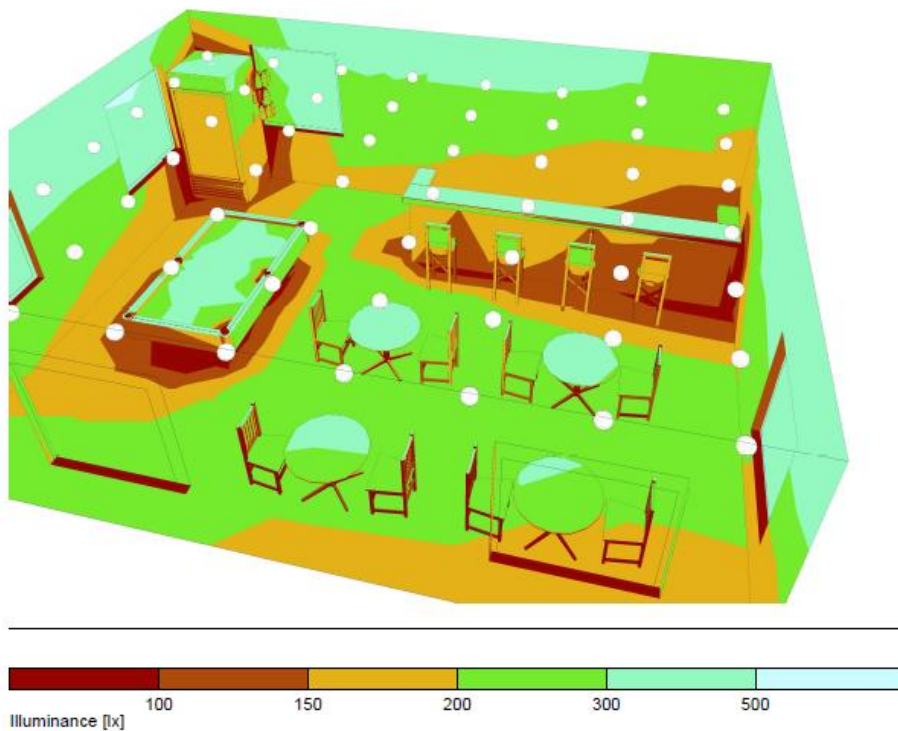
Minimalna rasvjetljenost: 190 lx

Prosječna rasvjetljenost: 298 lx

Rasvjetno tijelo: EMISFERO-16(1 x HSG-Ø14 60 W / 820 lm)



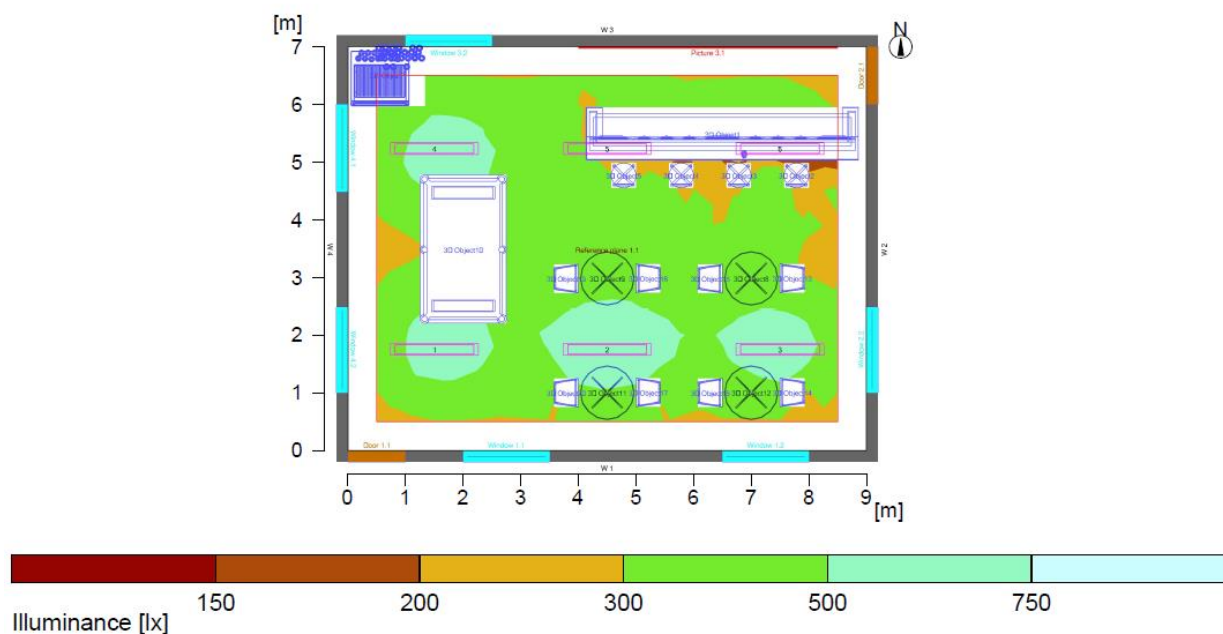
Slika 5.4. 3D model sa halogenim žaruljama[P.5.1.]



Slika 5.5. 3D model sa pseudo bojama[P.5.1.]

5.2. Rasvjetna tijela s fluorescentnim cijevima

Fluorescentna cijev je rasvjetno tijelo koje svjetlost stvara električnim izbojem u smjesi živinih para i plemenitog plina (argon ili kripton) pod niskim tlakom. Taj električni izboj emitira pretežito ultraljubičasto zračenje, koje se pretvara u vidljivo svjetlo na stijenkama unutar cijevi koje na sebi imaju fosforni sloj. Svjetlosna iskoristivost fluorescentnih cijevi je 30 do 90 lm/W, što je daleko više od standardnih žarulja sa žarnom niti kod kojih ona iznosi oko 20 lm/W. Također ovaj tip rasvjetnih tijela ima desetak puta veću trajnost od standardnih električnih žarulja. Zbog raznih nečistoća koje se stvaraju s unutarnje strane cijevi i apsorbiraju svjetlost, svjetlosni tok ovih rasvjetnih tijela se smanjuje s vremenom korištenja. Nedostatak fluorescentnih cijevi je titranje svjetlosti frekvencijom od 100 Hz što može uzrokovati stroboskopski učinak, ali njega se može umanjiti korištenjem više cijevi. Cijevi se proizvode u različitim oblicima i veličinama koje se prilagođavaju namjeni.



Slika 5.6. Svjetlotehnički proračun[P.5.2.]

Ukupan svjetlosni tok: 51720 lm

Ukupna snaga svih svjetiljki: 588.0 W

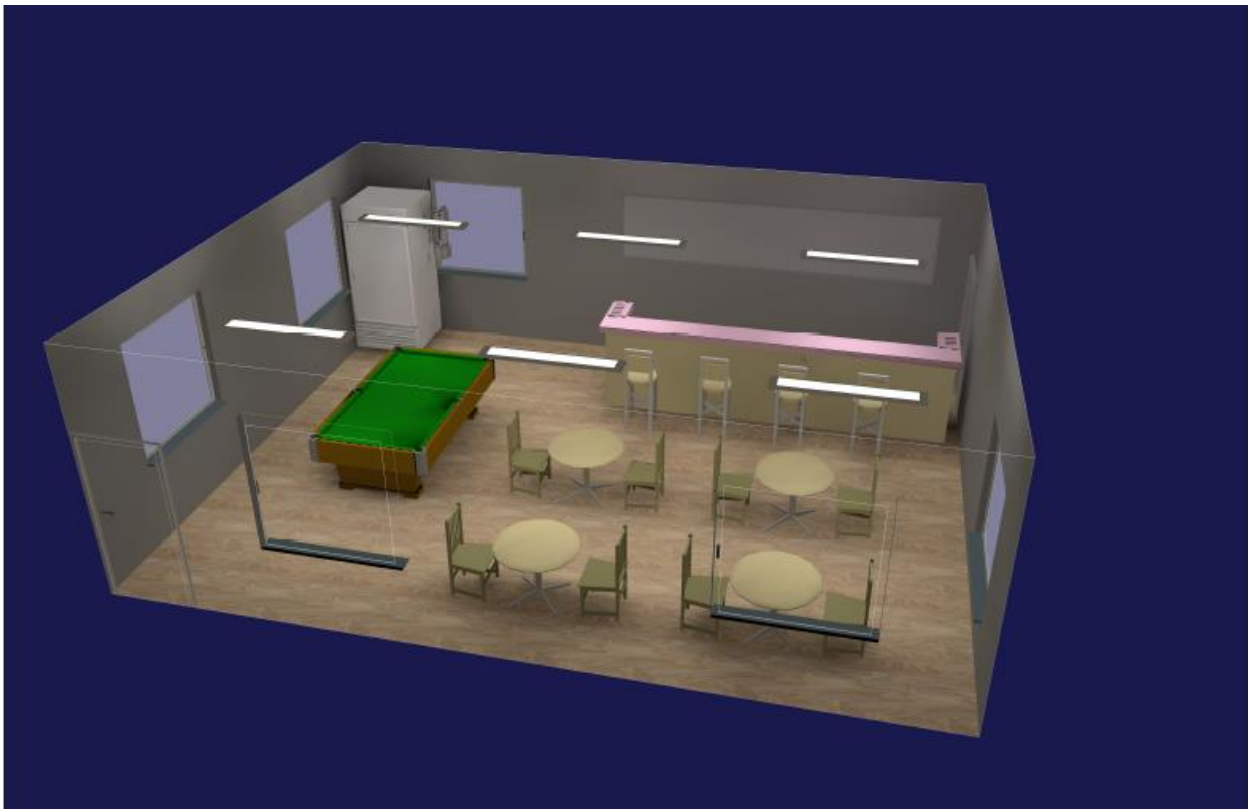
Ukupna snaga po jedinici površine: 9.33 W/m²

Maksimalna rasvjetljenost: 538 lx

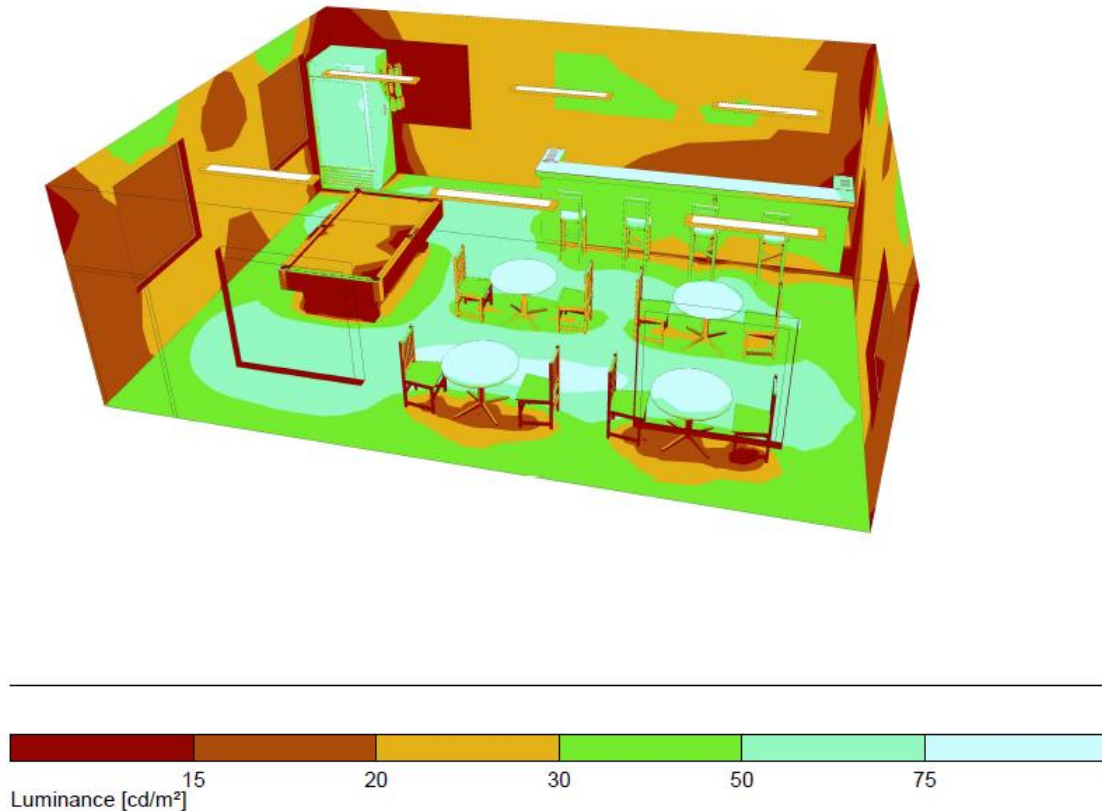
Minimalna rasvjetljenost: 216 lx

Prosječna rasvjetljenost: 377 lx

Rasvjetno tijelo: InteriorI 235ZE5-K (2 x FD-Ø16 49 W / 4310 lm)



Slika 5.7. 3D model sa fluorescentnim cijevima[P.5.2.]



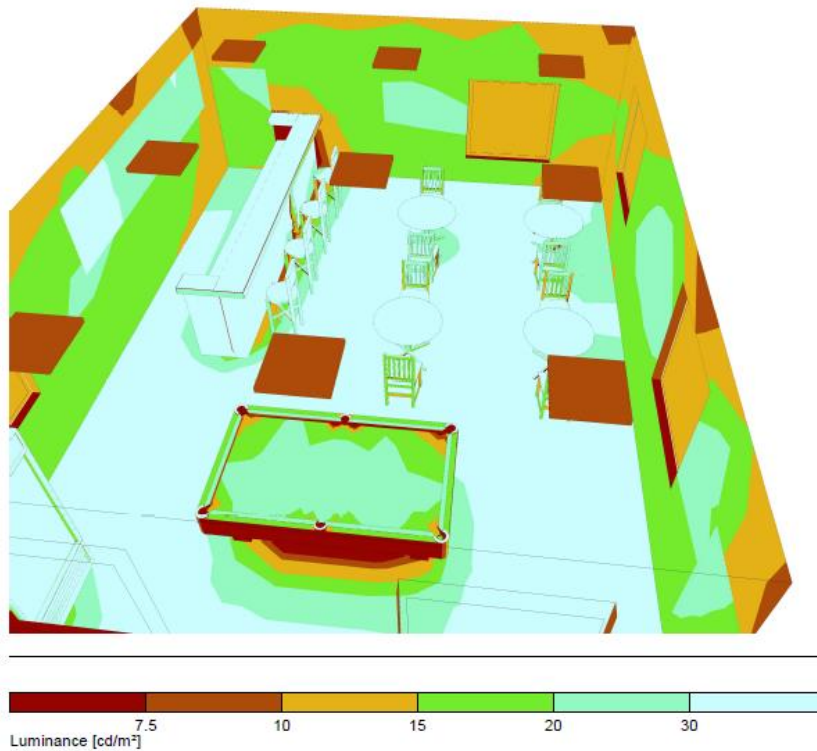
Slika 5.8. 3D model sa pseudo bojama[P.5.2.]

5.3. LED rasvjetna tijela

Svjetleća dioda ili LED (engl. *Light Emitting Diode*) kako literatura [2] navodi: „je elektronički poluvodički element koji električni signal pretvara u svjetlost, ona emitira elektromagnetsko zračenje pomoću svojstva elektroluminiscencije“ (emisija uzrokovana rekombinacijom nosilaca električnog naboja). Prilikom prelaska elektrona iz vodljivog pojasa u valentni, oslobađa se energija koja se očituje kao zračenje. Svjetleće diode mogu emitirati svjetlost različite boje, koja ovisi o vrsti poluvodiča kao i primjesama u njemu. Spektar varira od infracrvenog do ultraljubičastog svjetla. Ovaj tip rasvjetnog tijela danas sve više zamjenjuje sve ostale vrste svjetiljki zbog svoje jako dobre elektroenergetske učinkovitosti.



Slika 5.10. 3D model sa LED rasvjetom[P.5.3.]



Slika 5.11. 3D model sa pseudo bojama[P.5.3.]

5.4. Komentar na izračun

Navedena su tri scenarija rješavanja problema rasvjete referentnog prostora te je napravljen potpuni svjetlotehnički proračun za svaki scenarij. U sva tri slučaja zadovoljeni su postavljeni uvjeti svjetlotehničkih veličina te možemo promatrati koliko električne energije zahtjeva određeni tip rasvjete.

Tablica 5.1.

Vrsta rasvjetnog tijela	Halogena žarulja	Fluorescentna cijev	LED
Snaga [W]	3360	588	225

Na prvom mjestu su halogene žarulje, koje imaju daleko najslabiji svjetlosni tok, pa je potrebno puno više svjetiljki kako bi se pravilno i jednoliko rasvijetlio prostor. Iz tablice 5.1. može se primijetiti da je snaga u ovom slučaju daleko najveća, što i odgovara realnoj situaciji. Kod žarulja sa žarnom niti imamo jako velike energetske gubitke, jer se oko 95% energije pretvara u toplinsku energiju, a tek 5% u svjetlosnu. Iz tog razloga ove žarulje se danas sve manje koriste, a uskoro se može očekivati i njihovo potpuno nestajanje iz upotrebe.

U drugom slučaju u referentni prostor postavljena su rasvjetna tijela sa fluorescentnim cijevima koja imaju puno jači svjetlosni tok, pa ih ima i puno manje u odnosu na prvi slučaj. Uz pomoć 6 svjetiljki, prostor je rasvijetljen sa zadovoljenim svjetlotehničkim veličinama, ali uz smanjenje ukupne snage potrebne za rasvjetu za gotovo 6 puta. Fluorescentne cijevi znatno se manje griju, ima manje gubitke pa samim time i bolju energetska učinkovitost. Zbog toga ovakve vrste svjetiljki nazivaju se još i „štedne žarulje“

U trećem slučaju upotrijebljena su LED rasvjetna tijela. LED svjetiljke zahtijevaju najmanje energije za isti učinak te su one najbolje rješenje za ovaj prostor. Cijeli prostor rasvijetljen je uz snagu nešto više od 200W što je u usporedbi sa prvim slučajem znatna razlika kako u potrebnoj energiji, tako u konačnici i u financijskom smislu. Ovaj oblik svjetiljki sve više zamjenjuje sve druge oblike rasvjetnih tijela, jer prelazak na ovaj tip svjetiljki donosi vidljive razlike u potrošnji i na razini jednog obiteljskog doma.

6. ZAKLJUČAK

Prilikom projektiranja rasvjete nekog unutarnjeg prostora, često je potrebno osim raznih uvjeta koje nameću norme, zadovoljiti i osobne zahtjeve koje želimo ostvariti. Rasvjeta se dizajnira tako da odgovara namjeni i zadovoljava zadane uvjete. Na primjeru ugostiteljskog objekta, na određenim mjestima u prostoriji želi se imati bolju i kvalitetniju rasvjetu, a na nekim mjestima to možda ne pravi veliku razliku. Treba pronaći najbolji omjer uloženog i dobivenog. Rezultati ovog rada pokazali su da je LED rasvjeta daleko najisplativiji oblik rasvjete, no to ne mora uvijek odgovarati za sve slučajeve. Povećavanjem broja svjetiljki u prostoru, povećava se i jednolikost rasvijetljenosti prostora no to rezultira većim troškovima za nabavku samih svjetiljki. Zato treba odabrati takve svjetiljke, da zadovolje naše potrebe i potrebe prostora, a da ih je što manje. U ovom radu pozornost je usmjerena samo na potrošnju navedenih vrsta svjetiljki, ali izračun energetske učinkovitosti je puno složeniji postupak koji se sastoji od mnogih drugih čimbenika koji utječu na sam rezultat. Potrebno je u obzir uzeti i vrijeme koje se provodi u prostoriji odnosno vrijeme kada je potrebna rasvjeta prostora. Utjecaj dnevnog svjetla također bitno utječe na energetska učinkovitost te ju treba što je više moguće iskoristiti. Energetska učinkovitost može se znatno povećati upotrebom automatizma u projektiranju rasvjete. Razni senzori prisutnosti mogu uštediti veliku energiju koja bi se inače nepotrebno trošila.

LITERATURA

- [1] Marinko Stojkov, Damir Šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoški, Zvonimir Klaić, Dražan Kozak, ENERGETSKI UČINKOVITA RASVJETA, Osijek 2015
- [2] LightingHandbook – INDALUX, LightEngineering 2002
- [3] TheSocietyofLightandLighting, The SLL LightingHandbook
- [4] Filip Prebeg; Ivan Horvat, Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama, Zagreb 2017
- [5] Z.Klaić, D.Topić, Električna rasvjeta, PowerPoint, FERIT Osijek
- [6] Lipapromet, Kratka povijest svjetlosti
- [7] S.Krajcar, A.Šribar, L.Lugarić, Izvori svjetlosti, FER Zagreb 2011
(14.9.2019.)
- [8] Wikipedia, Umjetni izvori svjetla
https://hr.wikipedia.org/wiki/Umjetni_izvori_svjetla (14.9.2019.)
- [9] Wikipedia, Svjetlost
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlost> (14.9.2019.)
- [10] Korak, portal, Energetska efikasnost u sustavima unutarnje rasvjete
<https://korak.com.hr/korak-050-lipanj-2015-energetska-efikasnost-u-sustavima-unutarnje-rasvjete/> (20.6.2019.)
- [11] Wikipedia, Fotometar (14.9.2019.)
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotometar>

SAŽETAK

U ovom radu bilo je potrebno proučiti normu HRN EN 15193 te upoznati se sa svjetlotehničkim veličinama. Nakon teorijske obrade ključnih pojmova koji se koriste u radu, prelazi se na sam zadatak. Na modelu ugostiteljskog objekta bilo je potrebno napraviti različite simulacije koristeći programski alat ReluxPro te usporediti dobivene rezultate. Rezultati simulacije se smatraju točnim jer odgovaraju realnom scenariju. Donesen je zaključak o isplativosti pojedinih vrsta svjetiljki koje se koriste za rasvjetu unutarnjeg prostora.

Ključne riječi: svjetlost, elektroenergetska učinkovitost, projektiranje rasvjete, umjetni izvori svjetlosti, svjetlotehničke veličine, rasvjeta unutarnjeg prostora

ABSTRACT

In this paper it was necessary to study the norm HRN EN 15193 and to get acquainted with light engineering sizes. After theoretical processing of the key terms used in the paper, it moves on to the task itself. On the model of the catering facility it was necessary to make different sorts of simulations using software tool ReluxPro and to compare the obtained results. The results of the simulation are considered accurate because they correspond to a realistic scenario. It was given a conclusion about profitability of certain sorts of light that are used for illuminating the interior space.

Keywords: light, electro energetic efficiency, projecting of light, artificial light sources, light engineering sizes, illuminating of the interior space.

ŽIVOTOPIS

Mario Ivanković, rođen 6. listopada 1997. godine u Vinkovcima. Osnovnu školu završio 2012. godine u Vinkovcima. Nakon toga upisuje Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima koju završava 2016. godine. Po završetku srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studiranja opredjeljuje se za smjer elektroenergetika.