Mjerenje sjanosti kolnika digitalnim fotoaparatom

Patrun, Luka

Master's thesis / Diplomski 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:959874

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

MJERENJE SJAJNOSTI KOLNIKA DIGITALNIM FOTOAPARATOM

Diplomski rad

Luka Patrun

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1. Zadatak diplomskog rada 1
2. SVJETLOST, RASVJETA I FOTOMETRIJA 2
2.1. Svjetlost u prostoru elektromagnetskog spektra 2
2.2. Povijest rasvjete 3
2.3. Pregled izvora svjetlosti najčešće korištenih u javnoj rasvjeti 4
2.3.1. Žarulja sa žarnom niti 4
2.3.2. Niskotlačne natrijeve žarulje (LPS) 7
2.3.3. Visokotlačne natrijeve žarulje (HPS) 9
2.3.4. Fluorescentne cijevi 10
2.3.5. LED 13
2.4. Fotometrija 15
3. UTJECAJ UMJETNE RASVJETE NA ČOVJEKA I ŽIVOTINJSKI SVIJET 19
3.1. Ljudski vid, percepcija svjetlosti i utjecaj svjetlosti na čovjeka 19
3.2. Utjecaj umjetne rasvjete na biljni i životinjski svijet 22
4. NORME ZA CESTOVNU RASVJETU 28
4.1. HRI CEN/TR 13201-1:2015; Smjernice za odabir razreda rasvjete 28
4.2. HRN EN 13201-2:2016; Zahtijevana svojstva 30
4.2.1. Pojmovi i definicije 30
4.3. HRN EN 13201-3:2016; Proračun svojstava 33
4.3.1. Matematičke konvencije 33
4.3.2. Fotometrijski podatci 34
4.3.3. Svjetlotehničke veličine 34
4.4. HRN EN 13201-4:2016; Metode mjerenja svojstava rasvjete 38
4.4.1. Uvjeti mjerenja 38
4.4.2. Fotometrijska mjerenja 39

4.4.3. Mjerenja ne-fotometrijskih parametara 41
4.4.4. Izvješće o ispitivanju 42
4.5. HRN EN 13201-5:2016; Pokazatelji energetskih svojstava 43
5. ANALIZA SVJETLOSNIH VELIČINA DIJELA ULICE KRALJA PETRA KREŠIMIRA 45
5.1. Analiza rasvjete ulice kralja Petra Krešimira 45
5.1.1. Primijenjene norme i procjena očekivanih vrijednosti 45
5.1.2. Projekt rasvjete ulice Kralja Petra Svačića 47
5.2. Mjerenje iluminacije i luminacije pomoću mjernih instrumenata 52
5.3. Snimanje iluminacije 56
5.4. Mjerenje sjajnosti digitalnim fotoaparatom 57
5.4.1. Uvod 57
5.4.2. Fotoaparat 58
5.4.3. Luma software 59
5.4.4. Mjerenje sjajnosti digitalnim fotoaparatom i analiza rezultata 63
5.5. Snimanje luminacije 68
6. ZAKLJUČAK 70
Literatura 71

1. UVOD

Tehnološki razvoj u 19. stoljeću donio je mnoge novine, a počeo je i razvitak moderne rasvjete bez koje bi život bio nezamisliv. Osim što noću osvjetljava put, rasvjeta u nama izaziva osjećaj sigurnosti. Područje u kojem rasvjeta ima velik utjecaj jest promet. U ovom diplomskom radu obrađena je teorija o postojećim tehnologijama rasvjete, njenom utjecaju na živi svijet, utjecaju rasvjete na ljudski vid, pregled postojećih normi po pitanju izvedbe rasvjete. U praktičnom dijelu obradit će se projektna dokumentacija modernizacije rasvjete u ulici kralja Petra Krešimira, ulica će se modelirati i simulirati u programu Dialux, dobiveni rezultati usporedit će se s rezultatima dobivenim pomoću mjernih instrumenata te digitalnog fotoaparata, gdje je potrebno odabrati objekt slikanja te obraditi i ispravno protumačiti dobivene podatke, što podatci govore te kako se trenutna rasvjeta može optimizirati da bi se zadovoljili standardi.

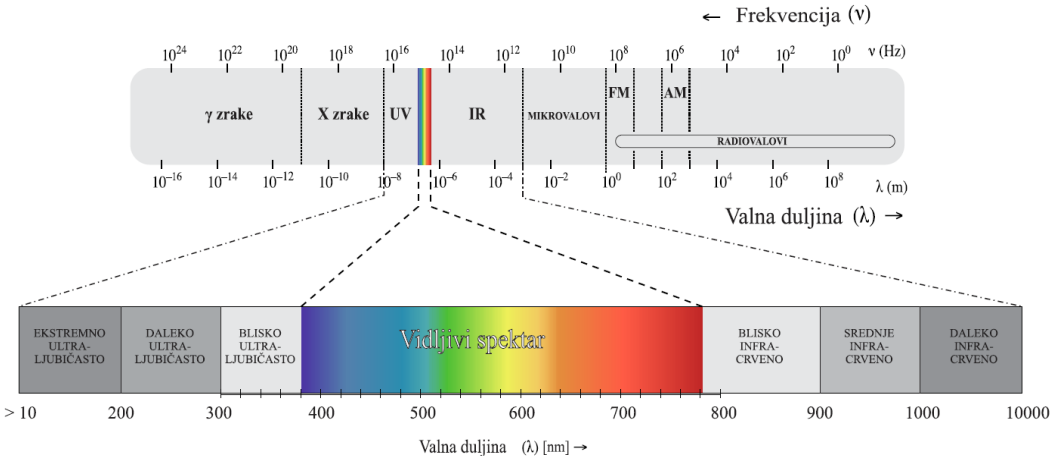
1.1. Zadatak diplomskog rada

Cilj rada jest napraviti pregled dostupnih tehnologija rasvjete, potrebno je navesti prednosti i nedostatke rasvjete. Za potrebe praktičnih mjerenja obraditi norme: HRI CEN/TR 13201-1:2015, HRN EN 13201-2:2016, HRN EN 13201-3:2016, HRN EN 13201-4:2016 i HRN EN 13201-5:2016 koje daju upute i smjernice za svjetlotehnička mjerenja te stavlja određene zahtjeve pred rasvjetu. Za mjerenje svjetlosnih veličina na terenu osim osnovnog znanja fizikalnog ponašanja svjetlosti, potrebne su tehničke vještine korištenja mjernih instrumenata i digitalnog fotoaparata, znanje rada u Linux operacijskom sustavu te znati se služiti programom otvorenog koda pomoću kojeg se mjeri sjajnost.

2. SVJETLOST, RASVJETA I FOTOMETRIJA

2.1. Svjetlost u prostoru elektromagnetskog spektra

Svjetlost jest elektromagnetsko zračenje koje oscilira valnim duljinama koje su vidljive ljudskom oku. Te valne duljine iznosa su od 380 nm do 780 nm [1]. Osim vidljivog spektra, postoji i elektromagnetski spektar koji ima kraće valne duljine od 380 nm te elektromagnetski spektar koji ima veće valne duljine od 780 nm. Kraće valne duljine pripadaju ultraljubičastom spektru, a veće valne duljine pripadaju infracrvenom spektru, kao što se vidi na slici 1.



Slika 1. Spektar svjetlosti [2]

„U kontekstu rasvjete koristi se vrlo usko područje spektra elektromagnetskog zračenja (područje valnih duljina između 10^{-7} i 10^{-3} m), koje se naziva „optičko zračenje“ [3]. Svakom zračenju pripisuje se dvojna karakteristika: čestična karakteristika, pri interakciji s čvrstim tvarima i elektromagnetska valna karakteristika prilikom širenja kroz prostor. Svjetlosno se zračenje promatra iz dva aspekta, aspekta kvantne i valne teorije. Za kvantnu teoriju svjetlosnog zračenja vrijedi navesti da se ono temelji na pretpostavci da je svako zračenje sastavljeno od elementarnih čestica poznate kao „kvanti“, gdje je kvant najmanja količina energije. Svjetlosne kvante nazivamo fotonima. Oni se kroz prostor šire brzinom svjetlosti, a njihova energija je proporcionalna njihovoj frekvenciji. Za valnu teoriju svjetlosti potrebno je reći da se svjetlosno zračenje tumači kao elektromagnetsko valno pravocrtno širenje energije prostorom u obliku transverzalnih valova. Brzina širenja u vakuumu je konstantna te iznosi

$$c_0 = (2{,}99776 \pm 0{,}00004) \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Ova brzina se naziva brzinom svjetlosti [3].

2.2. Povijest rasvjete

Moderan život nezamisliv je rasvjete. Prvi začeci rasvjete dogodili su se još u Grčkoj i Rimu, ali to su si mogli priuštiti samo bogati građani. Rasvjetu su palili, kontrolirali i gasili robovi koji su dobili naziv „laternarius“ [4]. Prvi korak ka javnoj rasvjeti kakvom je danas poznajemo napravili su građani Londona 1417. godine, kada je gradonačelnik Sir Henry Barton izdao naredbu da svaka obitelj mora objesiti lanternu ispred kuće za vrijeme zimskih mjeseci nakon što padne mrak [5]. Slijedeći koraci bili su usmjereni unaprijeđenu tehnologije. Dotadašnja rasvjeta u usporedbi s današnjim standardima bila je vrlo slaba, tek nekoliko puta bolja od svijeće, a za gorivo se koristilo ulje i loj. Iskorak u tehnologiji rasvjete napravio je škotski izumitelj William Murdoch koji je započeo razvoj plinske rasvjete [6]. Plinska rasvjeta radila je tako što bi se grijanjem ugljena iz njega dobio metan koji se onda palio te emitirao svjetlost. Nakon razvoja u trajanju od 13 godina, Murdoch je svojim svjetiljkama osvijetlio mlin za proizvodnju pamuka „Philips i Lee“ u Manchesteru. Počevši s 50 svjetiljki, konačan broj je dosegao njih čak 904 u četiri godine uz konstantno unaprjeđivanje. Prvi gradovi osvijetljeni plinskim lampama bili su Baltimore (Sjedinjene Američke Države) 1816. godine i Pariz (Francuska) 1820. godine [7]. Uvođenjem rasvjete, građanima je omogućeno sigurnije kretanje gradom kada više nije bilo prirodnog svjetla te se život na ulicama mogao nastaviti odvijati. Slijedeći koraci u napretku ostvareni su za vrijeme druge industrijske revolucije pred kraj 19. i početkom 20. stoljeća. Napredak je ostvaren promjenom izvora energije i promjenom svjetiljki. Američki izumitelj i poduzetnik Thomas Alva Edison 1879. godine uspio je sa svojim timom inženjera proizvesti prvu žarulju sa žarnom niti. Taj uspjeh rezultat je njihovog rada i rada svih izumitelja prije njih. Naime, Edison je sa svojim timom inženjera prvi uspio u naumu da žarulja sa žarnom niti bude dovoljno jeftina, da ima dobar životni vijek i da ju je moguće proizvesti u dovoljno velikom broju da bude konkurentna na tržištu. S obzirom na to da je Edison razvijao i sustav električnog napajanja, imao je sve što je potrebno da bi električne žarulje od želje mogle postati stvarnost. Prvi ovakav sustav rasvjete bio je instaliran na parobrodu Columbia u travnju 1880. godine, a prva zgrada koja je dobila ovaj sustav bila je tiskara „Hinds i Ketcham“ u siječnju 1881. godine. Daljnji razvoj električne mreže omogućio je uporabu električne rasvjete svuda u svijetu [8]. Početkom 20. stoljeća inženjeri su razvili niskotlačne natrijeve žarulje koje su bile daleko učinkovitije od bilo kojih drugih svjetiljki. One su za svoj normalan rad, zbog toga što je natrij vrlo podložan koroziji, trebale posebno staklo te kontrolu temperature kako bi ona bila što konstantnija [9]. 1965. godine dolazi nasljednik niskotlačnih žarulja, a to su visokotlačne natrijeve žarulje koje su bile još bolje, ali dotad ih

nije bilo moguće proizvesti zbog nedostatka dovoljno dobrih materijala koji bi mogli izdržati temperaturu i tlak koji su potrebni da bi žarulje radile [9]. O uspjehu visokotlačnih natrijevih žarulja govori i podatak da su one još uvijek najraširenij tip žarulja na svijetu namijenjenih za javnu rasvjetu [9]. Za povijest razvoja rasvjete dovoljno je još spomenuti CFL (kompaktna fluorescentna žarulja) te LED rasvjetu. Prvi pokušaji izrade fluorescentnih žarulja zabilježeni su još 1940ih godina. Iako su imale dobre karakteristike što se tiče potrošnje energije i kvalitete emitiranog svjetla, tada su žarulje bile preskupe za proizvodnju zbog manjka mehanizacije koja bi ih mogla proizvoditi u velikim serijama po niskim cijenama. Tek su se 1995. godine na tržištu pojavile spiralne CFL žarulje koje su danas postale standardom [10]. Koristeći poluvodičke materijale, galij arsenid fosfit i tehniku stimulirane emisije, 1962. godine Nick Holonyak uspio je napraviti prvu u praksi primjenjivu svjetleću diodu (LED). Dioda je emitirala crveno svjetlo [11]. Razvojem tehnologija razvila se i tehnologija izrade i primjene LED-a te je to tehnologija koja čini najveći iskorak u dosadašnjoj rasvjeti zbog svoje vrlo visoke učinkovitosti u pretvorbi električne energije u vidljivo svjetlo i svojih karakteristika.

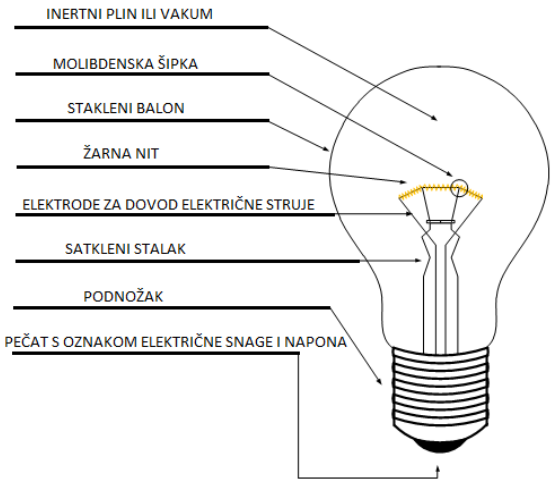
2.3. Pregled izvora svjetlosti najčešće korištenih u javnoj rasvjeti

U ovom poglavlju govorit će se o nekoliko tehnologija rasvjete: žarulja sa žarnom niti, nisko i visokotlačne natrijeve žarulje, fluorescentne žarulje i LED.

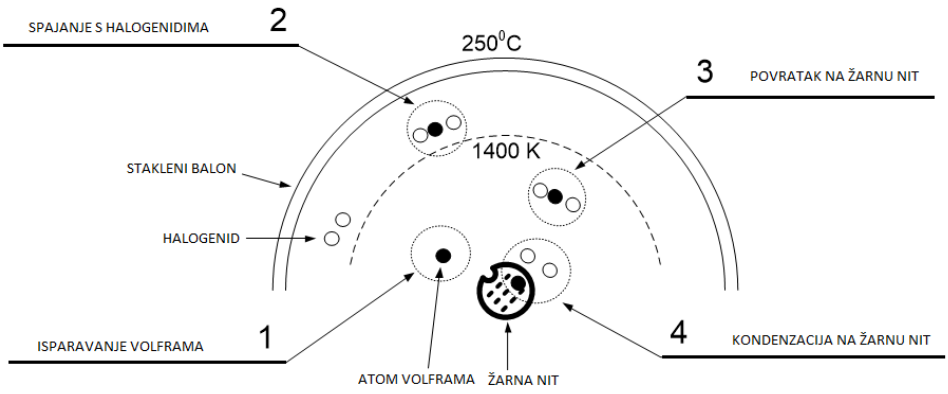
2.3.1. Žarulja sa žarnom niti

Od pet navedenih tehnologija, žarulja sa žarnom niti (klasična žarulja) ima najmanju učinkovitost u pretvorbi električne energije u vidljivu svjetlost. Iako je sam izum pripisan Edisonu, žarulju je pokušalo izumiti više inženjera inovatora, ali im nije pošlo za rukom zbog svih izazova koji su im se našli na putu. Naime, da bi žarulja radila potreban je stabilan izvor električne energije, na čemu je Edison radio, i kvalitetni materijali koji bi omogućili dovoljno dug životni vijek da žarulje budu isplative. Edisonu su u njegovom naumu uvelike pomogli njegovi asistenti koji su nerijetko imali bolje formalno obrazovanje od njega, njegova tri najznačajnija asistenta bili su Francis R. Upton, Charles Batchelor i John Kruesi [12]. Iako na samom početku žarulje nisu bile mnogo bolje od dotadašnje plinske rasvjete, njihovim konstantnim preinakama nije prošlo mnogo vremena da budu prihvaćene od šire javnosti. U modernim žaruljama svjetlost nastaje tako što se prolaskom električne struje kroz žarnu nit, koja je napravljena od volframa, nit se zbog svoje otpornosti zagrijava na vrijednosti od 2600

K do 3000 K te se usijava i emitira vidljivu svjetlost [13]. Pri svom radu ovakve žarulje imaju vrlo nisku učinkovitost zbog velikih toplinskih gubitaka, tj. najveći dio uložene energije se dobiva kao toplina. „U svijetlost se pretvara 5-10 % uložene energije, a ostatak se pretvara u toplinu“ [13]. Prilikom svog rada, zbog svoje zagrijanosti, čestice volframa isparavaju sa niti te se kondenziraju na staklenoj stijenci balona. Zbog tog procesa tijekom vremena dolazi do prekida žarne niti, tj. pucanja žarne niti. Da bi se taj proces što više odužio, u stakleni balon se mogu upumpati plinovi halogenidi (brom, fluor, klor ili jod) koji sprječavaju da se čestice volframa kondenziraju na stjenku balona te se oni ponovno kondenziraju na žarnoj niti [14]. Zbog činjenice da ispareni volfram ne kondenzira na istom mjestu odakle je ispario, tijekom vremena i kod ovakvih žarulja, koje se nazivaju halogene žarulje, dolazi do pucanja žarne niti. Na slijedeće dvije slike prikazane su žarulja sa žarnom niti (slika 2) te halogeni kružni ciklus (slika 3).

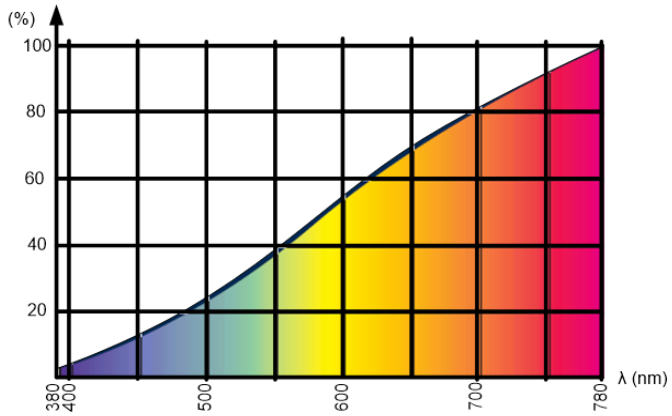


Slika 2. Žarulja sa žarnom niti [14]



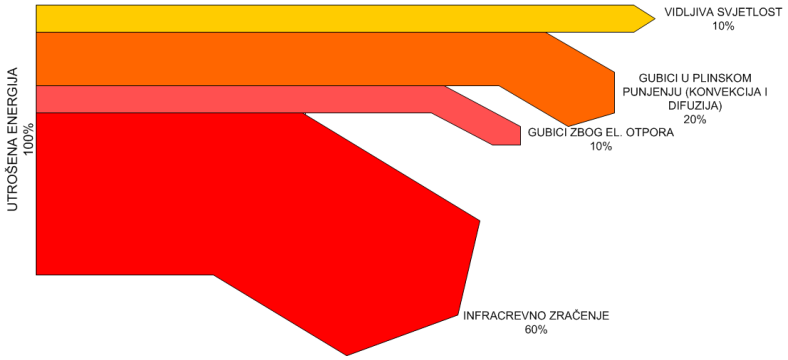
Slika 3. Halogeni kružni ciklus [14]

Uz učinkovitost žarulja, vrlo bitna karakteristika prilikom osvjetljenja je i spektar zračenja koji pojedina žarulja daje. Na slici 4 prikazan je spektar zračenja kojeg daje žarulja sa žarnom niti.



Slika 4. Spektar zračenja žarulje sa žarnom niti [14]

Iz slike krivulje vidljivo je da je zračenje jače kako se primiče infracrvenom području, tj. području gdje je valna duljina svjetla (λ) preko 780 nm. Zbog ovakvog zračenja svijetlost koju daje žarulja je žute boje. Iako je nešto drugačija po pitanju same izvedbe žarulje, spektar halogene žarulje je isti, razlika je u tome što halogene žarulje imaju bolju učinkovitost koja je prikazana na energetskoj bilanci (slika 5).



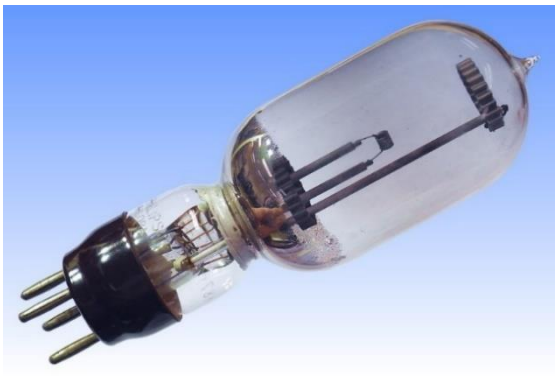
Slika 5. Energetska bilanca halogene žarulje [14]

Iz energetske bilance jasno je vidljivo kako se raspodjeljuje uložena energija. Samo 10 % uložene energija biva pretvoreno u korisnu svjetlost, a čak 60 % biva direktno pretvoreno u nepoželjnu toplinsku energiju, tj. infracrveno zračenje koje je valne duljine preko 780 nm. Zbog ovakvih slabih performansi, prilikom ulaska u EU (1.srpnja 2013. godine), u Republici Hrvatskoj zavladao je zakon zabrane prodaje klasičnih žarulja [15] što je za kupce značilo da se moraju okrenuti prema drugačijim izvorima svjetla, a 1.rujna 2018. godine na europskom tržištu zabranjene su i halogene žarulje [16] s daljnjim ciljem povećanja električne učinkovitosti rasvjete. Sve to znači da će klasična i halogena žarulja postati predmeti prošlosti

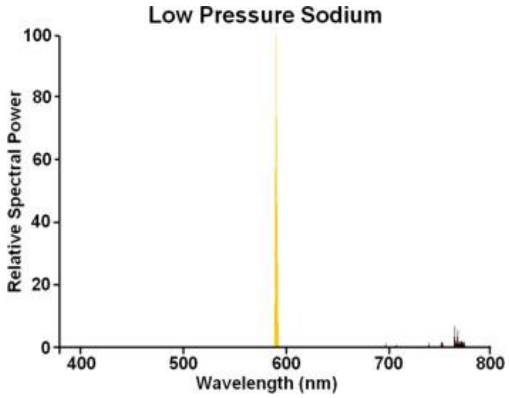
te da se okrećemo novijim, učinkovitijim i boljim tehnologijama. Jedna od boljih tehnologija za rasvjetu prometnica su niskotlačne natrijeve žarulje.

2.3.2. Niskotlačne natrijeve žarulje (LPS)

Za razliku od klasične i halogene žarulje, gdje se svjetlost dobije zagrijavanjem niti, niskotlačna natrijeva žarulja emitira svjetlost pomoću izbijanja u natrijevim parama niskog tlaka [17]. Izum žarulje seže do čak 1919. godine do patenta Arthura H. Comptona, zaposlenika *Westinghouse Electrica* u Sjedinjenim Američkim Državama. On je napravio prvi svjetlosni izvor koji je emitirao žutu svjetlost koja je karakteristična za natrijeve žarulje. Iako su živine žarulje na tržištu postojale oko dvadeset godina, znanstvenici su zaključili da bi i natrij bio pogodan materijal za žarulje s izbijanjem zbog njihovog relativno visokog tlaka para. Compton je vrlo brzo uvidio da niskotlačna natrijeva žarulja ima visoku učinkovitost od 200 lm/W, iako ova brojka u obzir ne uzima snagu potrebnu za početno zagrijavanje žarulje [18]. Godinu dana kasnije, Compton je uspio napraviti prvu žarulju na natrijeve pare koja je za svoj rad zahtijevala nizak napon i visoku struju. 1930. napravljen je prvi značajniji pomak u razvoju ove tehnologije. Njemačka firma *Osram*, na čelu s Marcellom Stefano Piranijem uspjela je proizvesti nekoliko niskonaponskih natrijevih žarulja koje su za svoj rad trebale cijevi punjene kriptonom, zbog čega su uspjeli povećati učinkovitost do čak 350 lm/W. U kolovozu 1931. rasvijetlili su ulicu niskotlačnim natrijevim žaruljama koje su imale učinkovitost od 46 lm/W. Prva firma koja je započela proizvodnju ovih žarulja je *Philips*. Oni su 1932. izbacili svoju prvu žarulju imena *Philora,* koja je prikazana na slici 6. Žarulje u sebi imaju mješavinu neona i argona, pod tlakom od 10^{-2} milibara, malu količinu natrija u obliku kapljica nataloženih na stijenci u cijevi unutar žarulje. Prilikom paljenja, dok je žarulja još hladna, struja prolazi kroz mješavinu argona i neona (plemeniti plinovi) prilikom čega dolazi do rasta temperature te isparavanja natrija. U-cijev u kojoj će doći do isparavanja natrija nalazi se u staklenom balonu koji je s unutarnje strane ima tanki premaz indij oksida koji je filter i reflektor infracrvenog zračenja. Ovaj tanki reflektirajući sloj vraća oko 90 % proizvedene topline prema U-cijevi (slika 8) [17]. Natrijeve žarulje učinkovite su u pretvorbi električne u svjetlosnu energiju, ali njihova mana je što daju monokromatsko svjetlo valne duljine 589 nm (slika 7) koje je izrazito žuto-narančaste boje.



Slika 6. Philora Philips žarulja [19]



Slika 7. Spektar zračenja [19]

Zbog toga što je ova valna duljina vrlo blizu valnoj duljini na kojoj je ljudsko oko najosjetljivije, primjena ovih izvora prikladna je za široku primjenu u uvjetima i prostorima kod kojih je poželjna pojačana oštrina zapažanja, kao npr. prometnice s učestalim pojavama magle [17].



Slika 8. Moderna Philips žarulja [20]

Moderna Philips žarulja posjeduje poseban električni spoj SOX-E cijevi s hibridnom prigušnicom i električnim propaljivačem što znači da žarulja ima mogućnost trenutnog ponovnog paljenja [17]. u tablici 1. napravljena je usporedba prve Philipsove žarulje s novom modernom iz 2012.

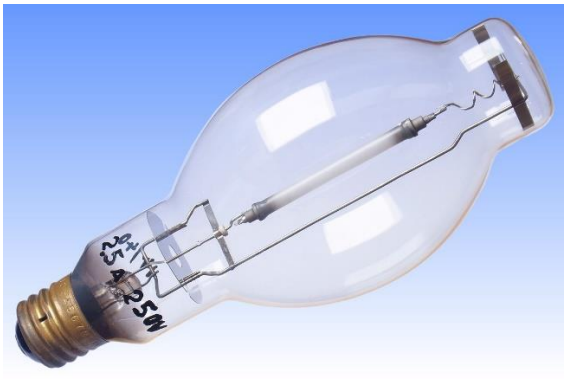
Tablica 1. usporedba tehničkih karakteristika niskotlačnih natrijevih žarulja [19] [20]

Žarulja	Philora 4000 lumen DC	SOX-E PSG
Snaga	100 W	36 W
Premaz staklenog balona	bez premaza	Indij oksidni film
Atmosfera	Natrij 0,5 g	Na, 99 % Ne, 1 % Ar
Svjetlosni tok	4000 lm	6100 lm
Svjetlosna učinkovitost	40,0 lm/W	169 lm/W
Životni vijek	oko 900 h (50 % vjerojatnost)	18 000 h (70 % vjerojatnost)
Vrijeme zagrijavanja	15 minuta	11,5 minuta
Godina proizvodnje	1932.	2012.

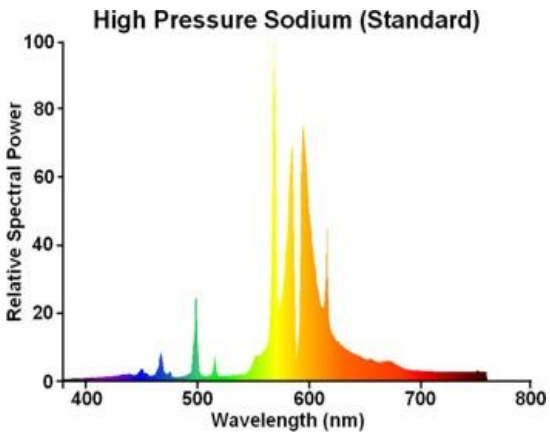
Iz tablice se uočava napredak tehnologije. Osim što manje troše, žarulje nove generacije daju veći svjetlosni tok te im je životni vijek znatno duži.

2.3.3. Visokotlačne natrijeve žarulje (HPS)

Testiranja 1920ih godina pokazala su da će se dobiti puno kvalitetniji spektar ukoliko bi se povećao tlak unutar natrijeve žarulje. Tih godina nisu postojali dovoljno kvalitetni materijali ni načini izrade da bi to bilo moguće te se na prvu visokotlačnu natrijevu žarulju moralo pričekati sve do 60ih godina 20. stoljeća. Prvi ključan izum, koji je omogućio razvoj HPS-a, je Lucalox. Lucalox je „prozirni aluminijev oksid“, prozirnu keramiku koja je bila otporna na koroziju pod utjecajem natrija. Otkrio ga je Robert L. Coble za vrijeme potrage za materijalima pogodnima za svemirska istraživanja, a *General Electrics* ga je predstavio 15. rujna 1959. godine. Prednosti Lucaloxa su što je mogao podnijeti vrlo visoke temperature rada te mu je talište na 2050 °C [21]. Bilo je potrebno još 5 godina razvoja prije nego je uspješno napravljena prva komercijalna HPS žarulja. 1964. Homonnay, Louden i Schmidt prvi su uspjeli proizvesti HPS koja je emitirala blještavo bijelo svjetlo (slika 9) [22]. Za razliku od LPS žarulja koje daju monokromatsko svjetlo, HPS imaju mnogo bolji spektar (slika 10) i bolji CRI.



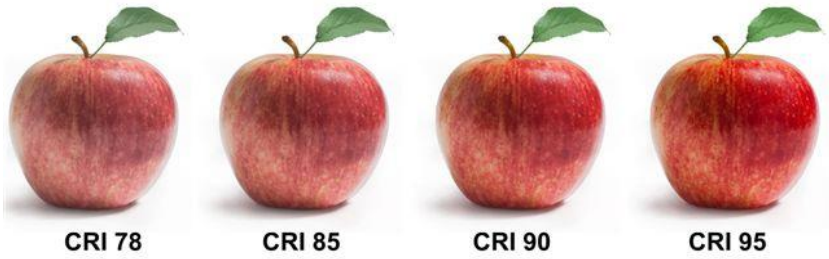
Slika 9. Prva HPS žarulja [23]



Slika 10. spektar zračenja HPS žarulja [23]

Usporedbom sa slikom 7 (spektar zračenja LPS), vidi se da HPS ima puno širi spektar upravo zbog povećanja tlaka natrija. U prijevodu to znači da će emitirano svjetlo biti puno kvalitetnije po pitanju indeksa uzvrata boje. CRI (color rendering indeks), tj. indeks obrade boje, jest kvantitativna mjera sposobnosti izvora svjetlosti da nam vjerno prikaže boje objekata koje gledamo u usporedbi s kada su osvijetljeni prirodnim ili idealnim svjetlom [24,25]. Maksimalna CRI-vrijednost je 100, što odgovara CRI-u sunca. Primjer indeksa je prikazan na

slijedećoj slici (slika 11) gdje se jasno vidi da CRI govori o tome koliko vjerno vidimo boje osvjetljenog predmeta [26].



Slika 11. primjer za CRI [26]

U slučaju LPS za razliku od HPS, napretkom tehnologije nije moguće poboljšati CRI zato što će natrij pri niskom tlaku uvijek emitirati svjetlost valne duljine 589 nm što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. usporedba CRI za različite modele LPS i HPS žarulja [19,21,20,27]

Žarulja	Godina proizvodnje	Tip žarulje	CRI
Philora 4000-lumen DC	1932.	LPS	-44
GE Lucalox	1965.	HPS	25
SOX-E PSG	2012.	LPS	-44
Philips SDW-AR	2018.	HPS	80

Povećan CRI Philips SDW-AR žarulja postignut je tlakom natrijevih para od 95 kPA te srebrnom krunom.

2.3.4. Fluorescentne cijevi

Fluorescentne cijevi su vrsta rasvjetnih tijela kod kojih se vidljivo svijetlo dobije izbijanja. Prva cijev koja se mogla u praksi koristiti 1934. godine razvio je „General Electric Company of England“. Prvi su napravili cijevi u kojima se događao izboj u niskotlačnoj atmosferi živinih para te generirao ultraljubičasto zračenje koje je stimuliralo fluorescentni premaz na unutarnjoj strani cijevi. Dizajnu s nedostajale brojne značajke da bi proizvod kao takav bio spreman za komercijalnu proizvodnju. Američki General Electric je prvi uspio razviti cijev do te mjere da je bila spremna za prodaju. Moderne lampe, iako dijele mnoge značajke ranih flourescentnih cijevi, bile su nekoliko puta usavršavane kako bi zadržale poziciju rasvjetnog tijela koje uz nisku cijenu proizvodnje daje kvalitetno bijelo svjetlo [28]. Dakle, izboj se događa u živinim parama tijekom kojeg nastaje nevidljivo UV zračenje koje se onda luminoforom, koji je nanesen na unutarnju stjenku cijevi i ima fluorescentne karakteristike,

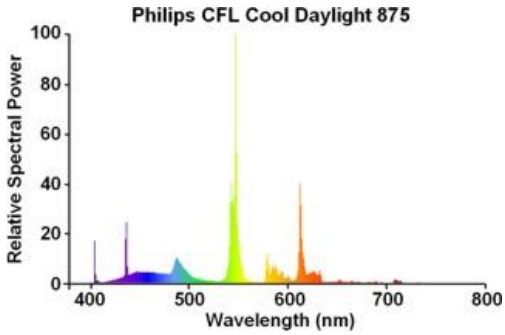
pretvara u vidljivo svjetlo. Različite boje svjetlosti (slike 12, 13, 14 i 15) postižu se odabirom luminofora [17].



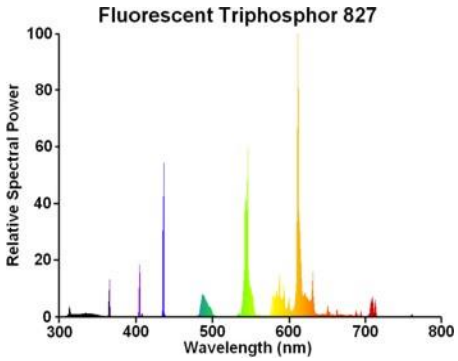
Slika 12. Philips CFL [29]



Slika 13. OSRAM CFL [30]

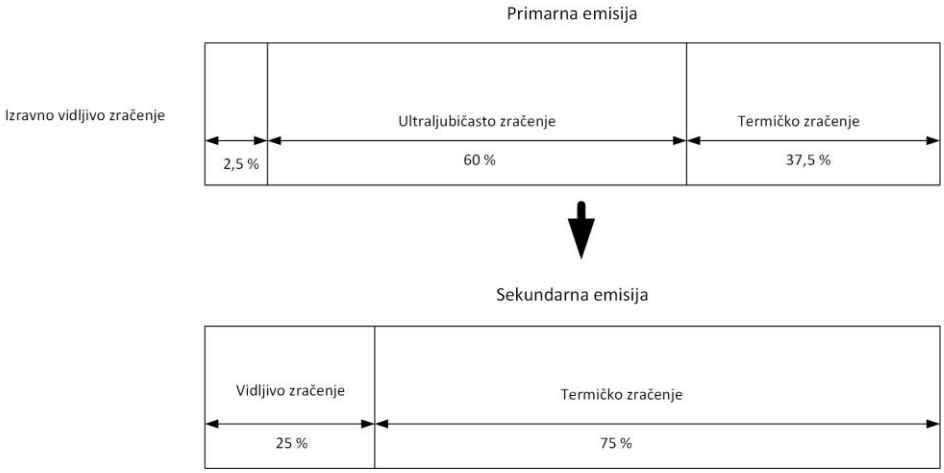


Slika 14. CFL 7350 K [29]



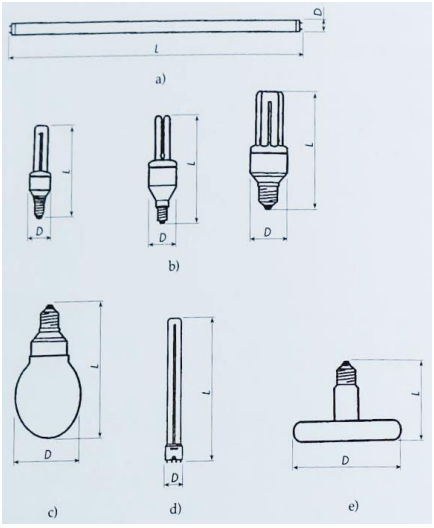
Slika 15. CFL 2700 K [30]

Osim što se Philips i OSRAM žarulja razlikuju po obliku, razlikuju se i po završnoj obradi cijevi tj. balona zbog čega se razlikuju u emitiranoj svjetlosti. OSRAM žarulja s temperaturom boje od 2700 K daje toplije svjetlo od Philips CFL koje je hladnije. Zbog toga što se odabirom luminofora direktno utječe na temperaturu emitiranog svjetla te zbog ostalih povoljnih karakteristika, fluorescentne žarulje još od 1970ih zauzimaju 80 % tržišta [28]. Energetska bilanca zračenja prosječne fluorescentne cijevi prikazana je na slici 16 (slika nacrtana u programu „MS Visio“).



Slika 16. Energetska bilanca zračenja fluorescentne cijevi [17]

Pomoću bilance energije jasno je vidljivo da se većina vidljivog svjetla dobije zbog pretvorbe UV zračenja pomoću luminofora u vidljivo zračenje. Fluorescentne cijevi su 2-3 puta učinkovitije od halogenih žarulja te 5-6 puta od žarulja sa žarnom niti. Fluorescentne cijevi primjenjuju se u sustavima cestovne rasvjete, pretežno za rasvjetu povijesnih jezgri, parkova, itd., za rasvjetu u javnim ustanovama, uredima pretežno zbog svoje učinkovitosti, činjenicom da se ne kvare često te povoljnom cijenom [17]. Postoje različite vrste fluorescentnih cijevi koje se koriste ovisno o području primjene (slika 17, uređena pomoću programa „Adobe Photoshop CC 2015“). Kao i ostali izvori svjetlosti koji rade na principu izbijanja, fluorescentne cijevi se ne mogu direktno priključiti na mrežni napon već se taj priključak izvodi preko predspojnih naprava čija je svrha ograničiti te stabilizirati struju izbijanja na određenu pogonsku vrijednost.



Oblici fluorescentnih cijevi i fluokompaktnih žarulja:
a) fluo-cijev
b) DULUX-EL
c) DULUX-Globe
d) DULUX-L
e) CIRCOLUX

Slika 17. Izvedbe fluorescentnih cijevi i žarulja [17]

Fluokompaktne žarulje rade na jednakom principu kao i fluorescentne cijevi. Razlikuju se jedino u obliku, tj. fluokompaktne žarulje (b,c,d,e) izvedene su tako da zauzimaju što manje prostora te imaju podnožak kao žarulje sa žarnom niti, to su podnošci E14 i E27. Ostale karakteristike navedene su u tablici 3.

Tablica 3. Prednosti i nedostatci fluorescentnih cijevi (CFL) [28]

Prednost	Nedostatak
Vrlo visoka svjetlosna učinkovitost	Sadrži otrovne živine pare
Visok i vrlo visok indeks uzvrata boja	Osjetljivo na ambijentalnu temperaturu
Niska cijena i jednostavan upravljački sklop	Slabiji režim rada pri nižim temperaturama
Dug radni vijek, izdržljiv proizvod	Slabiji režim rada kod pregrijavanja
Ujednačena distribucija svjetla bez blještanja	Pojava flikera kod magnetnih balasta pri 50 Hz
Može proizvesti gotovo bilo koju nijansu bijele	Pad lumena kroz radni vijek
Moguće zatamniti pomoću posebnih balasta	Otežano rukovanje dugim cijevima

2.3.5. LED

Light emitting diodes ili svjetleće diode zbog svojih karakteristika u posljednjih nekoliko godina postaju prvi izbor po pitanju rasvjete. Razvoj pojedinih boja LEDa dugo je trajao zbog brojnih tehničkih poteškoća. Razvoj počinje daleke 1907. godine kada je Joseph Round po prvi put primijetio da 10 voltni potencijal na kristalima silicij karbida emitira žuto svjetlo. Rus Oleg Losev je te iste godine napravio isti pokus s jednakim rezultatima. Tek 1961. godine Biard i Pittman „greškom“ su izumili infracrvenu LEDicu . Jedna od bitnijih LED boja je plava koju je 1972. godine otkrio Huji Nakamura [31]. Razvoj plave LED (slika 18) bitan je u tome što se pomoću nje mogu dobiti bijela, zelena i crvena boja pomoću fluorescentnih karakteristika kućišta dioda. Bijela boja dobije se tako što kućište plave diode ima premaz od $Y_5Al_5O_{12}$:Ce („YAG“), fosfor dopiran cerijem proizvodi žuto svjetlo kroz fluorescentnost (slika 19). Kombinacija žutog svjetla s plavim daje toplu bijelu boju. Uporaba drugih fosfora daje zeleno i crveno svjetlo kroz fluorescenciju [32].

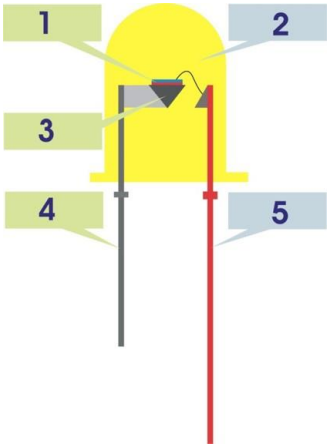


Slika 18. Huji Nakamura i plava LED [33]



Slika 19. Philips Master LEDbulb 'Glow' 7W [34]

Na slici 20 prikazan je pojednostavljen prikaz dijelova LED.



Slika 20. LED [14]

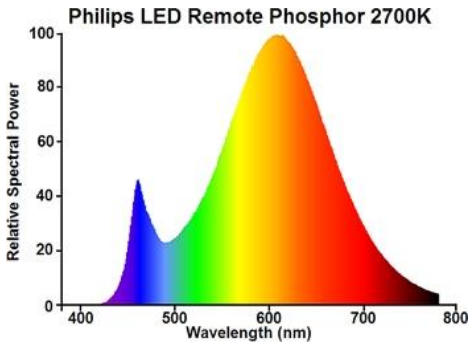
Osnovni dijelovi:

1. LED chip
2. Plastično kućište s optikom
3. Reflektor
4. Katoda
5. Anoda

LED rasvjeta ima takve karakteristike zbog čega je ona prikladna za primjenu u različitim uvjetima i zahtijevanjima za rasvjetu. Jedno od njih je radni vijek, koji je nerijetko duži od 10000 sati, diode su vrlo malih dimenzija što olakšava i daje mogućnost za voljno dizajniranje rasvjetnog tijela, vrlo su učinkovite te se vrlo malo griju (do 60°C), moguće je mijenjati boju svjetla, diode ne emitiraju štetno UV zračenja i nemaju štetnih tvari u sebi te imaju visok indeks uzvrata boja [14]. Moguće je dimanje dioda što omogućava daljnje uštede energije. U tablici 4 navedeni su podatci za „Philips LED Classic Gasfilled 470lm“, a žarulja je na slici 21. LED je pogodan za rasvjetu prometnica zbog svog spektra zračenja (slika 22).



Slika 21. Philips LED Classic Gasfilled 470lm [35]



Slika 22. spektar zračenja za LED [35]

Tablica 4. Tehničke karakteristike [35]

Proizvođač	Royal Philips Electronics
Snaga	6 W
Podnožak	E27
Učinkovitost	78,3 lm/W
Radni vijek	10000 sati

Na grafu se jasno vidi da je spektar kontinuiran te se može zamijetiti blagi porast snage zračenja oko 480 nm. Upravo je zbog toga LED pogodan za rasvjetu prometnica, pogotovo noću. Naime razlikuju se 3 vrste vida: fotopski, mezopski te skotopski. Noću se oslanjamo na skotopski vid prilikom kojeg se bolje vide boje koje su pomaknute lijevom kraju spektru, tj. plavu boju [36]. Osim što će se zbog LED rasvjete dobro vidjeti i po mraku zbog sadržaja plavog spektra u zračenju, također je moguće precizno vidjeti boje objekata koji su osvjetljeni zbog indeksa uzvrata boja od 80 i više. Vrste vida bit će detaljnije obrađene u slijedećem poglavlju.

2.4. Fotometrija

„Fotometrija je grana optike koja se bavi mjerenjem svojstava svjetlosti. Povijesna fotometrijska mjerenja obavljana su s pomoću ljudskoga oka, a suvremena fotometrijska mjerenja, iako koriste elektroničke fotometre, prilagođena su osjetljivosti ljudskoga oka. Obuhvaćaju samo onaj dio spektra elektromagnetskih valova koji zamjećuje ljudsko oko, tj. ograničena su na valne duljine od približno 380 do 780 nm. Mjerenjima svojstava cjelokupnoga elektromagnetskoga spektra bavi se radiometrija.“ [37] U tablici 5 navedene su fotometrijske veličine te su opisane u nastavku.

Tablica 5. Fotometrijske veličine i mjerne jedinice [37]

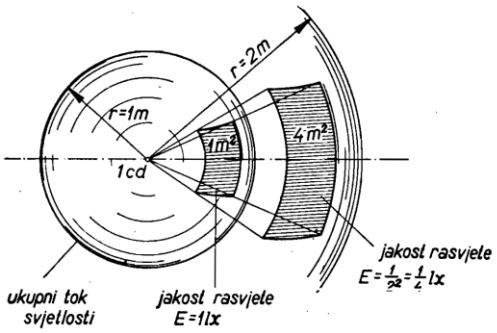
Veličina		Mjerna jedinica		Alternativni naziv
Naziv	Oznaka	Naziv	Oznaka	
Svjetlosna energija	Q_s	lumen sekunda	lm·s	Količina svjetlosti
Svjetlosni tok	Φ_s	lumen (cd·sr)	lm	Luminacijski fluks ili svjetlosna snaga
Svjetlosna jakost	I_s	kandela (lm/sr)	cd	Luminacijski intenzitet
Svjetljivost	L_s	kandela po kvadratnom metru	cd/m^2	Luminacija
Osvjetljenje	E_s	luks (lm/m2)	lx	Iluminacija
Osvijetljenost	H_s	luks sekunda	lx·s	Svjetlosna izloženost ili ekspozicija
Svjetlosna učinkovitost	η	lumen po vatu	lm/W	Luminacijska efektnost

Svjetlosna energija, Q_s

„Svjetlosna energija (količina svjetlosti) je fotometrijska fizikalna veličina koja opisuje energiju elektromagnetskoga zračenja onih valnih duljina (380 do 780 nm) za koje je ljudsko oko osjetljivo. Mjerna jedinica svjetlosne energije jest lumensekunda (lm·s). “ [38]

Svjetlosni tok, Φ_s

Svjetlosni tok jest količina svjetlosti koju emitira točkasti izvor svjetlosti, tj. količina svjetlosti koja se šalje u prostor u svim pravcima u jednoj sekundi. Zatvorimo li točkasti izvor svjetlosti jakosti 1 cd u kuglu promjera 1 m (slika 23), količina svjetlosti što prolazi kroz površinu od 1 m^2 kugle je 1 lm.



Slika 23. Točkasti izvor svjetlosti [39]

Steradijan je prostorni kut koji pripada površini od 1 m^2 na plaštu kugle polumjera 1 m. Obzirom na to da je površina kugle 4 r$^2\pi$, znači da je površina jedinične kugle (r=1 m) jednaka

12,57 m^2, tj. kugla polumjera 1 m ima 12,57 steradijana. Prema tome: 1 lumen je onaj svjetlosni tok koji točkasti izvor od 1 kandele daje u prostorni kut od 1 steradijana.

Izvor svjetlosti jakosti J cd dat će tok svjetlosti:

$$\phi_s = 4\pi \cdot J\ lm, \tag{1}$$

a jakost izvora svjetlosti je:

$$J = \frac{\phi_s}{4\pi}\ cd \text{ [39].} \tag{2}$$

Svjetlosna jakost I_s

Jedinica kojom se opisuje jakost izvora svjetlosti, prema međunarodnom SI sustavu, naziva se 1 kandela (cd). [39] Kandela je definirana kao intenzitet svjetlosti u danom smjeru od izvora koji emitira monokromatsko zračenje frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ herca i ima intenzitet zračenja u istom smjeru 1/683 W po steradianu. Kandela je zamijenila standardnu svijeću ili svjetiljku kao jedinicu intenziteta svjetlosti u izračunima koji uključuju umjetnu rasvjetu i ponekad se naziva "nova svijeća". [40]

Svjetljivost, L_s

Svjetljivost jest fotometrijska mjera intenziteta svjetlosti po jedinici površine svjetlosti u određenom smjeru. Opisuje količinu svjetlosti koja prolazi, emitira se ili reflektira iz određenog područja i pada unutar zadanog čvrstog kuta. SI jedinica za osvjetljenje je kandela po kvadratnom metru (cd/m^2). [41]

Osvjetljenje, E_s

Kad određeni tok svjetlosti pada na neku površinu S, on će na njoj proizvesti rasvjetu E_s. Jedinica za osvjetljenje jest 1 luks (lx). Površina od 1 m^2 ima osvjetljenje od 1 lx ukoliko na nju okomit pada svjetlosni tok 1 lm. Što se više udaljavamo od izvora svjetlosti, to je osvjetljenje slabije, zato što se isti tok svjetlosti dijeli na veću površinu. Prema tome je jakost rasvjete proporcionalna sa svjetlosnim tokom, a obrnuto proporcionalna s veličinom površine na koju taj tok pada, tj.:

$$E = \frac{\phi}{S}\ lx. \tag{3}$$

Iz toga proizlazi da je

$$1\ \frac{lm}{m^2} = 1\ lx.\ [60] \tag{4}$$

Osvijetljenost, H_s

„Osvijetljenost opisuje ukupnu količinu svjetlosti koja pada na neku plohu (fotografski medij, film ili senzor) u određenom vremenu, a definirana je umnoškom osvjetljenja E_s i njegova trajanja t, tj.

$$Hs\ =\ Es\ t \tag{5}$$

Mjerna jedinica osvijetljenosti jest luks sekunda (lx s).“ [42]

Svjetlosna učinkovitost, η

Svjetlosna učinkovitost je fizikalna veličina kojom se opisuje učinak određenih frekvencija elektromagnetskih valova na ljudski osjet vida. Računa se kao omjer svjetlosnog toka Φ_s i toka zračenja Φ, tj.

$$\eta\ = \frac{\Phi s}{\Phi}\,. \tag{6}$$

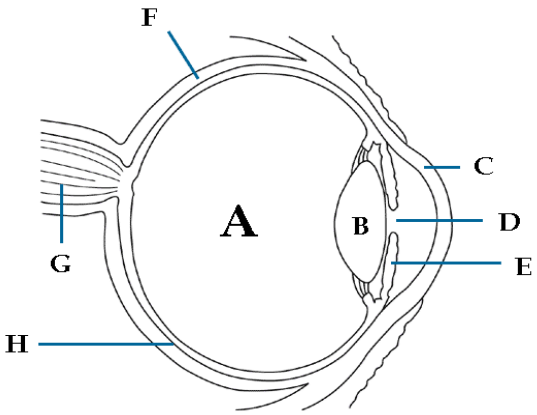
Najveća je svjetlosna učinkovitost (683 lm/W) žutozelene svjetlosti, valne duljine 555 nm. Mjerna jedinica svjetlosne učinkovitosti jest lumen po vatu (lm/W). [43]

3. UTJECAJ UMJETNE RASVJETE NA ČOVJEKA I ŽIVOTINJSKI SVIJET

3.1. Ljudski vid, percepcija svjetlosti i utjecaj svjetlosti na čovjeka

Iako to možda ne primjećujemo, umjetna rasvjeta ima jak utjecaj na nas. Osim što pomaže u obavljanju raznih poslova kad prirodno svjetlo nije dostupno, isto tako odmaže prirodnom cirkadijskom ritmu[44]. Cirkadijski ritam je ljudski bioritam od 24 sata koji je usklađen s pojavom dana i noći te on ima utjecaj na brojne mehanizme u tijelu. Unatoč određenoj fleksibilnosti u bioritmu, on ne može biti kraći od 23,5 ili duži od 24,6 sati bez štetnog utjecaja na zdravlje [37]. Vrlo teško je doći do preciznih mjerenja i zaključaka o negativnom utjecaju umjetne rasvjete na čovjekovo zdravlje zbog toga što bi takvi eksperimenti bili dugotrajni, praktički teško izvedivi te bi bili teški za interpretiranje. Međutim, potvrđen je negativan utjecaj plavog svjetla na cirkadijski ritam. Naime, pod utjecajem plavog svjetla, naše tijelo funkcionira kao da je dan, visoke smo razine budnosti te se prekida proizvodnja hormona melatonina [37]. Hormon melatonin je zaštitni hormon koji se proizvodi samo u tami, zbog čega se naziva hormon mraka. Njegovu sintezu prekida pojava svjetlosti koja je kraća od 600 nm (plava svjetlost). Taj hormon je bitna u tome što on u tijelu usporava diobu tumorskih stanica i potiče antitumorsku imunološku aktivnost [45]. Osim utjecaja na bioritam te sintezu hormona, umjetna rasvjeta ima utjecaja na naš vid.

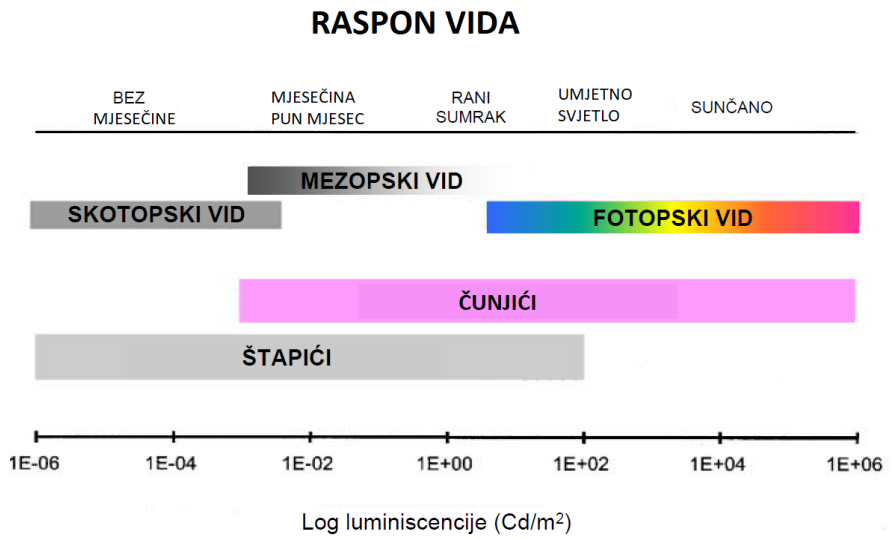
Za bolje razumijevanje problematike izbora rasvjetnih tijela, potrebno je upoznati se s anatomijom oka (slika 24) te s karakteristikama vida.



A – staklovina,
B – očna leća,
C – rožnica,
D – zjenica,
E – šarenica,
F – bjeloočnica,
G – očni živac,
H – mrežnica

Slika 24. Anatomija ljudskog oka [46]

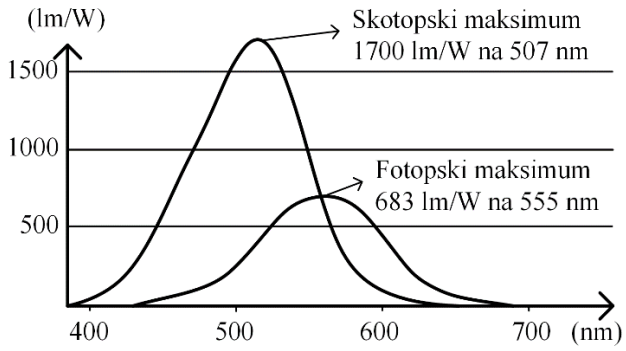
Stvaranje slike u mozgu: svjetlost prolazi kroz rožnicu (C) te se kreće prema unutrašnjosti oka. Zjenica (D) svojim opuštanjem ili stezanjem kontrolira količinu propuštenog svjetla kojeg onda očna leća (B) fokusira, svjetlost prolazi kroz staklovinu (A) te pada na mrežnicu (H) [46]. Fotoreceptori na mrežnici primaju dolazno svjetlo i pretvaraju ga u električne impulse. Sam proces stvaranja slike nije do kraja razjašnjen, ali se smatra da se u fotoreceptorima prijenosom energije mijenja struktura neke od molekula koje se nazivaju tzv. vizualnim pigmentima. Električni impulsi se nakon obrade u ganglijima, optičkim živcem prenose od oka prema vizualnom korteksu. U tom se dijelu mozga impulsi pretvaraju u svjesni doživljaj „gledanja“ [47]. Da bismo mogli gledati danju i noću, na rožnici moramo imati dvije vrste fotoreceptora: štapiće i čunjiće. Čunjići su fotoreceptori zaslužni za dnevni vid u bojama, a štapići su fotoreceptori zaslužni za noćni vid u tonovima sive boje (slika 25).



Slika 25. Raspon vida [48]

Kao što se na slici vidi, razlikuju se tri vrste vida: fotopski, mezopski te skotopski vid. Fotopski vid, kao što je već navedeno, je dnevni vid kad je dostupna najveća količina svjetla, što prirodnog, što umjetnog te se tada mogu raspoznavati i boje zbog postojanja tri različite vrste čunjića od kojih je svaka vrsta zadužena za vid jedne boje. Prilikom pada razina osvjetljenja, mezopski i skotopski vid, da bi čulo vida bilo moguće, potrebni su štapići, fotoreceptori koji su puno osjetljiviji na svjetlost u usporedbi sa štapićima, ali kod vida gdje se koriste štapići, nije moguće vidjeti boje [49]. Osim što se prilikom skotopskog vida ne razlikuju boje i zbog toga što se čunjići nalaze u središtu mrežnice, a štapići bliže rubnim dijelovima, skotopski vid nije toliko oštar kao fotopski. Prilikom mezopskog vida, funkcioniraju i čunjići i štapići, ali ni jedni ni drugi punim učinkom zbog čega je tada najteže voziti, zbog toga što slika nije jasna

ako se gleda izravno u objekt ni kad u procesu viđenja sudjeluju štapići. Uz razliku kod raspoznavanja boja, štapići i čunjići razlikuju se po tomu što nisu najosjetljiviji na iste valne duljine. Čunjići su najosjetljiviji u žuto-zelenom području spektra, a štapići u plavo – zelenom području spektra [17]. To znači da ćemo pri dnevnom svjetlu i ujednačenim uvjetima od svih boja, najsvjetlije vidjeti boje pri desnom dijelu spektra, a u uvjetima smanjene svjetlosti boje koje su pri lijevom dijelu spektra. Na slici 26 prikazana je fotopska i skotopska krivulja vida. Njom su prikazane maksimumi pretvorbe električne energije u vidljivu svjetlosnu energiju. Skotopski maksimum ima najveću učinkovitost pri 507 nm sa 1700 lm/W, a fotopski pri 555 nm sa 683 lm/W. Između ova dva maksimuma nalazi se i maksimum za mezopski vid [1].



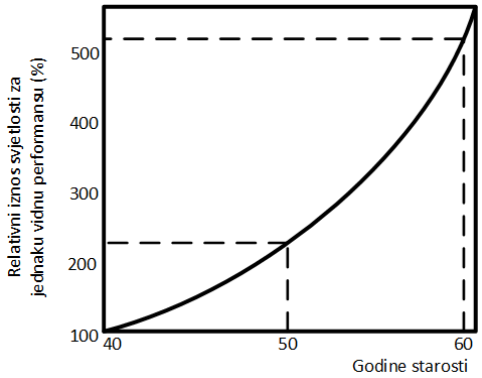
Slika 26. Fotopski i skotopski maksimumi [1]

Jedan od pokazatelja učinkovitosti rasvjete jest i S/P omjer koji govori o učinkovitosti svjetlosnih izvora u ovisnosti o fotopskom i skotopskom vidu (tablica 6).

Tablica 6. Skotopski/fotopski omjeri za razne izvore svjetlosti [50]

Izvor	S/P omjer
Sunce + oblaci (CIE D65 Illuminant)	2,47
Sunce (CIE D55 Illuminant)	2,28
6500 K Indukcijska lampa	2,25
5000 K Indukcijska lampa	1,96
4100 K Indukcijska lampa	1,62
Metal halid (Na/Sc)	1,49
3500 K Indukcijska lampa	1,46
Klasična žarulja (2850 K)	1,41
Bijela HPS (50 W)	1,14
Topla bijela fluorescentna	1,0
HPS (50 W)	0,62
HPS (35 W)	0,40
LPS (SOX)	0,35

Prema tablici 6 najveći S/P omjer jest u prva dva slučaja kad je glavni izvor svjetlosti Sunce i kada se događa difuzija od oblaka, nakon tih vrijednosti dolaze ostala umjetna rasvjetna tijela te se primjećuje pad S/P omjera kako para temperatura rasvjetnog tijela. Kao što se može vidjeti iz analize spektra različitih tehnologija rasvjete (slike 4, 7, 10, 14, 15, 22) vidljivo je da uz fluorescentnu rasvjetu, LED rasvjeta emitira plavo svjetlo. Prilikom proračuna rasvjete treba uzeti u obzir činjenicu da vid slabi prilikom starenja, tj. da bi vid starijih osoba bio na performansi mlađih osoba, njihovim očima je potrebno više svjetlosti (slika 27) [17].



Slika 27. Porast razine osvjetljenja za jednaku vidnu performansu od 40 do 60 godina [17]

S obzirom na to da je starijim ljudima potrebno više svjetlosti da bi vidjeli jednako dobro kao mladi ljudi znači da je razinu umjetnog osvjetljenja potrebno prilagoditi i njima, zbog toga što i osobe od 60 godina mogu sjediti za upravljačem motornog vozila. Potreba za povećanjem razine umjetnog osvjetljenja predstavlja nekoliko problema. Jedan od tih problema dolazi s ekonomske strane, tj. kako izvesti rasvjetu da je dovoljno kvalitetna da i starijim osobama osvijetli put, a s druge strane da bude unutar zadanog budžeta te da je dovoljno povoljna za održavanje te da je učinkovita u pretvorbi električne energije u vidljivu svjetlosnu energiju.

3.2. Utjecaj umjetne rasvjete na biljni i životinjski svijet

Kao što danju Sunce obasjava atmosferu, tako umjetna rasvjeta obasjava atmosferu tijekom noći te uzrokuje svjetlosno zagađenje. Iako se isprva nije naslućivao problem, kako je prolazilo vrijeme tako su se uočavale negativne promjene kod biljnog i životinjskog svijeta. Ukoliko se bolje sagleda situacija, dolazi se do zaključka da se umjetnom rasvjetom noć pretvara u dan, tj. dolazi do nestajanja noći, a to najviše pogađa vrste koje su aktivne tijekom noći. Obzirom da ljudi žive u stambenim objektima koji ih štite od vanjske umjetne rasvjete, ljudi zapravo nisu ni svjesni kakav utjecaj umjetna rasvjeta doista ima. Svjetlosno zagađenje prvi su artikulirali astronauti koji su imali priliku Zemlju gledati iz svemira početkom 50-ih godina kada je počelo

masovno postavljanje umjetne rasvjete [51]. Osim što remeti ekosustavu, nepravilno postavljena umjetna rasvjeta stvara dodatne nepotrebne financijske troškove. Znamo da je biljkama za rast i razvoj potrebno svjetlo. Svjetlo koje je biljkama osiguravalo rast trajalo je od 8-16 sati, ovisno o godišnjem dobu te one u skladu s trajanjem dana mijenjaju svoje cikluse od cvjetanja u proljeće do odbacivanja lišća u jesen. Prilikom uobičajenog dnevnog ciklusa, za vrijeme dok ima prirodnog svjetla, biljke su preko listova u procesu fotosinteze energiju Sunca pretvarale u hranu, a tijekom noći ulaze u latentne faze. Zbog umjetne rasvjete, proces fotosinteze gotovo pa i ne prestaje. Tu su u najvećoj opasnosti mlada drveća koja imaju ubrzan rast koji može uzrokovati probleme za vrijeme zime kad postoji opasnost od hladnih ozljeda (slika 28) kao posljedica produženog rasta umjetnim osvjetljenjem. Osim hladnih ozljeda, kontinuiran rast može uzrokovati promjenu struktura lista i cvjetnog uzorka što može zbuniti kukce [52].

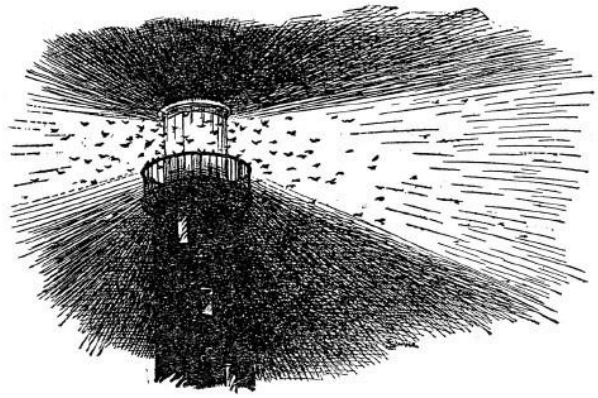


Slika 28. Ozljeda debla uzrokovana brzim rastom [53]

Za utjecaj umjetne rasvjete na životinjski svijet, navest će se primjeri za male sisavce, ptice i kukce. Svih 986 vrsta šišmiša, jazavaca i većine malih mesojeda, većina glodavaca, 20% primata i 80% tobolčara su noćne životinje. Zbog toga bi bilo vrlo nevjerojatno da umjetna rasvjeta nema utjecaja na životinjski svijet [54]. od svih utjecaja umjetne rasvjete na gore navedene vrste, rasvjeta ima najjači utjecaj na vid ovih životinja, zbog toga što se njihova mrežnica uglavnom sastoji od fotoreceptorskih štapića. To znači da će ih umjetna rasvjeta praktički učiniti slijepima iz razloga što oni ne vide dobro u uvjetima gdje je razina osvjetljenja veća od razina osvjetljenja u prirodnim uvjetima (svjetlost zvijezda i mjeseca). Negativni utjecaji umjetne rasvjete na sisavce:

- Ometa ih u traženju hrane,
- Povećan rizik od grabežljivaca,
- Poremećaj bioloških satova, koji utječu na parenje te na uspješnost u branjenju od predatora,
- Povećan broj smrti na cesti zbog zasljepljivanja,
- Ometanje kretanja uobičajenim koridorima [55].

Postoje stotine vrste ptica koje migriraju tijekom noći te je dobro poznato da vatra i umjetna rasvjeta privlače ptice, pogotovo u uvjetima kad je oblačno. Slabo je poznato zbog čega točno ptice lete prema izvoru svjetlosti prema migraciji, ali tijekom brojnih istraživanja došlo se do zaključka da bi moguć razlog tomu bio što ptice zbog umjetnog izvora svjetla (slika 29) gube vizualne reference što ih dezorijentira. Vrlo je vjerojatno da zbog intenziteta umjetnog svjetla, dolazi do privremenog sljepila ptica [55].



Slika 29. Ptice privučene svjetlom svjetionika [55]

Posljedice toga su:

- Odgađanje migracije ptica,
- Povećana smrtnost zbog premorenosti ili sudara s građevinskim objektima [56].

Posljednji iz životinjskog svijeta za spomenuti su kukci. Studija utjecaja umjetne rasvjete na kukce napravljena je u Njemačkoj te su iz nje proizašla tri zaključka:

1. Osjetljivost na svjetlost određene valne duljine razlikuje se od vrste do vrste,
2. Većina insekata osjetljiva je na UV svjetlo,
3. Maksimalna osjetljivost primijećena je kod kraćih valnih duljina [57].

Prema [57] tri su moguća scenarija ponašanja kukaca u blizini umjetnih izvora svjetlosti:

1. Smrt uzrokovana doticajem vrućeg balona lampe, let do iznemoglosti oko izvora svjetlosti. Neki kukci ne budu privučeni svjetlošću već se odmaraju u zaklonu, ali veliku većinu kukaca svjetlost opčinjava te ih imobilizira. Taj efekt naziva se: efekt fiksacije i efekt zatočeništva.
2. Kukce u letu na velike udaljenosti omete umjetno svjetlo (slika 30) na putu te ih privuče te se ponavlja prvi scenarij.
3. Treći scenarij je tzv. „efekt usisavača“ – kukci iz svojih staništa bivaju privučeni umjetnoj rasvjeti, što izgleda kao da ih je netko usisao [57].



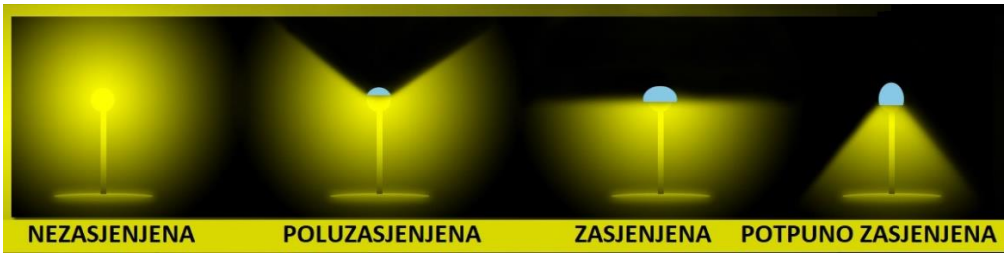
Slika 30. Prikaz kukaca privučenih umjetnim izvorom svjetla [58]

Pokusima je ustanovljeno koje lampe više privlače kukce, što je prikazano u tablici 7:

Tablica 7. pokus hvatanja kukaca [55]

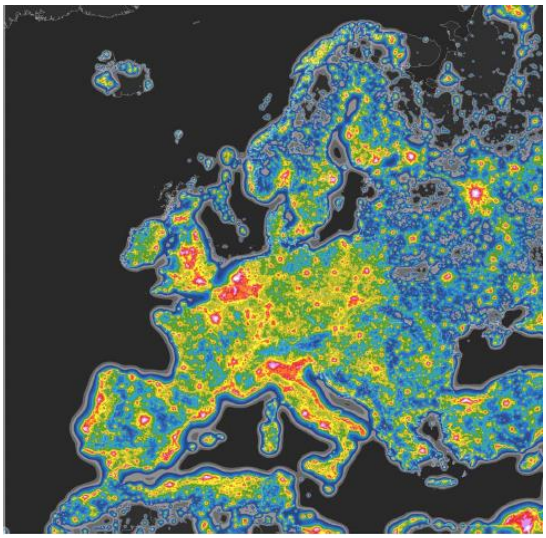
VRSTA LAMPE	BROJ UHVAĆENIH KUKACA
Visokotlačne živine lampe	8360
Kompaktne fluorescentne lampe	2800
Visokotlačne natrijeve lampe	1760

Sličnim ispitivanjima, testirao se utjecaj izvedbe lampe na broj privučenih kukaca te je uočeno da su kukci najviše privučeni sfernim lampama, tj. nezasjenjenim lampama (non cut-off) koje emitiraju svjetlost u svim smjerovima. Kukci su najmanje privučeni potpuno zasjenjenom rasvjetom (full cut-off) (slika 31) [55].

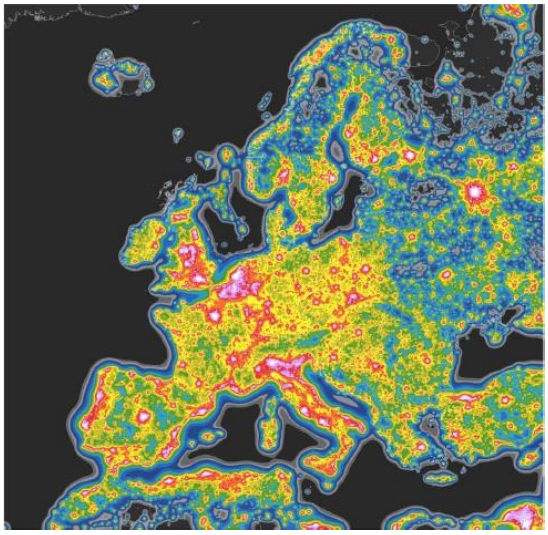


Slika 31. različiti načini izvedbe rasvjete [59]

Negativan utjecaj umjetne rasvjete na kukce, imat će direktan utjecaj i na ostale sudionike unutar hranidbenog lanca i unutar ekosustava. Primjer toga je pomor kukaca koji su zaslužni za oprašivanje biljnih vrsta bez kojih će doći do smanjenja oprašivanja i cvjetanja biljnih vrsta što će za sobom ostaviti posljedice koje će se dalje reflektirati na ostatak ekosustava. U svemu tome, ljudi će osjetiti najmanje štete sve dok ne bude prekasno. Pregledom negativnih utjecaja rasvjete na ljude, biljni i životinjski svijet može se doći do zaključka da rješenje leži u povećanju učinkovitosti rasvjete, što se ne odnosi nužno na pretvorbu električne u svjetlosnu energiju već u učinkovitosti njene uporabe. Potrebno je pronaći tehnološka rješenja koja će zadovoljiti sve strane. Na slikama 32 i 33 prikazane se karte koje prikazuju umjetnu svjetlinu neba.



Slika 32. Svjetlina europskog neba [60]



Slika 33. Predviđena svjetlina europskog neba [60]

Lijeva slika prikazuje trenutno stanje, a desna slika prikazuje prognozu svjetlosti vidljivog neba za oko koje je prilagođeno na tamu nakon prijelaza na 4000K CCT LED tehnologiju, bez povećanja svjetlosnog toka trenutno instaliranih svjetiljki. Uočava se porast svjetlo onečišćenja koje će ostaviti negativne posljedice. Tablica 8 daje objašnjenje za boje koje su korištene na slikama 32 i 33 [60].

Tablica 8. Razine boja korištene u kartama [60]

Omjer do prirodne svjetline	Umjerna svjetlina (µcd/m^2)	Prcijenjena ukupna sjajnost (mcd/m^2)	Boja	
< 0,01	< 1,74	< 0,176	Crna	
0,01 – 0,02	1,74 – 3,48	0,176 – 0,177	Tamno siva	
0,02 – 0,04	3,48 – 6,96	0,177 – 0,181	Siva	
0,04 – 0,08	6,96 – 13,90	0,181 – 0,188	Tamno plava	
0,08 – 0,16	13,90 – 27,80	0,188 – 0,202	Plava	
0,16 – 0,32	27,80 – 55,70	0,202 – 0,230	Svjetlo plava	
0,32 – 0,64	55,70 – 111	0,230 – 0,285	Tamno zelena	
0,64 – 1,28	111 – 223	0,285 – 0,397	Zelena	
1,28 – 2,56	223 – 445	0,397 – 0,619	Žuta	
2,56 – 5,12	445 – 890	0,619 – 1,065	Narančasta	
5,12 – 10,20	890 – 1780	1,07 – 1,96	Crvena	
10,20 – 20,5	1780 – 3560	1,96 – 3,74	Ljubičasta	
20,5 – 41	3560 – 7130	3,74 – 7,30	Roza	
> 41	> 7130	> 7,30	Bijela	

Prvi stupac daje omjer umjetne svjetline i prirodne svjetline pozadinskog neba (pretpostavlja se da je 174 mcd/m^2); drugi stupac daje umjetnu svjetlinu (mcd/m^2); treći stupac daje približnu vrijednost (tj. pretpostavljajući prirodnu pozadinu od 22 mag/arxsec^2) ukupna svjetlina (mcd/m^2); a četvrti i peti stupac daju boje [60].

4. NORME ZA CESTOVNU RASVJETU

Za ispravno određivanje rasvjete za određene ceste i prometnice, potrebno je služiti se normama. Norme su sporazumno ustanovljeni dokumenti, u Hrvatskoj od strane Hrvatskog zavoda za norme, koji za opću uporabu daju pravila, upute, značajke djelovanja te se time jamči najviši stupanj usklađenosti u danim uvjetima. S obzirom na tijela koja su donijela normu razlikujemo ISO međunarodne norme, EN europske norme i HRN hrvatske norme [61]. Za potrebe rasvjete u Republici Hrvatskoj koriste se slijedeće norme:

- HRI CEN/TR 13201-1:2015; Smjernice za odabir razreda rasvjete [62],
- HRN EN 13201-2:2016; Zahtijevana svojstva [63],
- HRN EN 13201-3:2016; Proračun svojstava [64],
- HRN EN 13201-4:2016; Metode mjerenja svojstava rasvjete [65] i
- HRN EN 13201-5:2016; Pokazatelji energetskih svojstava [66].

U nastavku detaljnije o sadržaju iz normi koji je relevantan s obzirom na cestu na kojoj će se mjeriti sjajnost.

4.1. HRI CEN/TR 13201-1:2015; Smjernice za odabir razreda rasvjete

Navedena norma daje preporuke kod osvjetljenja prometnica, ali sama odluka o izvedbi rasvjete ovisi o zakonima u određenoj državi. U izvješću je naveden velik broj parametara koji se mogu uzeti u obzir prilikom izvođenja rasvjete, a koji su bitni da bi se ispunile potrebe sudionika u prometu. Rasvjeta mora ispuniti zahtjeve prometa prilikom minimalnog i maksimalnog protoka. Prilikom projektiranja rasvjete za nove prometnice, u računicu se mora uzeti moguća promjena volumena vozila za 10 godina. U tablici 8 dani su parametri koji se koriste pri izboru klase rasvjete za prometnice s motornim vozilima (M). Za određivanje klase rasvjete M u obzir je potrebno uzeti i odgovarajuće težinske vrijednosti da bi se dobila njihova suma. Broj klase rasvjete M tada se računa:

$$\mathrm{M} = 6 - \text{„VWS“ (suma težinskih vrijednosti).} \qquad (7)$$

Pažljiv odabir ispravnih težinskih vrijednosti u tablici 9 dat će broj klase između 0 i 5. Ako je suma težinskih vrijednosti < 0, primjenjuje se vrijednost 0. Ako je rezultat $\mathrm{M} \leq 0$, treba primijeniti klasu rasvjete M1.

Tablica 9. Parametri za izračun klase rasvjete M

Parametar	Opcije	Opis [a]		Težinska vrij. V_w [a]
Projektirana brzina ili ograničenje brzine	Vrlo visoka	V ≥ 100 km/h		2
	Visoka	70 < v < 100 km/h		1
	Umjerena	40 < v ≤ 70 km/h		-1
	Niska	V ≤ 40 km/h		-2
Volumen prometa		Autoceste, višetračne ceste	Dvotračne ceste	
	Visok	> 65 % maksimuma kapaciteta	> 45 % maksimuma kapaciteta	1
	Umjeren	35 % - 65 % maksimuma kapaciteta	15 % - 45 % maksimuma kapaciteta	0
	Nizak	< 35 % maksimuma kapaciteta	< 15 % maksimuma kapaciteta	-1
Sastav prometa	Mješovit s visokim udjelom ne motornih vozila			2
	Mješovit			1
	Motorna vozila			0
Odvojeni kolnik	Ne			1
	Da			0
Gustoća prometa na raskrižju		Križanje/km	Križanja na više razina, udaljenost između mostova, km	
	Visoka	> 3	< 3	1
	Umjerena	≤ 3	≥ 3	0
Parkirana vozila	Prisutna			1
	Nisu prisutna			0
Svjetlost ambijenta	Visoka	Izlozi, reklamni panoi, sportska igrališta, prijevozne postaje		1
	Umjerena	Normalna situacija		0
	Niska			-1
Težina orijentacije (navigacije)	Jako teško			2
	Teško			1
	Lagano			0
[a] – vrijednosti u stupcu su primjer. Za bolje prilagođene težinske vrijednosti koristiti vrijednosti koje vrijede na nacionalnoj razini.				

4.2. HRN EN 13201-2:2016; Zahtijevana svojstva

Ovaj dio norme 13201 definira zahtjeve izvedbe koji su specificirani kao klase rasvjete za cestovnu rasvjetu s ciljem na vizualne potrebe korisnika ceste te u obzir uzima utjecaj na okoliš. Klasa rasvjete definirana je nizom fotometrijskih zahtjeva za određene sudionike u prometu s obzirom na okruženje oko ceste i okoliš. Potrebe mogu varirati s obzirom na doba noći te s obzirom na godišnja doba, zbog čega može biti varijacija kod predloženih rješenja. Svrha klasa osvjetljenja je da olakšaju razvoj i uporabu rasvjetnih tijela za zemlje članice *CEN-a (Europski odbor za standardizaciju). Klase M namijenjene su vozačima motornih vozila na cestama srednjih do visokih brzina. Glavni kriteriji rasvjete ovih klasa baziraju se na luminaciji površine ceste i uključuje prosječnu luminaciju, ukupnu uniformnost i longitudinalnu uniformnost za vožnju u suhim uvjetima po cesti. U nekim državama kao dodatni kriterij koristi se i ukupna uniformnost luminacije u mokrim uvjetima.

4.2.1. Pojmovi i definicije

Prije tablice o M klasama rasvjete, potrebno je definirati pojmove.

Prosječna osvijetljenost površine ceste

$\bar{L}$ – mjerna jedinica je kandela po metru kvadratnom (cd/m^2)

Longitudinalna uniformnost

U_L - najmanji omjer određen za svaku traku ceste kao omjer najniže i najviše osvijetljenosti površine ceste u središtu svake vozne trake

Porast praga (Threshold increment TI)

f_{TI} – postotno povećanje kontrasta objekta koji mora ostati u granici vidljivosti u prisustvu blještanja zbog rasvjetnog tijela rasvjetne instalacije

Omjer svjetline ruba

R_{EI} – prosječna horizontalna osvijetljenost trake izvan ruba ceste u odnosu na prosječnu horizontalnu osvijetljenost trake unutar ruba ceste, gdje su trake širine jedne cestovne trake

Prosječno osvjetljenje (iluminacija)

$\bar{E}$ – prosjek osvjetljenja ceste. Mjerna jedinica je lux.

Minimalno osvjetljenje (iluminacija)

E_{min} – najniže osvjetljenje na cesti. Mjerna jedinica je lux.

Polukružno osvjetljenje (hemisferna iluminacija)

E_{hs} - svjetlosni tok male hemisfere s horizontalnom bazom podijeljenom s površinom hemisfere. Mjerna jedinica je lux.

Prosječna osvijetljenost polukugle (iluminacija hemisfere)

$\overline{E_{hs}}$ – prosječno osvjetljenje polukugle. Mjerna jedinica je lux.

Ukupna uniformnost (osvijetljenosti ceste, osvijetljenosti polukugle)

U_0 – omjer najveće i prosječne vrijednosti.

Održavana razina (prosječna osvijetljenost površine ceste, prosječna ili minimalna osvijetljenost cestovnih površina, prosječna osvijetljenost polukugle, minimalna polu-cilindrična osvijetljenost ili minimalna osvijetljenost okomite plohe)

Razina dizajna umanjena za faktor održavanja da bi se osigurao prostor za deprecijaciju.

Polu-cilindrična osvijetljenost (u točki)

E_{SC} - ukupni svjetlosni tok koji pada na zakrivljenu površinu vrlo malog polu-cilindra podijeljenog sa zakrivljenom površinom polu-cilindra.

Najmanja polu-cilindrična osvijetljenost (na plohi iznad površine ceste)

$E_{sc,min}$ – najmanja polu-cilindrična osvijetljenost na plohi određene visine iznad ceste. Mjerna jedinica je lux.

Osvijetljenost vertikalne plohe (u točki)

E_v – osvijetljenost u točki na vertikalnoj plohi. Mjerna jedinica je lux.

Minimalna osvijetljenost vertikalne plohe (ploha iznad površine ceste)

$E_{v,min}$ – najmanja osvijetljenost vertikalne plohe na plohi određene visine od površine ceste. Mjerna jedinica je lux.

U tablici 10 navedene su klase rasvjete M za vozače motornih vozila na cestama srednjih do visokih brzina kretanja.

Tablica 10. Klase rasvjete M

Klasa	Osvijetljenost ceste u uvjetima vožnje u suhim i mokrim uvjetima				Bliještanje	Okolna rasvjeta
	Suhi uvjeti			Mokri uvjeti	Suhi uvjeti	Suhi uvjeti
	$\bar{L}$ [održavani minimum] cd/m^2	U_o [minimum]	U_1 [a] [minimum]	U_{ow} [b] [minimum]	f_{TI} [c] [maksimum] %	R_{EI} [d] [minimum]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

[a] Logitudinalna uniformnost (UI) pruža mjeru vidljivosti ponovljenog uzorka svijetlih i tamnih mrlja na površini ceste te je kao takva relevantna samo za vizualne uvjete na dugim neprekinutim dijelovima ceste i stoga se mora primijeniti samo u takvim okolnostima. Vrijednosti navedene u stupcu su minimalne preporučene za određenu klasu rasvjete, međutim, one se mogu mijenjati ako su specifične okolnosti koje se odnose na raspored cesta ili na uporabu određene analizom ili ako postoje posebni nacionalni zahtjevi.
[b] Ovo je jedini kriterij za uvjete na mokrim cestama. Može se primijeniti uz kriterije za suho stanje u skladu s posebnim nacionalnim zahtjevima. Vrijednosti navedene u stupcu mogu se izmijeniti i dopuniti tamo gdje su specificirani nacionalni zahtjevi.
[c] Vrijednosti navedene u stupcu f_{TI} su maksimalne preporučene za određenu klasu rasvjete, međutim, one se mogu mijenjati ako postoje posebni nacionalni zahtjevi.
[d] Ovaj kriterij primjenjuje se samo ako nema prometnih površina s vlastitim zahtjevima za osvjetljenje usporednih uz prometnicu. Prikazane vrijednosti su okvirne i mogu se izmijeniti i dopuniti tamo gdje su specificirani nacionalni ili pojedinačni zahtjevi programa. Takve vrijednosti mogu biti veće ili niže od prikazanih vrijednosti, ali treba paziti da se osigura odgovarajuće osvjetljenje područja.

4.3. HRN EN 13201-3:2016; Proračun svojstava

Ova norma određuje konvencije i matematičke postupke koje treba usvojiti u izračunavanju fotometrijskih performansi rasvjetne instalacije cesta, projektiranih u skladu s parametrima opisanim u EN 13201-2, kako bi se osiguralo da se svaki izračun osvjetljenja temelji na istim matematičkim načelima.

4.3.1. Matematičke konvencije

Osnovne konvencije u matematičkim postupcima opisanim u ovom standardu su:

a) svjetiljka se smatra točkastim izvorom;

b) zanemaruje se svjetlost koja se reflektira od okoline i drugih objekata;

c) zanemaruje se zapreka svjetlosti od drveća i drugih objekata;

d) atmosferska apsorpcija je nula;

e) površina ceste je ravna i ujednačena te ima jednaka svojstva reflektiranja nad razmatranim područjem

f) vrednovanje u I-tablicama i r-tablicama mora biti dobiveno linearnom interpolacijom.

U slučaju rasvjetnih tijela, općenito na niskoj montažnoj visini, preporučljivo je provjeriti je li udaljenost između optičkog središta svake svjetiljke do najbliže točke izračuna veća ili jednaka pet puta duljina svjetlosnog područja jedne svjetiljke. Ako to nije slučaj, možda će biti potrebno simulirati fotometriju u blizini polja fragmentiranjem svjetiljke u virtualne točkaste izvore svjetlosti iste raspodjele svjetlosti kao i cijela svjetiljka. Svjetlosni tok svakog virtualnog svjetlosnog izvora jednak je udjelu ukupnog svjetlosnog toka za svjetiljku.

Rezultati proračuna moraju biti prezentirani kao u formi koja je dana u tablici 11 i s najmanje tim brojem decimalnih mjesta kako je napisano.

Tablica 11. Broj decimalnih mjesta za određene izračune

	$\bar{L}$	U_o	U_1	f_{TI}	R_{EI}	$\bar{E} < 10$ lx	10 lx $\leq \bar{E} \leq$ 20 lx	$\bar{E} > 20$ lx
Broj decimalnih mjesta	2	2	2	0	2	2	1	0

4.3.2. Fotometrijski podatci

Fotometrijski podaci za distribuciju svjetlosti rasvjetnih tijela koja se koriste u rasvjetnoj instalaciji potrebni su za izračunavanje značajki kvalitete osvjetljenja u ovoj normi. Ovi podaci su u obliku tablice intenziteta (I-tablica) koja daje raspodjelu intenziteta svjetlosti koju emitira svjetiljka u svim relevantnim smjerovima. Kada je potrebno provesti izračun svjetline, potrebni su fotometrijski podaci za svojstva površine ceste koja reflektiraju svjetlost u obliku r-tablice. Interpolacija je potrebna za korištenje obje ove tablice kako bi se omogućilo procjenjivanje vrijednosti smjerova između tabeliranih kutova.

4.3.3. Svjetlotehničke veličine

Osvjetljenje u točki

Osvjetljenje u određenoj točki određuje se primjenom sljedeće formule ili matematički ekvivalentne formule:

$$L = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C,\gamma) \cdot f_M \cdot r_k(\tan\varepsilon,\beta)}{H_k^2} \qquad (8)$$

Gdje je:

L -	je održana svjetlost u kandelama po kvadratnom metru;
k -	indeks trenutne svjetiljke u zbroju;
n_{LU} -	je broj svjetiljki uključenih u izračun;
$I_k(C,\gamma)$ -	je intenzitet svjetlosti u kandelama k^{th} svjetiljke;
f_M -	je ukupni faktor održavanja, ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
$r_k(tan\,\varepsilon,\beta)$ -	je smanjeni koeficijent osvjetljenja za trenutni put svjetlosti upada s kutnim koordinatama u recipročnim steradijanima;
H_k -	je visina k^{th} svjetiljke iznad površine ceste, u metrima.

Horizontalna osvijetljenost u točki

Točke izračuna moraju biti smještene na ravnini u razini tla u odgovarajućem području. Horizontalna osvijetljenost je bitna za prepoznavanje horizontale signalizacije u prometu i ceste. Vodoravna osvijetljenost u točki izračunava se iz formule ili matematički ekvivalentne formule:

$$E_h = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C,\gamma) \cdot f_M \cdot cos^3 \varepsilon_k}{H_k^2} \quad (9)$$

Gdje je:

E_h -	je vodoravna osvijetljenost u točki (lx);
k -	indeks trenutne svjetiljke u zbroju;
n_{LU} -	je broj svjetiljki uključenih u izračun;
$I_k(C,\gamma)$ -	je intenzitet svjetlosti u kandelama k^{th} svjetiljke;
f_M -	je ukupni faktor održavanja, ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
ε_k -	je kut upada svjetla u točki;
H_k -	je visina k^{th} svjetiljke iznad površine ceste, u metrima.

Hemisferna osvijetljenost u točki

Točke izračuna moraju biti smještene na ravnini u razini tla u odgovarajućem području. Polukružna osvijetljenost u točki izračunava se iz formule ili matematički ekvivalentne formule:

$$E_{hs} = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C,\gamma) \cdot f_M \cdot [cos^3 \varepsilon_k + cos^2 \varepsilon_k]}{4H_k^2} \quad (10)$$

Gdje je:

E_{hs} -	je hemisferna osvijetljenost u točki (lx);
k -	indeks trenutne svjetiljke u zbroju;
n_{LU} -	je broj svjetiljki uključenih u izračun;
$I_k(C,\gamma)$ -	je intenzitet svjetlosti u kandelama k^{th} svjetiljke;
f_M -	je ukupni faktor održavanja, ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
ε_k -	je kut upada svjetla u točki;
H_k -	je visina k^{th} svjetiljke iznad površine ceste, u metrima.

Polu-cilindrična osvijetljenost u točki

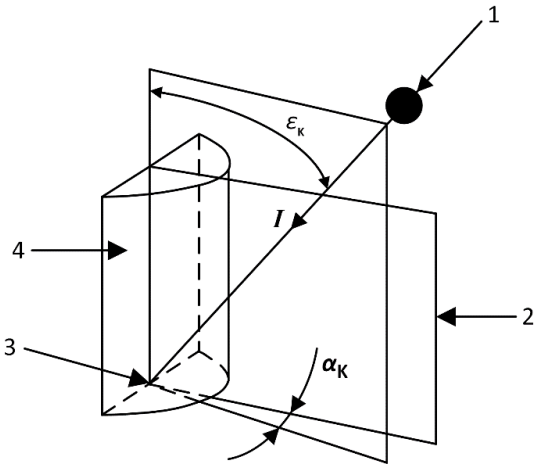
Točke izračunavanja moraju se nalaziti u ravnini 1,5 m iznad površine u odgovarajućem području. Polu-cilindrično osvjetljenje varira ovisno o pravcu interesa, a potrebno je u svrhu prepoznavanja lica i objekata koji se mogu zateći u prometu. Vertikalna ravnina na slici 34, pod pravim kutom prema stražnjoj ravnoj površini, mora biti orijentirana paralelno s glavnim

smjerovima kretanja pješaka, koji su za cestu obično uzdužni. Polu-cilindrična osvijetljenost u točki izračunava se iz formule ili matematički ekvivalentne formule:

$$E_{sc} = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C,\gamma) \cdot f_M \cdot sin\varepsilon_k \cdot (1 + cos\alpha_k)}{\pi \cdot d_{LkP}^2} \qquad (11)$$

Gdje je:

E_{sc} -	je polu-cilindrična osvijetljenost u točki (lx);
k -	indeks trenutne svjetiljke u zbroju;
n_{LU} -	je broj svjetiljki uključenih u izračun;
$I_k(C,\gamma)$ -	je intenzitet svjetlosti u kandelama k^{th} svjetiljke;
f_M -	je ukupni faktor održavanja, ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
α_k -	kut između vertikalne ravnine s upadnom svjetlosti i vertikalna ravnina pod pravim kutom na ravnu površinu polu-cilindra, slika 34;
ε_k -	je kut upada svjetla u točki;
d_{LkP} -	je udaljenost između svjetiljke, L_k i točke P u središtu podnožja pravokutnika polu-cilindra.



Slika 34. Pravci potrebni za izračun polu-cilindrične osvijetljenosti

Oznake:

1 svjetiljka *k;*
2 vertikalna ravnina pod pravim kutom prema ravnoj površini polu-cilindra;
3 točka izračuna;
4 ravna ploha polu-cilindra.

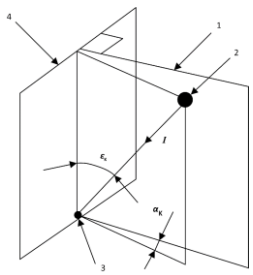
Okomita osvijetljenost u točki

Točke izračunavanja moraju se nalaziti u ravnini od 1,5 m iznad površine u odgovarajućem području. Okomita osvijetljenost ovisi o smjeru interesa te je bitna za prepoznavanje okomite signalizacije u prometu. Okomita ravnina osvjetljenja na slici 35 bit će orijentirana pod pravim kutom prema glavnim smjerovima kretanja pješaka, koji su za cestu obično gore i dolje po cesti. Okomita svjetlost u točki izračunava se iz formule ili matematički ekvivalentne formule:

$$E_v = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C,\gamma) \cdot f_M \cdot sin\varepsilon_k \cdot 1 + cos\alpha_k}{\pi \cdot d_{LkP}^2} \qquad (12)$$

Gdje je:

E_v - je okomita osvijetljenost u točki (lx);
k - indeks trenutne svjetiljke u zbroju;
n_{LU} - je broj svjetiljki uključenih u izračun;
$I_k(C,\gamma)$ - je intenzitet svjetlosti u kandelama k^{th} svjetiljke;
f_M - je ukupni faktor održavanja, ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
α_k - kut između okomite ravnine s upadnom svjetlosti i okomita ravnina pod pravim kutom na okomitu ravninu računanja, slika 35;
ε_k - je kut upada svjetla u točki;
d_{LkP} - je udaljenost između svjetiljke, L_k i točke P u središtu podnožja pravokutnika polu-cilindra.



Slika 35. Kutevi korišteni u izračuni okomite osvijetljenosti

Oznake:

1 okomita ravnina po pravim kutom od vertikalne osvijetljene ravnine*;*
2 svjetiljka;
3 točka izračuna;
4 okomita osvijetljena ravnina.

4.4. HRN EN 13201-4:2016; Metode mjerenja svojstava rasvjete

Svrha četvrte norme jest:

a) uspostaviti konvencije i postupke za karakterizaciju na temelju mjerenja instalacija za cestovnu rasvjetu uzimajući u obzir fotometrijske parametre kvalitete, tj. skup značajki koje karakteriziraju klasu rasvjete, što je u drugom dijelu norme 13201;

b) daje savjete o korištenju i izboru mjerača osvijetljenosti i mjerača osvjetljenja za ovu konkretnu primjenu;

c) odrediti zahtjeve mjerenja s obzirom na cilj mjerenja i očekivanu preciznost;

d) utvrditi konvencije za ocjenu mjerne nesigurnosti uključenih parametara;

e) dati informacije o primjeni analize tolerancije u konstrukciji rasvjetnog sustava.

4.4.1. Uvjeti mjerenja

Starenje svjetiljki prije mjerenja - mjerenja se trebaju provoditi nakon razdoblja starenja izvora svjetlosti ugrađenih u rasvjetna tijela i to ne prije od navedenog razdoblja. Razdoblja starenja navedena su u EN 13032-1 za svaki određeni tip svjetiljke.

Stabilizacija nakon uključivanja - svjetiljke zahtijevaju vremenski period za stabilizaciju njihove svjetlosne snage te bi se sva mjerenja trebala obaviti tek nakon razdoblja stabilizacije. Razdoblja stabilizacija navedena su u 13201-1 za različite tipologije žarulja. Mjerna očitanja moraju se provesti ako postoji zabrinutost glede stabilnosti instalacije cestovne rasvjete tijekom razdoblja mjerenja.

Klimatski uvjeti:

Općenito - klimatski uvjeti trebaju biti takvi da ne utječu na mjerenja, osim ako je to namjera. Ukoliko vremenski uvjeti nisu zadovoljavajući, odgovorna osoba treba donijeti odluku o odgodi mjerenja.

Instrumenti - visoke ili niske temperature mogu utjecati na kalibraciju i točnost instrumenata za mjerenje svjetlosti. Kondenzacija ili vlaga može imati negativan utjecaj na mjerenje ako se nalazi na površinama za mjerenje količine svjetla ili na električnim krugovima instrumenata. Visoke brzine vjetra mogu uzrokovati vibracije ili osciliranje mjernog instrumenta. Utjecaj klimatskih uvjeta na performanse instrumenta treba uzeti u obzir pomoću faktora korekcije. Te

nesigurnosti moraju se uzeti u obzir u ocjeni mjerne nesigurnosti. Ukoliko su klimatski uvjeti van predviđenih granica za korekcije, mjerenje se treba odgoditi.

Instalacije cestovne rasvjete - visoke ili niske temperature te velike brzine vjetra mogu utjecati na emisiju svjetla toplinski osjetljivih lampi ili svjetiljki. Visoke brzine vjetra mogu dovesti do oscilacija svjetiljki. Klimatski uvjeti trebaju biti takvi da ne utječu značajno na mjerenja, osim ako je to predviđeno. Mjerenja osvjetljenja mogu se provesti samo kada je cesta suha pri razmatranju zahtjeva M klasa za suhe uvjete.

Uvjeti na cesti - fotometrijske karakteristike površine ceste mogu se u značajno razviti tijekom vremena, pogotovo tijekom prve tri godine starosti materijala. U slučaju mjerenja osvijetljenosti na novoj površini ceste, izmjerene vrijednosti mogu se razlikovati od očekivanih jer se stvarni korektivni koeficijent svjetline razlikuje se od onog koji se koristio u fazi projektiranja.

Vanjska svijetlost i opstrukcija svjetlosti - kada su mjerenja namijenjena snimanju samo svjetlosnih karakteristika instalacije cestovne rasvjete, treba spriječiti ili uzeti u obzir izravnu ili reflektiranu svjetlost iz okruženja. Ukoliko su se morali poduzeti koraci za sprječavanje izravne ili reflektirane svjetlosti, to je potrebno navesti u izvješću o ispitivanju. Kada su mjerenja namijenjena za snimanje neometanog svjetla iz instalacije, treba odabrati područja mjerenja koja su bez zapreka koje mogu proizvesti sjene, kao npr.: biti drveća, parkirani automobili ili prometni znakovi. Prisutnost prepreka treba zabilježiti u izvješću o ispitivanju. Svake smetnje potrebno svesti na najmanju moguću mjeru. Mora se voditi računa da osoblje koje vrši mjerenja ili oprema koju koriste ne priječi svjetlost koja bi inače dosegla glavu fotometra (mjerenje osvjetljenja) ili mjerenu površinu ceste (mjerenje osvjetljenja) ili reflektirati svjetlost koja inače ne bi dosegla glavu fotometra ili mjerenu površinu ceste. Kod mjerenja tijekom životnog vijeka instalacija, vanjska i nametljiva svjetla se mogu izbjeći ili se mogu smatrati dijelom performansi ukupne rasvjete u skladu s postupcima opisanim u dizajnu instalacije, kao dio specifikacije ponude ili odgovarajućeg standarda.

4.4.2. Fotometrijska mjerenja

Točke mjerenja - položaj točaka na kojima se vrše mjerenja mora se složiti s onima navedenima u EN 13201-3. Ukoliko se slaže s metodom rada, moguće je koristiti smanjen broj točaka, ali ne manje od njih pola ili se mogu koristiti druge točke. Pojednostavljena ili

alternativna mreža točaka trebaju imati raspodjelu točaka na području koje se koristi za definiranje pune mreže (vidi EN 13201-3). Točnost položaja mjernih točaka mora biti uključena u procjene mjerne nesigurnosti. Prilikom mjerenja tijekom životnog vijeka instalacije cestovne rasvjete, mogu se uzeti različite mjerne točke u odnosu na standardnu mrežu (vidi EN 13201-3). U tom slučaju može se razmotriti ili predložiti smanjeni ili prošireni skup mjernih točaka na završnoj inženjerskoj fazi i točnost koja se procjenjuje nakon prethodno izmjerenih ili projektiranih podataka. U nekim situacijama može biti dovoljna kontrola na licu mjesta, međutim, mjerenja moraju uzeti u obzir cijelu dužinu instalacije za osvjetljenje ceste i sve njezine razrede rasvjete.

Mjerenje osvjetljenja:

položaj promatrača (mjerač osvijetljenosti) - za mjerenje osvjetljenja, nominalni položaji promatrača moraju biti u skladu s onima navedenima u EN 13201-3. Točnost položaja promatrača mora biti uključena u ocjenu nesigurnosti mjerenja. Mjerenje se može provesti na manjoj udaljenosti i na proporcionalnoj nižoj visini tako da kut gledanja mora biti na (89±0,5) ° u odnosu na normalu površine ceste.

Izbor točaka mjerenja - ako se neke točke mreže nalaze na cestovnim oznakama (zebra, cestovni prijelaz), one se ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne svjetline i vrijednosti ujednačenosti. Te točke se upisuju u izvješće o ispitivanju. Neke točke mreže mogu biti smještene u sjeni objekta (stabla) ili ulja, itd. U takvim slučajevima, preporučuje se da se te točke ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne svjetline i vrijednosti ujednačenosti te da se te točke zapišu u izvješće o ispitivanju.

Mjerenje prosječne svjetline - prosječna svjetlina dobiva se kao prosječna vrijednost osvjetljenja izmjerena u točkama ili jednim čitanjem relevantnog područja površine ceste. Za mjerenje prosječne osvijetljenosti pomoću jednog očitavanja, mjerač mora biti ILMD.

Mjerenje osvjetljenja

Općenito - potrebno je izmjeriti bilo koju od četiri vrste osvjetljenja, ovisno o klasi rasvjete ili klasama instalacije za osvjetljenje ceste. To su:

- horizontalna osvijetljenost, -
- polukružna osvijetljenost,
- polu-cilindrična osvijetljenost,
- vertikalna osvijetljenost.

Odabir mjernih točaka - neke točke mreže mogu se nalaziti u sjeni objekata (npr. drveća). U takvim slučajevima, preporuča se da se te točke ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne i/ili minimalne osvijetljenosti i vrijednosti ujednačenosti te da se te točke zapišu u izvješće o ispitivanju.

Mjerenje horizontalne osvijetljenosti - za mjerenja horizontalne osvijetljenosti glava fotometra koja je osjetljiva na svjetlost mora biti vodoravna ili paralelna s površinom ceste. Teoretski, mjerna površina bi trebala biti na tlu, ali to često u praksi nije moguće. Utjecaj visine treba uzeti u obzir za mjernu nesigurnost te ako je moguće odrediti faktor korekcije.

Mjerenje okomitih osvjetljenja - središte glave fotometra mora biti postavljeno nazivno na 1,5 m iznad razine tla uzimajući u obzir točke mreže definirane u EN 13201-3. Površina osjetljiva na svjetlost mora biti okomita i pravilne orijentacije, obično pod pravim kutom. Smjernice su dane u EN 13201-3.

Dodatni zahtjevi za statičke mjerne sustave - prilikom mjerenja osvjetljenja, da bi se smanjile smetnje od mjernih sustava ili rukovatelja, preporučeno je da se mjeračem koji je na stalku upravlja daljinski. Za horizontalno osvjetljenje mjerna visina mora biti unutar 200 mm od razine tla. Ako sustav cestovne rasvjete ima svjetiljku na visinama nižim od 2 m, glava fotometra mora biti unutar 50 mm razine tla ili se vrijednosti osvjetljenja izračunavaju i na nazivnoj mjernoj visini.

Dodatni zahtjevi za dinamičke mjerne sustave - pokretno vozilo ne smije zaklanjati svjetla koja bi inače dospjela do glave fotometra, osim ako se ti uvjeti ne uzimaju u obzir u postupcima mjerenja (kao u split sustavima detektora). Ako je usvojena metoda podijeljenog detektora, u postupcima mjerenja razmatra se učinak zaklona vozila. U procjeni nesigurnosti treba uzeti u obzir točnost algoritma za dobivanje točke osvjetljenja s prednjeg i očitavanja detektora čitanja.

4.4.3. Mjerenja ne-fotometrijskih parametara

Općenito

Odabir ne-fotometrijskih mjerenja treba biti povezan sa svrhom mjerenja.

Napon napajanja - kada je to potrebno, za vrijeme mjerenja treba kontinuirano mjeriti napon napajanja ili barem na početku mjerenja na značajnoj točki u električnoj instalaciji i promatrati.

Temperatura i vlažnost - ukoliko je potrebno, izmjeriti temperaturu i vlažnost na visini od 1 m iznad razine tla na početku mjerenja i tijekom razdoblja mjerenja.

Geometrijski podaci - ako je potrebno, obaviti geometrijska mjerenja instalacije. One mogu uključivati mjerenja u ravnini instalacije, visinu stupova i duljinu dosega. Osim toga, nagib u primjeni rasvjetnih tijela, orijentacija svjetiljki i rotacija svjetiljki ocjenjuju se ako su ti podaci relevantni za ispunjavanje ciljeva mjerenja.

Instrumenti za ne-fotometrijska mjerenja - mjerenje ne-fotometrijskih parametara koji su relevantni za ciljeve mjerenja potrebno je provesti s kalibriranim instrumentima. Upotrebu nekalibriranih instrumenata potrebno je zapisati u izvješću.

4.4.4. Izvješće o ispitivanju

Izvješće o ispitivanju treba sadržavati barem:

a) ciljeve mjerenja,

b) sve informacije prikupljene tijekom mjerenja, ako su relevantne za cilj mjerenja,

c) pojedinosti o korištenim instrumentima, njihov broj za nedvosmislenu identifikaciju i njihove kalibracijske uvjete (datum, valjanost i mjeriteljsku slijedivost),

d) pojedinosti o vremenskim uvjetima, uvjetima okoline i električnom napajanju,

e) referenca ili kratak opis postupaka usvojenih za mjerenje i obradu podataka, uključujući i procjenu mjerne nesigurnosti,

f) rezultati mjerenja s njihovom mjernom nesigurnošću,

g) razlog, opravdanost i posljedice odabira zona postrojenja ako se ne mjeri u njegovoj ukupnoj duljini,

h) poduzete mjere za sprječavanje ili uzimanje u obzir izravne ili reflektirane svjetlosti iz okruženja,

i) sve ostale informacije navedene u prethodnim odredbama.

4.5. HRN EN 13201-5:2016; Pokazatelji energetskih svojstava

Svrha ove norme je definiranje pokazatelja energetske učinkovitosti za instalacije za osvjetljenje cesta. Norma daje dva načina računanja, pokazatelj gustoće snage (PDI) D_P i godišnji pokazatelj potrošnje energije (AECI) D_E koji se uvijek trebaju koristiti zajedno.

Izračun pokazatelja gustoće snage - pokazatelj gustoće snage za područje podijeljeno na pod-područja za određeno stanje rada izračunava se pomoću sljedeće formule:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n}(\bar{E}_\iota \cdot A_i)} \qquad (13)$$

Gdje je: D_P pokazatelj gustoće snage, $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$;

P je instalirana snaga sustava za rasvjetu određenog područja, u W;

$\bar{E}_\iota$ je srednja horizontalna osvijetljenost pod-područje „i“ određenog u skladu s 4.2, u lx;

A_i je veličina pod-područja „i“ koje je osvijetljeno , u m^2;

n je broj osvjetljenih pod-područja „i“.

Ako se potrebna klasa rasvjete mijenja tijekom noći i/ili tijekom godišnjih doba (npr. smanjenje klasa rasvjete zbog smanjene gustoće prometa, promjena u vizualnom okruženju ili drugih relevantnih parametara), gustoću snage (D_p) treba izračunati zasebno za svaku od klasa rasvjete. Alternativno, kada se koristi više klasa rasvjete tijekom noći ili godine, gustoća snage (D_p) može se izračunati kao prosjek u tom razdoblju. Izračun mora jasno naznačiti pretpostavke korištene za izračunavanje gustoće snage (D_p) i kako je ta vrijednost ocijenjena. Vrijednosti pokazatelja gustoće snage (D_p) uvijek se prikazuju i koriste zajedno s godišnjim pokazateljem potrošnje energije (D_E) za procjenu energetske učinkovitosti određenog sustava rasvjete.

Indikator godišnje potrošnje energije

Godišnja potrošnja električne energije u postrojenju za osvjetljenje ceste ovisi o:

- vremenskom razdoblju u kojem radi rasvjeta,
- klasi rasvjete određenoj odgovarajućim standardom osvjetljenja za svako razdoblje rasvjete,
- učinkovitosti rasvjetne instalacije, pri pružanju potrebne rasvjete za svako razdoblje,
- način na koji sustav upravljanja rasvjetom prati promjenu vizualnih potreba korisnika ceste,
- parazitnu potrošnju energije rasvjetnih uređaja u razdoblju kada rasvjeta nije potrebna.

Za usporedbu i praćenje energetske učinkovitosti svjetlosne instalacije, indikator potrošnje energije mora uzeti u obzir godišnju akumuliranu potrošnju energije cestovne rasvjete koja

osvjetljava ulicu ili javno područje, no stvarne potrebe za osvjetljenjem mogu varirati tijekom godine zbog sljedećih razloga:

- sezonske promjene dnevnog/noćnog vremena: ovisi o zemljopisnom položaju područja,
- promjene vremenskih uvjeta koje utječu na vid (npr. suha ili mokra cesta),
- promjene gustoće prometa na ulici ili javnom prostoru tijekom noći ili promjene zbog cirkulacije kretanja ljudi,
- mijenjanje funkcionalnosti ulice ili javnog prostora (npr. ceste su zatvorene na određeno razdoblje ili su se pretvorile u pješačke zone u svečanim sezonama).

Indikator godišnje potrošnje energije (AESI) mjeri se formulom:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^{m}(P_j \cdot t_j)}{A} \qquad (14)$$

Gdje je:

D_E indikator godišnje potrošnje za instalaciju cestovne rasvjete, u $Wh \cdot m^{-2}$,

P_j je radna snaga povezana s j-tim periodom rada, u W,

T_j je trajanje j-tog perioda rada snagom P_j, u godini dana, u h,

A je površina područja osvjetljenog istom vrstom rasvjete, u m^2,

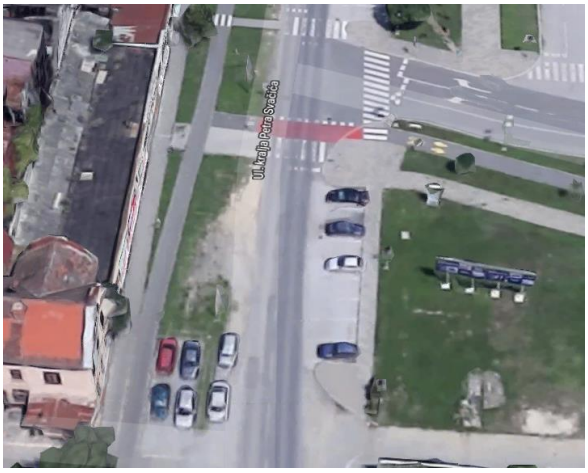
m je broj perioda kada sustav radi drugačijom snagom $P_j \cdot m$, uzima u obzir razdoblje tijekom kojeg se troši snaga mirovanja. To je razdoblje kada je rasvjeta ugašena.

Ako izvor svjetlosti neprestano radi, ali potrošnja energije varira u vremenu, u izračun je potrebno uvrstiti prosječnu potrošnju energije unutar zadanog životnog vijeka. Izračun treba jasno indicirati pretpostavku životnog vijeka te kako se došlo do pretpostavke.

Indikator godišnje potrošnje energije treba uvijek biti predstavljen s indikatorom gustoće snage za procjenu energetskog učina određenog sustava rasvjete.

5. ANALIZA SVJETLOSNIH VELIČINA DIJELA ULICE KRALJA PETRA KREŠIMIRA

Da bi se dobili što točniji rezultati te došlo do što boljeg zaključka po pitanju rasvjete, provest će se tri mjerenja. Potrebno je navesti izračunate performanse rasvjete dobivene izračunom računalnom simulacijom u projektu zamjene rasvjete u ulici kralja Petra Krešimira, izmjeriti luminaciju pomoću digitalnog fotoaparata i odraditi mjerenje luminacije i iluminacije sa za to predviđenim instrumentima. Mjerit će se luminacija kod pješačkog prijelaza u Ul. kralja Petra Svačića (slika 36) ispred „Novog studentskog doma“. U toj ulici je postavljena LED rasvjeta.



Slika 36. ulica kralja Petra Svačića [67]

5.1. Analiza rasvjete ulice kralja Petra Krešimira

Navedena ulica dobila je potpuno novu rasvjetu 2017. godine. Dotadašnja rasvjeta bila je neadekvatna te se koristila tehnologija visokotlačnih natrijevih lampi.

5.1.1. Primijenjene norme i procjena očekivanih vrijednosti

Projekt je započet 2011. godine zbog čega su za projektiranje korištene norme 13201 iz 2004 (NORMA CEN/TR 13201-1 07.2004.). Iako bi se i po novoj verziji norme dobili jednaki rezultati, potrebno je navesti razlike u uputama normi. Stara norma dijeli promet prema brzini kretanja te se daljnja procjena odnosi na gustoću prometa i prevladavajuće vremenske uvjete (tablica 12 i tablica 13). Uporabom nove norme, za dobivanje potrebne razine osvjetljenja potrebno je vrednovati različite parametre koji utječu na potrebnu klasu osvjetljenja (tablica 14).

Tablica 12.Sudionici prometa raspoređeni s obzirom na brzinu kretanja [68]

Brzina kretanja glavnih sudionika (km/h)	Tipovi korisnika u mjerodavnom području			Skupna situacija
	Glavni sudionici	Drugi dozvoljeni	Isključeni sudionici	
> 30 i ≤ 60	Motorna vozila Spora vozila	Biciklisti Pješaci		B1

U tablici 11 prikazan je izbor B1 skupne situacija koja se koristila prilikom projektiranja rasvjete. U slijedećoj tablici prikazat će se točan odabir klase s obzirom na gustoću prometa.

Tablica 13. Odabir klase rasvjete za ulicu Kralja Petra Svačića prema normi [68]

Prevladavajući vremenski uvjeti	Mjere usporavanja prometa	Gustoća raskrižja (km)	Težina navigacije	Gustoća prometa
Suhi	Ne	< 3	Normalna	< 7000
				ME4b

Za navedenu prometnicu prema odabranim prometnicama moguće je odabrati tri klase: ME6, ME5, ME4b. Klasa ME4b je klasa koja zahtjeva prosječnu luminaciju od 0,75 cd/m^2, ME5 od 0,5 cd/m^2, ME6 od 0,3 cd/m^2. Prema projektu, za prometnicu je odabrana klasa rasvjete ME4b. U slijedećoj tablici navest će se odabir klase rasvjete prema novoj metodi.

Tablica 14. Proračun klase rasvjete prema novoj verziji norme [62]

Parametar	Opcije	Opis [a]	Težinska vrij. V_w [a]
Projektirana brzina ili ograničenje brzine	Umjerena 40 < v ≤ 70 km/h		-1
Volumen prometa		Dvotračne ceste	
	Umjeren	15 % - 45 % kapaciteta	0
Sastav prometa	Mješovit		1
Odvojeni kolnik	Da		0
Gustoća prometa na raskrižju		Križanje/km	
	Umjerena	≤ 3	0
Parkirana vozila	Prisutna		1
Svjetlost ambijenta	Umjerena	Normalna situacija	0
Težina navigacije	Lagano		0
[a] – vrijednosti u stupcu su primjer. Za bolje prilagođene težinske vrijednosti koristiti vrijednosti koje vrijede na nacionalnoj razini.			

S obzirom da vrijedi „Broj klase rasvjete M = 6 - „VWS“ (suma težinskih vrijednosti)“, za navedeni slučaj vrijedi M= 6 – 1 =5 te je prema ovom proračunu za prometnicu mogla biti odabrana i klasa rasvjete M5, kao što je dao i proračun prema starijoj verziji norme. Proračun

klase norme moguće je i prilagoditi da bi osvjetljenje bilo što prikladnije stvarnim uvjetima prometnice što je navedeno u opasci [a].

5.1.2. Projekt rasvjete ulice Kralja Petra Svačića

Osim što se koristila starija tehnologija rasvjete, iz fotografija firme Novalux, moguće je prebrojati 11 rasvjetnih stupova. Na potezu, koji se nalazi 110 metara južno od križanja ulice Kralja Petra Svačića i ulice cara Hadrijana, u dužini od 120 metara nije bilo niti jednog rasvjetnog stupa, nakon čega opet nema rasvjete u dužini 60 m. S obzirom da je međusobna udaljenost rasvjetnih stupova 30 m, to govori da nedostaju 4 stupa, što potvrđuje i činjenica da je trenutni broj stupova 15. Na slijedećim fotografijama (slika 37 i 38) prikazano je staro i novo stanje rasvjete.



Slika 37. Fotografija starog stanja [69]



Slika 38. Fotografija novog stanja [70]

Za obnovu rasvjete korišteni su stupovi visine 9 + 1,5 m toplo pocinčani, proizvođača Dalekovod Zagreb tip CRS 2B-9-1, tehnički podatci su u tablici 15, s PHILIPS BGP623 1xGRN88/740 OFR6 lampama.

Tablica 15. Tehnički podatci rasvjetnih stupove [71]

Tip stupa	CRS 2B-9-1
Visina nadzemnog dijela (H)	9 m
Visina podzemnog dijela (h)	0,9 m
Promjer najšireg dijela	133,0 mm
Promjer najužeg dijela	76,1 mm
Površina stupa	3,44 m^2
Masa stupa	105,0 kg

Navedeni stupovi na visini od 9 metara imaju bočne nosače dužine 1,5 metara na kojima se nalaze lampe (tablica 16).

Tablica 16. Osnovni tehnički podatci odabrane lampe [72]

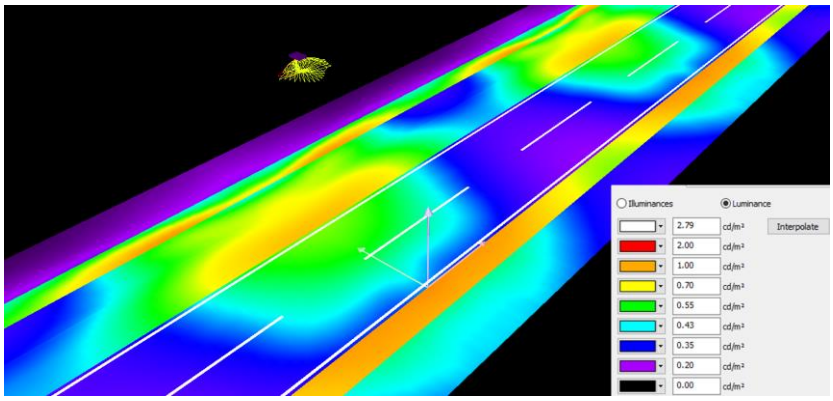
Lampa	PHILIPS BGP623 1xGRN88/740 OFR6
Snaga	70 W
Svjetlosni tok	8800 lm

Na slijedećoj fotografiji (slika 39) prikazana je odabrana lampa na rasvjetnom stupu.



Slika 39. Rasvjetni stup s Philips lampom [70]

Prilikom projektiranja i odabira izvedbe rasvjete, provode se simulacije u računalnim programima kao što su Relux ili Dialux. To su računalne simulacije pomoću kojih je moguće precizno odrediti različite parametre koje se tiču rasvjete otvorenih i zatvorenih prostora. U slučaju prometnice moguće je simulirati parametre rasvjete koji uključuju različite lampe, visine rasvjetnih stupova, nagib lampi prema okomici, različite cestovne površine itd. Na slijedećoj slici prikazana je simulacija koja daje rezultat očekivane luminacija na kolniku.



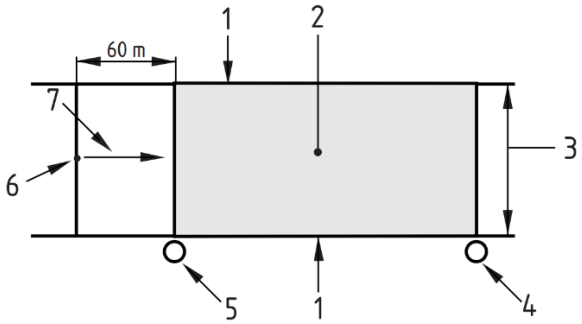
Slika 40. Dialux simulacija luminacije

Iz simulacije je vidljivo da luminacija na kolniku nije jednaka u svim točkama. Luminacija je najveća u točkama koje se nalaze točno ispod lampe te ona opada s udaljenosti od lampe. Najmanje vrijednosti luminacije su u najudaljenijim točkama od rasvjetnih stupova s lampama. Svjetlotehnički proračun (tablica 17) potvrđuje da rasvjeta zadovoljava zahtjeve norme.

Tablica 17. Svjetlotehnički proračun [72]

Ulični element	Kolnik	
Svojstva asfalta	Vrsta	R3
	Refleksivnost	q0 = 0.070
Klasa rasvjete	ME4b	
Izračunate vrijednosti		
L_{av} – prosječna luminacija	0,75	Zadovoljava normu
U_0 – ukupna ujednačenost luminacije	0,53	Zadovoljava normu
U_l – uzdužna ujednačenost luminacije	0,70	Zadovoljava normu
TI [%] – blještanje rasvjete	12	Zadovoljava normu

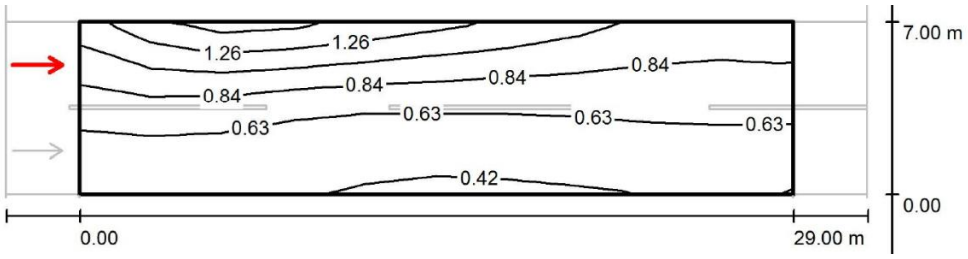
Za potrebe norme potrebno je zadovoljiti razinu luminacije kakvom je vidi promatrač iz automobila. Mjeri se luminacija područja koje se nalazi između dvije lampe (rasvjetna stupa) s tim da je prva lampa udaljena 60 m od promatrača (slika 41).



1. Rub područja izračuna
2. Područje izračuna
3. Širina područja izračuna
4. Posljednja lampa u izračunu
5. Prva lampa u izračunu
6. Promatrač
7. Orijentacija gledanja

Slika 41. Područje izračuna luminacije [68]

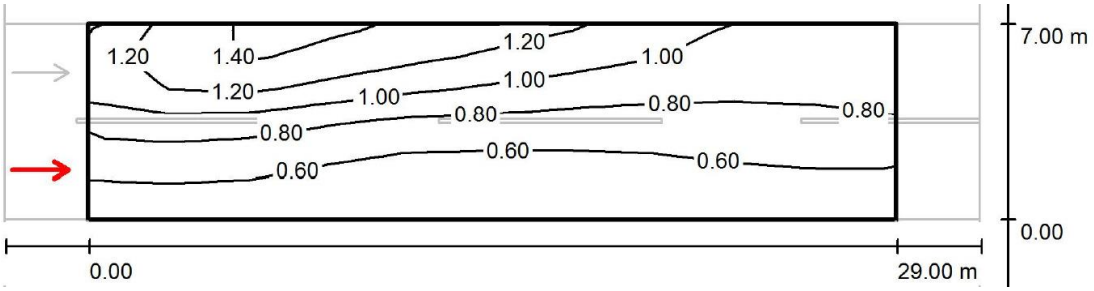
Simulacije izračuna luminacije odrađuju se pomoću Dialux programa te su rezultati navedeni na slijedećim slikama i tablicama.



Slika 42. Proračun luminacije za promatrača na lijevoj strani kolnika (bliža rasvjeti)[72]

Tablica 18. Rezultati za promatrača na lijevoj strani kolnika [72]

	L_{av}	U_0	U_l	TI [%]
Izračunate vrijednosti	0,75	0,55	0,70	12
Zahtjevi norme	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,60	≤ 15



Slika 43. Proračun luminacije za promatrača na desnoj strani kolnika [72]

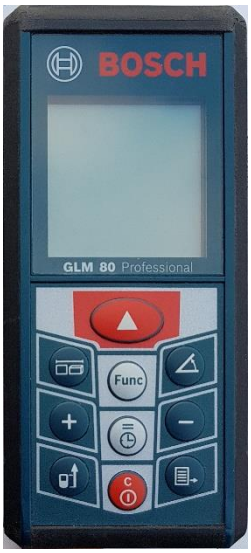
Tablica 19. Rezultati za promatrača na desnoj strani kolnika [72]

	L_{av}	U_0	U_l	TI [%]
Izračunate vrijednosti	0,83	0,53	0,77	8
Zahtjevi norme	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,60	≤ 15

Iz proračuna se može zaključiti da rasvjeta zadovoljava tehničke zahtjeve odabrane klase rasvjete. Prije provedbe mjerenja pomoću digitalnog fotoaparata, 30.11 premjerene su udaljenosti (slika 44) između rasvjetnih stupova (tablica 20) pomoću Bosch GLM 80 laserskog daljinomjera (slika 45, 46) kao i udaljenosti rasvjetnih stupova od ruba ceste (tablica 21), širina ceste (tablica 22), udaljenosti rasvjetnih stupova od zebri (tablice 23 i 24) te je izmjereno da je visina rasvjetnih stupova 9,35 m.



Slika 44. Premjeravanje udaljenosti [73]



Slika 45. Daljinomjer, prednja strana [73]



Slika 46. Daljinomjer, stražnja strana [73]

Tablica 20. Udaljenosti između rasvjetnih stupova

Između stupova	Udaljenost između stupova [m]	Odstupanje od prosjeka [|m|]
45 – 46	30,84	0,31
46 – 47	26,98	3,55
47 – 48	31,38	0,85
48 – 49	31,93	1,4
49 – 50	28,86	1,67
50 – 51	29,76	0,77
51 – 52	31,09	0,56
52 – 53	27,66	2,87
53 – 54	30,65	0,12
54 – 55	29,05	1,48
55 – 56	30,30	0,23
56 – 57	32,39	1,86
57 – 58	34,84	4,31
58 – 59	31,74	1,21
Prosjek	30,53	

Tablica 21. Udaljenost rasvjetnih stupova od ruba ceste

Stup broj	Udaljenost od ruba ceste [m]	Odstupanje od prosjeka [|m|]
46	5,89	2,90
47	4,19	1,20
48	3,41	0,42
49	2,81	0,18
50	2,80	0,19
51	2,37	0,62
52	2,08	0,91
53	1,98	1,01
54	2,14	0,85
55	2,47	0,52
56	2,83	0,16
57	3,14	0,15
58	2,75	0,24
Prosjek	2,99	

Tablica 22. Širina ceste

Područje mjerenja	Širina ceste [m]
50 metara od ulice cara Hadrijana	6,49
150 metara od ulice cara Hadrijana (zebra)	6,31
157 metara od ulice cara Hadrijana (zebra i skretanje u Ulicu Lavoslava Ružičke)	6,81

Tablica 23.Uudaljenost rasvjetnih stupova kod sjeverne zebre (koja uključuje bic. prijelaz)

Strana zebre	Udaljenost od rasvjetnog stupa [m]
Sjeverna	15,98
Južna	11,25

Tablica 24. Udaljenost rasvjetnih stupova kod južne zebre (koja uključuje bic. prijelaz)

Strana zebre	Udaljenost od rasvjetnog stupa [m]
Sjeverna	8,96
Južna	19,22

Izmjerene vrijednosti daju stvarne udaljenosti kakve su na terenu. U projektu modernizacije rasvjete uzete su srednje vrijednosti radi pojednostavljenja procesa i zbog toga što odstupanja ne unose dovoljno velike pogreške da bi značajnije utjecaje na dobivene rezultate.

5.2. Mjerenje iluminacije i luminacije pomoću mjernih instrumenata

Za ispravno mjerenje pomoću mjernih instrumenata potrebno je pratiti upute iz norme EN 13032-1 [74]. Normom su dani tehnički zahtjevi koje instrumenti moraju ispuniti da bi se mjerenje moglo ocijeniti ispravno odrađenim. Zahtjevi obuhvaćaju kvalitetu vremenskih uvjeta za vrijeme kojih se obavlja mjerenje, tehničke zahtjeve za mjerne instrumente. S obzirom da dva instrumenta koja su korištena za slijedeća mjerenja ne zadovoljavaju tehnički zahtjeva da je razlučivost kutnog mjerenja 0,1° ili manje, mjerenje se izvelo kao vježba za usporedbu mjernih metoda. Mjerenje je odrađeno 12.02.2019. u ulici kralja Petra Krešimira od 20 do 21 sata između rasvjetnih stupova 48 i 49. Nebo je bilo vedro te su bila 2°C. Za mjerenje iluminacije korišten je Beha 93408 instrument razlučivosti kutnog mjerenja preko 120°(slika 47, tablica 25), a za mjerenje luminacije je korišten Gossen Mavolux 5032C instrument s nastavkom M516G razlučivosti kutnog mjerenja 20° (slika 48, tablica 25).



Slika 47. Beha mjerni instrument



Slika 48. Gossen mjerni instrument

Tablica 25. Tehnički podatci mjernih instrumenata [75], [76]

Instrument	Beha 93408	Gossen Mavolux 5032C
Zaslon	$3^{½}$ znamenke, LCD	$3^{½}$ znamenke, LCD
Mjerni raspon	0...200 Lux / 0.1 Lux, 0…2000 Lux / 1 Lux, 0…20000 Lux / 10 Lux, 0…200000 Lux / 100 Lux	1…1999 cd/m^2 10…19990 cd/m^2 100…199900 cd/m^2 1000…1999000 cd/m^2
Temperaturni pomak	< 1% / K	-
Operativna temperatura	-	0 – 50 °C
Napajanje	9 V baterija	1,5 V baterija
Dimenzije	135 x 72 x 33 mm (uređaj) 100 x 60 x 27 mm (senzor)	65 x 120 x 19 mm (uređaj) 31 x 105 x 30 mm (senzor)
Masa	270 g	253 g

Mjerilo se na istočnoj strani ulice (suprotna rasvjetnim stupovima), na 7 metara udaljenosti od suprotnog ruba ceste. Za početnu točku, koja je paralelna s rasvjetnim stupom, vrijedi udaljenost od 10,41 metara udaljenosti od rasvjetnog stupa broj 48, a za posljednju mjernu točku, koja je paralelna s rasvjetnim stupom, udaljenost od 9,81 metar od rasvjetnog stupa broj 49. Udaljenost između stupova je 32 metra i svaka točka mjerenja je bila udaljena za 1 metar od prethodne. Udaljenost od 1 metra određivala se pomoću ručnog metra (slika 49). Mjerenje u svakoj točki je trajalo od 60 do 150 sekundi, ovisno o automobilima koji su smetali prilikom mjerenja rezultata (tablica 26). Beha instrument je postavljen na visinu od 11 cm pomoću kutije i senzorom okrenutim u nebo, a Gossen instrument je bio držan rukom na visini 10-20 cm usmjeren pod kutem 45° prema mjerenoj površini (kolniku) (slika 50 i 51).



Slika 49. Ručni metar[70]



Slika 50. Mjerenje iluminacije [70]



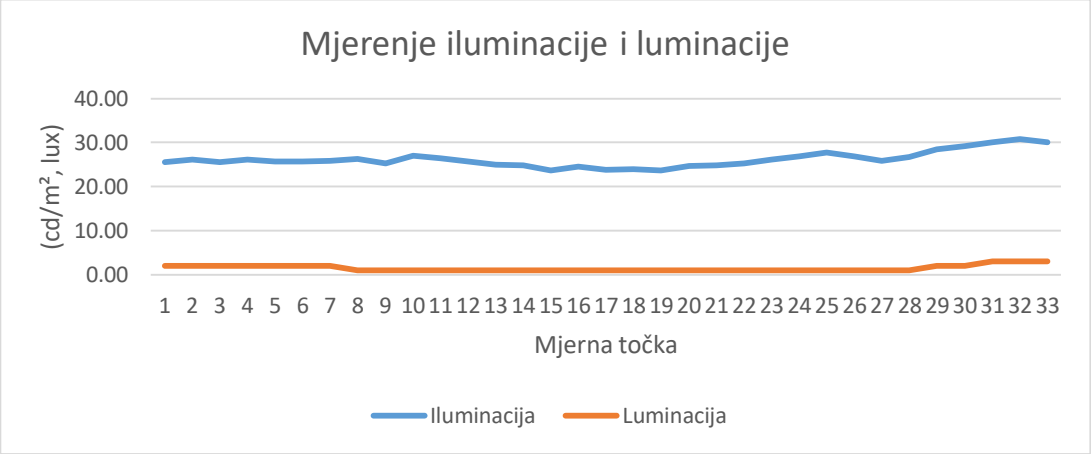
Slika 51. Mjerenje luminacije [70]

Oba uređaja su po uključivanju spremna za rad zato što imaju ugrađenu logiku koja sama, s obzirom na podražaj senzora podešava i određuje mjerno područje. Oba uređaja su bila u najnižem mjernom području.

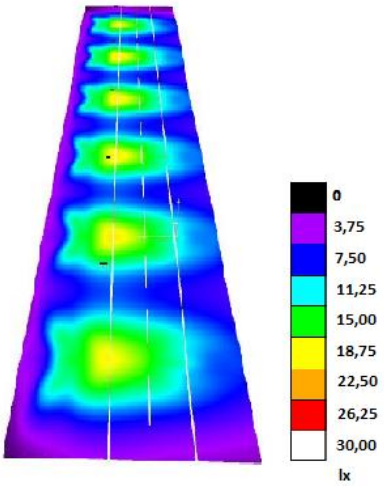
Tablica 26. Rezultati mjerenja

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Iluminacija (Lux)	25,5	26,1	25,6	26,1	25,7	25,7	25,8	26,3	25,3
Luminacija (cd/m^2)	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Točka	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Iluminacija (Lux)	27,0	26,4	25,7	25,0	24,8	23,7	24,6	23,8	24
Luminacija (cd/m^2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Točka	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Iluminacija (Lux)	23,7	24,7	24,8	25,2	26,2	26,8	27,8	26,9	25,9
Luminacija (cd/m^2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Točka	28	29	30	31	32	33			
Iluminacija (Lux)	26,7	28,4	29,2	30,1	30,8	30,1			
Luminacija (cd/m^2)	1	2	2	3	3	3			

Grafikon mjerenja



Pregledom rezultata uočava se postojanje 33 točke mjerenja, iako bi ih trebalo biti 32. Do ovoga je došlo zbog pogreške u mjerenju udaljenosti pomoću ručnog metra. Rezultati iluminacije dobiveni ovakvim mjerenjem odstupaju od očekivanih rezultata i od rezultata dobivenih pomoću računalne simulacije u Dialux programu (slika 52). Mjerenjem su se očekivali rezultati koji bi prikazani grafikonom poprimili izgled blago konkavne krivulje, tj. rezultati koji bi bili višlji na rubnim točkama mjerenja te niži središnjim mjernim točkama koje se nalaze između rasvjetnih stupova i koje su ujedno najudaljenije od njih. Rezultati koji su dobiveni Mavoluxom su neprecizni iz razloga što instrument ne može mjeriti vrijednosti luminacije koje su manje od cijelog broja. Iako krivulja mjerenja izgledom odgovara očekivanom, izmjereni rezultati ovom metodom su također višlji nego li je to očekivano. Uzrok ovome može biti presvijetao kolnik i nepreciznost samog instrumenta.



Slika 52. Simulacijom dobiveni rezultati iluminacije [72]

5.3. Snimanje iluminacije

Osim u svrhe pokusa, snimanje iluminacije radi se zbog provjere rasvjetnih tijela. Naime nakon određenog broja radnih sati, što ovisi o vrsti lampe i njenoj kvaliteti, svjetlosni tok lampe opada. To za sobom donosi posljedice nižih razina osvjetljenja, pad određene rasvjete u klasu niže čak toliko da je ona neadekvatna te se zahtjeva njena promjena ili nadogradnja. Provjeru kvalitete rasvjete moguće je odraditi na nekoliko načina, a firma Lux mapping [77] to odrađuje pomoću mjerenja iluminacije. Mjerenje odrađuju iz automobila (slika 53) u pokretu zbog čega su mjerenja mnogo brža nego kad bi se odrađivala pješke.



Slika 53. Lux mapping automobil [77]

Osim luks metra koriste i GPS opremu pomoću koje mogu odrediti gdje je koje mjerenje napravljeno te kombinacijom tih podataka s postojećim kartama dobiti rezultate koji su svima jasni (slika 54).



Slika 54. Izmjereni podatci [77]

Na slici 54 ljubičasta linija prikazuje vrijednosti iluminacije mjesec dana nakon instalacije rasvjete, a zelena linija prikazuje izmjerene vrijednosti 23 mjeseca nakon instalacije rasvjete. Niža zelena linija ukazuje da je i kvaliteta rasvjete niža, tj. iz određenih razloga došlo je do pada svjetlosnog toka.

5.4. Mjerenje sjajnosti digitalnim fotoaparatom

5.4.1. Uvod

U svijetu raste svijest o problemu svjetlosnog zagađenja, a s time raste i potreba za mjerenjem svjetlosnih veličina. Od svjetlosnih veličina najčešće se mjere iluminacija (osvjetljenje) i luminacija (svjetljivost). Iluminacija je mjera količine svjetlosti koja pada na neku površinu te se mjeri u luksima. Luminacija je mjera svjetlosnog zračenja od izvora, mjeri se u kandelama po metru kvadratnom. Ljudsko oko luminaciju percipira kao svjetlinu izvora svjetlosti. Pri procjeni svjetlosnog zagađenja, luminacija se koristi za procjenu bliještećeg svjetla i svjetla koje se emitira prema noćnom nebu. Za mjerenje iluminacije i luminacije postoje mjerni uređaji koji se mogu kupiti na tržištu [78]. Mjerni uređaji za mjerenje iluminacije su relativno jeftini, npr. Mastech LX1330B koji košta oko 200 kn [79]. S druge strane, uređaji pomoću kojih se može mjeriti luminacija su višestruko skuplji. Primjer toga je Minolta LS-100 koji je koštao (više nije u prodaji) oko 22 000 kn [78]. Iako su oba mjerenja korisna za zabilježavanje svjetlosnog zagađenja, mjerenja luminacije su vrlo rijetka u praksi.
Vrijednosti piksela na fotografiji digitalnih kamera su proporcionalni luminaciji izvorne scene zbog čega se kamera, koja je u suštini mjerni uređaj, može koristiti kao mjerni uređaj luminacije. Ukoliko se kamera kalibrira, tj. ukoliko se pažljivim mjerenjem može izračunati kako kamera interpretira svjetlost koja pada na CMOS senzor, moguće ju je koristiti kao mjerni uređaj luminacije. Nekoliko je prednosti ukoliko bi se kamera mogla koristiti na ovaj način:

- Digitalna kamera bilježi sjajnost cijele scene što ubrzava mjerni proces i omogućava višestruka mjerenja istovremeno.
- Izmjerena je i luminacija okruženja što dodatno objašnjava mjerenja
- Za mjerenja luminacije, „vidno polje“ instrumenta mora biti manje od 1°, što ga i imaju Minolta mjerni instrumenti. „Vidno polje“ svakog pojedinačnog piksela je u omjeru reda 1:150 zbog čega je mjerenje daleko preciznije te daje mogućnost mjerenja luminacije daleko manjih površina, što nije moguće sa skupim instrumentima [78].

Za potrebe ovog diplomskog rada, mjerenje luminacije izvedeno je pomoću Canon PowerShot G15 fotoaparata, a slike su obrađene pomoću Luma softwera.

5.4.2. Fotoaparat

PowerShot G15 fotoaparat ima CMOS senzor koji se nalazi na prednjoj strani fotoaparata i pomoću kojeg se prave fotografije. Za bolje razumijevanje procesa mjerenja sjajnosti pomoću fotoaparata potrebno je upoznati se s osnovama funkcioniranja digitalnih fotoaparata.

Na slici 47 prikazan je fotoaparat koji je korišten u praktičnom dijelu diplomskog rada te njegovi glavni dijelovi. Okidač je gumb pomoću kojega fotoaparatu dajemo naredbu da napravi fotografiju onoga što vidimo kroz optičko tražilo koje nam daje prikaz onoga što „vidi“ senzor kamere. Objektiv je prvi dio fotoaparata kroz kojega prolazi svjetlost te on kao leća i zjenica ljudskog oka određuje količinu propuštenog svjetla i njegov fokus na CMOS senzoru. Ostali dijelovi fotoaparata: kućište, dodatne gumbe za posebne funkcije, zaslon na kojem se mogu vidjeti fotografije, memorijska kartica, baterija, procesor i bljeskalica koje se nalaze unutar kućišta (slika 55, 56).



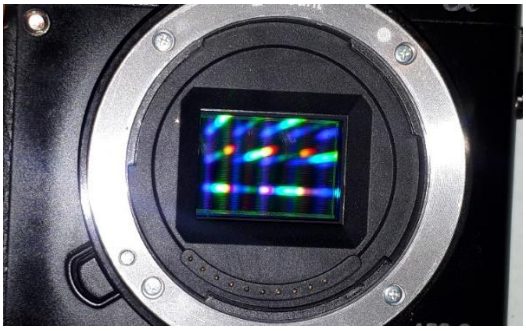
Slika 55. Canon fotoaparat G15 [80]



Slika 56. Dijelovi kamere [80]

5.4.2.1. Način rada fotoaparata

Dijelovi koji su direktno zaslužni za stvaranje fotografije su: objektiv, CMOS senzor, procesor i memorija na koju se to sprema. Objektiv je dio fotoaparata koji, kao što je već navedeno, nadzire količinu propuštenog svjetla te je zaslužan za fokus tog svjetla na CMOS senzoru. CMOS senzor je fotoaparatu (slika 57), što je mrežnica ljudskom oku.



Slika 57. CMOS senzor [81]

CMOS, tj. complementary metal oxide semiconductor (komplementarni metal oksidni poluvodič), je novija generacija senzora koji se koriste u fotoaparatima te kamerama mobilnih uređaja [82]. Tehnologija rada CMOS vrlo je slična prethodnoj CCD tehnologiji. Senzor na slici 49 sastoji se od 24,3 milijuna piksela. Piksel je najmanji element senzora koji stvara naboj kada je izložen svjetlosti. Kod CMOS senzora slika nastaje tako da se unutar svakog piksela dogodi pretvorba svjetlosti u naboj koji se zatim pojača te se pretvara u digitalni signal prije obrade u procesoru [82]. To znači da je fotoaparat mjerni uređaj koji mjeri jakost i valnu duljinu svjetlosti. U procesoru fotoaparata dolazi do obrade podataka te njihovog spremanja na memorijsku karticu. Jedna od najvećih prednosti CMOS senzora jest u tome što za svoj rad koriste vrlo malo snage baterije.

5.4.3. Luma software

Luma je računalni program otvorenog koda koji radi na Linux platformi, razvila ga je Syscomp firma te je potpuno besplatan. Luma računalni program može se pronaći na linku [83], na kojem se nalaze sam program, upute za uporabu te upute za instalaciju na Linux. Lumu je moguće pokrenuti i na Windows te Mac operacijskom sustavu preko programa koji simuliraju Linux okruženje.

5.4.3.1. Instalacija softvera

Da bi se Luma instalirala na računalo s Windows operacijskim sustavom, potrebno je downloadati te instalirati software koji može simulirati operacijski sustav, npr. Oracle VirtualBox [84]. Pomoću VirtualBoxa instaliran je Linux Mint [85]. Odabrana je ova distribucija Linuxa, zbog toga što je u njoj razvijena Luma te su za ovu distribuciju napisane upute. Nakon pokretanja Linuxa na virtualnom stroju, potrebno je downladati Tcl [86], koji je potreban za pokretanje Lume, i najnoviju verziju Lume [83].

1… tar xvf verzijatcl.tar.gz,

2… ls

3… cd imeFoldera

4… sudo chmod 777 install.sh

5… ./install.sh

6… /opt/ActiveTcl-8.6

7… alias wish=/opt/ActiveTcl-8.6/bin/wish8.6

8… sudo apt-get install dcraw

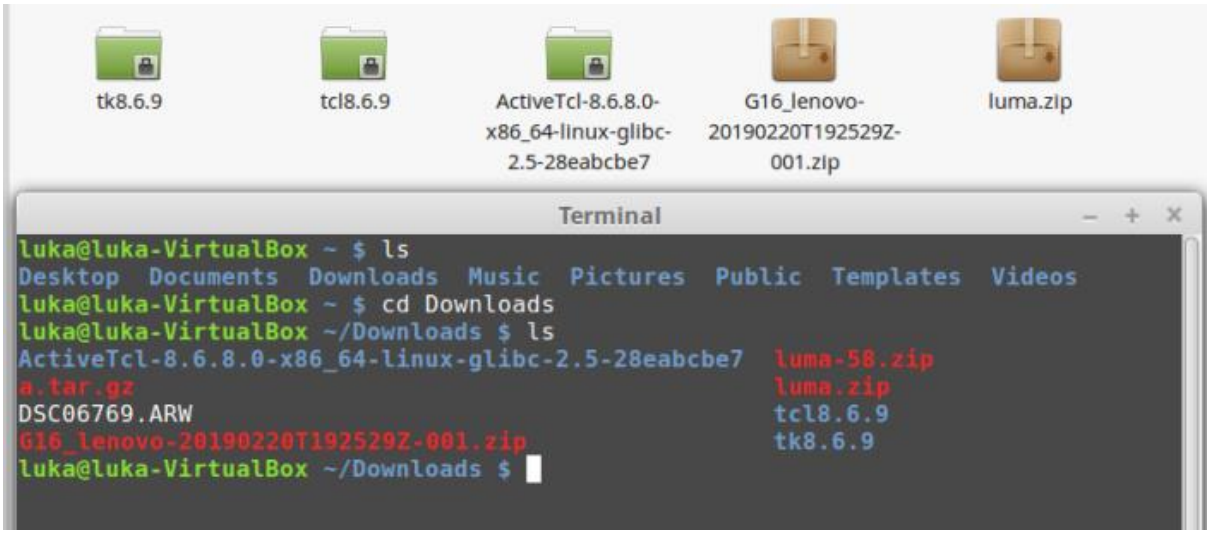
9… sudo apt-get install imagemagick

10… sudo apt-get install exiftool

11… wish luma.tcl

Navedeni softweri instalirat će se pomoću terminala na slijedeći način:

Potrebno je locirati downloadani Tcl software. Ukoliko nisu mijenjane početne postavke, Tcl bi se trebao nalaziti u „Downloads“ folderu. Za pronalazak „Downloads“ foldera potrebno je služiti se cd i ls naredbama (slika 58).



Slika 58. Downloads folder

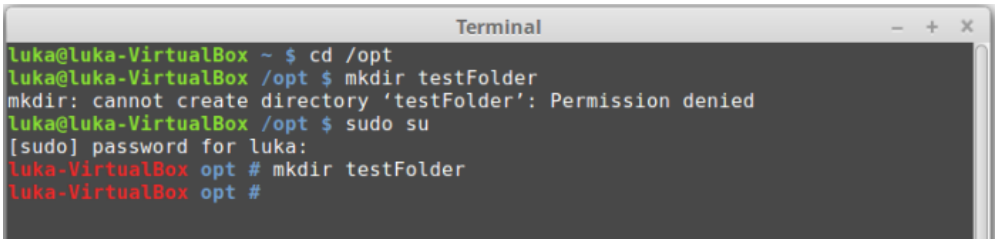
Zatim extractati downloadani Tcl software naredbom 1. Stvorit će se novi folder s extractanim Tcl softwerom. Za prikaz svih foldera koristiti naredbu 2. Potrebno je ući u extractani folder naredbom 3.

Pokretanje procesa instaliranja izvodi se pomoću naredbenog niza 4. Sudo naredba daje administratorske ovlasti.

- chmod 777 naredba daje mogućnost čitanja, pisanja i izvođenja slijedeće naredbe koja je [87],

- install.sh, koja pokreće x-shellscriptu.

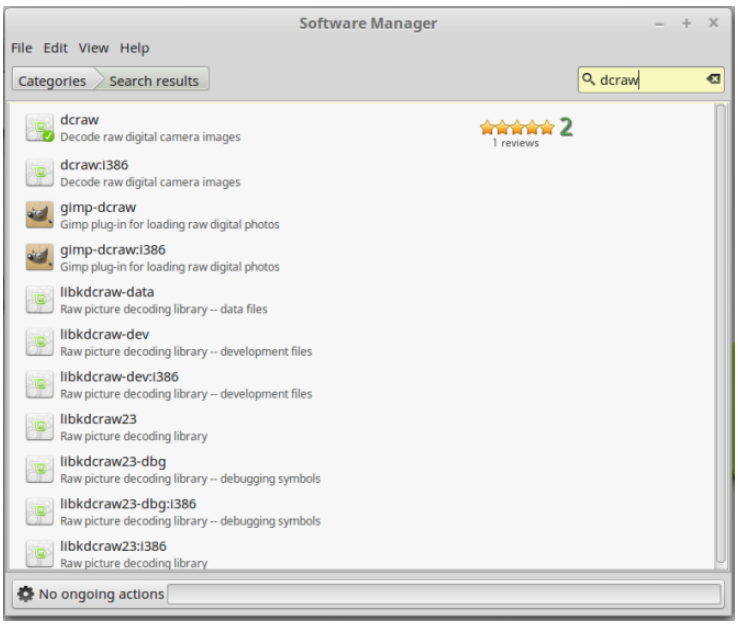
Iako sudo daje administratorske ovlasti, moguće je, ovisno o distribuciji Linuxa dobiti poruku koja glasi da nemate dozvolu napraviti folder, što znači da se Active Tcl neće instalirati. U tom slučaju potrebno je koristiti naredbu „sudo su“ kojom dobivate super user ovlasti (potrebno je upisati lozinku za svoj račun), zbog čega će biti omogućeno pravljenje foldera (slika 59).



Slika 59. Korištenje sudo su naredbe

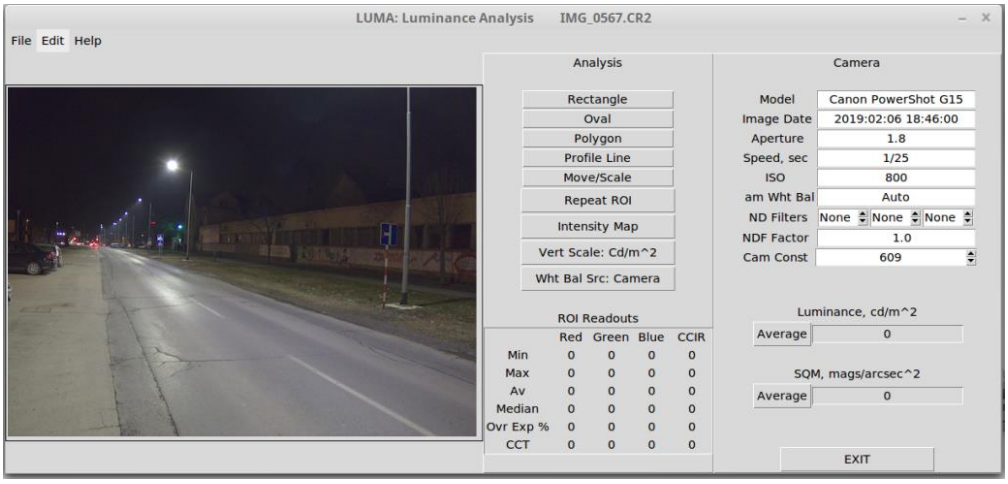
Unosom navedene naredbe na ekranu neće biti ispisano ništa dok se ne upiše naredba 5 koja pokreće instalaciju. Zatim je potrebno potvrditi dozvolu i instalacijski direktorij 6. Tcl je instaliran. Naredbom 7 se omogućava pokretanje naredbe [88] koja računalu daje „put“ za pokretanje Tcl-a.

Prije pokretanja Lume, potrebno je instalirati tri dodatka (dcraw, imagemagick, exiftool) koji su nužni da bi Luma mogla otvoriti fotografije koje će se analizirati (8, 9, 10). U slučaju da Terminal javlja grešku da se dodatci ne mogu instalirati. To isto je moguće odraditi preko već instaliranog Software Managera. Linuxov Software Manager je program sličan trgovini aplikacija za pametne mobilne telefone gdje je moguće pronaći potrebne softvere (slika 60).



Slika 60. Software Manager

Sudo naredba daje ovlasti potrebne za instaliranje potrebnih dodataka, apt-get („advanced package tool“) naredba traži od računala da u bazi podataka koja se nalazi na internetu pronađe najnovije verzije programa koje je potrebno instalirati (dcraw, imagemagick, exiftool), a install naredba govori da ih je potrebno instalirati [89]. Prilikom instalacije navedena tri dodatka potrebno je potvrdno odgovoriti na zahtjeve za licence. Posljednji korak je pokretanje Lume za koji je potrebno pomoću naredbe „cd“ ući u folder (direktorij) gdje se nalazi „luma.tcl“ te ju pokrenuti naredbom 11 (slika 61).



Slika 61. Luma software

Prilikom svakog slijedećeg pokretanja softwera, potrebno je u terminalu doći do foldera (1) u kojem se nalazi „luma.tcl“ te redom upisati naredbe 2 i 3.

1… cd folderSLumom

2… alias wish=/opt/ActiveTcl-8.6/bin/wish8.6

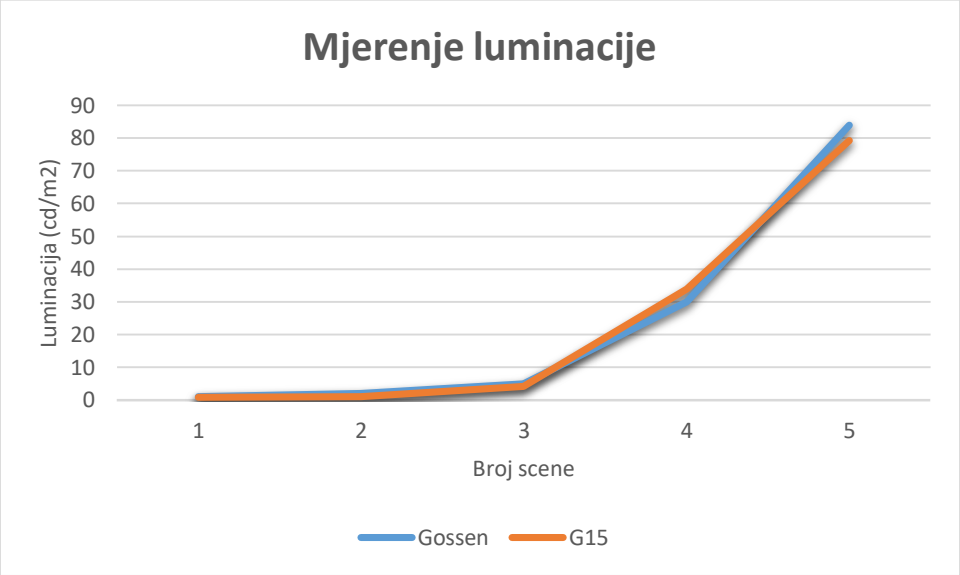
3… wish luma.tcl

Prije prikaza fotografija i analize ulice kralja Petra Krešimira, potrebno je pokazati rezultate testnog fotografiranja u kontroliranim uvjetima radi usporedbe mjernog instrumenta Gossen i fotoaparata. U testu se mjerila luminacija na osvjetljenom zidu te se mijenjala u 5 koraka od najtamnije do najsvjetlije scene. Rezultati su prikazani u slijedećoj tablici.

Tablica 27. Mjerenje luminacije u 5 scena

Scena	1	2	3	4	5
Gossen	1	2	5	30	84
G15	0,867	1,06	4,18	33,90	79,30

Podatci će se prikazati pomoću excel grafikona.



Dobiveni podatci govore o odstupanju Gossen mjernog instrumenta od mjernih rezultata dobivenih analizom fotografija dobivenih G15 fotoaparatom. Iz rezultata se uočava, uz izuzeće 4. točke, tendenciju mjernog instrumenta da pokazuje veće vrijednosti. Ovo saznanje govori da su rezultati u tablici 25 u svih 33 točke mjerenja previsoki te su stvarne vrijednosti niže. Zbog toga se mogu očekivati niže vrijednosti od 3 cd/m^2 prilikom mjerenja i analize fotografija dobivenih fotoaparatom.

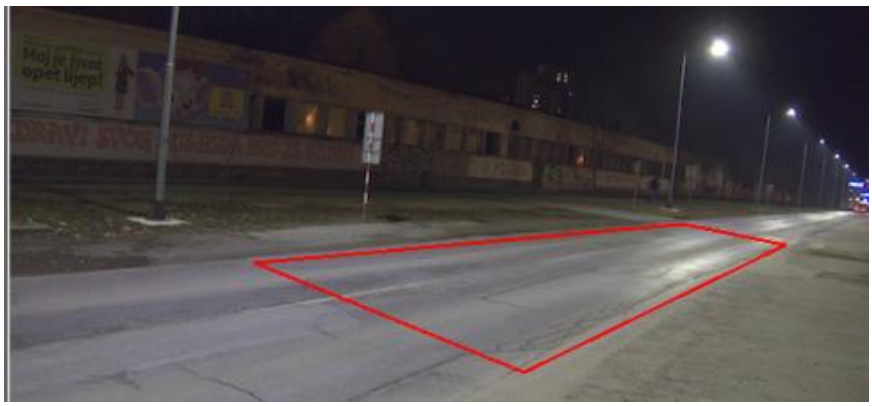
5.4.4. Mjerenje sjajnosti digitalnim fotoaparatom i analiza rezultata

Nakon pripreme softvera, potrebno je odraditi fotografiranje na terenu. Fotografiranje se mora odraditi nakon zalaska sunca, kada svjetlost dolazi isključivo od umjetne rasvjete. Da bi se izbjegle mutne fotografije, preporuča se korištenje fotografskog stativa (slika 62) i korištenje funkcije samookidanja.

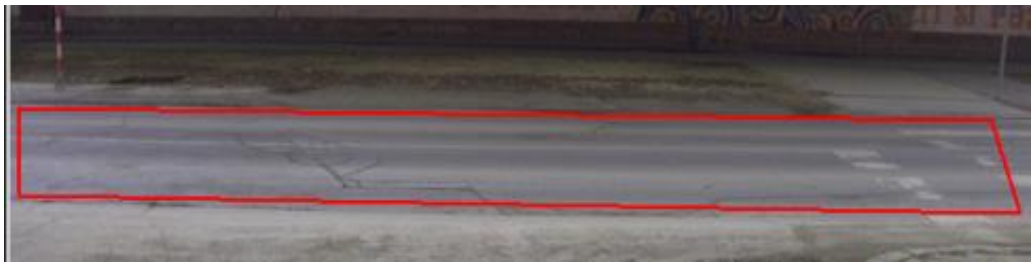


Slika 62. Stativ za fotoaparat [90]

Funkcijom samookidanja fotoaparat sam pravi fotografiju nakon dvije ili deset sekundi čime se izbjegava neželjena trešnja kamere do koje može doći prilikom rukovanja. Za primjer mjerenja sjajnosti, fotografirat će se dio kolnika koji uključuje pješačku zebru. Nakon fotografiranja terena, potrebno je pokrenuti Lumu, otvoriti sliku pomoću File -> Open Image. Luma daje nekoliko alata kojima se može mjeriti luminacija. Prvo će se prikazati alat „Polygon“ koji daje mogućnost označavanja željenog područja mjerenja te daje prosječnu vrijednost luminacije (slike 63, 64).

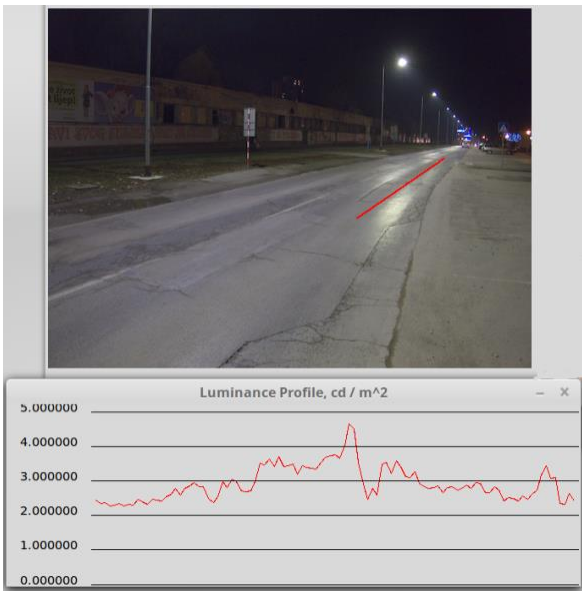


Slika 63. Luminacija između dva rasvjetna stupa, 2,49 cd/m^2 [91]

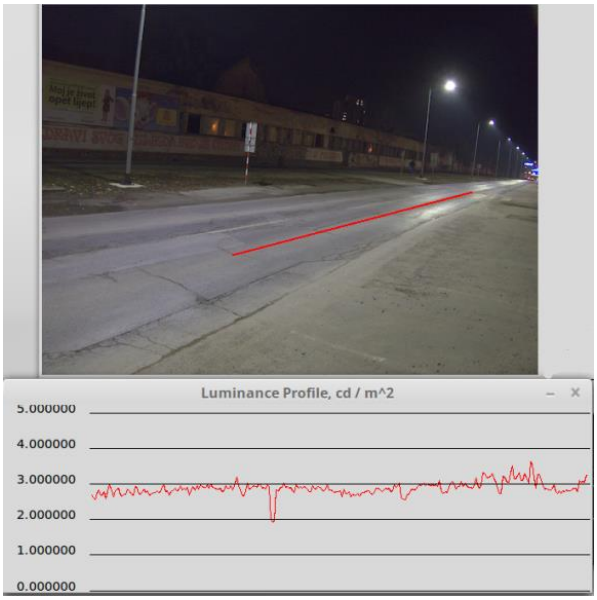


Slika 64. Fotografija sa strane, 0.89 cd/m2 [91]

Usporedbom rezultata fotografija 63 i 64, razlika u izračunu iznosi 1,6 cd/m^2. Usporedbom fotografija, razlika se mogla dogoditi zbog kuta fotografiranja. Fotografija 61 uslikana je sa strane s namjerom pokazivanja kako kut fotografiranja utječe na rezultate. Fotografija 61 se ne može koristiti za dovođenje zaključaka o rasvjeti zbog toga što ona nije napravljena prema normi 13201 prema kojoj se fotografiranje mora odraditi na sredini kolne trake u visini od 1,5 metara što odgovara situaciji kakvom ju vidi vozač iz automobila. Za mjerenje luminacije u određenom pravcu koristi se alat „Profile Line“. Mjerenja su prikazana na slikama 65, 66 i 67.

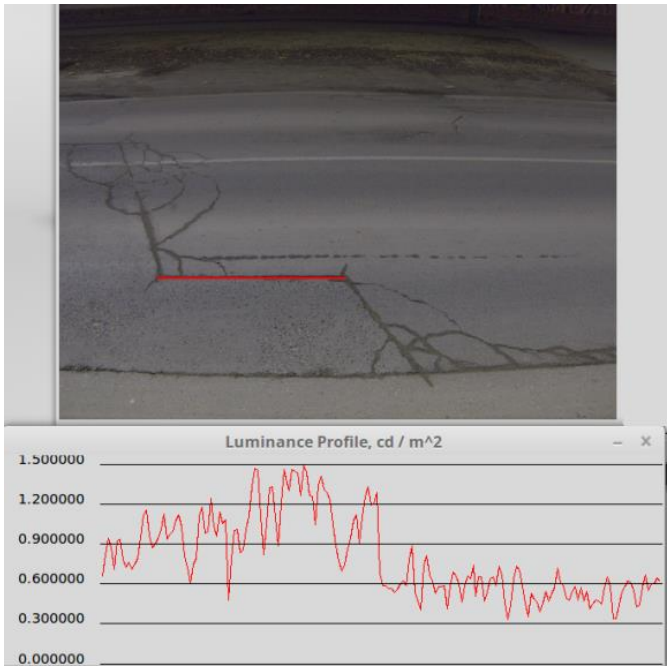


Slika 65. Oštri kut fotografiranja [91]



Slika 66. Manje oštar kut fotografiranja [91]

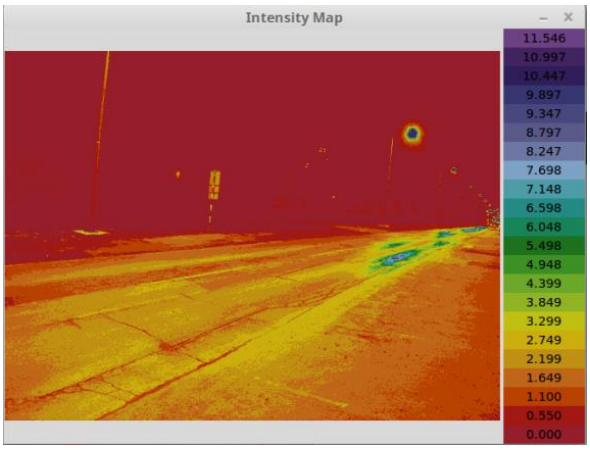
Iako je na slikama 65 i 66 uslikan jednak dio kolnika, dobiveni su različiti rezultati. Na slici 65, na grafu je vidljiv skok luminacije na sredini mjerne linije što je mogao uzrokovati odsjaj kolnika. Na slici 66 su vrlo visoke razine sjajnosti u duljini cijele linije. Sama linija je nacrtana na najsjajnijem dijelu kolne trake.



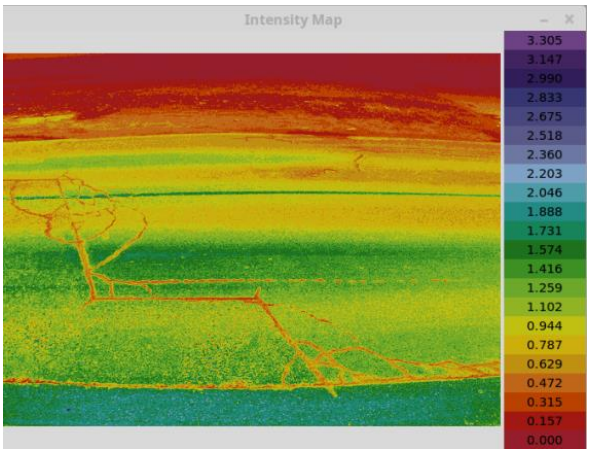
Slika 67. Luminacija tamnijeg dijela kolnika [91]

Na slici 67 je fotografija oštećenog dijela kolnika koji je ujedno i tamniji od ostatka. Analizom oštećenog dijela kolnika dobivaju se rezultati mnogo bliže očekivanima. Na desnoj polovici linije dobiveni su rezultati u intervalu od 0,3 do 0,75 cd/m^2.

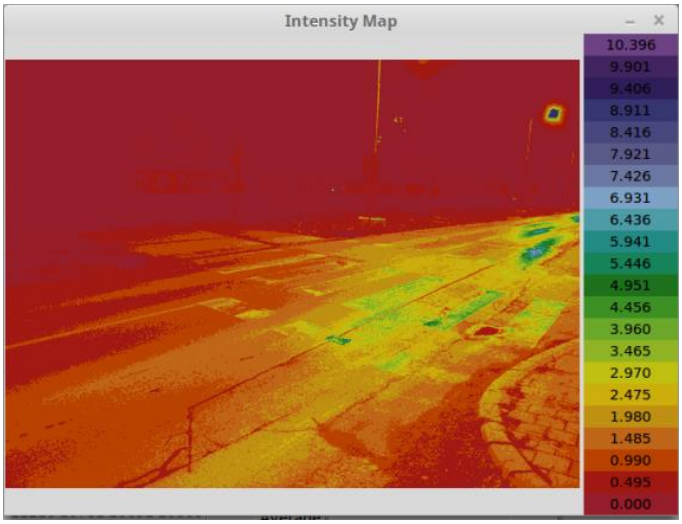
„Intensity Map“ je alat koji zadanu fotografiju interpretira u lažnim bojama s ljestvicom s desne strane koja bojama pridružuje vrijednosti luminacije u kandelama po metru kvadratnom (slike 68, 69 i 70).



Slika 68. Analiza sjajnosti kolnika između dva rasvjetna stupa [91]



Slika 69. Kolnik na sredini između dva rasvjetna stupa [91]



Slika 70. Sjajnost kolnika u blizini pješačkog prijelaza [91]

Simulacija lažnih boja u Dialuxu dala je rezultate do 0,75 cd/m^2, što je u usporedbi s dobivenim rezultatima iz Lume gotovo dvostruko ili čak trostruko manje. Najveće vrijednosti luminacije dobiveni su na slici 66 gdje najveća luminacija iznosi oko 1,5 cd/m^2 i to na kolniku koji se nalazi između dva rasvjetna stupa gdje su se očekivale mnogo niže vrijednosti.

Jedan od čimbenika koji utječu na sjajnost kolnika, osim odabira rasvjetnog tijela, je i refleksivnost površine q0. [92]

Prilikom simulacije projekta u Dialuxu, inženjeri na odabiru imaju nekoliko vrsti asfalta. Osim što imaju drugačije vozne karakteristike, drugačije vrste asfalta imaju drugačiji koeficijent

refleksivnosti. Povećanjem koeficijenta refleksivnosti smanjuju se zahtjevi za rasvjetom, tj. svjetliji asfalt podiže luminaciju. Primjer tomu je nekoliko simulacija iz Dialuxa (tablica 28). U projektu obnove rasvjete ulice kralja Petra Svačića uzeta je vrijednost q0 od 0,070. Odradit će se simulacija sa q0 = 0,100 i q0 = 0,150.

Tablica 28. Prosječan koeficijent luminacije

q0	Luminacija (cd/m^2)
0,070	0,75
0,100	1,11
0,200	2,21

Iz tablice 26 vidljivo je da refleksivnost ima pozitivan utjecaj na luminaciju. Iz slika 60 – 64 na kojima se vidi kolnik, vidljivo je da asfalt nije crn kao kad je bio nov nego je od nanesenih nečistoća, najvećim dijelom blata, poprimio sivu, gotovo krem boju.

U znanstvenom časopisu „Scientific American“ u broju koji je izašao u ožujku 1973. godine pisac S.S. Wilson u članku „BICYCLE TECHNOLOGY“ osim što piše o biciklu kao o napravi koja je imala ključnu ulogu u razvoju kugličnih ležajeva, pneumatskih guma, automobila i aviona, dotaknuo se i učinkovitosti kretanja životinjskih vrsta. Između dvadesetak vrsta životinja i nekoliko vrsta prometala koje je čovjek izumio, čovjek nije bio ni izbliza najučinkovitiji u kretanju, tj. sve dok se taj isti čovjek ne stavi na bicikl. Čovjek na biciklu je daleko najučinkovitiji po pitanju potrebne energije da bi se prešao određeni put [93]. Primjeni li se to na slučaj ovog mjerenja, moguće je da je fotoaparat mjerenju svjetlotehničkih veličina isto ono što je bicikl učinkovitosti kretanja čovjeka.

5.5. Snimanje luminacije

Slično kao i snimanje iluminacije, izvodi se i snimanje luminacije. Ovo je druga metoda, drugi način mjerenja kvalitete rasvjete kod koje dolazi do promjene zbog promjena u kvaliteti lampi. Isto kao i firma Lux mapping, firma Opteema snimanje izvodi pomoću automobila u pokretu. Za snimanje potrebno je imati njihovu kameru (slika 71) te prijenosno računalo s instaliranom programskom podrškom pomoću koje se dobiju rezultati.



Slika 71. Kamera LMK5 [94]

Dobiveni rezultati nalikuju na rezultate dobivene pomoću Luma softvera (slike 63 – 67) što se vidi na slici 72.



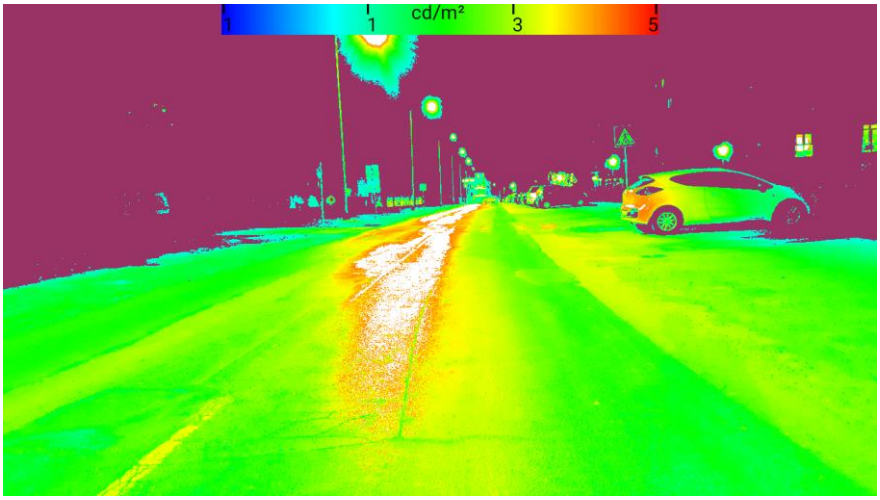
Slika 72. Lab soft standard simulacija [94]

Osim firme Opteema, Photolux luminance također u svojoj ponudi nudi opremu pomoću koje se nudi luminacija. Za mjerenje luminacije koristi se Canon EOS 60D kamera (slika 73) i poseban software.



Slika 73. Canon EOS 60D kamera [95]

Kupac prilikom kupovine ima na izbor dva paketa, prvi je standardni paket, a drugi expert paket. Uz oba paketa uz kameru i software, dobiva se dodatni nastavak na objektiv i memorijska kartica. Jedina razlika u paketima je prilikom korištenja softwera, tj. za mjerenje luminacije u standardnom paketu potrebno je 7 istih fotografija a kod expert paketa samo jedna. Cijena standardnog paketa je 5850 €, a expert paketa 8100 € što je velik izdatak [96]. Osim mjerenja pomoću fotoaparata i softwera, Photolux je napravila aplikaciju za Google Nexus 10 tablet, a koju je moguće pokrenuti s bilo kojim Android uređajem (slika 74). Rezultati dobiveni ovom aplikacijom ukoliko nisu snimljeni Google Nexus 10 tabletom nisu precizni zbog toga što je aplikacija isključivo kalibrirana za taj tablet.



Slika 74. Mjerenje sjajnosti kolnika pomoću mobilne aplikacije

6. ZAKLJUČAK

Vidljiva svjetlost samo je dio elektromagnetskog spektra. Valna duljina čovjeku vidljivog spektra je od 380 do 780 nm. Tu svjetlost vidimo pomoću osjeta vida te na taj način prikupljamo informacije brže i više nego s bilo kojim drugim osjetilom. Razvoj tehnologije doveo je i do izuma žarulje koji je omogućio nastavak poslova koji su za svoje obavljanje zahtijevali izvor svjetlosti. U tri stoljeća dogodili su se brojni izumi koji su umjetnu rasvjetu sve više usavršavali istovremeno poboljšavajući performanse rasvjete, povećavajući njenu učinkovitost i spuštajući cijenu proizvodnje. Razvoj umjetne rasvjete ostavio je iza sebe i neželjenu posljedicu svjetlosnog zagađenja. Svjetlosno zagađenje ostavlja negativne posljedice i na ljude i na životinje. Posljedice kao što su: poremećaji spavanja u ljudi, poremećaji u biološkim procesima kod ljudi i životinja. Kukci kao životinje čiji je vid osjetljiviji na kraće valne duljine postaju još izloženiji tome zbog trenda instaliranja rasvjete koja emitira kraće vale duljine što izrazito negativno djeluje na njihovo ponašanje. Taj negativan utjecaj izrazito je teško i komplicirano što čini još težim u predviđanjima posljedica. Potrebno je poduzeti sve korake moguće da bi se zadovoljile sve strane. Jedan od načina je primjena normi koje su uvedene s ciljem podizanja kvalitete rasvjete i smanjenja utjecaja na okoliš. U skladu s tim 2011. Započet je projekt promjene rasvjete u ulici kralja Petra Krešimira u Osijeku. U diplomskom radu analiziran je dio u duljini od 460 metara. U ulici kralja Petra Krešimira instalirane su lampe nove LED tehnologije. LED je tehnologija koja bilježi izniman rast popularnosti u primjeni zbog svojih svojstava koji se tiču učinkovitosti, cijene, upravljivosti itd. Osim pozitivnih LED ima i negativna svojstva među kojima je pad svjetlosnog toka tijekom rada. Pad svjetlosnog toka prouzrokovat će da instalirana rasvjeta nakon određenog vremena više ne ispunjava postavljene zahtjeve. Praćenje kvalitete rasvjete moguće je pomoću mjernih uređaja te postoje firme koje se time bave. Da bi se odradilo mjerenje kvalitete rasvjete trenutnim metodama, potrebno je fizički proći te mjeriti svjetlotehničke veličine. Takav postupak bi bio iznimno dugotrajan ukoliko bi se mjerila kvalitete rasvjete čak i u manjem gradu kao što je Osijek. Jedan od načina ubrzanja tog postupka bila bi uporaba uređaja koji bi mogao svjetlotehničke veličine većim automatizmom kao što je digitalni fotoaparat. Usporedbom vremena trajanja mjerenja pomoću digitalnog fotoaparata i mjernih uređaja kao što su Beha 93408 i Gossen Mavolux, mjerenje digitalnim fotoaparatom je mnogo brže te se dobije mnogo više podataka. Digitalni fotoaparat sam po sebi nije dostatan za ubrzavanje procesa mjerenja zato što to još uvijek zahtjeva fizički prolazak kroz ulice koje je potrebno premjeriti. Činjenica da je svjetlotehničke veličine moguće mjeriti pomoću digitalnog fotoaparata i softvera otvara nove mogućnosti mjerenja.

Literatura

[1] L. Halonen, G. Bizjak, CIE Mesopic photometry - implementation for outdoor lighting, University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engtneerng, 2012.

[2] D. Ratkajec, Provedba energetskog pregleda javne rasvjete, Elektrotehnički fakultet u Osijeku, 2014.

[3] R. Skansi, Parametri svjetla u kontekstu javne rasvjete, Zagreb, 07.2013.

[4] Art rasvjeta, Javna rasvjeta kroz povijest: Kratka povijest javne rasvjete, dostupno na: http://art-rasvjeta.hr/vijesti/hrvatska/javna-rasvjeta-kroz-povjest [23.10.2018.]

[5] C. Rawcliffe, Biography of Henry Barton, The History of Parliament: the House of Commons 1386-1421, dostupno na: https://www.historyofparliamentonline.org/volume/1386-1421/member/barton-henry-1435 [25.10.2018.]

[6] Wikipedija, slobodna encikopedija, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/William_Murdoch [25.10.2018.]

[7] Eaton, A brief history of street lighting, studeni 2015., dostupno na: http://thelightingresource.eaton.com/features/2015/a-brief-history-of-street-lighting [25.10.2018.]

[8] M. Josephson, R. E. Conot, Thomas Edison: American inventor, Britannica, dostupno na: https://www.britannica.com/biography/Thomas-Edison [28.10.2018.]

[9] Nacionalni muzej Američke povijesti, Lighting A Revolution: Inventing Six Modern Electric Lamps, dostupno na: http://americanhistory.si.edu/lighting/20thcent/invent20.htm [29.10.2018.]

[10] Nacionalni muzej Američke povijesti, Lighting A Revolution: Competition For A Modern Lamp, dostupno na: http://americanhistory.si.edu/lighting/20thcent/comp20.htm [30.10.2018.]

[11] M. L. White, Nick Holonyak, Jr.: American engineer, Britannica, dostupno na: https://www.britannica.com/biography/Nick-Holonyak-Jr [30.10.2018.]

[12] Nacionalni muzej Američke povijesti, Lighting A Revolution: Inventing Edison's Lamp, dostupno na: http://americanhistory.si.edu/lighting/19thcent/invent19.htm [31.10.2018.]

[13] Univerzitet Crne Gore, Električna rasvjeta, nastavni materijal, dostupno na: https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_22703/objava_31147/fajlovi/ELEKTROINST3.pdf [31.10.2018.]

[14] Z. Klaić, Projektiranje električnih instalacija, rasvjete i postrojenja, materijali s predavanja, 2017.

[15] M. Biočina, Osim svjetla štedne žarulje donose i opasnost, Večernji list, 31.10.2012. [10.12.2018.]

[16] D. Koretić, Za samo 15 dana na snagu stupa zabrana halogenih žarulja, Jutarnji list, 16.08.2018. [10.12.2018.]

[17] E. Širola - Cestovna Rasvjeta, Zagreb: Esing, 1997.

[18] Lamptech, Low voltage lamp developments, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO%20History%20LV.htm [11.12.2018]

[19] Lamptech, podatci i fotografije o Philora 4000 natrijevoj žarulji, dostupno na, http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20SLP%20Philora%204000lm.htm [11.12.2018.]

[20] Lamptech, podatci i fotografije o SOX-E Philips žarulji, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20SLP%20Philips%20SOXEPSG36.htm [11.12.2018]

[21] J. B. Wachtman - Materials and Equipment - Whitewares - Refractory Ceramics - Basic Science, 1995.

[22] S. D. Gupta - Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting, 2017.

[23] Lamptech, podatci i fotografije o GE HPS žarulji, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20SHP%20GE%20LU500.htm [12.12.2018.]

[24] Led rasvjeta, informacije za indeks uzvrata boja, dostupno na: http://www.ledrasvjeta.hr/unutarnja-rasvjeta/953-led-zarulje---led-rasvjetna-tijela---potrosnja-izracun-boja-svjetla---pdf-1-zarulje-2.-paneli-3-cijevi-4.-ugradbena-5.-reflektori.html [12.12.2018.]

[25] Wikipedija, slobodna enciklopedija, informacije za indeks uzvrata boja, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index [12.12.2018.]

[26] Benel, CRI – What does it mean?, fotografija za indeks uzvrata boje, dostupno na: https://www.benel.eu/en/advice/studio-photography/cri-value [13.12.2018.]

[27] Lamptech, podatci i fotografije o Philips HPS žarulji, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20SHP%20Philips%20SDW-AR22.htm [13.12.2018]

[28] Lamptech, The fluorescent lamp, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Documents/FL%20Introduction.htm [04.01.2019]

[29] Lamptech, podatci i fotografije Philips Tornado žarulje, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20FLCi%20Philips%20Tornado.htm [04.01.2019.]

[30] Lamptech, podatci i fotografije DULUX EL žarulje, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/D%20FLCi%20Osram%20Dulux%20EL%20Classic.htm [04.01.2019.]

[31] History of lighting, History of LEDs – Light Emitting Diodes, dostupno na: http://www.historyoflighting.net/light-bulb-history/history-of-led/ [05.01.2019]

[32] Wikipedija, slobodna enciklopedija, povijest LEDa, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#History [05.01.2019.]

[33] Wikipedija, slobodna enciklopedija, inovator Shuji Nakamura, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Shuji_Nakamura [05.01.2019.]

[34] Lamptech, fotografija plavog LEDa i kućišta, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Images/LED%20Lamps/LEDi%20230-7A60IF827-E27%20Philips%20open%20lighted.jpg [05.01.2019.]

[35] Lamptech, podatci i fotografije Philips LED Classic žarulje, dostupno na: http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/LEDi%20Philips%20470A60IF827-E27%20Midpower-in-Glass.htm [05.01.2019.]

[36] Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, nastavni materijal, dostupno na: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne_informacije_u_prometu/Materijali/04_Osjetilo_vida.pdf [05.01.2019.]

[37] Hrvatska enciklopedija, Fotometrija, dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=20266 [25.01.2019.]

[38] Hrvatska enciklopedija, Svjetlosna energija, dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=69690 [25.01.2019.]

[39] Britannica, Candela – SI jedinica mjere, dostupno na: https://www.britannica.com/science/candela [25.01.2019.]

[40] Narisada, Schreuder, Light polution handbook, 2004.

[41] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Luminacija, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Luminance [25.01.2019.]

[42] Hrvatska enciklopedija, Osvijetljenost, dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=45822 [25.01.2019.]

[43] Hrvatska enciklopedija, Svjetlosna učinkovitost, dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=59118 [25.01.2019.]

[44] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Jednodnevni biološki ritam, dostupno na: https://bs.wikipedia.org/wiki/Jednodnevni_biolo%C5%A1ki_ritam [20.01.2019.]

[45] Prof. dr. sc. M. Martinis, dr. sc. V. Mikuta-Martinis, Život pod umjetnom rasvjetom i zdravlje, Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Vol. 50 No. 2, 2008., dostupno na: https://hrcak.srce.hr/24971 [10.01.2019.]

[46] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Ljudsko oko, dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ljudsko_oko [07.01.2019.]

[47] Narisada, Schreuder, Light polution handbook, 2004.

[48] Medicinski fakultet u Beogradu, Neurofiziologija vida, nastavni materijal, dostupno na: http://www.mfub.bg.ac.rs/global/pdf/nastavni/ias/medicinska_fiziologija/2010_2011/seminari/SEMINAR07Neurofiziologijavida.pdf [07.01.2019.]

[49] A. Mostečak, Ovisnost svjetline noćnog neba o atmosferskim uvjetima, Rudarsko - geološko - naftni fakultet u Zagrebu, Zagreb,2013.

[50] F. Rubinstein, Nacionalna knjižnica Lawrence Berkley, Podatci o skotopskim i fotopskim omjerima

[51] D. Božičević, Utjecaj svjetlosnog zagađenja na prirodni okoliš i ljudsko zdravlje, Astronomsko društvo „Leo Brenner“, Mali Lošinj, 2010., dostupno na: http://www.nasenebo.hr/useruploads/files/2010_bozicevic_svjetlosno_ljudsko_zdravlje.pdf [15.01.2019.]

[52] W. R. Chaney, Does Night Lighting Harm Trees?, Purdue University, West Lafayette, dostupno na: https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-faq-17.pdf [10.01.2019.]

[53] L. A. Kumar, Protect newly-planted trees from freezing injury, Master Gardeners of Greater Kansas City, 11.2012., dostupno na: http://www.mggkc.org/protect-newly-planted-trees-from-freezing-injury/ [10.01.2019.]

[54] P. Beier, Effects of Artificial Night Lighting on Terrestrial Mammals, 2006., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/242536033_Effects_of_Artificial_Night_Lighting_on_Terrestrial_Mammals [09.01.2019.]

[55] C. Rich, T. Longcore, Prezentacija na temelju knjige Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, 2006.

[56] S. A. Gauthreaux Jr., C. G. Belserm Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds, 2006. dostupno na: https://ecfsapi.fcc.gov/file/6520212189.pdf [09.01.2019.]

[57] G. Eisenbeis, A. Hänel, Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects, Cambridge 2009., dostupno na: http://wikinight.free.fr/wp-content/uploads/anpcen/Spectre%20lampes%20vs%20Environnement%20nocturne%20v2/Impact%20biodiversite/Chapter%2015%20Eisenbeis%20and%20Hanel%20with%20pictures_final2.pdf [09.01.2019.]

[58] Marshalls PLC, Lighting and its effect on bats, birds and insects, 03.2018., dostupno na: https://www.marshalls.co.uk/commercial/blog/lighting-and-its-effect-on-bats-birds-and-insects [12.01.2019.]

[59] M. Bermudez, What is Security Lighting & Why is it Important?, Del Mar, dostupno na: https://www.delmarfans.com/educate/outdoor-security-lighting/ [14.01.2019.]

[60] Osobni foto album, fotografirano 30.01.2019.

[61] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Luminance, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Luminance [25.01.2019.]

[62] HRI CEN/TR 13201-1:2015; Cestovna rasvjeta -- 1. dio: Smjernice za odabir razreda rasvjete (CEN/TR 13201-1:2014)

[63] HRN EN 13201-2:2016; Cestovna rasvjeta -- 2. dio: Zahtijevana svojstva (EN 13201-2:2015)

[64] HRN EN 13201-3:2016; Cestovna rasvjeta -- 3. dio: Proračun svojstava (EN 13201-3:2015)

[65] HRN EN 13201-4:2016; Cestovna rasvjeta -- 4. dio: Metode mjerenja svojstava rasvjete (EN 13201-4:2015)

[66] HRN EN 13201-5:2016; Cestovna rasvjeta -- 5. dio: Pokazatelji energetskih svojstava (EN 13201-5:2015)

[67] Google mape, fotografija ulice kralja Petra Svačića, dostupno pomoću: https://www.google.hr/maps?hl=hr [21.01.2019.]

[68] CEN/TR 13201-1 07.2004.; Cestovna rasvjeta -- 1. dio: Odabir razreda rasvjete

[69] Fotografije firme Novalux (08.2010.)

[70] Osobni foto album, fotografirano 02.2019.

[71] Dalekovod, Rasvjetni i reflektorski stupovi, katalog proizvoda, Tehnički podatci o stupovima, dostupno na: https://www.dalekovod.com/EasyEdit/UserFiles/pdf/rasvjetni-stupovi-hr.pdf [07.02.2019.]

[72] Izvedbeni elektrotehnički projekt javne rasvjete, Javna rasvjeta u ulici kralja Petra Svačića u Osijeku, bt. proj. 127/10-IZP, Novalux Osijek

[73] Osobni foto album, fotografirano 31.01.2019.

[74] HRN EN 13032 – 1 07.2004.; Svjetlo i rasvjeta -- Mjerenje i prikaz fotometričkih podataka izvora svjetla i rasvjetnih tijela -- 1. dio: Mjerenje i oblik podataka

[75] UNITEST Digital Luxmeter 93408, tehnički podatci o instrumentu, http://file.yizimg.com/1459/2007222071418777104.pdf [14.02.2019.]

[76] Gossen Mavolux 5032C, tehnički podatci o instrumentu, https://www.pce-instruments.com/english/slot/2/download/58469/manual-lux-meter-pce-ml-5032_1144213.pdf [14.02.2019.]

[77] Lux mapping, Case 3: Performance measurements of LED lights and assessment of cleaning periods, dostupno na: http://www.luxmapping.com/case-study-item/case-3-performance-measurements-of-led-lights-and-assessment-of-cleaning-periods [14.02.2019.]

[78] P. D. Hiscocks, Measuring Luminance with a Digital Camera, Syscomp Electronic Design Limited, 02.2014., dostupno na: https://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes-2.pdf [05.01.2019.]

[79] Amazon, Internet trgovina, dostupno na: https://www.amazon.com/Dr-Meter-LX1330B-Digital-Illuminance-Light/dp/B005A0ETXY [09.02.2019.]

[80] Canon, fotografije i informacije o PowerShot G15 fotoaparatu, dostupno na: https://shop.usa.canon.com/shop/en/catalog/powershot-g15 [09.02.2019.]

[81] Osobni foto album, fotografirano 22.01.2019.

[82] Canon, Capturing the image CCD and CMOS sensors, dostupno na: https://cpn.canon-europe.com/content/education/infobank/capturing_the_image/ccd_and_cmos_sensors.do [22.01.2019.]

[83] Ryerson University, repozitorij s Luma softwareom, dostupno na: https://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/luma/ [10.02.2019.]

[84] Virtual Box, program za virtualizaciju operacijskih sustava, dostupno na: https://www.virtualbox.org/ [10.02.2019.]

[85] Linux Mint, operacijski sustav, dostupno na: https://linuxmint.com/download.php [10.02.2019.]

[86] ActiveState web stranica, Tcl jezik otvorenog koda, dostupno na: https://www.activestate.com/products/activetcl/downloads/ [10.02.2019.]

[87] Damien, Understanding File Permissions: What Does “Chmod 777” Mean?, 12.2102., dostupno na: https://www.maketecheasier.com/file-permissions-what-does-chmod-777-means/ [10.02.2019.]

[88] Linfo, The alias Command, dostupno na: http://www.linfo.org/alias.html [10.02.2019.]

[89] A. Prakash, Using apt-get Commands In Linux [Complete Beginners Guide], 12.2018., dostupno na: https://itsfoss.com/apt-get-linux-guide/ [10.02.2019.]

[90] Online fotografija stativa za fotoaparat, dostupno na: https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/cnj-img/images/gT/gTKb4Xo7Eb5Q [10.02.2019.]

[91] Simulacija privatnih fotografija (06.02.2019.)

[92] A.-M. Ylinen, Development and analysis of road lighting –Road surfaces and mesopic dimensioning, doktorska disertacija, 2011.

[93] Scientific American 03.1973. Volumen 228, izdanje 3.

[94] Opteema, Informacije o proizvodima i uslugama, dostupno na: www.opteema.com [20.02.2019.]

[95] Fotografija Canon EOS 60D kamere, dostupno na: www.canon.hr/for_home/product_finder/cameras/digital-slr/eos_60d/ [06.03.2019.]

[96] Podatci dobiveni od firme Photolux luminance, kontakt: www.photolux-luminance.com/contact [06.03.2019.]

SAŽETAK

Diplomskim radom obrađena je problematika koja se tiče razvoja umjetne rasvjete, njen pozitivan i negativan utjecaj na čovjeka, životinjski i biljni svijet. Obrađene su norme koje daju smjernice kako odraditi rasvjetu s obzirom na realne uvjete. Praktičnim dijelom rada obrađeni su različiti načini mjerenja svjetlotehničkih veličina od računalnih simulacija do mjerenja na terenu koja se mogu izvesti na nekoliko načina te je odabran način mjerenja koji uključuje digitalni fotoaparat da bi se došlo do zaključka koji bi trebao pomoći i ubrzati mjerenja svjetlotehničkih veličina.

ABSTRACT

This final paper deals with issues related to the development of artificial illumination, its positive and negative impact on man, animal and plant world. Norms have been developed that give guidance on how to make lighting in accordance with real conditions. Practical part of the paper deals with various ways of measuring photometric sizes from computer simulations to field measurements that can be performed in several ways, and a measurement method that includes a digital camera has been selected to provide a conclusion that should help and accelerate fotometric measurements.

ŽIVOTOPIS

Luka Patrun rođen je 9.6.1994. u Osijeku gdje je završio osnovnu i srednju školu i gdje završava studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Za vrijeme osnovnoškolskog obrazovanja išao je na natjecanja iz tehničke kulture i fizike. Za vrijeme osnovnoškolskog obrazovanja osvaja drugo mjesto na državnom natjecanju iz rukometa. Nakon OŠ Mladost, upisuje srednju Prirodoslovno-matematičku gimnaziju.

Po završetku gimnazije, 2013. godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku. Za vrijeme svog studiranja sudjelovao je na natjecanjima u području programiranja i ekonomije gdje ostvaruje uspjehe. Osim natjecanja, za vrijeme studiranja pridružuje se radu studentskog zbora gdje s ostalim kolegama studentima organizira razne aktivnosti obrazovnog i zabavnog karaktera za ostale studente fakulteta. Na završnoj godini fakulteta odlazi četiri mjeseca u Ameriku na sezonski rad te upoznavanje kulture i usavršavanja engleskog jezika.