# Modeliranje i analiza javne rasvjete programom RELUX

**Šibila, Mia**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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:200:612338

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

# MODELIRANJE I ANALIZA JAVNE RASVJETE PROGRAMOM RELUX

**Diplomski rad**

**Mia Šibila**

**Osijek, 2016.**

# SADRŽAJ

**1. UVOD ..... 1**

**2. OSNOVNI POJMOVI VEZANI UZ JAVNU RASVJETU ..... 3**

2.1. Opis pojma javna rasvjeta ..... 3

2.2. Povjesni razvoj rasvjete ..... 4

2.3. Fizikalne osnove svjetla i boje ..... 5

2.4. Svjetlotehničke veličine ..... 11

2.5. Mjerenje svjetlotehničkih veličina ..... 14

2.6. Električni izvori svjetlosti koji se koriste u javnoj rasvjeti ..... 15

2.6.1. Visokotlačne natrijeve žarulje ..... 16

2.6.2. Visokotlačne živine žarulje ..... 17

2.6.3. Visokotlačne metalhalogene žarulje ..... 17

2.6.4. Niskotlačne natrijeve cijevi ..... 18

2.6.5. Fluorescentne cijevi ..... 19

2.6.6. LED rasvjeta ..... 19

2.6.7. Izvori svjetlosti s užarenom niti ..... 21

2.6.8. Izvori svjetlosti na bazi plazma tehnologije ..... 21

2.6.9. Usporedba pojedinih izvora svjetlosti ..... 22

2.7. Predspojne naprave ..... 22

2.8. Svjetiljke u javnoj rasvjeti ..... 26

**3. JAVNA RASVJETA ..... 30**

3.1. Kriterij kvalitete javne rasvjete ..... 30

3.1.1. Razina luminancije površine kolnika ..... 31

3.1.2. Jednolikost luminancije površine kolnika ..... 32

3.1.3. Razina rasvijetljenosti neposredne okoline ceste (SR) ..... 32

3.1.4. Ograničenje blještanja (TI) ..... 33
3.1.5. Vizualno vođenje ..... 34
3.1.6. Optičko vođenje ..... 34
3.1.7. Razina srednje rasvijetljenosti površine kolnika ($E_m$) ..... 35
3.1.8. Vertikalna rasvijetljenost ($E_v$) ..... 35
3.1.9. Polucilindrična rasvijetljenost ($E_{sc}$) ..... 35
3.1.10. Koeficjent rasvijetljenosti površine kolnika (KRO) ..... 35
3.1.11. Faktor održavanja (ULOR) ..... 35
3.2. Klase rasvjete cesta za motorni promet ..... 36
3.2.1. Određivanje klase prometnice ..... 40
3.3. Indikatori energetske učinkovitosti javne rasvjete ..... 42
3.4. Svjetlosno zagađenje ..... 43
3.4.1. Prihvatljive svjetiljke JR ..... 46

**4. TEHNIČKI ASPEKTI PROJEKTIRANJA JAVNE RASVJETE ..... 47**
4.1. Tehničke izvedbe svjetiljaka ..... 47
4.2. Raspored izvora svjetlosti ..... 48
4.3. Geometrija sustava javne rasvjete ..... 50
4.4. Klasifikacija površine kolinka ..... 52

**5. ANALIZA JAVNE RASVJETE ..... 53**
5.1. Relux –programska podrška za modeliranje rasvjete ..... 53
5.2. Izračun svojstava javne rasvjete ..... 53
5.3. Modeliranje javne rasvjete u RELUX-u ..... 55
5.4. Modeliranje javne rasvjete u DIALUX-u ..... 64
5.5. Usporedba rezultata ..... 71
5.6. Provjera sjajnosti kolnika mobilnom aplikacijom Photolux ..... 73

**6. PROMJENE U NORMIZACIJI NA PODRUČJU JAVNE RASVJETE ..... 76**

**7. ZAKLJUČAK ..... 78**

**LITERATURA ..... 80**

**SAŽETAK ..... 83**

**ABSTRACT ..... 83**

**ŽIVOTOPIS ..... 84**

**PRILOZI ..... 85**

# 1. UVOD

Pojam javna rasvjeta obuhvaća sve od mjesta gdje se uzima električna energija pa do samog trošila. Ima svrhu rasvjetljavanja prometnica i javnih površina koje su namjenjene kretanju vozila i pješaka. Kvalitetno javno osvjetljenje noću omogućuje sigurno odvijanje prometa i nesmetano obavljanje najrazličitijih aktivnosti. Važnost javne rasvjete je, uz sigurnosnu komponentu, osiguravanje vizualnih uvjeta za normalno odvijanje prometa i komunikacije ljudi na javnim površinama, i estetski ugođaj života u naseljima (osvjetljenost trgova, parkova, spomenika). Ljudske potrebe za mobilnošću stvorile su potrebu kvalitetne javne rasvjete i po danu, putem prirodnih, ali i noću putem umjetnih izvora svjetlosti.

Zadatak diplomskog rada je modelirati i analizirati javnu rasvjetu pomoću programa Relux koji omogućava simulaciju modela dijela javne rasvjete te obradu i usporedbu dobivenih rezultata sa rezultatima dobivenim u drugom programskom paketu istih svojstava, Dialux. U radu se daje detaljan pregled pojma svjetlosti i javne rasvjete. Vrši se usporedba dostupnih izvora svjetlosti koji se koriste u javnoj rasvjeti, te se analiziraju tehnički aspekti projektiranja javne rasvjete i kriteriji energetske učinkovitosti.

Javna rasvjeta je dio vanjske rasvjete, te uz reflektorsku i urbanu rasvjetu i predstavlja važan sektor potrošnje električne energije u svakoj zemlji. Prema Zakonu o komunalnom gospodarstvu, pod pojmom javna rasvjeta podrazumjeva se upravljanje, održavanje objekata i uređaja javne rasvjete, podmirivanje troškova električne energije za rasvjetljavanje javnih površina, javnih cesta koje prolaze kroz naselje i nerazvrstanih cesta [2]. Javna rasvjeta u Republici Hrvatskoj je u vlasništvu lokalnih jedinica te se njeno održavanje odnosno unapređivanje financira iz lokalnog proračuna. U svakom gradskom ili općinskom proračunu na potrošnju električne energije za javnu rasvjetu otpada do 30 % proračunskih sredstava.

U prvom dijelu rada su objašnjeni osnovni pojmovi vezani uz javnu rasvjetu. Opisane su fizikalne i svjetlotehničke veličine radi boljeg razumjevanja javne rasvjete. Definirani su i izvori svjetlosti koji se koriste u javnoj rasvjeti, te mehanički dijelovi svjetiljke.

U drugom dijelu opisane su najvažnije karakteristike javne rasvjete. Dani su kriteriji kvalitete javne rasvjete i njihovo ocijenjivanje. Također se govori o klasama rasvjete cesta za motorni promet, indikatorima energetske učinkovitosti i svjetlosnom zagađenju.

Treći dio rada je tehnički zanimljiviji. Opisuju se segmenti koji se pri stvarnom projektiranju moraju uzeti u obzir, kao na primjer, geometrija sustava javne rasvjete, raspored izvora svjetlosti, izvedbe svjetiljaka.

U četvrtom dijelu na praktičnom primjeru u Reluxu i Dialuxu izrađeni su svjetlotehnički proračuni za živinu žarulju, visokotlačni natrij i LED, te isti uspoređeni na razini izvora svjetlosti i programa u kojem su napravljeni.

Zadnje poglavlje je naknadno dodano jer je tijekom izrade diplomskog rada donešena izmjena u normi HRN EN 13201:2008. Nova norma je stupila na snagu ali nije još u potpunosti prihvaćena jer nije uvrštena u programske alate za simulaciju rasvjete poput Reluxa i Dialuxa, kojim se ovaj rad bavi.

# 2. OSNOVNI POJMOVI VEZANI UZ JAVNU RASVJETU

## 2.1. Opis pojma javna rasvjeta

Definiciju javne rasvjete možemo naći u Narodnim novinama Republike Hrvatske kao dio ***Zakona o komunalnom gospodarstvu*** [2]. Javna rasvjeta pripada komunalnoj infrastrukturi svakog naseljenog mjesta čiju izgradnju regulira spomenuti zakon. Pravilnikom o energetskim pregledima građevina i energetskom certificiranju zgrada iz Narodnih novina 55/12, sukladno [4], instalacija javne rasvjete definirana je kao postrojenje koje se sastoji od elemenata nosivih konstrukcija, kabelskog razvoda i uređaja za mjerenje, sklapanje, razvod, upravljanje, regulaciju intenziteta svjetlosnog toka i svjetiljki, sa svrhom rasvjetljavanja javnih i prometnih površina u naseljima i rasvjetljavanja javnih cesta.

Prema članku 3. Zakona o komunalnom gospodarstvu iz izvora [2], pod pojmom javna rasvjeta podrazumjeva se upravljanje, održavanje objekata i uređaja javne rasvjete, uključivo podmirivanje troškova električne energije, za rasvjetljavanje javnih površina, javnih cesta koje prolaze kroz naselje i nerazvrstanih cesta. Kako je javna rasvjeta pod nadležnosti jedinica lokalne samouprave, ***Zakon o energetskoj učinkovitosti***, izvor [3] u članku 20. propisuje da je javni sektor dužan održavati i rekonstruirati JR na način na smanjuje potrošnju električne energije i ispunjava ostale uvjete propisane Zakonom o svjetlosnom onečišćenju i propisima koji iz njega proizlaze. ***Zakon o svjetlosnom onečišćenju*** iz izvora [4] kaže da se u sustavu javne rasvjete moraju primjenjivati svjetiljke koje daju jednako dobar svjetlosni učinak uz manju potrošnju energije. Prema ***Zakonu o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji*** iz Narodnih Novina 152/08, 55/12 javni sektor upravlja neposrednom potrošnjom energije unutar zgrada i javne rasvjete na energetski učinkovit način. Ova obveza zahtjeva provođenje energetskog pregleda javne rasvjete najmanje jednom u pet godina od zadnjeg pregleda.

Vlada Republike Hrvatske uređuje standarde, uvjete i mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja na području javne rasvjete i zaštite noćnog neba te druge standarde u skladu s odredbama ovoga Zakona.

## 2.2. Povjesni razvoj rasvjete

Povijest svjetla seže sve do prije 300 000 godina kada je čovjek otkrio vatru, te ju koristio kao jedini izvor topline i svjetlosti. Doba električne rasvjete počelo je tek izumom žarulje sa žarnom niti, krajem 19.stoljeća. Do tada su se koristile uljne lampe, svijeće i baklje koje su proizvodile svjetlost iz ulja ili plina. U ovom dijelu, većinom iz izvora [5], prenosi se kratak pregleda razvoja rasvjete kroz povijest.

**1792**. Plin se koristio po prvi put kako bi se proizvelo svjetlo.

**1802**. Humphry Davy postavio koncept žarulje zagrijavajući platinu električnom strujom uzrokujući iluminaciju.

**1814**. Rasvjeta na plin se koristi na ulicama Londona.

**1820.** Warren De la Rue pokušao je napraviti žarulju sa žarnom niti tako da je kroz platinastu zavojnicu proveo struju.

**1854**. Njemački mehaničar Heinrich Goebel, izradio prvu uporabljivu žarulju, ali je nedostatak bio nepouzdan izvor električne struje.

**1864**. Zagreb dobiva prvu plinsku uličnu rasvjetu.

**1875**. Prvu žarulju patentirali su Henry Woodward i Matthew Evans iz Toronta, ali nisu postigli nikakav komercijalni uspjeh; Edison je otkupio prava za njihov patent.

1**878**. Englez Joseph Swan poslije dugog istraživanja predstavio električnu žarulju sa žarnom niti Kemijskom društvu.

**1879**. Prvi komercijalni model žarulje Thomsa Alve Edisona ima žarnu spiralu od pougljene bambusove niti životnog vijeka svega 1200 radnih sati koliki je životni vijek izvorne ugljene žarne niti. Razlika s današnjom žaruljom sa žarnom niti je u tome što je žarna nit načinjena od volframa.

**1901**. Peter Cooper Hewitt otkrio je svjetiljku sa živinim parama. Budući da je davala zelenkastu svjetlost, nije našla širu primjenu.

**1903**. Razvoju žarulje pridonio je i Hrvat, Franjo Hanaman, koji je sa dr.Alexanderom Justom razvio i patentirao prvu proizvodnju volframove niti; izumitelji prve ekonomične žarulje sa metalnom niti.

**1908**. Američki izumitelj William David Coolidge uspio je proizvesti žarulje sa žarnom niti od volframa.

**1910**. Georges Claude je počeo razvijati neonske cijevi.

**1910**. Današnja klasična žarulja izumljena; rad se temelji na principu termičkog zračenja.

**1924**. Upornim istraživanjem prosječni radni vijek žarulja se produžio na 2500 radnih sati; tada se u svjetskoj ekonomiji događa presedan i osniva se prvi međunarodni kartel proizvođača žarulja pod nazivom Phoebus.

**1926**. Friedrich Meyer, Hans Spanner, Edmund Germer patentirali prvu fluorescentnu lampu.

**1937**. Prva fluorescentna lampa predstavljena u New Yorku na Svjetskom sajmu.

**1976**. Ed Hammer izumio današnju štednu žarulju, inženjer General Electrica.

**1982.** Prva Osram Dulux L fluokompaktna žarulja.

**1985.** Osram Dulux EL štedna žarulja.

**1987**. Kompaktna metalhalogena žarulja.

**1991**. D1 žarulja na izboj u plinu.

**1993.** Prva minijaturna fluocijev.

**1997**. Flouorescentna žarulja bez elektrode.

**2008**. EU direktiva- izbačene GLS žarulje ≥ 100W [16].

**2010**. EU direktiva- izbačene GLS žarulje ≥ 75W [16].

**2011**. EU direktiva- izbačenje GLS žarulje ≥ 60W [16].

**2012**. Isključivanje T12 fluorescentnih žarulja.

**2012**. Navođenje učinkovitosti prigušnica za visokotlačne žarulje na izboj, sukladno izvoru [17]

**2012**. Minimalni zahtjevi za faktor održavanja svjetlosnog toka žarulje (LLMF).

**2015**. Dolazi do isključivanja visokotlačne živine žarulje [17].

**2015**. Isključivanje visokotlačne natrijeve žarulje (plug in).

**2017**. Doći će veći zahtjevi za metal halogene žarulje.

**2017**. Očekuje se isključivanje magnetskih prigušnica, biti će dozvoljene samo elektronske.

## 2.3. Fizikalne osnove svjetla i boje

Svjetlost se očituje kao foton ili kao val. Takvo dvostruko svojstvo svjetlosti naziva se dualna teorija. Fizikalnoj optici veliki doprinos su dali Christiaan Huygen, na području valne optike i Isaac Newton, na području čestične prirode. Čestičnu teoriju, ideju o prirodi svjetlosti kao fotonu dovršio je Albert Einstein. U dodiru sa čvrstom tvari zračenje se ponaša kao foton (čestica), a u dodiru sa prostorom zračenje se ponaša kao elektromagnetsko širenje energije [22].

Kvantna teorija zračenja temelji se na tezi da su sva zračenja sastavljena iz elementarnih čestica. Einstein je začetnik kvantne teorije koji smatra da je ona značajna baš za svjetlost. Svjetlosno zračnje je skup svjetlosnih čestica koji se zovu 'fotoni'. Fotoni se u vakuumu šire brzinom svjetlosti i njihova je energija veća koliko je frekvencija veća, odnosno koliko je valna duljina manja.

$$W = h \cdot f \; [J]$$

gdje je,

$h$ – Planckova konstanta [Js]

$f$ – f rekvencija zračenja [Hz]

Valna teorija objašnjava svjetlosno zračenje kao valno širenje energije kroz prostor, pri čemu se val širi pravocrtno u obliku transverzalnih valova. Brzina širenja valova je kontantna. U krutinama, tekućinama i plinovima brzina širenja je manja nego u vakuumu.

$$c = f \cdot \lambda$$

gdje je,

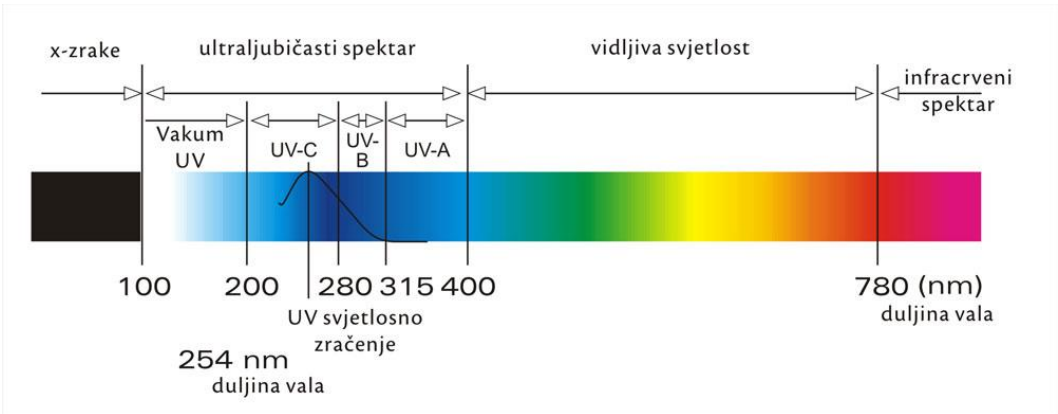
$f$ – f rekvencija zračenja [Hz]

$c$ – brzina širenja zračenja [m/s]

$\lambda$ – valna duljina zračenja [m].

Fizikalnim veličinama svjetlost se opisuje ako se govori o svjetlosti kao elektromagnetskom valu ili energetskoj čestici.

Elektromagnetsko zračenje raznih valnih duljina stvara doživljaj različitih boja. Razne frekvencije vidljivog dijela spektra pomoću receptora u očima tj. mozgu registriraju crvenu boju koja se nalazi na jednom kraju spektra, zelena je na sredini spektra, a plava blizu drugog kraja vidljivog spektra. (slika 2.1.).




**Slika 2.1.** *Elektromagnetski spektar zračenja, izvor* [9]

Prema izvoru [1], svjetlost je elektromagnetsko zračenje valne duljine od 780 nm do 380 nm koje djeluje na mrežnicu i time u ljudskom oku stvara osjetilo vida. Optičko zračenje predstavlja spektar elektromagnetskog zračenja. Dijeli se na tri dijela:

- Ultraljubičasto zračenje (100 nm – 40 nm)
- Vidljivo zračenje (380 nm- 780 nm)
- Infracrveno zračenje (780 nm – 1 mm)

Granice ultraljubičastog zračenja nisu precizno definirane. Pretpostavlja se da se ultraljubičastio dio spektra nalazi između 100 i 400 nm. Ultraljubičasti spektar se dijeli na tri dijela:

- UV-C (100nm – 280nm)
- UV-B (280nm – 315nm)
- UV-A (315nm – 400nm)

UV-A zračenje može uzrokovati pigmentaciju kože, a odgovoran je za razne fotokemijske i fotobiološke procese. UV-B također uzrokuje pigmentaciju kože, te potiče stvaranje vitamina D. UV-C je najopasnije zračenje koje ozonski omotač većim dijelom filtrira. Ono može uzrokovati oštećenje kože i očiju, ali ima i izuzetno baktericidno djelovanje. Isto tako atmosfera ne propušta UV zračenja te dolazi do pojave korone i parcijalnih izbijanja.

U usporedbi sa elektromagnetskim spektrom, područje vidljivih zračenja puno je uže. Vidljivi dio spektra obuhvaća valne duljine od 380 do 780 nm. Vidljivo zračenje ljudsko oko vidi kao svjetlo, a razlikuje ga po boji i svjetlini. Ljudsko oko ima ograničenu sposobnost prepoznavanja ovih zračenja. Na krajevima vidljivog spektra se nalaze dijelovi elektromagnetskog zračenja nevidljivih ljudskom oku. Iza crvenih zraka javljaju se infracrvene zrake te ultrakratki, kratki, srednji i dugi radiovalovi.

Infracrveno područje također nije precizno određeno, pretpostavlja se da se nalazi na valnim duljinama od 780nm do 1mm. Infracrveni spektar se sukladno izvoru [22], može podijeliti na tri dijela:

- IR-A (780 nm – 1400 nm)
- IR-B (1400 nm – 3000 nm)
- IR-C (3000 nm – $10^6$ nm)

IR-A zračenje nije vidljivo ljudskom oku, a čovjek ga osjeća kao toplinu. Njegovo zračenje ima najjače toplinsko djelovanje.

Elektromagnetska zračenja mogu se razlikovati po valnjim duljinama, tj. frekvencijama. Elektromagnetsko zračenje može sadržavati samo jednu valnu duljinu ili više valnih duljina. Tada razlikujemo:

- Monokromatsko zračenje
- Kompleksno (sastavljeno) zračenje

Monokromatska su zračenja vrlo uskog dijela spektra, imaju samo jednu valnu duljinu. Može se označiti samo jednom srednjom valnom duljinom.

Sastavljena zračenja sadrže dijelove nejednakih valnih duljina. Kompleksna zračenja se dijele na kontinuirana i diskontinuirana. Kontinuirana sadrže više valnih duljina bez izrazitih skokova. Intezitet pojedinih valnih duljina je ili konstantan ili se konstatno mijenja (pada ili raste). Ako postoje skokovi onda govorimo o diskontinuiranom zračenju. Spektar opisuje udjele pojedinih valnih duljina u kompleksnom zračenju.

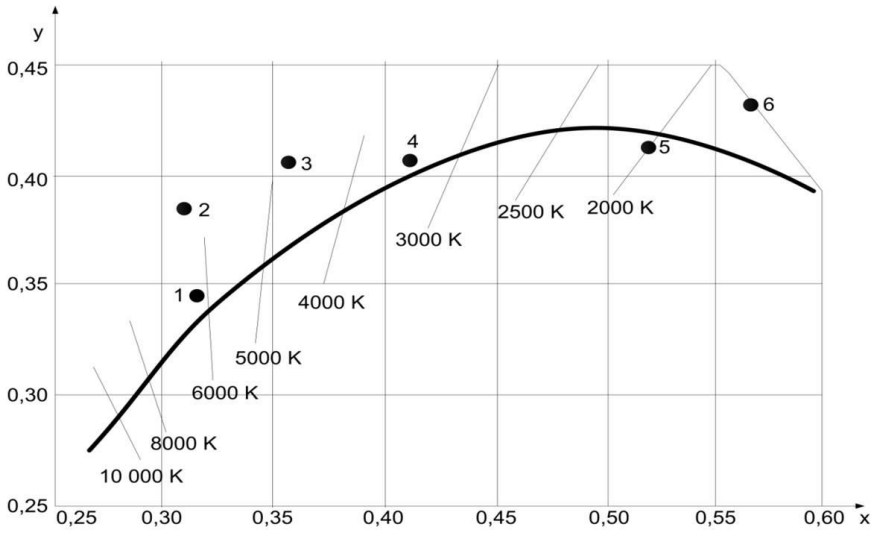
Vidljivo zračenje čovjek ne vidi samo po jačini svjetlosti već i po bojama. Svjetlost je uvijek obojana, a prisutnost pojedinih boja može se utvrditi analizom pojedinih valnih duljina. Teorija tri boje koje nadražuju receptore u oku stvarajući zapažanje boja, osnova je kolorimetrije. Pomoću te tri boje sve boje se mogu prikazati u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu, s tim da svaka boja je označena jednom točkom, na čemu se zasniva trikromatski dijagram. Pomoću njega moguće je precizno odrediti svaku boju uz uvijet da su poznate dvije osnovne boje. Kolorimetrija je znanost koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem boja. CIE je definirala standardni kolorimetrijski sustav 1931. godine.

S obzirom na ulogu koju imaju štapići i čunjići pri gledanju, razlikujemo tri vrste viđenja. To su skotopsko, fotopsko i mezopsko viđenje. Noćno viđenje ili skotopsko viđenje je ono koje je prilagođeno na sjajnosti ispod 0,05 $cd/m^2$ . Kod ovakvog viđenja se ne pojavljuje osjećaj boja, tj. svi objekti izgledaju sivo. Fotopsko ili dnevno viđenje je adaptirano na sjajnosti veće od 3 $cd/m^2$ . Kod takvih sjajnosti čunjići su najvažniji aktivni elementi. Mezopsko viđenje je viđenje u sumraku koje ima sjajnosti na vrijednostima između fotopske i skotopske. Smanjenjem rasvjetljenosti smanjuje se sposobnost raspoznavanja boja.

Za označavanje boja izvora svjetlosti osim koolorimetrije koristi se i pojam temperatura boje koji se zasniva na uspoređivanju boje izvora svjetlosti sa bojom koju zrači idealno crno tijelo, a predstavlja boju svjetlosti neke svjetiljke i mjeri se u stupnjevima kelvina (K).

Temperaturu boje definiramo tako što idealno crno tijelo ugrijemo te takvo zagrijano tijelo na određenim temperaturama poprima različitu boju. Na nižim temperaturama je tamno crvena, a rastom temperature blijedi te poprima sve više plavih elemenata u spektru.

Zanimljivo je da žarulje sa žarnom niti uvijek daju istu boju svjetlosti, tj. toplu bijelu dok kompaktne fluorescentne i LED žarulje nude široki spektar temperatura boja. Te razlike u boji i toplini svjetlosti su korisne jer ih možemo primijeniti za različite namjene. Temperature boje izvora svjetlosti su standardizirali te podijelili u tri grupe: dnevno svjetlo do 5000 K, neutralno bijelo između 3500 i 5000 K te toplo bijelo do 3500K. Dva se izvora svjetlosti sa istom temperaturom boje mogu nalaziti na različitim točkama izoterme, zbog čega mogu imati različitu boju svjetlosti. U trikromatskom dijagramu na slici 2.2. prikazana je Planckova krivulja svih temperatura boja crnog tijela.




- 1- Metal halogena žarulja
- 2- Živina žarulja bez fluorescentnog sloja
- 3- Živina žarulja s fluorescentnim slojem
- 4 - Živina žarulja miješanog svjetla
- 5 - Visokotlačna natrijeva žarulja
- 6 - Niskotlačna natrijeva žarulja

**Slika 2.2.** *Temperatura boje crnog tijela, izvor* [15]

Umjetna rasvjeta mora nam omogućiti da se boje vide kao da su obasjane prirodnim svjetlom. Boja predmeta ovisi o boji izvora svjetlosti kojom je predmet rasvijetljen. Isti predmet može stvarati različiti dojam boja pa je za kvantifikaciju te pojave utvrđen pojam reprodukcija ili uzvrat boje. Jarko bijelo ili plavo svjetlo može imati negativan utjecaj na naš vidni sustav. Sunce je veliki izvor plavog svjetla, ali zbog njegovog jarkog sjaja i zaštitnih refleksnih mehanizama veoma rijetko se događa da mi nehotično dugotrajno gledamo u njega. Umjetni izvori svjetla su manjeg intenziteta i možemo bez poteškoća dugo gledati u njega jer naš refleksni sustav ne

doživljava umjetan izvor svjetla kao dovoljno veliku opasnost pa zbog toga ne skrećemo automatski pogled u stranu. Sve je više istraživanja i dokaza da konstantna izloženost plavom svjetlu oštećuje osjet vida i dovodi do nepotrebnog naprezanja oka iako plavi dio spektra jako malo sudjeluje u oštrini vida. Pri kupnji LED žarulje treba pripaziti na boju svjetla i potražiti one s odgovarajućom temperaturom boje do 2700 K.

Uzvrat boje je karakteristika izvora svjetlosti i izražava se sa faktorom uzvrata boje Ra. Po definiciji to je učinak nekog izvora svjetlosti na boju predmeta u usporedbi sa bojom tog istog predmeta, ali osvjetljenog nekim drugim svjetlom (npr.dnevna svjetlost). Faktor uzvrata boje Ra općenito ovisi o boji izbora svjetlosti koju ispitujemo, boji referentnog izvora svjetlosti i o prilagodbi čovjekovog oka. Najveća vrijednost faktora uzvrata boje je 100 što znači da je učinak svjetlosnog zračenja kod ispitivanog izvora svjetlosti jednak onome kod referentnog izvora (boje su jednake). Što je Ra faktor manji, to je uzvrat boje izvora lošiji. Manja vrijednost faktora uzvrata od 100 upućuje na to da pri svjetlosti ispitivanog izvora boje predmeta neće biti vjerno reproducirane kao pri svjetlosti referentnog izvora.

Uzvrat boje nije povezan direktno sa pojmom temperature boje, te se ne može na osnovu temperature boje govoriti o kvaliteti svjetla.

## 2.4. Svjetlotehničke veličine

Svjetlo se može opisati:

- Fizikalnim
- Svjetlotehničkim veličinama

Kada se o svjetlosti govori kao oelektromagnetskom valu ili energetskoj čestici, tada se ona opisuje fizikalnim veličinama. Svjetlotehničkim veličinama se koriste kada se svjetlost spominje u području vidljivog zračenja. Neke svjetlotehničke veličine označavaju se isto kao i fizikalne, pa kako ne bi došlo do zabune, za fizikalne se stavlja indeks 'e' (energetski), a za svjetlotehničke 'v' (vizualno).

Svjetlotehničke veličine su one veličine koje su određene dogovorenim normama i propisima. U te veličine ubrajaju se sjajnost, rasvjetljenost, jakost svjetlosti i svjetlosni tok. U daljnjim tablicama iz izvora [1], daje se uvid u sve svjetlotehničke veličine.

**Tablica 2.1.** *Svjetlotehničke veličine*

| VELIČINA | OZNAKA | MJERNA JEDINICA |
|---|---|---|
| Svjetlosni tok | Φ | Lumen (lm) |
| Jakost svjetlosti | I | Candela(cd) |
| Rasvjetljenost | E | Lux (lx) |
| Sjajnost | L | Candela po metru kv. ($cd/m^2$) |

Svjetlosni tok je snaga zračenja koju emitira izvor svjetla u svim smjerovima. Ako izvor emitira u svim smjerovima jednak svjetlosni tok, onda je i intenzitet svjetla u svim smjerovima jednak. Svjetlosni tok opisuje količinu svjetla, on se apsorbira u materijalu te se pretvara u toplinu. Tako se postiže temperatura materijala. Izražava se u lumenima (lm). Neki od primjera svjetlosnih tokova poznatih svjetlosnih izvora:

**Tablica 2.2.** *Primjeri svjetlosnog toka*

| SVJETLOSNI TOK | VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA |
|---|---|
| Klasična žarulja sa žarnom niti | 100 W ≈ 1300 lm |
| Niskotlačna natrijeva  žarulja | 90 W ≈ 13500 lm |
| Fluorescentna žarulja | 58 W ≈ 5200 lm |
| Visokotlačna natrijeva žarulja | 100 W ≈ 10000 lm |

Jakost svjetlosti je količina svjetlosnog toka koji je emitiran iz izvora u određenom smijeru. Ova se veličina izražava u kandelama [cd]. Jakost svjetlosti može se iskazati vektorom. Spajanjem svih vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobiva se linija koja predstavlja distribuciju jakosti svjetlosti (fotometrijska krivulja). Obično se kod prikaza fotometrijske krivulje odabiru standardizirane ravnine. Neki od primjera jakosti svjetlosti:

**Tablica 2.3.** *Primjeri jakosti svjetlosti*

| JAKOST SVJETLOSTI | VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA |
|---|---|
| Svijeća | od 0,6 cd do 1 cd |
| Klasična žaraulja sa žarnom niti | 100W ≈ 110 cd |
| Visokotlačna natrijeva žarulja | 70W ≈ 500 cd |
| Sunce – izvan atmosfere | 3 x 1027 cd |

Rasvijetljenost (iluminacija) je mjera za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za rasvijetljenost je lux (lx). Lux se može definirati kao rasvijetljenost jednog kvadratnog metra na koju pada jednako raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm. Rasvjetljenost je računska veličina. Ljudsko oko ne zamjećuje količinu rasvjetljenosi te ju je moguće samo izračunati. Rasvjetljenost neke površine ovisi o njenoj udaljenosti od izvora svjelosti, ali i o kutu pod kojim svjetlost pada na površinu. Neki primjeri rasvjetljonosti iz stvarnog života:

**Tablica 2.4.** *Primjeri rasvijetljenosti*

| RASVIJETLJENOST | PRIMJER |
|---|---|
| Površina na dnevnoj svjetlosti | do 100 000 lx |
| Površina u sjeni | do 10 000 lx |
| Radna ploha u zatvorenoj prostoriji | od 300 do 500 lx |
| Cesta rasvijetljena javnom rasvjetom | od 2 do 10 lx |

Sjajnost (luminancija) je pojam koji u stvari opisuje sjajnost rasvjetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. To je najvažniji pojam pri projektiranju javne rasvjete. Mjeri se u candelama po kvadratnom metru (cd/$m^2$). Svjetlost iz svjetiljke pada na tlo, te se reflektira od njene površine do oka promatrača, koji to doživljava kao svjetlost. Oko posebno dobro vidi razliku između sjajnosti. Sjajnost je jedina fotometrijska veličina koju čovjek može zapravo direktno vidjeti. Neki primjeri sjajnosti su :

**Tablica 2.5.** *Primjeri sjajnosti*

| SJAJNOST | VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA |
|---|---|
| Sunce | 1 600 000 cd/$m^2$ |
| Klasična žarulja sa žarnom niti | 15 000 cd/$m^2$ |
| Fluorescentna žarulja | 10 cd/$m^2$ |
| Svijeća | 8 cd/$m^2$ |

Svjetlosna iskoristivost je mjera količine električne energije koju izvor pretvara u svjetlost. Izražava se u lumenima po watu (lm/W). Dani su primjeri vrijednosti karakterističnih izvora:

**Tablica 2.6.** *Primjeri svjetlosne iskoristivosti*

| SVJETLOSNA ISKORISTIVOST | VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH IZVORA |
|---|---|
| Klasična žarulja sa žarnom niti | 12 lm/W |
| Visokotlačna metalhalogena žarulja | 65 – 115 lm/W |
| Fluorescentna žarulja | 80 – 100 lm/W |
| Visokotlačna natrijeva žarulja | 85 – 150 lm/W |

## 2.5. Mjerenje svjetlotehničkih veličina

Fotometrijsko mjerenje javne rasvjete važno je za procjenu kvalitete javne rasvjete, za usporedbu sa standardnim vrijednostima, zakonima i preporukama. Da bi mjerenja bila mjerodavna i važeća, moraju se provoditi pod određenim uvjetima i biti ponovljiva.

Osim izmjerenih fotometrijskih vrijednosti bitno je zapisati i uzeti u obzir i druge čimbenike koji mogu utjecati na rezultate. Neke od njih su:

- tip, visina montaže, nagib i usmjerenost svjetiljke
- vrsta, intenzitet i životni vijek izvora
- širina kolnika, biciklističkih staza i nogostupa
- vrsta podloge na mjerenoj površini
- napon napajanja svjetiljki koji bi se trebao izmjeriti na većem broju mjesta
- temperatura koja se mjeri 1 m iznad tla u intervalima od 30 minuta
- vrsta i tip mjernih instrumenata

Mjerenje svjetlotehničkih veličina se izvodi na prometnim površinama na kojima norme za rasvjetu definiraju njezinu kvalitetu. Za mjerenje se koriste mjerni uređaju koji moraju zadovoljiti ove uvjete:

- veličina površine koja se mjeri može biti najviše 0,5 m vertikalno i 2,5 m horizontalno. Mjerno područje instrumenta ne smije prijeći 2º vertikalno i 20º horizontalno.
- ako se mjerenja izvode sa instrumentom koji ima veći raspon, raspon se mora ograničiti na prethodno opisano područje

Kod mjerenja svjetlosti uređaj se mora postaviti na najmanje 60 cm i maksimalno 160 cm od područja koje se mjeri, s tim da instrument mora biti u sredini.

Rasvijetljenost javne rasvjete mjeri se na područjima gdje standardi i norme daju kvalitetnu rasvjetu. Uređaj za mjerenje rasvijetljenosti mora moći očitati i izrazito male vrijednosti. Preporuča se da najmanja vrijednost koju uređaj za mjerenje može prepoznati bude ispod 0.01 lx. Uređaj za mjerenje mora imati korekciju kosinusa upadne svjetlosti. Ona je posebno važna kod mjerenja vertikalne rasvijetljenosti. Mjerni instrument također mora imati fotoćeliju prilagođenu spektralnoj vrijednosti ljudskog oka.

Mjerenje vodoravne rasvijetljenosti mjeri se na maksimalno 0,2 m od tla, a pri čemu sonda mora biti okrenuta prema gore i postavljena u vodoravan položaj.

Mjerenje okomite rasvijetljenosti vrši se na svim mjestima na kojima preporuke to nalažu. Sonda mora biti okrenuta okomito i mjerni instrument ne smije zaklanjati sondu, tj. bacati sjenu. Kod rasvjete pješačkih prijelaza sonda mora biti okrenuta suproto smjeru prometa, tj. mora biti postavljena paralelno sa osi kolnika.

Mjerenje polucilindrične rasvijetljenosti mjeri se pomoću nastavka koji se stavi na mjerni uređaj, na način da se nastavak usmjeri tamo gdje želimo mjeriti polucilindrično rasvijetljenje.

## 2.6. Električni izvori svjetlosti koji se koriste u javnoj rasvjeti

Osnova svake rasvjete je izvor svjetlosti koji električnu, toplinsku i elektromagnetsku energiju pretvara u svjetlosnu energiju.Izvori svjetlosti su naprave koje pretvaraju električnu energiju u svjetlosnu i zrače ju u obliku elektromagnetskih valova duljine 380 nm – 780 nm koje čovjek doživljava kao svjetlost.

Danas za umjetnu rasvjetu upotrebljavamo prvenstveno električnu energiju. Samo električni izvori svjetla mogu zračiti svjetlo koje zadovoljava kriterije pravilne i ugodne rasvjete.

Električna energija se generira u svjetlosnu u izvorima svjetlosti, na principu luminescencije ili temperaturnog zračenja. Svi današnji izvori svjetlosti se dijele u dvije osnovne skupine:

- Izvori s izbijanjem u plemenitim plinovima ili metalnim parama
- Izvori s užarenom niti

Osnovni princip termičkog zračenja je prolazak električne struje kroz materijal (npr. žarnu nit od volframa) dok se ona ne zagrije do određene temperature na kojoj dobivamo vidljiv spektar. Kod žarulja na izboj, svjetlost nastaje principom luminiscentnog zračenja.

Električni izboj u staklenoj cijevi napunjenoj plinom ili parom kao rezultat daje kretanje elektrona koji se pod utjecajem magnetskog polja sudaraju s atomima plina. S obzirom na vrstu žarulje i premaz stijenke dobivamo vidljivu svjetlost. Jačina struje regulira se prigušnicom. Žarulje na izboj u plinu imaju veću svjetlosnu iskoristivost te se najviše koriste u javnoj rasvjeti. Na primjer, prema podatku iu izvora [6] OSRAM Vialox NAV SUPER 4Y žarulje pružaju svjetlosnu iskoristivost do 150 lm/W. One se koriste kao ekonimični izvor u javnoj rasvjeti, jer svojim dugim vijekom (>95% žarulja svijetli i nakon 4 godine upotrebe u sustavima javne rasvjete) smanjuju troškove održavanja sustava.

Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama nemaju metalne spirale već rade na principu proizvodnje plina ili metalne pare između elektroda. Oni se dijele zavisno o tome da li su im plinovi i metalne pare pod visokim ili niskim tlakom.

U sustavim javne rasvjete koji se koriste u razvijenom svijetu, uglavnom se primjenjuju električni izvori koji se temelje na elektroluminiscenciji, tj. pretvaraju direktno energiju u svjetlo, bez izboja u plinu i to su:

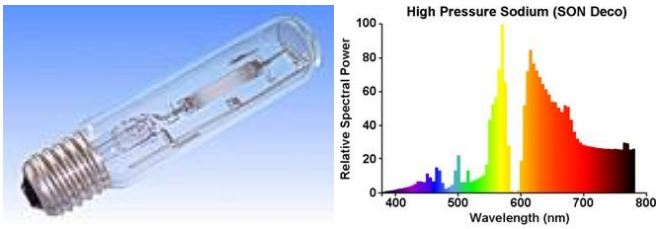
- Visokotlačna natrijeva žarulja – NAV
- Visokotlačna živina žarulja – HQL
- Visokotlačna metalhalogena žarulja – HQI
- Niskotlačna natrijeva cijev –SOX-E
- Niskotlačna fluorescentna cijev –L

Standardne žarulje ili izvori svjetlosti s užarenom niti generiraju svjetlost dovodeći spiralu od volframove žice do visoke temperature prolaskom električne struje kroz nju. Sve se rjeđe koriste i to samo u manjim naseljima i sporednim ulicama.

### 2.6.1. Visokotlačne natrijeve žarulje

Visokotlačne natrijeve žarulje (NAV) su izvori svjetlosti koje rade na osnovi izbijanja kroz natrijeve pare visokog tlaka do veličine 10 milibara, pri čemu se emitira žuta boja svjetlosti, sa dobrim uzvratom boje, što omogućuje njihovu široku primjenu, posebno u sustavima javne tj. cestovne rasvjete. Svjetlosna učinkovitost im je između 95 i 150 lm/W. Žarulja može dosegnuti životni vijek i do 24000 sati, električna energija 1000 W, a temperatura boje i do oko 2000 K. Žarulja se sastoji od staklenog balona unutar kojeg se nalazi keramički žižak.

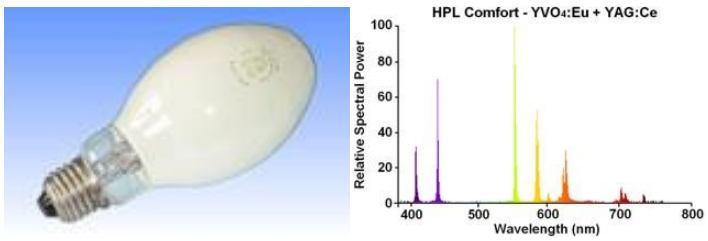
Vanjski stakleni balon obično je proziran, cjevastog ili elipsoidnog oblika koji na unutrašnjoj strani ima tanak bijeli sloj koji spušta luminanciju na svega 4 do 30 cd/cm², što je povoljno za primjenu u cestovnoj rasvjeti. Visokotlačne natrijeve žarulje proizvode se u velikom izboru snaga, različitih oblika i dimenzija.




**Slika 2.3.** *Visokotlačna natrijeva žarulja i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.2. Visokotlačne živine žarulje

Visokotlačne živine žarulje (HQL) su jedna od prvih izvora svjetlosti koje su se počela koristiti u sustavima javne rasvjete. Rade na osnovi izbijanja kroz živine pare visokog tlaka u žišku žarulje, pri tome nastaje vidljivo i nevidljivo ultraljubičasto zračenje, plave ili zelene boje. U svojoj najčešćoj varijanti ova žarulja daje neutralnu bijelu boju svjetlosti, ima vrlo slab indeks uzvrata boja koji doseže od 23 do 50. Električna snaga obuhvaća raspon od 50 W do 1000 W. Ova vrsta žarulja ima dobru svjetlosnu iskoristivost (od 40 do 60 lm/W) i životni vijek od oko 8000 do 10000 sati. Boja živinih žarulja je monokromatska te je zbog toga njihova primjena ograničena na mjesta gdje nije potrebno raspoznavanje boja već je bitno postići dobru osvjetljenost na velikoj površini. Prozvode se u velikom izboru snaga, različitih izvedbi i dimenzija. Koriste se za osvijetljenje autoputova, trgova, ulica, parkova. Danas se ovaj tip koristi sve rjeđe jer su ga istisnule metal halogene i natrijeve žarulje.

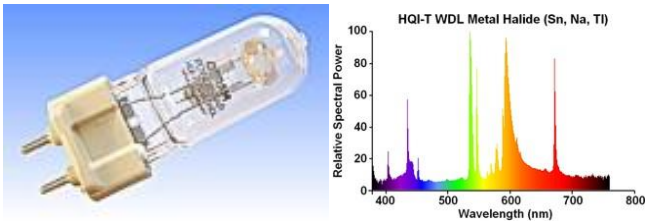



**Slika 2.4.** *Visokotlačna živina žarulja i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.3. Visokotlačne metalhalogene žarulje

Visokotlačne metalhalogene žarulje (HQI) su posebna izvedba visokotlačnih živinih žarulja. Nastale su kako bi se dobio izvor svjetlosti s poboljšanim spektrom.

Kao kod visokotlačne živine žarulje u žižak se dodaje živa, ali i niz drugih spojeva poput joda s natrijem te indija s talijem. Visokotlačna metalhalogena žarulja je suvremen izvor svjetlosti sa visokom svjetlosnom iskoristivosti, dobrim uzvratom boje i velikom trajnosti. Boja svjetlosti HQI je toplo bijela, neutralno bijela ili boja dnevne svjetlosti. Vijek trajanja žarulje je oko 15000 sati, temperatura boje ovisi o točnom sastavu inertnog plina i može doseći od oko 3000 K do 20000 K, a efikasnost se kreće se 67 – 95 lm/W. Budući da ima veliki raspon snage, kompaktnog je oblika te dobrog indeksa uzvrata boje (Ra i do 95), ovaj se tip žarulje sve više koristi. U javnoj se rasvjeti koristi uglavnom u urbanim sredinama, gdje je potrebna dobra reprodukcija boja.



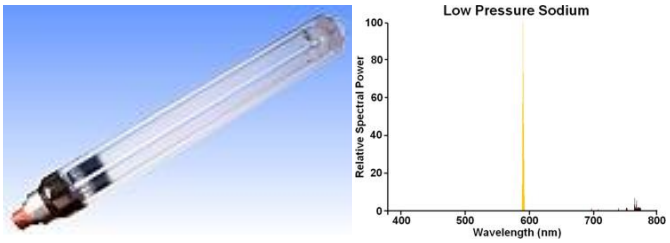

**Slika 2.5.** *Visokotlačna metalhalogena žarulja i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.4. Niskotlačne natrijeve cijevi

Niskotlačne natrijeve cijevi (SOX) proizvode svjetlost na osnovi izbijanja natrijevih para niskog tlaka. One su prema načinu rada slične živinim žaruljama, samo što umjesto žive sadrže natrij. Pri tome nastaje monokromatska izrazito žuto narančasta boja svjetlosti. Uzvrat boje niskotlačne natrijeve cijevi je izrazito slabo jer je bijela boja reproducirana kao žuta, a sve ostale kao nijanse crne. Valna duljina maksimalnog zračenja ovog izvora svjetlosti je veoma blizu valnoj duljini na kojoj je ljudsko oko najosjetljivije te ih time čini prikladnim za uvjete i prostore na kojima je potrebna pojačana oštrina zapažanja, a to su ceste sa čestim maglama. One isijavaju žuto narančastu boju svjetlosti koja umrtvljuje ambijent i uspavljuje ljude.

U slučaju da neki prostor želimo oživjeti, suvremeno rješenje su bijeli izvori svjetlosti efekta sličnog prirodnoj sunčevoj svjetlosti. Primjer takvih izvora su metalhalogene ili fluokompaktne žarulje te LED svjetlosne diode. Temperatura boje niskotlačne natrijeve žarulje je 1750 K, životni vijek je oko 16000 sati, a električna energija poprima vrijednosti do 180 W.

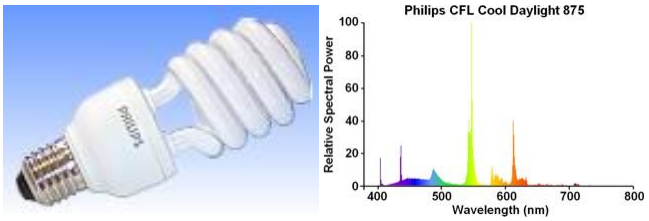
Glavna prednost niskotlačnih natrijevih žarulja je njihova visoka svjetlosna učinkovitost, do oko 180 lm/W. Dimenzije niskotlačnih natrijevih sijalica su relativno velike, a to u kombinaciji s niskim indeksom uzvrata boje je jedan od razloga zbog kojeg se skoro pa uopće više ne koriste.




**Slika 2.6.** *Niskotlačna natrijeva cijev i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.5. Fluorescentne cijevi

Fluorescentne cijevi su izvori svjetlosti na osnovi izvijanja kroz živinu paru niskog tlaka pri kojem nastaje ultraljubičasto zračenje koje se luminoforom nanešenim na unutrašnjost stijenke staklene cijevi pretvara u vidljivu svjetlost [1]. Flourescentne cijevi ispunjene su plinovima kriptonom i argonom uz malu prisutnost i žive. One su energetski efikasne i s dobrim uzvratom boje, ali loših mogućnosti optičkog nadzora. Rijetki proizvodi ne smanjuju drastično svjetlosni tok padom okolne temperature. Posebna skupina fluorescentnih cijevi s poboljšanim svojstvima uzvrata boje, boljom svjetlosnom iskoristivosti i većom trajnošću su fluorescentne sa komercionalnim nazivom LUMILUX. Važni izvori svjetlosti koji se sve više nalaze u sustavima cestovne rasvjete čine fluokompaktne žarulje DULUX. One su malih snaga, malih dimenzija, ali velike ekonomičnosti. DULUX je mala savijena fluo cijev kod koje se umjesto prigušnice i startera nalazi posebna predspojna naprava integrirana u žarulju. Fluo cijevi i fluo žarulje također se proizvode u različitim izvedbama, snagama, bojama svjetlosti i dimenzijama. Priključuju se izravno na napon od 230 V.




**Slika 2.7.** *CFL žarulja i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.6. LED rasvjeta

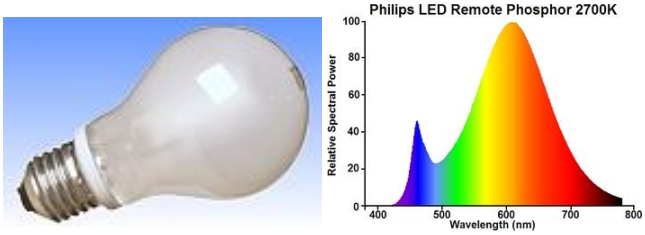
LED je poluvodički element koji u vodljivom stanju, prilikom spajanja elektrona i šupljine, emitira svjetlost određene valne duljine, prema [11]. Kao i kod dioda, LED se sastoji od čipa napravljenog od poluvodičkog materijala kako bi stvorio P-N spoj.

Djelovanjem napona elektroni prelaze sa N na P stranu, spajaju se sa šupljinama, prelaze u niže energetske nivoe, te otpuštajući energiju stvaraju fotone.

Postoje dva načina proizvodnje bijele LED svjetlosti. Prvi je da svjetleća dioda sama emitira bijelu svjetlost, a drugi način je da se miješanjem tri osnovne boje dobije bijela svjetlost. Još jedna prednost LED rasvjete je ta što ima gotovo trenutni odziv na promjenu napona, te je treperenje gotovo neprimjetno.Kod korištenja LED rasvjetnog sustava,koji koristi temperaturu boje do 3500 K, postiže se vrlo dobra kontrastna osjetljivost, raspoznavanje boja te minimalno svjetlosno onečišćenje. Temperatura boje koja prelazi 4000 K i doseže 5000 K je izrazito nepovoljna jer sadrži velik udio plavog svjetla. Zakonom za zaštitu okoliša uređeno je da prometnice sa motornim prometom temperatura boje LED svjetla ne premašuju 4000 K jer je tamo udio plavog svjetla puno manji.

Javna rasvjeta ima manje iznose luminancije pa je potrebno uvesti omjer S/P koji zapravo predstavlja omjer fotopske i skotopske krivulje. U prethodnom poglavlju definirani su pojmovi skotopskog , fotopskog i mezopskog viđenja. Fotopsko viđenje je na nižim područjima luminancije, a skotopsko na višim vrijednostima luminancije. Područje između fotopskog i skotopskog vida je mezopsko viđenje koji je odziv oka na cestovnu rasvjetu. Uslijed veće količine plavog svjetla u području mezopskog vida LED rasvjeta ima znatno bolju percepciju luminancije i kontrasta u odnosnu na visokotlačni natrij.

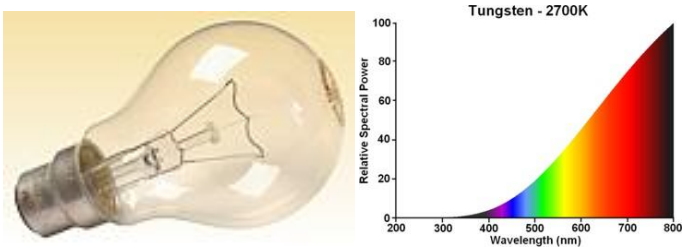
Prednost LED rasvjete ju u njenoj visokoj energetskoj učinkovitosti. Životni vijek LED diode je oko 50000 sati i to uvelike ovisi o kvaliteti hlađenja svjetlećih dioda. Karakteristike uzvrata boje i svjetlosne efikasnosti značajno se poboljšavaju iz godine u godinu. Trenutna se efikasnosti te vrste dioda koje su u uporabi u javnoj rasvjeti kreću u rasponu 50 – 70 lm/W, dok je indeks uzvrat boja 60 – 80. Njihova upotreba u javnoj rasvjeti dovela je do velikih promjena u dizajnu svjetiljki. Kompaktan oblik i relativno nizak intenzitet LED diode zahtijevaju uporabu većeg broja dioda u svjetiljci te usmjeravanje svjetlosnog toka svake diode zasebno. Najveći problem, između ostalog je cijena LED svjetiljki.




**Slika 2.8.** *LED žarulja i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.7. Izvori svjetlosti s užarenom niti

Izvori svjetlosti sa užarenom niti, tj. standardne žarulje su najbrojnija i najstarija skupina žarulja koja je i danas uvelike zastupljena u sustavu javne rasvjete zbog svoje jednostavnosti i niske cijene. Karakteristike standardnih žarulja su odličan uzvrat boje, kompaktnost oblika, niski faktor svjetlosne iskoristivosti i kratka trajnost. Osnovni princip rada je prolazak struje kroz žarnu nit sve dok se ne zagrije do temperature na kojoj dobivamo vidljiv spektar svjetlosti. Na mrežu se priključuju izravno, pale se trenutačno, dobro rade na svim temperaturama i lako se zamjenjuju. Prosječna trajnost iznosi 1000 sati uz uporabu odgovarajuće svjetiljke. Prevelika osjetljivost na trajnost žarulje sa žarnom niti može biti kao posljedica promjeni napona mreže na koju je žarulja priključena. Iskoristivost je oko 9 – 17 lm/W , daje 5 % svjetla i 95 % topline.




**Slika 2.9.** *Žarulja sa žarnom niti i njen spektralni dijagram, izvor* [12]

### 2.6.8. Izvori svjetlosti na bazi plazma tehnologije

Na javnu rasvjetu troši se oko 2 % energije. Kako bi se postigle uštede te učinile JR ekološki prihvatljivom, dosadašnju rasvjetu trebalo bi zamijeniti LED i OLED tehnologijom te plazma tehnologijom, koje su ekološki prihvatljivije i ekonomičnije. Plazma tehnologija je najnoviji izvor svjetlosti kojeg karakterizira temperatura boje oko 5500 K i za sada najmanja snaga, koja iznosi 200 W uz svjetlosni tok oko 23000 lm. Kod ovog izvora problem je što nije još konstruirana odgovarajuća optika, koja će vjerojatno uskoro biti riješena. Zajedničko ovom izvoru i LED rasvjeti je ta što ne sadrže živu.

### 2.6.9. Usporedba pojedinih izvora svjetlosti

**Tablica 2.2.** *Osnovne karakteristike izvora svjetlosti, prema* [16]

| ŽARULJE NA IZBOJ U PLINU | | PRIMJENA | ISKORISTIVOST (lm/W) | ŽIVOTNI VIJEK (h) | FAKTOR UZVRATA BOJE | UZVRAT BOJE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NISKOTLAČNENA IZBOJ | FLUORESCENTNE CIJEVI I ŽARULJE | jedan od najpopularijih izvora svjetlosti; široka primjena u javnim i poslovnim zgradama; korištenjem se postižu uštede do 80% u usporedbi sa standardnim žaruljama | 60-100 | 20 000 | 60-89 | dobar |
| | NISKOTLAČNE NATRIJEVE ŽARULJE | ne koriste se u suvremenim sustavima; jako velika iskoristivost i loš uzvrat boje; proizvodnja u snagama od 10W do 180W | 200 | 18 000 | - | loš |
| VISOKOTLAČNE NA IZBOJ | ŽIVINA ŽARULJA | koristile se u javnoj i industrijskoj rasvjeti; proizvodnja u snagama od 50W do 1000W; u Eu zabrana korištenja zbog velikog udjela žive | 40-60 | 16 000 | 40-59 | dovoljan |
| | METAL-HALOGENA ŽARULJA | imaju široku primjenu; koriste se u automobilskoj, unutarnjoj i vanjskoj rasvjeti; različite temperature boja; proizvodnja u snagama od 20W do 2000W | <120 | 20 000 | 70-89 | vrlo dobar |
| | NATRIJEVA ŽARULJA | primjena u cestovnoj rasvjeti; najveća iskoristivost; slabiji uzvrat boje; kotistiti tamo gdje je bitan kontrast, a ne boja, jedno od najboljih rješenja za javnu rasvjetu | <150 | 32 000 | 25 | loš |

## 2.7. Predspojne naprave

Izvori svjetlosti na osnovi izbijanja ne mogu se izravno priključiti na mrežu već za to služe predspojne naprave koje imaju zadatak ograničiti struju, zbog negativne naponsko strujne karakteristikei stablilizirati struju izbijana na pogonsku vrijednost kako ne bi došlo do pregaranja izvora svjetlosti. Kao predspojne naprave mogu se korisiti:

- prigušnice
- transformatori s rasipnim poljem
- elektroničke naprave

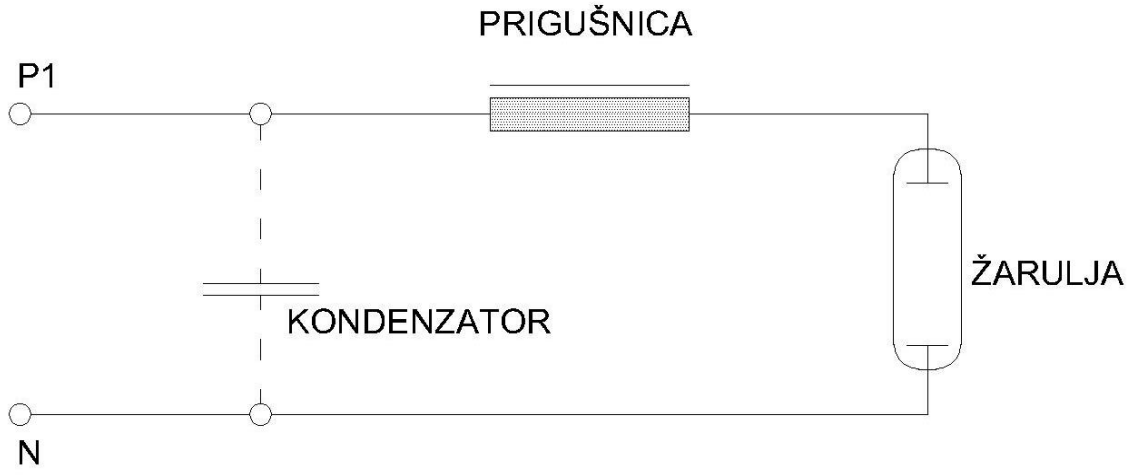
Predspojne naprave, osim što ograničavaju struju, štede energiju, poboljšavaju rasvijetljenost i smanjuju troškove regulacije.

Izvor svjetlosti s predspojnom napravom obično imaju loš faktor snage čija je vrijednost oko 0.5. Kako bi se postiglo poboljšanje na 0.9 ugrađjue se kondenzator odgovarajućeg kapaciteta. Sama predspojna naprava ima određenu snagu koja kod izvora svjetlosti za javnu rasvjetu iznosi približno 10% nominalne vrijednosti tog izvora. Suvremene elektroničke predspojne naprave imaju snagu znatno nižu i kompenzirane su na faktor snage 0.9 – 0.95.

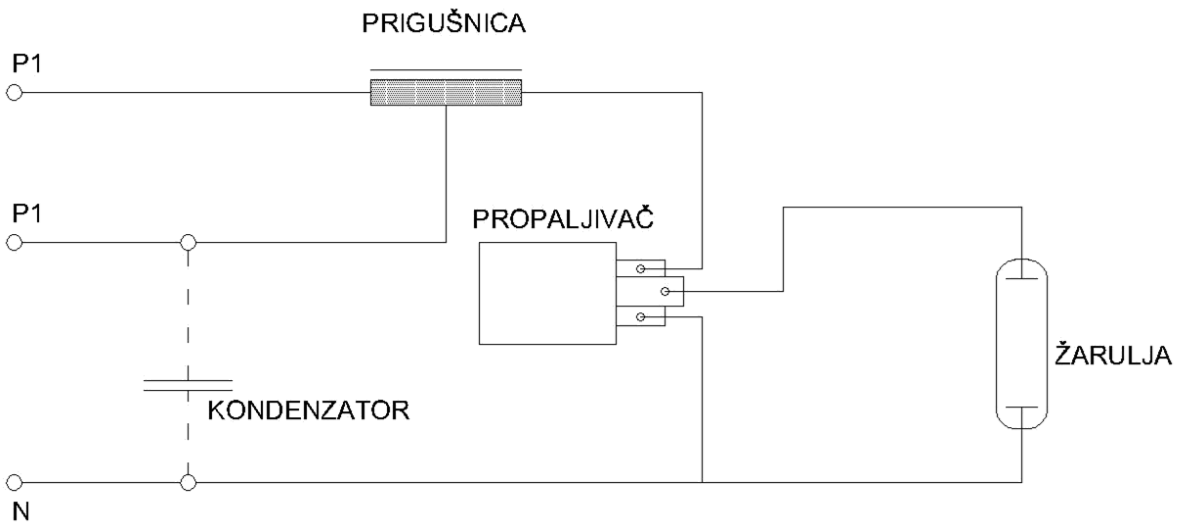
Kvalitetne predspojne naprave trebaju:

- omogućiti visok faktor snage
- proizvoditi što manje visokih harmonika
- prigušiti radiosmetnje
- biti što manjih dimenzija
- imati veću trajnost
- imati manje gubitke snage
- što manje brujati

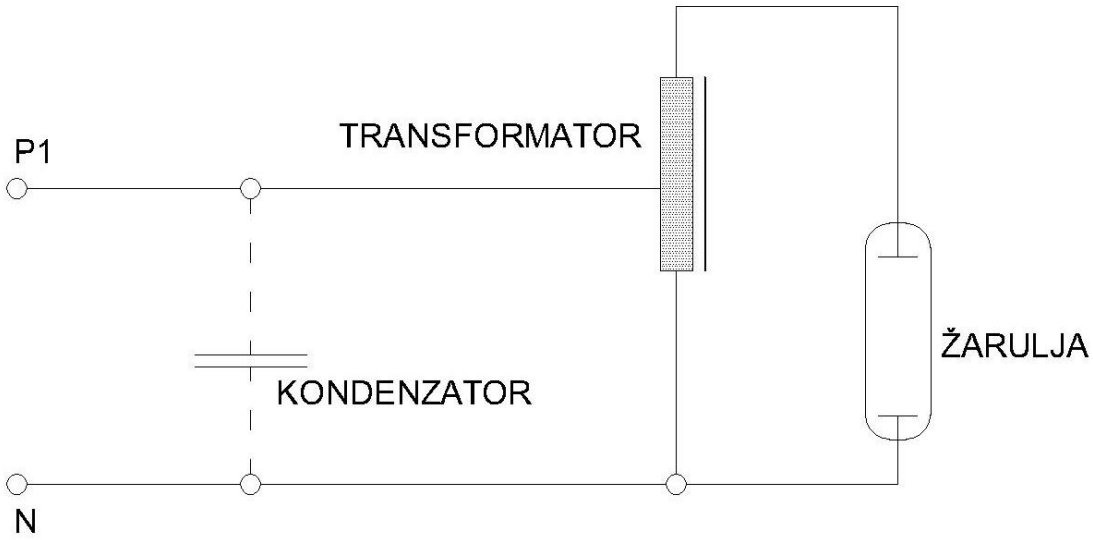
Osnovne električne sheme različitih izvora svjetlosti korištenih u javnoj rasvjeti prikazane su na slikama 2.10.,2.11. i 2.12.




**Slika 2.10.** *Shema spajanja visokotlačne živine žarulje i njene predspojne naprave*




**Slika 2.11.** *Shema spajanja visokotlačne natrijeve i metalhalogene žarulje i njihove predspojne naprave*




**Slika 2.12.** *Shema spajanja niskotlačne natrijeve cijevi i njene predspojne naprave*

Prigušnice su neophodne za sve izvore svjetosti čiji se rad imaju temelji na principa izboja u plinu i elektroluminiscenciji. Sve niskotlačne i visokotlačne žarulje na izboj u plinu rade uz prigušnice. To znači da većina svjetiljki javne rasvjete zahtjevaju prigušnice.

Svjetiljkama je zajedničko da kod paljena trebaju imati veći napon od onog napona koji im je potreban za normalan rad i trebaju određeno ograničenje radnog toka snage, jer bi u suprotnom tok bio u konstantnom porastu. Postoji još jedan mehanizam koji zagrijava elektrode u žarulji i

zove se starter, njega koriste fluorescentne žarulje. Prigušnice se dijele na elektromagnetske i elektroničke.

Elektromagnetske predspojne naprave sadrže pojedinačne komponente poput prigušnice, startera, kondenzatora i propaljivača.

Elektromagnetske prigušnice za fluorescentne žarulje sadrže prigušivač i starter. Starter služi za pokretanje te kako bi osigurao naponski impuls za početak rada. Većina fluo cijevi paralelno sa izvorom ima postavljen kondenzator radi postizanja optimalnog faktora snage.



**Slika 2.14.** *Elektromagnetski predspoji za fluo, izvor* [18]

Elektromagnetske prigušnice za visokotlačne žarulje ne zahtijevaju starter jer im za paljenje kod nekih nije potreban viši napon od mrežnog napona. Neke modernije verzije ipak trebaju veći napon od mrežnog ali to se postiže kroz dodatne sklopove.



**Slika 2.15.** *Elektromagnetski predspoji za VTI, izvor* [18]

Elektroničke predspojne naprave imaju komponente sve integrirane u jedan sklop. One štede velike količine energije i predstavljaju najveću energetsku učinkovitost. Europska unija pokušava potaknuti upotrebu štednih tj. energetsko učinkovitih elektroničkih prigušnica.

Elektroničke predspojne naprave za fluorescentne cijevi imaju nekoliko prednosti pred elektromagnetskim. One generiraju veću frekvenciju napona, što čini svjetiljku učinkovitijom, te imaju manju potrošnju energije. Sve elektroničke prigušnice za fluorescentne svjetiljke sadrže iste elemente na strani mrežnog napona. To su: EMC filtar koji reparira harmonijska izobličenja, ispravljač koji pretvara struju u istosmjernu, sklop za korekciju faktora rada i visokofrekventni generator s rezonantnim sklopom.



**Slika 2.16.** *HF-Performer II Xtreme za TL5 za JR, izvor* [18]

Elektroničke predspojne naprave za visokotlačne žarulje nisu se pretjerano razvijale jer kod njih rad na visokom frekvencijama ne daje toliku učinkovitost kao kod fluorescentnih cijevi. Prednost ovakvih prigušnica su većinom manja potrošnja energije, regulacija svjetlosnog toka i smanjenje treptanja svjetlosnog toka.

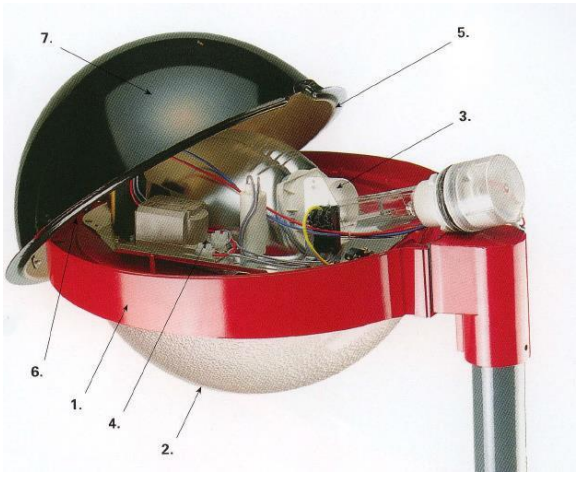



**Slika 2.17.** *VTI-elektronička predspojna naprava za JR, izvor* [18]

## 2.8. Svjetiljke u javnoj rasvjeti

Zajednička karakteristika svim svjetiljkama javne rasvjete je da zaštite izvor svjetlosti od vanjskih utjecaja i da imaju dovoljno robusnu strukturu. Svjetiljke se sastoje od više dijelova koji

se mogu podijeliti u optičke, električne i mehaničke. Optički sustav koji ima zadaću usmjeriti svjetlost u određeni smjer i proizvesti svjetlosni tok. Mahanički dio svjetiljki služi kako bi ju zaštitio od vanjskih utjecaja te za pridržavanje i pričvršćivanje na nosače. Elektrotehnički elementi priključuju svjetiljku i izvor svjetlosti na mrežni napon, povezuju električne dijelove svjetiljke, pale te poboljšavaju faktor snage. Na slici 2.18. su prikazani dijelovi svjetiljke:




1. Nosivi element
2. Staklo kapa koja istodobno raspršuje svjetlo (ona je i mehanički i optički element svjetiljke)
3. Reflektor
4. Prigušnica
5. Element kojim se svjetiljka može otvoriti bez alata
6. Brtva
7. Pokrov

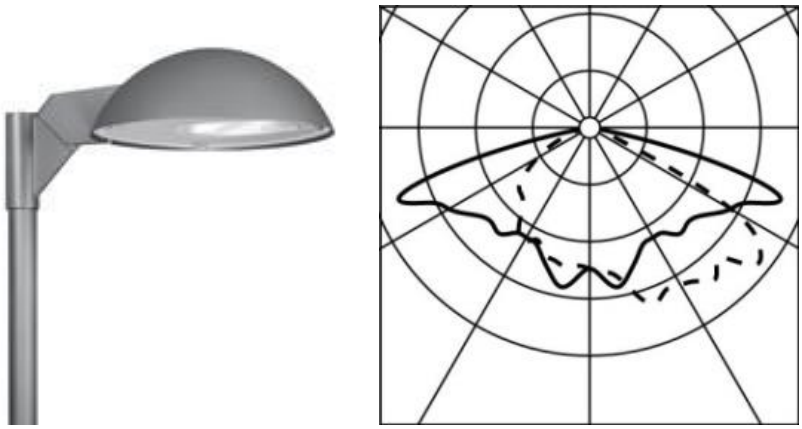
**Slika 2.18.** *Dijelovi svjetiljke, izvor* [16]

Svjetiljke za cestovnu rasvjetu namjenjene su rasvjetljavanju prometnih površina. Takve svjetiljke obično su postavljene na visokim stupovima uz prometnice u pravilnim razmacima.

Mogu biti pričvršćene za fasade zgrada ili obješene na čelične žice iznad kolnika. Sve svjetiljke javne rasvjete moraju biti dobro zaštićene od vremenskih utjecaja. Svjetlosni izvori koji su danas najčešće primjenjivani u vanjskoj rasvjeti su visokotlačna natrijeva žarulja,

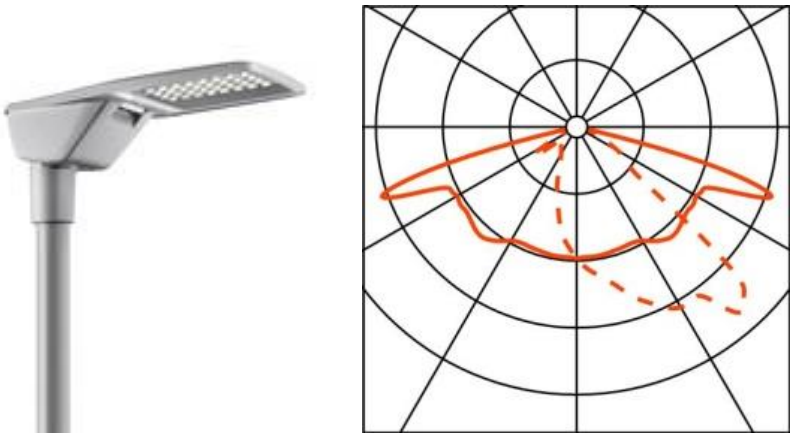
metalhalogena žarulja i LED rasvjeta. Visokotlačna živina žarulja također se može naći u zastarjelim sustavima, ali se u obnovljenim instalacijama više ne koristi

Na slikama 2.19., 2.20., 2.21. i 2.22. su prikazani neki od primjera suvremenih svjetiljki za JR preuzetih iz kataloga Philips u sklopu programa Relux. Važna optička svojstva se mogu vidjeti iz njihovih polarnih dijagrama, koji u obliku leptira daju informaciju o širokoj raspodjeli svjetlosti.



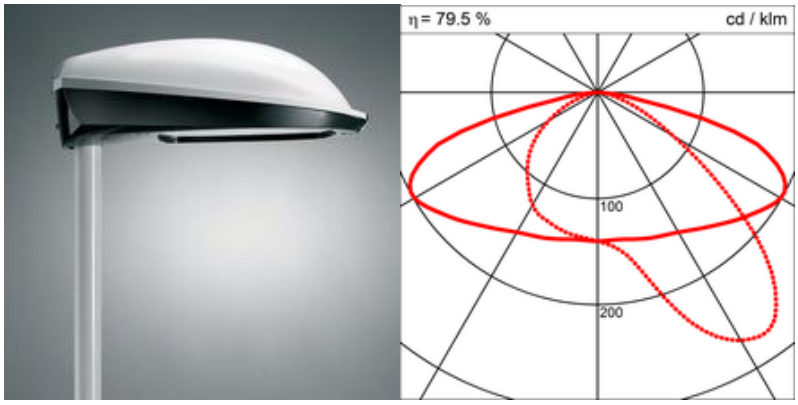
**Slika 2.19.** *Siteco DL 500 MAXI-5NA246E1PT0MS08*

Polarni dijagrami prikazuju ovisnost intenziteta jakosti izvora svjetlosti (svjetiljke) od kuta pod kojim gledamo izvor svjetlosti. Dijagram predstavlja presjek prostorne raspodjele svjetlosti na određenoj ravnini, koja uvijek presijeca točku izvora svjetla



**Slika 2.20.** *Siteco Streetlight 20 mini LED-5XB21H1B308A*

Bitna značajka raspodjele je da intenzitet svjetlosnog toka bude manji u smjeru okomito prema dolje, nego svjetlina u smjeru 40° lijevo i desno od vertikale [16]. Što znači da je površina neposredno ispod svjetiljke osvijetljena isto onako kao i površina koja se nalazi dalje od svjetiljke. Tako se povećava jednolika rasvjetljenost cestovne ili druge rasvjetljene površine.




**Slika 2.21.** *AEC Illuminazione KAOS 2 VP 250W SHP-T P-1_KS2-131*

# 3. JAVNA RASVJETA

Bez obzira na najmjenu javne rasvjeta mora zadovoljiti četiri osnovna zahtjeva: funkciju, estetiku, ekonomičnost i ekologiju. Osnovna funkcija cestovne rasvjete treba biti ravnomjerna rasvjetljenost, osvjetljenje prometnice što bliže propisanoj vrijednosti te smanjenje efekta blještanja. Dugo su se u javnoj rasvjeti koristile natrijeve žarulje koje su osvjetljavale razne spomenike i građevine, a koje imaju loš uzvrat boje i daju žutu svjetlost koja uspavljuje ljude i umrtvljuje atmosferu. Suvremeni izvori svjetlosti koji kopiraju sunčevu svjetlost i koji oživljavaju prostorimaju bijeli izvor svjetlosti poput metalhalogene, fluokompaktne ili LED žarulje. S obzirom na potrošnju energije, javna rasvjeta zauzima velik udio u proračunima pojedinih gradova. Pod troškovima javne rasvjete se podrazumijevaju troškovi izgradnje, upravljanja, održavanja i uređivanja objekata te troškovi električne energije za rasvjetljavanje javnih površina i javnih cesta koje prolaze kroz naselja kao i nerazvrstanih cesta.

Dobra javna rasvjeta povećava sigurnost na cesti, osigurava vidljivost pješacima i biciklistima, ali i može uvelike doprinjeti smanjenju broja nasreća. Omogućuje nam da pravovremeno uočimo novonastale ali i opasne situacije na cesti. Položaj svjetiljki nam služi kao ″vodič″, odnosno pokazuje putanju ceste, omogučuje orjentaciju, te kao takva predstavlja neophodan element kvalitete ljudskog života.

## 3.1. Kriterij kvalitete javne rasvjete

Glavna karakteristika javne rasvjete je da osigura vizualne uvjete za sigurno, brzo i ugodno kretanje u prometu. Kvaliteta javne rasvjete se ocjenjuje kroz više parametara. Javna rasvjeta mora udovoljavati kriterijima vidnog komfora, vidljivosti i energetske učinkovitosti. Sposobnost prilagodbe oka definirana je luminancijom površine kolnika, pa je polazište u definiranju kriterija kvalitete rasvjete prometnica temeljeno na konceptu luminancije. Svjetlotehnički zahtjevi koji su polazište kod projektiranja sustava javne rasvjete zadani su normom HRN EN 13201:2008. Kriterij kvalitete određenog sustava javne rasvjete dijele se na osnovne i dodatne. Osnovni kriteriji kvalitete određenog sustava javne rasvjete su razina luminancije površine kolnika, jednolikost luminancije površine kolnika, nivo rasvijetljenosti neposredne okoline ceste, ograničenje blještanja, vizualno vođenje i optičko vođenje, a dodatni su srednja rasvijetljenost površine kolnika i jednolikost rasvijetljenosti površine kolnika.

**Tablica 3.1.** *Kriterij kvalitete javne rasvjete*

| Kriterij kvalitete javne rasvjete | | A1 | A2 | B1 | B2 | C | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OSNOVNI | **Razina luminancije površine kolnika** | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Dopušta se | Ne preporučuje se | Ne preporučuje se |
| | **Jednolikost luminancije površine kolnika** | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Dopušta se | Ne preporučuje se | Ne preporučuje se |
| | **Nivo rasvijetljenosti okoline prometnice** | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Dopušta se |
| | **Ograničenje bliještanja** | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Dopušta se |
| | **Vizualno vođenje** | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Ne preporučuje se |
| | **Optičko vođenje** | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Dopušta se | Ne preporučuje se |
| DODATNI | **Srednja rasvijetljenost površine kolnika** | Dopušta se | Dopušta se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se |
| | **Jednolikost rasvjijetljenosti površine kolnika** | Dopušta se | Dopušta se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se | Preporučuje se |

### 3.1.1. Razina luminancije površine kolnika

Razina luminancije je najvažniji pokazatelj kvalitete javne rasvjete. Ona se računa samo za kolnik. Poželjno je da luminancija bude što veća jer utječe na kontrasnu osjetljivost. Ispitivanja su pokazala da je optimalna luminancija za javnu rasvjetu 2.00 cd/m², ali ona se odnosi samo na autoputove i brze ceste. Ovisno o vrsti ceste luminancija se kreće od 0.5 cd/m² do 2.0 cd/m². Luminancija neke točke rasvijetljene površine kolnika ovisi o:

- svjetlotehničkim karakteristikama zračenja svjetiljki
- geometriji postavljene instalacije javne rasvjete
- refleksijskih svojstava rasvijetljene površine kolnika

Razina srednje luminancije površine kolnika ($L_m$) utječe na osjetljivost kontrasta očiju vozača i na kontrast prepreke na površini kolnika, u odnosu na njezinu pozadinu i tako utječe na vidnu udobnost vozača.

**Tablica 3.2.** *Preporučene vrijednosti luminancije za klase cestovne rasvjete*

| Klase cestovne rasvjete | Preporučene vrijednosti luminancije |
|---|---|
| M1 | 2,0 cd/m$^2$ |
| M2 | 1,5 cd/m$^2$ |
| M3 | 1,0 cd/m$^2$ |
| M4 | 0,75 cd/m$^2$ |
| M5 | 0,5 cd/m$^2$ |

### 3.1.2. Jednolikost luminancije površine kolnika

Jednolikost luminancije površine kolnika utječe na vidnu performancu i na udobnost zapažanja vozača [1]. Postoji srednja, uzdužna i poprečna jednolikost luminancije. Srednja jednolikost luminancije jamči sigurno zamjećivanje prepreke, uzdužna jamči udobnost vožnje i poprečna jednolikost omogućuje sigurno zamjećivanje.

Uzdužna jednolikost luminancije ($j_{Lu}$) pridonosi općoj udobnosti zapažanja pri kretanju po prometnicama, jer cesta sa visokom vrijednošću uzdužne jednolikosti ostavlja dojam dobre i jednolike rasvijetljene površine bez svjetlijih i tamnijih zona. Osobito je važna ova karakteristika kod prometnica sa dužiom dionicama kao što su autoceste.

Opća jednolikost luminancije ($j_L$) površine kolnika odlučujuće utjeće na vidnu performancu. Opća jednolikost luminancije ovisi o svjetlotehničkim osobinama zračenja svjetiljki, svjetlosnom toku izvora svjetlosti, geometriji instalacija te refleksijskim karakteristikama rasvijetljene površine ceste.

### 3.1.3. Razina rasvijetljenosti neposredne okoline ceste (SR)

Različita razina rasvijetljenosti omogućuje udobnije i sigurnije zapažanje. Za dobre uvijete zapažanja pri vožnji, treba biti dobro rasvijetljena i neposredna okolina ceste. Kod prometnica sa

svijetlom okolinom potrebno je održati što višu vrijednost srednje luminancije površine kolnika. Kod prometnica sa tamnom okolinom preporučljivo jerasvijetliti i okolinu u pojasu od 5 m i do nivoa rasvijetljenosti 50% od srednje rasvijetljenosti pojasa susjednih 5 m[1].

### 3.1.4. Ograničenje blještanja (TI)

Blještanje je smanjenje sposobnosti vida koja se javlja kada u oko promatrača stigne svjetlost prejakog sjaja pa oko nije u stanju točno prepoznati predmete ili detalje. Pri jakom bliještanju može doći do kratkotrajne sljepoće. To je trajno ili trenutačno smanjenje vidljivosti zbog prevelikoga kontrasta u vidnom polju od strane promatrača.U tom tenutku dolazi do rasipanja svjetlosti u oku, zbog toga vidimo predmete kao da su prekriveni bjelinom. Jako blještanje popraćeno je osjećajem nelagode i određenom boli u oku.

S aspekta javne rasvjete utvrđene su dvije vrste bliještanja: fiziološko bliještanje koje trenutačno smanjuje sposobnost zamjećivanja i psihološko bliještanje koje trajno smanjuje sposobnost zamjećivanja [8]. Smanjenje vidljivosti zbog fiziološkog blještanja prisutnih izvora svjetlosti cestovne rasvjete definirano je pojmom „porast praga“ (TI) [1]. Porast praga označava potrebno povećanje minimalne vrijednosti luminancija zapreke i njegove pozadine, koje je potrebno da bi zapreka bila vidljiva sa ili bez blještanja izvora svjetlosti. Istraživanjima je utvrđeno da se TI može matematički prikazati kao funkcija, prema podacima iz norme HRN EN 13201-3:2008 slijedi:

$$TI = f(L_m, L_v) \tag{3-1}$$

gdje je:

-$L_v$– ekvivalentna luminancija prikrivanja (vidljiva oku zbog blještanja)

Korisiti se sljedeći izraz:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_m{}^{0.8}} \tag{3-2}$$

Psihološko blještanje smanjuje vidnu udobnost zapažanja vozača zbog zamora oka uzrokovanog trajnim prisutstvom blještanja. Čak i neznatno blještanje, ako je konstantno,uzrokuje zamor oka. Oznakom G, sukladno izvoru [1], utvrđena je mjera kontrole psihološkog blještanja koja na brojevnoj skali opisno ocjenjuje blještanje. Za izračunavanje vrijednosti parametra G određen je izraz:

$$G = 13{,}84 - 3{,}31 \cdot logI_{80} + 1{,}3 \left(\left(log\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)\right)^{\frac{1}{2}} - 0{,}08 \cdot log\frac{I_{80}}{I_{88}} + 1{,}28 \cdot logF + 0{,}97 \cdot logL_m +$$

$$4{,}41 \cdot \log h' - 1{,}46 \cdot \log p \qquad (3\text{-}3)$$

gdje je:

- $G$ –oznaka psihološkog blještanja
- $I_{80}$[cd] – jakost zračenja svjetiljki u vertikalnoj ravnini paralelno s osi ceste pod upadnim kutem od 80º
- $I_{88}$ [cd] – jakost zračenja svjetiljki u vertikalnoj ravnini paralelno s osi ceste pod upadnim kutem od 88º
- $F$ [m$^2$] – površina osvjetljenog dijela u smijeru vozača pod kutem 76º, paralelno s osi ceste
- $L_m$ [cd/m$^2$] – srednja luminancija površine kolnika
- $h'$[m] – razlika između visine izvora svjetlosti i visine promatrača
- $p$– broj svjetiljki po km ceste

**Tablica 3.3.** *Preporučene maksimalne vrijednosti za TI i minimalne vrijednosti za oznaku prema* [1]

| VRSTE PROMETNICE | PREPORUČENE VRIJEDNOSTI | |
|---|---|---|
| | TI% | OZNAKA G |
| Autoceste i općenito ceste za motorni promet izvan naselja | ≤ 5 | ≥ 7 |
| Glavne i gradske prometnice u naseljenom mjestu | ≤ 10 | ≥ 6 |
| Lokalne., trgovačke i ceste u stambenim neseljima | ≤ 20 | ≥ 5 |

### 3.1.5. Vizualno vođenje

Vizualno vođenje jamči sigurnost odvijanja prometa. Dobrim vizualnim vođenjem rasvijetljenog toka prometnice u odnosu na okolinu te dobrom zamjetljivošću horizontalne i vertikalne prometne signalizacije te pješačkih prijelaza udovoljava se kriteriju za dobrim vizualnim vođenjem na određenoj instalaciji javne rasvjete [8].

### 3.1.6. Optičko vođenje

Optičko predstavlja mjere koje vozaču jasno daju trenutačnu sliku toka ceste i njenog smjera. Ono je zaslužno za udobnost vožnje. To se postiže dobrim rasporedom stupova i izvora svjetlosti pri projektiranju javnih rasvjetnih sustava.

Razmještaj izvora svjetlosti treba pažljivo sagledati i utvrditi ga na temelju vozačevog vidnog polja, a ne iz tlocrtne perspektive. Dobro vizualno vođenje zahtjeva dosljedno rasvijetljavanje osnovne cestovne mreže, primjenjujući izvore različitih spektralnih sastava za prometnice različitih vrsta cestove rasvjete.

### 3.1.7. Razina srednje rasvijetljenosti površine kolnika ($E_m$)

Rasvijetljenost je mjerilo količine svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada na neku površinu. Razina srednje rasvjetljenosti je određena je ukupnim svjetlosnim tokom koji pada na specifičnu plohu kolnika. Rasvijetljenost neke točke površine proporcionalna je jakosti izvora svjetlosti koja pada okomito na tu točku, ali je obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti.

### 3.1.8. Vertikalna rasvijetljenost ($E_v$)

Vertikalna rasvijetljenost je veličina koja predstavlja rasvijetljenost okomite ravnine u prostoru.

### 3.1.9. Polucilindrična rasvijetljenost ($E_{sc}$)

Polucilindrična rasvijetljenost označava omjer upadajućeg svjetlosnog toka na beskonačno mali polucilindar te površine tog polucilindara. Ona predstavlja alat kojim možemo procijeniti sposobnost raspoznavanja lica ljudi koji nam se približavaju. Dobra vidljivost, osim ambijentalne rasvjete i estetski usklađene rasvjete pješačkih površina, jedan je od najvažnijih čimbenika koji utječu na osjećaj sigurnosti korisnika u prostoru [16].

### 3.1.10. Koeficjent rasvijetljenosti površine kolnika (KRO)

Kod javne rasvjete prepreke uglavnom vidimo kao tamnu prepreku na osvijetljenoj pozadini tj. silueti. Ako se prepreka nalazi uz rub ceste, njezinu vizualnu pozadinu često predstavlja okolina kolnika, ne samo kolnik. Zbog toga treba omogućiti odgovarajuće rasvjetljenje okoline. Odgovarajuće rasvjetljenjeneposredne okoline omogućuje vozaču da brzo uoči prepreku koja se nalazi u neposrednoj blizini ceste (kao što su primjerice biciklisti koji se uključuju u promet) [16]. Koeficjent rasvijetljenosti okoline je odnos između rasvijetljenosti površine udaljene 5 m od ruba ceste i rasvjetljenja 5 m širokog područja ceste od ruba ceste prema sredini.

### 3.1.11. Faktor održavanja (ULOR)

S vremenom svjetlosni tok svjetiljke se mijenja. Glavni razlog za to je skupljanje prašine i drugih čestica na svjetiljci tj. na reflektoru i staklu. Faktor održavanja predstavlja omjer između održavanog svjetlosnog toka i nazivnog svjetlosnog toka. U javnoj rasvjeti faktor održavanja se

kreće između 0,6 i 0,8. Faktor održavanja 0,8 je za cestovne svjetiljke koje su montirane na stupove.

ULOR je izlazni svjetlosni tok svjetiljke iznad horizontale. Udio svjetlosnog toka koji zrači gore (ULOR) je odnos između svjetlosnog toka koji baca svjetlost prema gore i ukupnog svjetlosnog toka svjetiljke. Izražava se u postocima.

## 3.2. Klase rasvjete cesta za motorni promet

Ceste se razlikuju po svom prometnom značaju, lokaciji, gustoći i dopuštenoj brzini prometa te zato njihova rasvjeta ne mora biti ista. Utvrđeno je nekoliko klasa cestovne rasvjete u ovisnosti od različitih čimbenika:

- razina ceste (autocesta, gradska cesta, brza, lokalna)
- gustoća prometa
- složenost prometa
- jednosmjerni ili dvosmjerni promet
- opremljenost ceste prometnom signalizacijom

Klase cestovne rasvjete definirane su određenim normama. Hrvatska je preuzela europsku normu za javnu rasvjetu, HRN EN 13201:2008., koja u četiri dijela govori o vrsti i kvaliteti podloge, ograničenju brzine i dozvoljenim korisnicima prometnice. Tablica prikazuje klase cestove rasvjete prema HRN EN 13201--1.dio: Odabir rasvjetnih zona.

Prvi dio norme definira rasvjetne zone koje se trebaju primjenjivati u javnoj rasvjeti. Definirane su kategorije za motorna vozila (M), spora motorna i zaprežna vozila (S), motocikliste (C) i pješake (P).

**Tablica 3.4.** *Klase cestovne rasvjete*

| Brzina kretanja glavne kategorije korisnika [km/h] | Tipovi korisnika u promatranom području | | | Grupa svjetlosnog ambijenta |
|---|---|---|---|---|
| | Glavni | Ostali dozvoljeni | Isključeni | |
| | | | Spora vozila, biciklisti, pješaci | **A1** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| >60 | Motorna vozila | Spora vozila | Biciklisti, pješaci | **A2** |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | Spora vozila, biciklisti, pješaci | | **A3** |
| >30 i ≤60 | Motorna i spora vozila | Biciklisti, pješaci | | **B1** |
| | Motorna i spora vozila, biciklisti | Pješaci | | **B2** |
| >5 i ≤30 | Biciklisti | Pješaci | Motorna i spora vozila | **C1** |
| | Motorna vozila, pješaci | | Spora vozila, biciklisti | **D1** |
| | | Spora vozila, biciklisti | | **D2** |
| | Motorna vozila , biciklisti | Spora vozila, pješaci | | **D3** |
| | Motorna i spora vozila, biciklisti, pješaci | | | **D4** |
| Brzina hoda | Pješaci | | Motorna i spora vozila | **E1** |
| | | Motorna i spora vozila | | **E2** |

Drugi dio norme ili HRN EN 13201--2.dio: Zahtjevana svojstva, definira potrebnu rasvjetljenost primjerenu za pojedine kategorije uz dodatne uvijete, primjerice ako je kolnik vlažan ili suh. U tablici 3.5. prikazane su klase prometnice prema drugom dijelu norme.

**Tablica 3.5.** *Klase prometnica prema normi HRN EN 13201-2*

| KLASA | LUMINACIJA ZA SUHE CESTE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | SREDNJA LUMINANCIJA $L_m$ | SREDNJA JEDNOLIKOST $U_0$ | UZDUŽNA JEDNOLIKOST $U_L$ | POREAST PRAGA TI | RASVJETA OKOLICE SR |
| **ME1** | 2,0 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| **ME2** | 1,5 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| **ME3a**<br>**ME3b**<br>**ME3c** | 1,0 | 0,4 | 0,7<br>0,6<br>0,6 | 15 | 0,5 |
| **ME4a**<br>**ME4b** | 0,8 | 0,4 | 0,6<br>0,5 | 15 | 0,5 |
| **ME5** | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 15 | 0,5 |
| **ME6** | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 15 | 0,5 |

U Tablici 3.6. prikazane su klase cestovne rasvjete i pripadajući utjecajni faktori. Pri odabiru odgovarajuće klase treba voditi računa o svim sudionicima u prometu.

**Tablica 3.6.** *Klase rasvjete ceste za motorni promet*

| ČIMBENICI KLASIFIKACIJE | KLASA CESTOVNE RASVJETE |
|---|---|
| Ceste s brzinom 100km/h i jednosmjernim prometom; s razdjelnim pojasom između prometnih traka; križanja u dvije ili više razina; u pravilu autoceste i ceste namjenjene za promet motornih vozila; gustoća prometa i složenost može biti: | |
| • velika | **M1** |
| • srednja | **M2** |
| • mala | **M3** |
| Ceste s velikom dopuštenom brzinom i dvosmjernim prometom, u pravilu ceste sa prometnim znakovima i razdvojenim kolnicima; | |

| | |
|---|---|
| kontrola prometa može biti: | |
| • loša | **M1** |
| • dobra | **M2** |
| Ceste sa srednjom brzinom prometa, u pravilu ceste sa kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike prometa; kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti : | |
| • loša | **M2** |
| • dobra | **M3** |
| Ceste za relativno slabiji i lokalni promet sa malom brzinom prometa; spojne ceste; prometno važnije ceste u stambenim naseljima i slično, u pravilu su to ceste sa kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za različite sudionike u prometu | |
| • loša | **M5** |
| • dobra | **M4** |

Treći dio norme HRN EN 13201--3.dio: Proračun svojstava, zapravo su matematički proračuni fotometrijskih karakteristika javne rasvjete. Treći dio objašnjava načine izračuna svjetlotehničkih parametara stvarnih lokacija. Ovaj dio norme se rijetko koristi jer danas postoje razni programi koji omogućavaju izračun brzo i kvalitetno.

HRN EN 13201--4. dio: Metode mjerenja svojstava rasvjete, četvrti dio daje procedure mjerenja karakteristika javne rasvjete, te daje upute o izboru instrumenata i proceduri samog mjerenja.

Ove godine objavljena je i peta norma EN 13201--5.dio: Indikatori za energetska svojstva. Ovaj dio norme pokazuje kako izračunati indikatore energetske učinkovitosti za cestovnu rasvjetu. Indikatori određuju potrošnju energije tijekom godine, čak i ako su ispunjeni zahtjevi rasvjete promijeniti tijekom noći ili godišnjih doba. Ovi pokazatelji mogu se koristiti za usporedbu energetske učinkovitosti različitih cesta, ali i istih projekata cestovne rasvjete. Energetska svojstva cesta rasvjetnih sustava s različitim cestovnim geometrijama ili različitim uvjetima osvjetljenja ne mogu se izravno uspoređivati.

### 3.2.1. Određivanje klase prometnice

Klasa prometnice određuje se prema normi HRN EN 13201 –2.dio :2008. U obzir se uzima niz faktora kao npr. brzina kretanja glavne kategorije korisnika, tip korisnika u promatranom području, broj ukupnih vozila koja se kreću promatranim područjem. Kako bi se postupak određivanja klase prometnice ubrzao i automatizirao, Philips Lightning razvio je jednostavnu aplikaciju koja kroz par koraka otkriva točnu klasu prometnice. Aplikacija se zove Road Wizard i dio je programskog paketa Calculux također napravljenog od strane Philipsa.

Organizacija CIE izdala je tehničko izvješće o rasvjeti površina za motorni i pješački promet. Prometne površine prema tom izvješću dijele se na tri razreda:

- M – prostori koji su prvenstveno namijenjeni za motorni promet
- C– površine na kojima se susreću različite vrste korisnika ili se susreću različiti prometni tokovi
- P – površine koje su namijenjene pješacima i sporom prometu

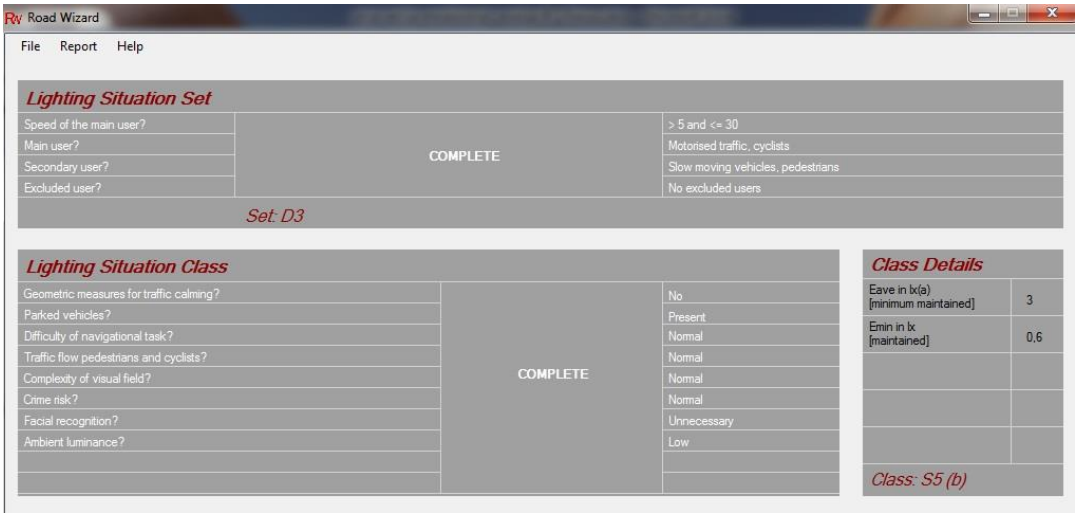
Na daljnim slikama prikazani su prozori Road Wizarda iz izvora [21] u kojem se vide pitanja i odgovori koji vode do određene klase prometnice.




**Slika 3.1.** *Road Wizard – ME6*




**Slika 3.2**. *Road Wizard – ME4b*




**Slika 3.3.** *Road Wizard– S5*

Krajem 2015. godine Technical Committee CEN/TC 169 donio je izmjene norme EN 13201 zbog performansi LED izvora te je tako nastao novi oblik norme koji je prihvaćen u Hrvatskoj kao HRN EN 13201:2016. Zbog nove norme HRN EN 13201:2016 ova je aplikacija povučena iz uporabe. Do trenutka pisanja ovog rada (lipanj 2016.) nove norme nisu primjenjene u programskim alatima za projektiranje javne rasvjete, te su tako u Reluxu i Dialuxu prihvaćeni i dalje stari oblici norme što uvelike otežava potpuno prilagođavanje na novu normu. Verzija iz 2008. god. je prepravljena te na taj način dolazi do nelogičnosti pri projektiranju JR. Trenutno je projektantima na raspolaganju ručno izračunavanje koje je izrazito složeno jer proračun treba obuhvatiti svaku svjetiljku  na promatranom profilu. Potrebno je kombinirati izračune dvaju ili više svjetiljaka respektivnog  profila ceste. Kada se izvrše svi izračuni, rezultat je krivo odabrana svjetiljka, pa se ručni izračun radi iz početka.

## 3.3. Indikatori energetske učinkovitosti javne rasvjete

Javna rasvjeta pruža mnoštvo mogučnosti za razvoj projekata energetske učinkovitosti. Za javnu rasvjetu gradski ili opčinski proračun izdvaja 1 – 3 % sredstava samo za potrošnju energije sustava. Mnogi sustavi javne rasvjete se ne održavaju ili ne grade na način na koji bi trebali i na način koji bi im znatno smanjio troškove kroz određene vremenske periode. Kako bi se izbjegli problemi, potrebno je prikupiti informacije o stanju sustava javne rasvjete. Potrebno je imati bazu instalirane opreme u sustavu i znati koliko ona troši, koliko košta, kada je ugrađena, gdje se nalazi, te isto tako tu bazu je potrebno redovno ažurirati sa promjenama.

Neke od osnovnih preporuka za energetski učinkovitu javnu rasvjetu su:

- iskorištavati energetski učinkovitije izvore svjetlosti
- koristiti učinkovitije svjetiljke kako bi se izbjeglo svjetlosno zagađenje (zasjenjene/nezasjenjene)
- redovito praćenje troškova i potrošnje energije sustava JR
- redovito održavanje

Faktori energetske učinkovitosti su temelj za određivanje energetskih razreda javne rasvjete. Za površine kod kojih je referentna sjajnost kolnika (ME razred rasvjete), mjerilo je faktor *SL* čiji se iznos utvrđuje prema formuli:

$$SL = \frac{P_S}{L \cdot S \cdot W_r} \tag{3-4}$$

dok je za površine kod kojih je referentna rasvijetljenost kolnika (S razred rasvjete), mjerilo faktor *SE* čija se vrijednost utvrđuje prema relaciji:

$$SE = \frac{P_S}{E_{sr} \cdot S \cdot W_r} \tag{3-5}$$

gdje je:

- *SL* [W/{(cd/m$^2$)·m$^2$}]–-faktor energetske učinkovitosti za površine čija je kvaliteta rasvjete uvjetovana sjajnošću površine

- *SE* [W/(lx/ m$^2$ )] -faktor energetske učinkovitosti rasvjete za površine čija je kvaliteta rasvjete uvjetovana rasvijetljenošću površine

- *Ps* [W] - ukupna korištena el. snaga za napajanje jednog rasvjetnog mjesta

- *Wr* [m] - širina površine koja se rasvjetljava

- *S* [m] - razmak između rasvjetnih mjesta

- *L* [cd/m$^2$ ] – zahtjevana vrijednost sjajnosti prema normi HRN EN 13201

- $E_{sr}$ [lx] – zahtjevana srednja rasvjetljenostprema normi HRN EN 13201

Prema Fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost svjetiljke kod kojih faktori energetske učinkovitosti premašuju graničnu vrijednost ne smatraju se prihvatljivima kod projektiranja, rekonstrukcije ili izgradnje javne rasvjete [17]. Odnosno, ako je faktor SL ili faktor SE neke svjetiljke veći od 80% granične vrijednosti on se smatra uvjetno prihvatljivim, dok svjetiljke koje imaju manji faktor energetske učinkovitosti od 80 % granične vrijednosti se smatraju prihvatljivima.

**Tablica 3.7.** *Javna rasvjeta u energetskim razredima, prema* [7]

| ENERGETSKI RAZRED JR | SL | SE |
|---|---|---|
| A | 0,075-0,224 | 0,000-0,014 |
| B | 0,225-0,374 | 0,015-0,024 |
| C | 0,375-0,524 | 0,025-0,034 |
| D | 0,525-0,674 | 0,034-0,044 |
| E | 0,675-0,824 | 0,045-0,054 |
| F | 0,825-0,974 | 0,055-0,064 |
| G | 0,975-1,124 | 0,065-0,074 |

## 3.4. Svjetlosno zagađenje

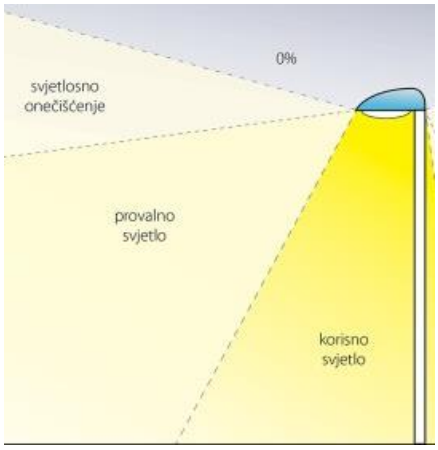
Svjetlosno zagađenje podrazumjeva svako nepotrebno emitiranje svjetlosti izvan zone koju je potrebno ravijetliti. Svjetlosno zagađenje uzrokuju vanjska rasvjetna tijela koja su nepravilno postavljena pa isijavaju svjetlost prema nebu ili okolo, umjesto prema tlu. Utjecaji svjetlosnog zagađenja vidljivi su na više područja. Jedno od bitnijih utjecaja je na energetiku. Svjetlosno onečšćenje moguće je smanjiti zamjenom neodgovarajućih svjetiljki svjetiljkama koje odgovaraju ekološki prihvatljivim normama. Time bi se smanjilo i svjetlosno zagađenje i potrošnja električne energije. Dobra rasvjeta je ona koja ne obasjava nebo, koja nije prejaka i koja doprinosi smanjenju potrošnje električne energije.

Glavni razlog zašto stare svjetiljke nisu pogodne za javnu rasvjetu sadržan je u odredbama Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, objavljenog u Narodnim novinama broj 114/11, koji je stupio na snagu 01.01.2012. godine. Zakon propisuje stroge kriterije odabira svjetiljki za nove instalacije JR. Članak 38. spomenutog zakona govori kako je potrebno javnu rasvjetu koja se kosi sa odredbama ovog zakona zamijeniti ili pravilno postaviti u skladu s Planom održavanja kojeg je dužan donijeti operater javne rasvjete, a u kojem će odrediti rokove za zamjenu postojeće javne rasvjete. Zakonom se svjetlosno onečišćenje definira kao emisija svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i uzrokuje osjećaj bliještanja, ugrožava sigurnost u prometu zbog prejake svjetlosti , zbog neposrednog zračenja prema nebu ometa život životinja, remeti rast biljaka i ugrožava prirodnu ravnotežu.

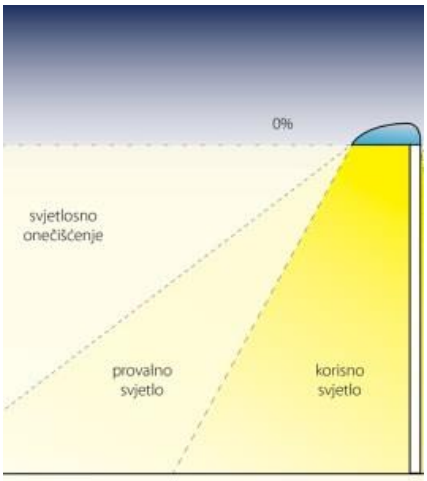
Osnovni pojmovi koji su vezani uz svjetlosno zagađenje su onečišćujuće svjetlo, rasipno svjetlo i provalno svjetlo.

- ONEČIŠĆUJUĆE SVJETLO je dio svjetlosnog toka koje isijava prema nebu iznad horizontale.
- RASIPNO SVJETLO je dio svjetlosnog toka koji ne rasvjetljava zahtjevano područje. Rasipno svjetlo nije onečišćujuće svjetlo. Ono može biti u funkciji namjeravane ravjete neke susjedne površine.
- PROVALNO SVJETLO je dio svjetlosnog toka koji rasvjetaljava prostor između rasipnog svjetla i horizontalnog obzora svjetiljke. To je onečišćujuće svjetlo čiji svjetlosni tok rasvjetljava nezahtjevanu površinu.

Na slikama 3.4. i 3.5. iz izvora [22] prikazane su zone korisnog, provalnog i onečišćujućeg svjetla kod svjetiljaka sa ravnom i zaobljenom optikom.




**Slika 3.4.** *Svjetlosno onečišćenje kod svjetiljke zaobljene optike*




**Slika 3.5.** *Svjetlosno onečišćenje kod svjetiljke ravne optike*

Za rasvjetljavanje ulica, trgova, i javnih površina koriste se različite vrste svjetiljki. Svjetiljke možemo podijeliti na nezasjenjene, poluzasjenjene i zasjenjene. O svjetiljkama kao elementu javne rasvjete će se govoriti detaljnije u idućem poglavlju, ali ovdje je bitno spomenuti svojstva svake pojedine vrste kako bi znali koje imaju kakav utjecaj na svjetlosno zagađenje.

Nezasjenjene svjetiljke su najneefikasniji oblik osvjetljavanja i najzaslužnije su za svjetloonečišćenje. Ovakve svjetiljke su dosta zastupljene i danas u Hrvatskoj, te se koriste za osvjetljavanje trgova, parkova, šetališta, tj. u dekorativne svrhe. Imaju oblik kugle te na taj način pola svjetlosti nepotrebno odlazi prema nebu.

Poluzasjenjene su svjetiljke koje su kod nas najzastupljenije. Koriste se za cestovnu rasvjetu jer mogu osvjetiliti veliko područje. One su s gornje strane zasjenjene, a sa donje strane imaju ispupčen poklopac od pleksiglasa koje služi za rasporšivanje svjetlosti. Velik dio svjetlosti usmjeren je ispod 90º, ali ipak dio svjetlosti prelazi horizontalnu os od 90º te uzrokuje svjetlosno onečišćenje ali ne u mjeri kao nezasjenjene.

Zasjenjene svjetiljke su ekološki najprimjerenije za javnu rasvjetu. One ne svijetle iznad 90º već su okrenute prema tlu. Tako da ne bacaju svjetlost prema nebu i ne zaslježljuju vozače. Kućište svjetiljke je napravljeno od neprozirnog materijala, a sa donje strane se nalazi ravno staklo.

### 3.4.1. Prihvatljive svjetiljke JR

Prednosti moderne javne rasvjete su raznolike, a neke najbitnije su smanjenje mjesečnih troškova za el. energiju i održavanje, smanjenje negativnog utjecaja umjetnog svjetla na naše zdravlje, te zdravlje biljaka i životinja, smanjenje blještenja koje ometa vozače u prometu i smanjenje zagađenja svjetlošću noćnog neba. Već je poznato koje su tehničke karakteristike i tehnologije javne rasvjete zastupljene i prihvaćene u EU, ovo su neke od bitnijih:

- žarulja mora imati veliku efikasnost u pretvorbi el. energije u svjetlosnu energiju, dugi životni vijek te ne smije sadržavati opasne kemikalije
- svjetiljke moraju imati optiku konstruiranu na način da svu svjetlost fokusiraju na prometnicu te da svjetlost ne prelazi preko horizontalne ravnine (da ne obasjava nebo)
- predspojne naprave u svjetiljci moraju imati duži životni vijek i mali utrošak električne energije
- tijelo svjetiljke mora štititi žarulju i predspojnu napravu od raznih vanjskih utjecaja (vlaga, insekti)
- regulacija javne rasvjete mora biti „pametna“ jer se tako ostvaruju velike uštede
- krak za montažu svjetiljke mora biti pod malim kutom do 5º te s dobrom zaštitom od hrđe

# 4. TEHNIČKI ASPEKTI PROJEKTIRANJA JAVNE RASVJETE

Pri projektiranju površina za motorni i pješački promet, koje uključuju ceste, ulice, trgove i parkove, veliku nam pomoć daju standardi i preporuke od organizacija koje se bave tim područjem. Na globalnoj razini za ovu vrstu rasvjete posebno je mjerodavna organizacija Međunarodne komisije za rasvjetljenje (CIE). Hrvatsko društvo za rasvjetu (HDR) član je CIE grupacije te sudjeluje u preporukama temeljenih na standardima te organizacije [16]. Mjerodavna pravila i vrijednosti o minimalnim svjetlotehničkim uvjetima dana su normom EN 13201:2008.

Pri projektiranju sustava javne rasvjete potrebno je za prostor, odnosno cestu, odabrati odgovarajuću geometriju i elemente instalacije te utvrditi svjetlotehničke i ostale zahtjeve. Na temelju svjetlotehničkih proračuna utvrđuje se izbor osnovnih elemenata sustava.

## 4.1. Tehničke izvedbe svjetiljaka

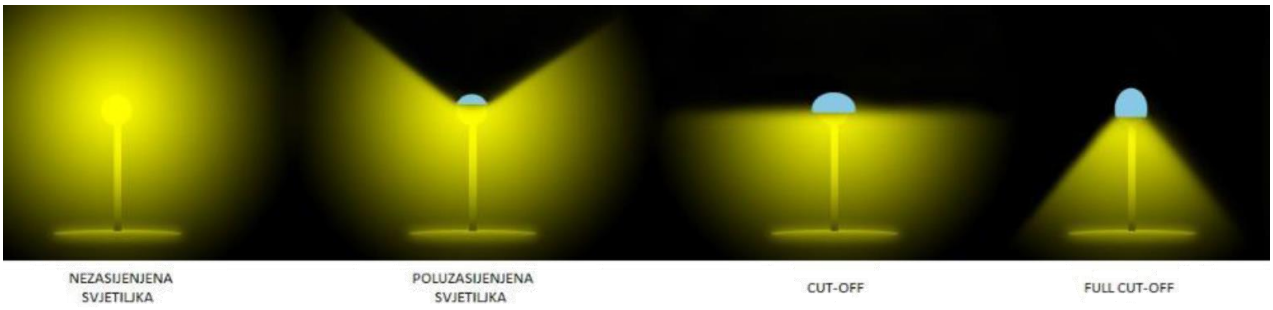
Svjetiljka je naprava koja služi za distribuciju, filtritranje, transformiranje i kontrolu svjetla koje proizvodi pojedini izvor svjetlosti. Svjetiljka može imati jedan ili više izvora svjetlosti, ali svakako sadrži optički uređaj za distribuciju svjetla, grlo za pozicioniranje, priključak izvora na napajanje, predspojnu napravu te mehaničke dijelove za montažu i zaštitu. Osnovne svjetiljke koje se koriste u sustavima cestovne rasvjete su: standardne svjetiljke za montažu na stup, zid ili nosivu žicu , svjetiljke za rasvjetu tunela i reflektori.

Svjetiljka se sastoji od svjetlotehničkih, mehaničkih i elektrotehničkih elemenata [1]. Svjetlotehnički dio čini optički sustav koji ima zadaću usmjeriti svjetlost u određeni smjer. Mahanički dio svjetiljki služi kako bi ju zaštitio od vanjskih utjecaja te za pridržavanje i pričvršćivanje na nosače. Elektrotehnički elementi priključuju svjetiljku i izvor svjetlosti na mrežni napon, povezuju električne dijelove svjetiljke, pale te poboljšavaju faktor snage.

Bitno svojstvo svjetiljke je njena zasjenjenost kojom se ograničava jakost njenog svjetlosnog zračenja iznad određenih kutova. Na taj način se može kontrolirati dopuštena jakost blještanja. S obzirom na zasjenjenost sve svjetiljke za javnu rasvjetu možemo podjeliti u tri grupe:

- Zasjenjena (Z)
- Poluzasjenjena (PZ)
- Nezasjenjna (NZ)

Slika 4.1. prikazuje grupe zasjenjenosti i njihovo rasprostiranje svjetlosti prema nebu, odnosno prema površini koju je potrebno rasvijetliti.




**Slika 4.1.** *Grupe zasjenjenosti svjetiljaka, izvor* [9]

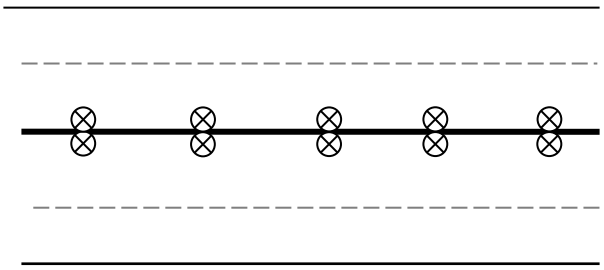
Zasjenjenost svjetiljki definira se za približno horizontalni položaj svjetiljke što u stvarnosti odgovara nagibu do ± 5°. Zasjenjene svjetiljke ili CUT-OFF svjetiljke preporučaju se na važnijim prometnicama s velikim brzinama i velikom gustoćom prometa, tj. za više klase javne rasvjete. Poluzasjenjne svjetiljke preporučaju se za prometnice nižeg prometnog značaja, dok sporedne, lokalne i prometnice unutar pješačkih zona koriste nezasjenjene svjetiljke. Pri tome treba paziti na blještanje (fiziološko i psihološko) tj. na dopuštene vrijednosti relativnog porasta praga TI i oznake psihološkog blještanja G.

## 4.2. Raspored izvora svjetlosti

Zavisno o vrsti ceste,broju i širini prometnih traka možemo razlikovati sljedeće vrste rasporeda izvora svjetlosti:

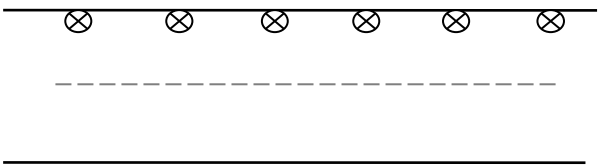
- centralni
- jednostrani
- dvostrani – paraleno postavljeni izvori
- dvostrani – naizmjenicno postavljeni izvori
- kombinirani – centralni i dvostrani
- aksijalni – nosive žice postavljene poprečno na cestu
- aksijalni – nosive žice postavljne uzdužno na cestu

Centralni raspored najčešće se primjenjuje na autocestama i prometnicama s dva, razdijelnim pojasom, odvojena kolnika s najviše 2 – 3 prometne trake [1]. Izvori sjetlosti postavljeni su na jedan stupa, ali na dvije različite strane tako da svaki rasvijetljava svoj kolnik. Ovaj raspored je dosta ekonomičan jer ima samo jedan red stupova i jedan kabal za napajanje.



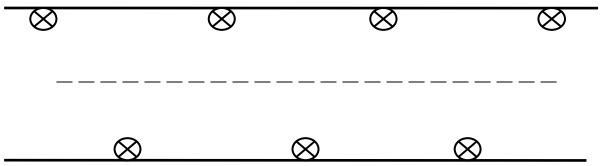
**Slika 4.2.** *Centralni raspored*

Jednostrani raspored najčešće se primjenjuje na svim vrstama prometnica do tri prometna traka jer je jednostavan i ekonomičan. Bitno je da širina kolnika koji je osvjetljen nije veća od visine montaže tog izvora svjetlosti. Radi dobre poprečne rasvjetljenosti nužno je da maksimum zračenja jakosti svjetlosti dane svjetiljke bude usmjeren do najudaljenijeg prometnog traka.



**Slika 4.3.** *Jednostrani raspored*

Dvostrani raspored se obično primjenjuje za sve široke prometnice s najmanje 4 prometne trake i to na taj način da svaki red rasvijetljava polovicu širine kolnika. Dvostarni raspored može se postaviti sa izvorima jedan nasuprot drugome, ali i sa naizmjenično postavljenim izvorima. Oba načina daju dobre svjetlotehničke vrijednosti, posebno jednolikost luminancije odnosno rasvjetljenost. Kod dvostranog rasporeda sa naizmjeničnio postavljenim izvorima jednolikost luminancije je malo slabija od one kod paralelno postavljenih izvora, tako da se taj raspored ne preporuča cestama za motorni promet jer je za njih kao mjerilo kvalitete utvrđena luminancija površine kolnika. Sustavi s dvostranim rasporedom nisu ekonomični kao jednostrani, jer zahtijevaju dva reda stupova i isto tako dva reda kabela za napajanje.



**Slika 4.4.** *Dvostrani raspored-naizmjenični izvori*

Kombinirani raspored primjenjuje se kod širokih prometnica sa dva prometna kolnika gdje svaki pojedinačno ima po 4 prometne trake s obostranim pješačkim stazama uz kolnik. Obično je to kombinacija dvostranog i centralnog rasporeda.

Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu koristi se za rasvjetu u gradskim sredinama. Izvori svjetlosti postavljeni su po sredini ulice, odnosno kod širih ulica po sredini svakog prometnog traka na čelične žice razapete između bočnih fasada zgrada. Ovakav raspored daje kvalitetnu rasvjetu kolnika. Svjetiljke moraju biti dobro pričvršćene za nosive žice tako da se zbog vjetra minimalno njišu.

Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivom žicom uzdužno na os ceste primjenjiv je za rasvjetu autocesta sa širokim kolnicima. Svjetiljke se postavljaju na čeličnu nosivu žicu uz uzdužnu os ceste. Kod ovog rasporeda međurazmaci su manji i do trećine od razmaka kod ostalih rasporeda. Broj stupova je znatno manji a broj svjetiljki veći. Geometrija ovakvog rasporeda daje najveće vrijednostifaktora srednje luminancije Rm. Sustav s ovakvim rasporedom je relativno ekonomičan. Ovaj raspored omogućuje i veoma dobro vizualno vođenje.

## 4.3. Geometrija sustava javne rasvjete

Svaki sustav definiran je svjetlotehničkim parametrima, elementima te geometrijom njegove instalacije. Pod geometrijom sustava podrazumjeva se raspored izvora svjetlosti, geometrijski odnos i odnos prema ostalim elementima ceste.

Visina montaže zavisi od dijela širine kolnika koji svaki izvor svjetlosti treba rasvjetliti. Kod jednostranog rasporeda mora se rasvjetliti cijela širina kolnika, pa poželjna visina montaže u tom slučaju mora biti u skladu sa širinom kolnika. Kod dvostranog rasporeda izvora svjetlosti visina montaže stupa treba biti u skladu sa polovinom kolnika jer svaki izvor rasvjetljava samo polovinu kolnika.

Pri određivanju optimalne visine montaže postavljaju se dva oprečna zahtjeva, jedan kaže da bi izvor trebao biti postavljen što više jer su u tom slučaju smetnje od blještanja minimalne, a drugi kaže da bi radi što boljeg iskorištenja svjetlosnog toka izvori trebali biti postavljeni što niže.

Projektantska iskustva kažu da je za izvore snage 150 W potreban minimalan razmak oko 20 m između stupova, na visini između 8 i 12 m. Veća snaga, od 250 W zahtjeva i međurazmak od 30 do 40 m, na visini stupa od 12 m.

Međurazmak između pojedinih izvora svjetlosti je zapravo mjera ekonomičnosti nekog sustava javne rasvjete. Što je međurazmak veći to su troškovi izgradnje ali i održavanja manji. Treba voditi računa o tome da međurazmak određuje jednolikost luminancije, tj. jednolikost rasvjetljenosti površine kolnika te je dopušteno razmaknuti izvore kako bi dobivene vrijednosti jednolikosti bile iznad minimalno dopuštenih. Na temelju iskustvenih podataka u tablici su dane vrijednosti odnosa međurazmaka i visine montaže za standardne sustave cestovne rasvjete.

**Tablica 4.3**. *Preporučene približne vrijednosti odnosa a/h, prema* [1]

| Izvor svjetlosti | a/h | | |
|---|---|---|---|
| | SVJETILJKA | | |
| | zasjenjena | poluzasjenjena | nezasjenjena |
| • NISKOTLAČNE NATRIJEVE CIJEVI<br>• VISOKOTLAČNE ŽIVINE ILI NATRIJEVE FLUORESCENTNE ŽARULJE | 3 | 3,5 | 4 |
| • VISOKOTLAČNE NATRIJEVE ŽARULJE | 3,5 | 4 | 4,5 |

Krak optičke osi je potreban kako bi optički centar izvora svjetlosti bio što bliži simetrali kolnika. Te vrijednosti obično iznose do jedne petine širine kolnika. Suvremeni optički sustavi čak ne trebaju krak optičke osi jer imaju takve vrijednosti krivulja jakosti zračenja svjetiljki, pa se svjetiljka može postaviti izravno na stup.

Kutovi nagiba su standardizirani i iznose 5, 10 i 15 supnjeva. Kutovi nagiba koji iznose 15 stupnjeva pridonose boljoj poprečnoj rasvjetljenosti ceste, ali i blještanju vozačima iz suprotnih smjerova. Za prometnice s velikom gustoćom i viših klasa cestovne rasvjete preporuča se kut nagiba od 5 stupnjeva. Sporedne prometnice i one nižih klasa zahtjevaju nagib od 10, eventualno 15 stupnjeva. U fotometrijskoj dokumentaciji svjetiljke, proizvođač treba naglasiti za koji kut nagiba je montirana svjetiljka izrađena.

## 4.4. Klasifikacija površine kolinka

Klasifikacija površine ceste predstavlja definirane standardne vrijednosti refleksije kolnika preko već poznatih klasa, koje su opisane faktorima Q0, S1, S2. Klase R1, R2, R3 i R4 daju opis promatrane površine. Iz norme CIE 30-2, 1982. i CIE 66, 1984. dobivamo podatke klase prikazane tablicom 4.4.

**Tablica 4.4.** *Klasifikacija površine kolnika*

| KLASA | OPIS | qo | S1 | S2 |
|---|---|---|---|---|
| R1 | Betonski kolnik; sa 80% agregatnih dodataka koji vire iz mase asfalta | 0,10 | 0,25 | 0,53 |
| R2 | Novi lijevani asfalt; sa 60% agregatnih dodataka koji imaju veličinu zrna do 10 mm | 0,07 | 1,11 | 1,80 |
| R3 | Istrošeni hrapavi asfalt; veličina zrna do 10 mm | 0,07 | 1,11 | 2,38 |
| R4 | Glatki asfalt; istrošeni asfalt | 0,08 | 1,55 | 3,03 |

# 5. ANALIZA JAVNE RASVJETE

Glavna zadaća javne rasvjete je ravnomjerno osvjetliti prometnice što bliže propisanoj vrijednosti sa što manjim efektom blještanja kako bi se povećala sigurnost u kretanju i osigurala što bolja vidljivost sudionicima u prometu.

U ovom poglavlju simuliran je isti model kolnika sa tri različita izvora svjetlosti i tri različite optike u dva programa za obradu rasvjete. Rezultati su uspoređeni na razini dobivenih vrijednosti nakon svjetlotehničkog proračuna.

## 5.1. Relux –programska podrška za modeliranje rasvjete

Postoje različiti alati za modeliranje i dizajniranje rasvjete, ali Relux je jedan od prvih široko raširenih. Osim njega spomenit ćemo i Dialux, koji se koristi u iste svrhe. Relux kao i Dialux većinom služi za arhitektonsko planiranje rasvjete. Program je razvijen od strane Relux Informatik AG za stručno projektiranje i otvoren je za sve proizvođače lampi. Tvrtka koja se nalazi u Švicarskoj zadužena je za razvoj, distribuciju, proizvodnju softwarea i kataloge proizvoda. 1998.godine Relux je u bazi je imao samo tri proizvođača rasvjetnih tijela, a danas je standard u svijetu planiranja rasvjete.

Relux je moćan alat koji daje opsežne svjetlotehničke proračune unutarnje i vanjske rasvjete i na jednostavan način omogućava postavljanje položaja svjetiljki, predmeta i namještaja. Program putem plug in mogućnosti nudi digitalan izbor svih tipova svjetiljki različitih proizvođača te omogućava modeliranje prostora i daje vizualizaciju prostora s objektima. Kada se odabere željena rasvjeta ona se uvodi u zadani prostor, a zatim se rezultati prikazuju alfanumerički i grafički.

## 5.2. Izračun svojstava javne rasvjete

Pri projektiranju javne rasvjete potrebno je za konkretan prostor odabrati geomeriju i elemente instalacije te utvrditi svjetlotehničke zahtjeve, prema izvoru [1]. Ovisno o mjerilima kvalitete javne rasvjete za njihovo su izračunavanje utvrđeni određeni svjetlotehnički proračuni.

Suvremeni računalni programi danas se koriste za izračune svjetlotehnike. Oni omogućuju brzo isčitavanje svih traženih vrijednosti osnovnih parametara kvalitete rasvjete. Računalni se programi temelje na poznatim izrazima:

- Sjajnost u točki T računa se metodom točaka prema izrazu:

$$L_T = \frac{I(C,y)}{h^2} \cdot r(\beta,\gamma)$$

- Rasvijetljenost u točki T računa se metodom točaka prema izrazu:

$$E_T = \frac{I(C,y)}{h^2} \cdot cos^3 y$$

- Porast praga izračunava se prema izrazu:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_V}{L_m^{0.8}}$$

Računalni programi poput Reluxa omogućuju izračun svih parametara geometrije na temelju zadanih vrijednosti mjerila kvalitete sustava. Nakon izračuna program izbacuje vrijednosti te trodimenzionalni prikaz sustava s iso-lux krivuljama na kolniku.

Nekada se svjetlotehnika izračunavala ručno što je izrazito složeno jer proračun treba obuhvatiti svaku svjetiljku na promatranom profilu. Potrebno je i kombinirati izračune dvaju ili više svjetiljaka respektivnog profila ceste. Kada se izvrše svi izračuni, rezultat je krivo odabrana svjetiljka, pa se ručni izračun obično radi iz početka.

Pri ručnom proračunu luminancije i blještanja prvo je potrebno odrediti mogući položaj promatrača u odnosu na kolnik. Položaj promatrača je u ravnini njegovih očiju iznad cestovne površine, njegove uzdužne udaljenosti od početka cestovne površine, te njegovog položaja okomito na kolnik.

Za proračun sjajnosti uzima se proračunsko polje između dva izvora svjetlosti koje najbolje karakterizira rasvjetljenu površinu. Obično je to polje između druge i treće lampe na kolniku. Geometrija promatranog polja za proračun u obzir mora uzeti barem pet izvora svjetlosti, jedan ispred utvrđenog polja, dva unutar polja i dva iza proračunskog polja.

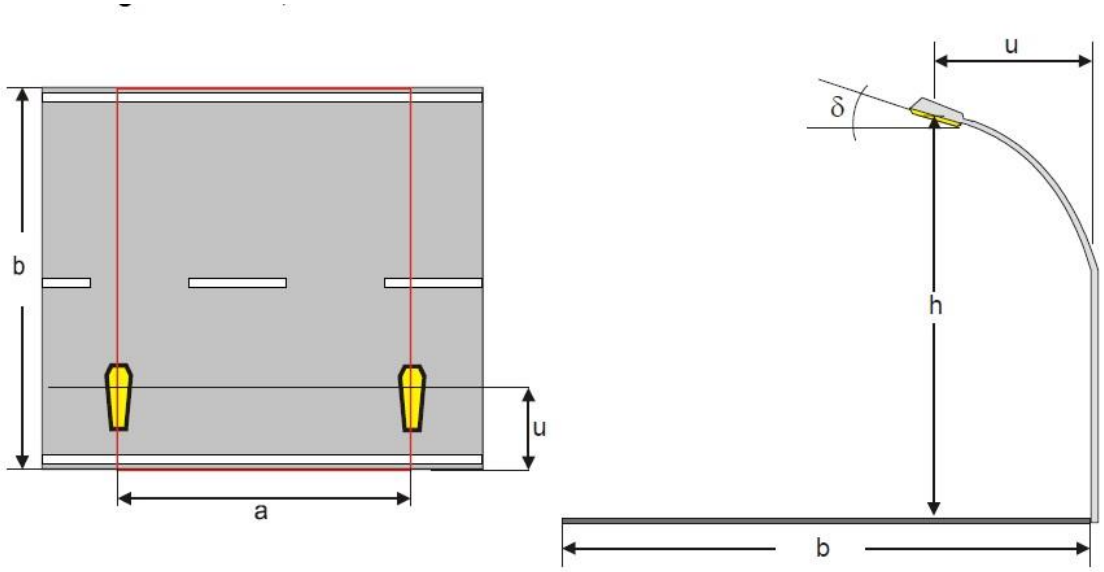
Za proračun vrijednosti relativnog porasta praga TI , promatrač treba biti u položaju u kojem će fiziološko blještanje biti najveće, sukladno izvoru [1]. Blještanje će biti najveće za uzdužni položaj promatrača pri kojemu je prvi izvor u vidnom polju vozača.

Proračunsko polje za izračun rasvijetljenosti površine kolnika treba biti u smijeru ceste unutar dvaju izvora svjetlosti, a poprečno na cestu treba pokrivati cijelu njenu širinu. Pet točaka po dužini polja i jedna po sredini svakog prometnog traka daju zadovoljavajuću točnost. Ako je potrebna veća točnost preporuča se uzeti metodu devet točaka kao kod proračuna luminancije.

## 5.3. Modeliranje javne rasvjete u RELUX-u

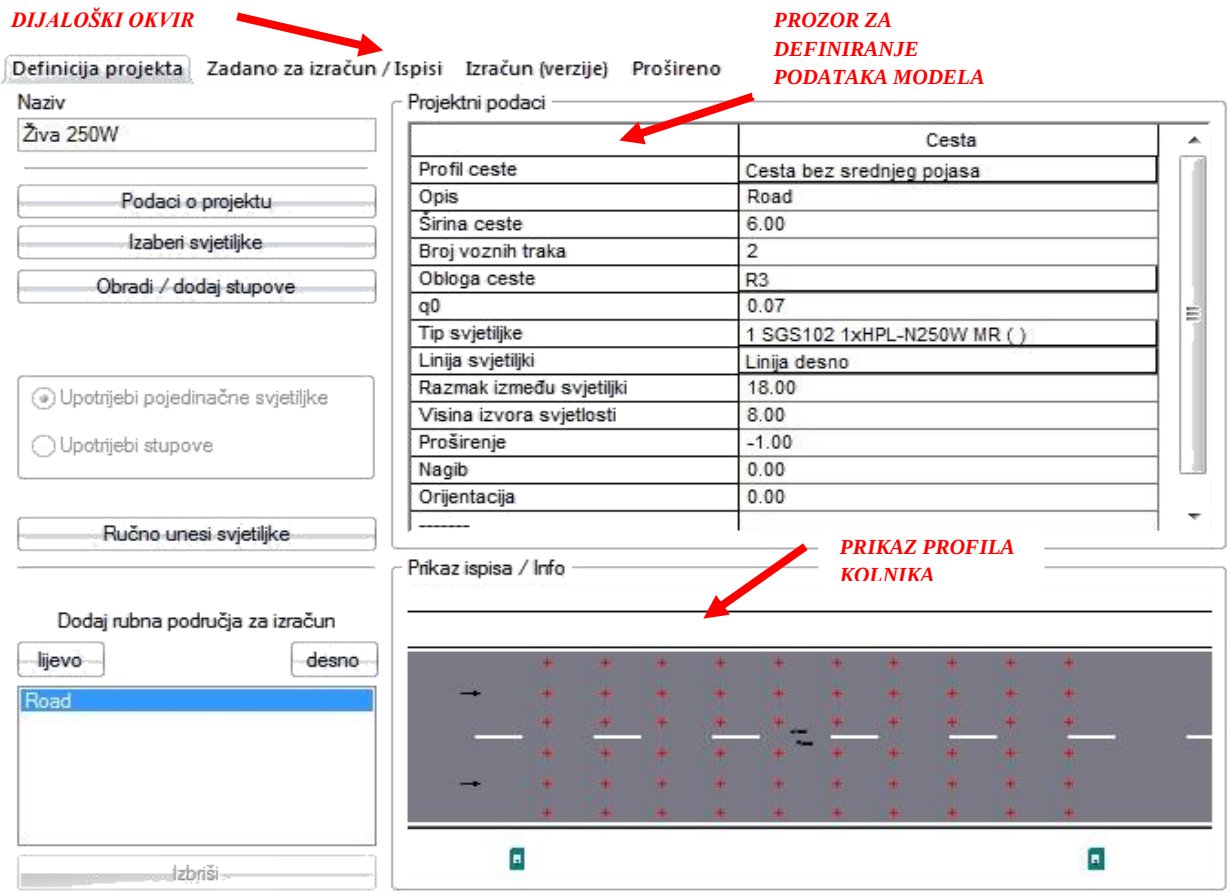
U programu Relux modeliran je kolnik sa svjetlosnom geometrijom koji je odabran za analizu javne rasvjete. Izvršene su tri simulacije sa tri različita izvora svjetlosti i karakterističnim lampama, napravljena je simulacija te su dobiveni rezultati uspoređeni.

Zadatak rada je modelirati eksterijer pomoću programskog alata Relux te nakon te analizirati rasvjetu modeliranog prostora. Pritom je potrebno odrediti komponente rasvjetnog sustava te navedene preporučene vrijednosti rasvjete za svaku zadanu komponentu. Zadani prostor modeliran je u dvije faze. Prvo je određena geometrija sustava javne rasvjete, a zatim izabran izvor svjetlosti i pripadajuća svjetiljka. Nakon proračuna izdvojeni su rezultati sjajnosti, jednolikosti, blještanja i odnosa prema okolini u tablicama te grafički prikazani faktori homogenosti na kolniku.




**Slika 5.1.** *Geometrija JR* [20]

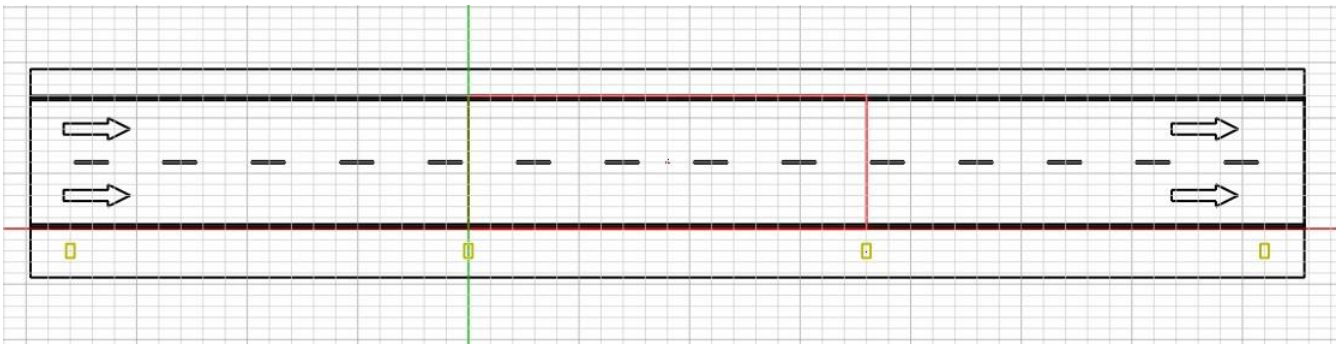
U dijaloškom okviru potrebno je prvo točno definirati profil ceste. Odabran je kolnik širine 6 m, sa dvosmjernim prometom i jednostranim rasporednom stupova. Kod jednostranog rasporeda mora se rasvjetliti cijela širina kolnika, pa poželjna visina montaže u tom slučaju mora biti u skladu sa širinom kolnika Svjetiljka je na visini od 8 m sa udaljenošću od kolnika 1 m. Razmak između stupova je 18 m. Obloga ceste je R3 što znači da je kolnik hrapavi asfalt sa veličinom zrna do 10 mm. Sukladno tome q0 je 0,07. Proračun je izvršen uz faktor održavanja 0,8 što znači da bi svjetiljke trebalo relativno često održavati kako bi razina rasvijetljenosti bila zadovoljena. Na slici 5.2. prikazan je postupak definiranja modela u Relux-u.




**Slika 5.2.** *Definiranje modela JR u RELUX-u*

**Tablica 5.1.** *Zadani parametri sa pripadnim vrijednostima*

| PARAMETRI | VRIJEDNOSTI |
|---|---|
| Prifil ceste | Dvosmjerni promet |
| Širina kolnika | 6,00m |
| Broj voznih traka | 2 |
| Obloga ceste | R3 |
| q0 | 0,07 |
| Postavljanje svjetiljki | Linija desno |
| Visina izvora svjetlosti | 8,00m |
| Razmak između svjetiljki | 18,00m |
| Svjetiljka od ruba kolnika | -1,00m |
| Nagib svjetiljke | 0,00$^{o}$ |
| Faktor održavanja | 0,80 |



**Slika 5.3.** *Tlocrt kolnika sa pozicioniranim lampama*

Drugi korak je odabir svjetiljki i izvora svjetlosti. Već je ranije definirano da će se za tri različita izvora svjetlosti izvršiti ista simulacija modela. Svjetiljke se u Relux-u mogu definirati ručno prema dužini polja. Dužina polja određuje razmak između linija svjetiljki. Osim ručnog postavljanja lampi postoji i automatski izračun koji software sam odradi. Prilikom preciznog razmještaja rasvjete  korištena je mreža proračunskih točaka koja je predodređena u samom programu. Odabrane su svjetiljke različitih optika proizvođača Philips Lightning. Prvi svjetiljka je Philips Malaga sa zaobljenom optikom , živinim izvorom svjetlosti i snagom od 250 W. Ovakav izvor svjetlosti ima konvencionalnu, elektromagnetsku prigušnicu . Druga simulacija rađena je sa poluzasjenjenom svjetiljkom ravne optike, proizvođača Philips, tip Selenium. Snaga žarulje je 100

W. Zadnja vrsta je LED izvor u PHILIPS Clear Way full cut off lampi sa ravnom optikom. Snaga žarulje je 58W.

**Tablica 5.2.** *Podaci o svjetiljkama i izvorima svjetolsti*

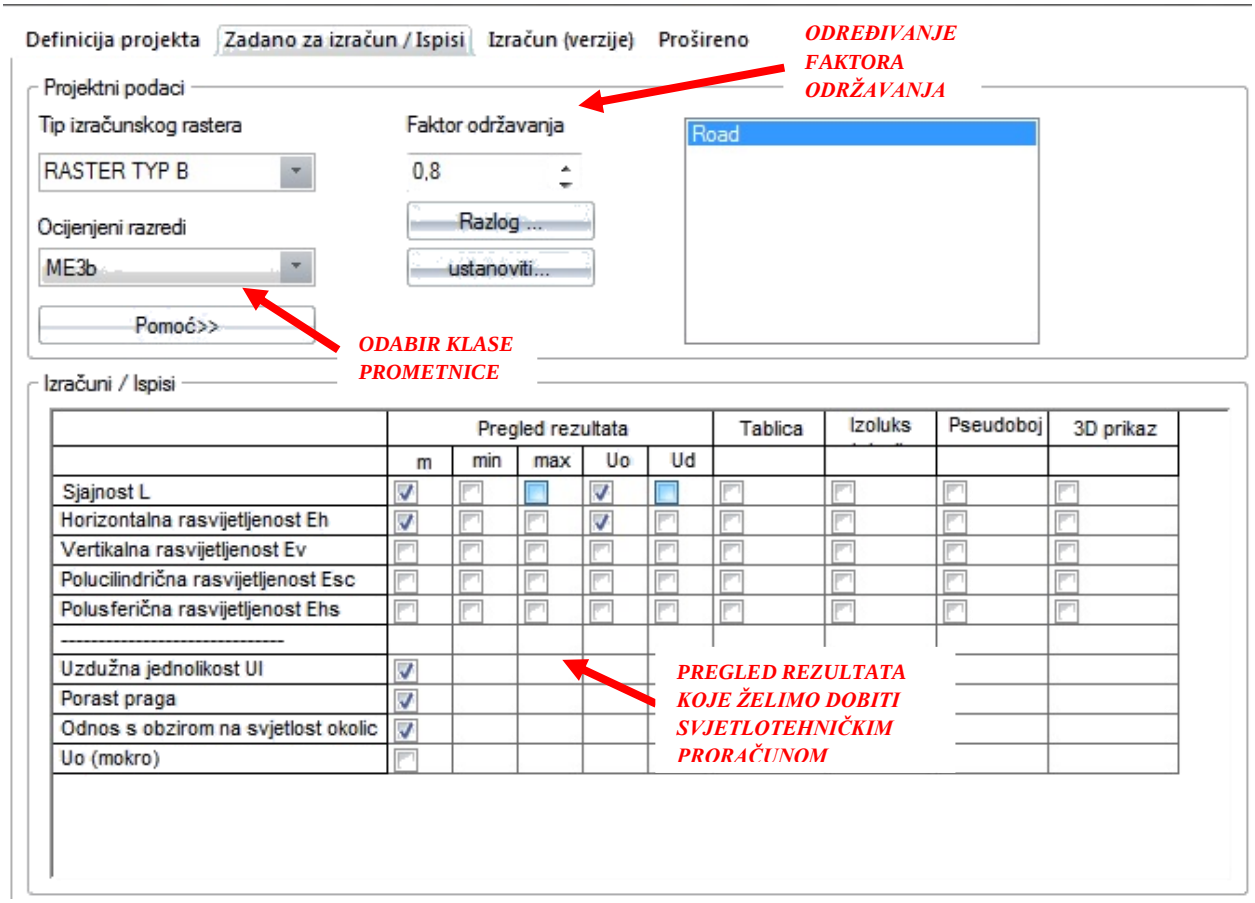
| | **ŽIVA** | **VISOKOTLAČNI NATRIJ** | **LED** |
|---|---|---|---|
| PROIZVOD | Philips Lighting | Philips Lighting | Philips Lighting |
| NAZIV SVJETILJKE | SGS102 **Malaga** | SGP340 FG **Selenium** | BGP303 **ClearWay** |
| IZVOR SVJETLOSTI | 1xHPL_N**250W** 274W/12700 lm | 1xSON_TPP**100W** 114W/10700 lm | 1 x LED73_3S/740 **58W** 7500 lm |
| IZGLED TIPA SVJETILJKE |  |  |  |

Zadnji parametar koji je potrebno zadati prije puštanja simulacije je određivanje klase prometnice. Zadana ulica ima srednju brzinu prometa te razdvojene kolnike za pojedine sudionike u prometu. Raspored izvora svjetlosti je jednostran. Ovakav raspored se primjenjuje na svim vrstama prometnica do tri prometna traka jer je jednostavan i ekonomičan. Rasvjeta takvog tipa ulice pripada klasi rasvjete ME3b prema normi HRN EN 13201:2008--2.dio: Zahtjevana svojstva. U tablici 5.3. prikazani su zahtjevi za klasu prometnice ME3b prema normi HRN EN 13201:2008 -- 2.dio

**Tablica 5.3.** *Zahtjevi za klasu prometnice ME3b*

| | **Lm**[cd/m$^2$] | **$U_0$** | **$U_L$** | **TI [%]** | **SR** |
|---|---|---|---|---|---|
| **ME3b** | ≥1,00 | ≥0,4 | ≥0,6 | ≤15 | ≥0,5 |

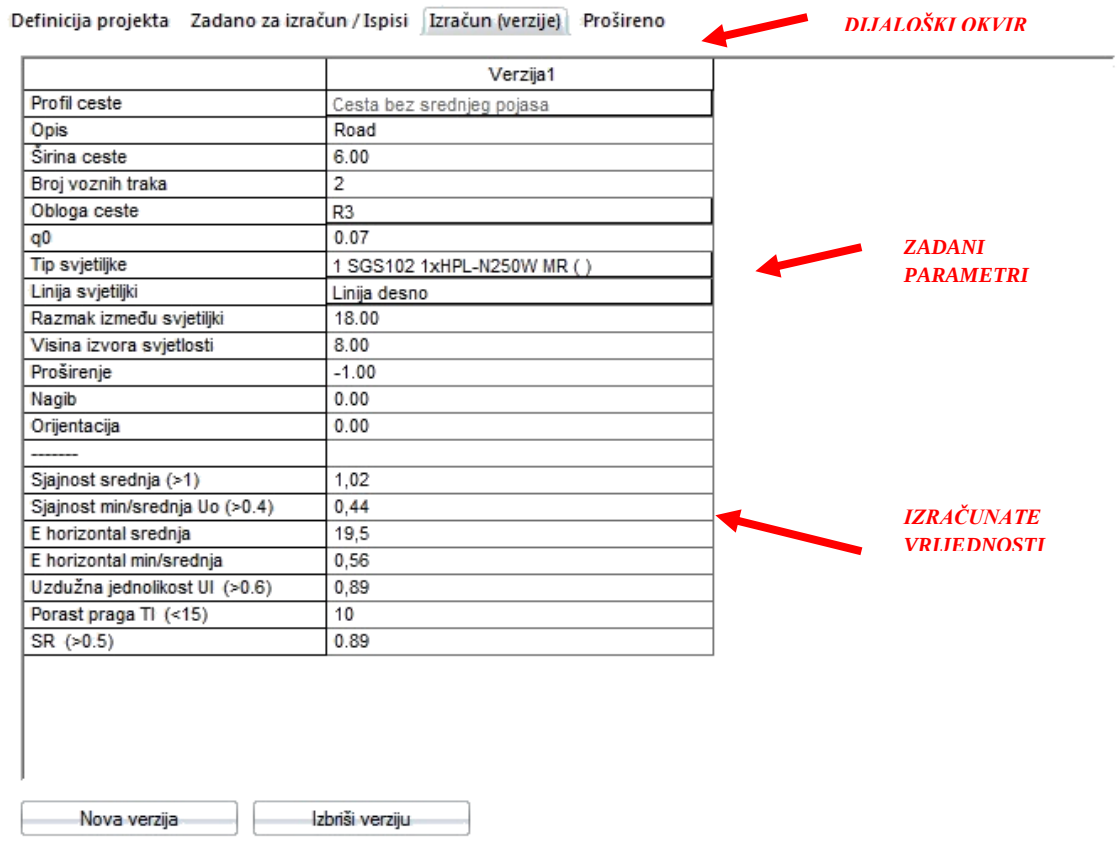
Na slici 5.4. prikazan je odabir klase prometnice i faktora održavanja. Osim toga postoji mogućnost odabira parametara koje želimo dobiti nakon svjetlotehničkog proračuna.




**Slika 5.4.** *Odabir ispisa JR u RELUX-u*

Nakon što program odradi proračun osim numeričkih parametara, rezultati simulacije prikazani su tablično te grafički.

Na idućoj slici 5.5. prikazani su rezulatati dobiveni tablično nakon simulacije modela. Izračun na pregledan način ispisuje prvo sve zadane parametre zatim odabrane dobivene vrijednosti nakon simulacije.

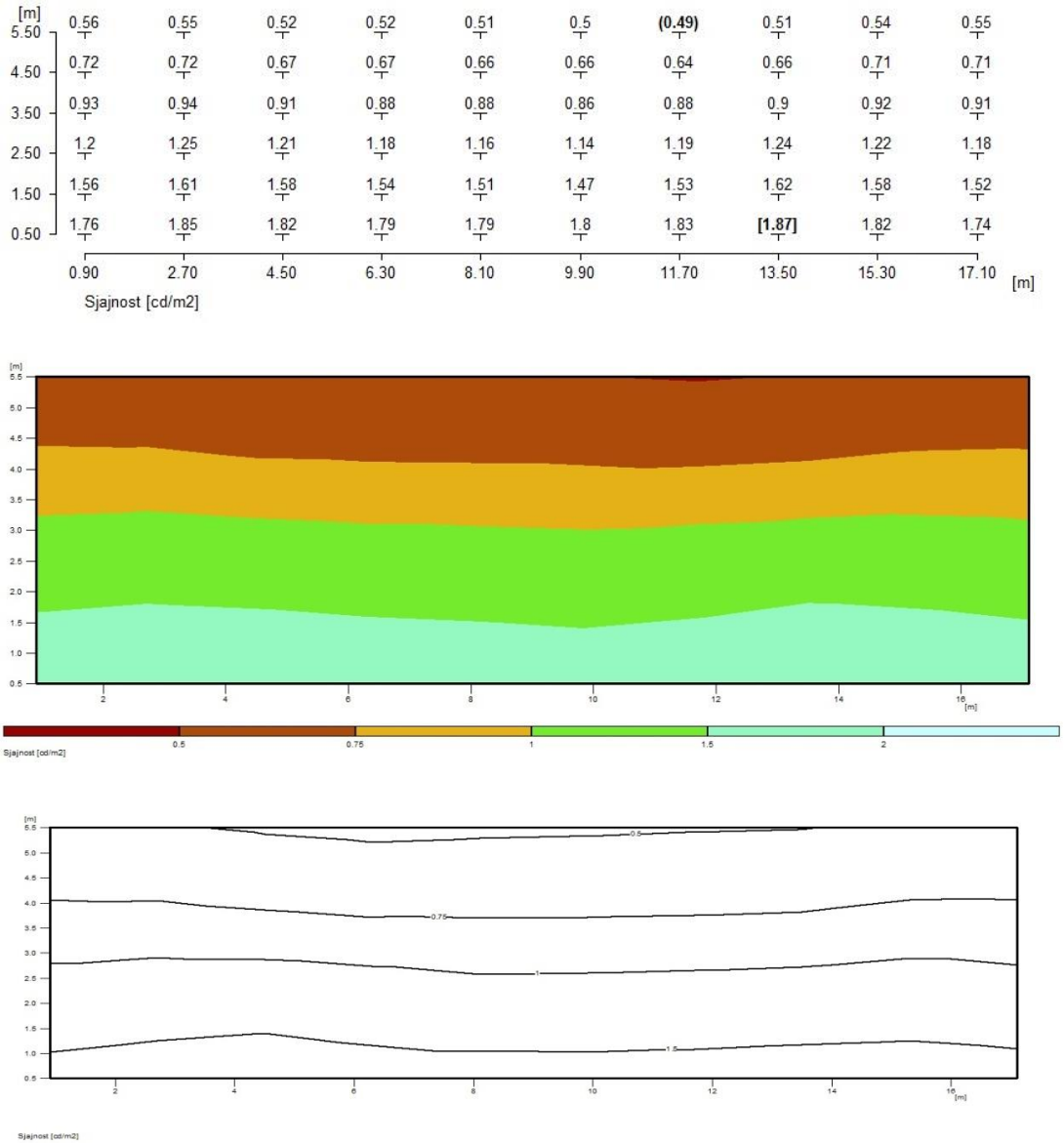



| | Verzija1 |
|---|---|
| Profil ceste | Cesta bez srednjeg pojasa |
| Opis | Road |
| Širina ceste | 6.00 |
| Broj voznih traka | 2 |
| Obloga ceste | R3 |
| q0 | 0.07 |
| Tip svjetiljke | 1 SGS102 1xHPL-N250W MR ( ) |
| Linija svjetiljki | Linija desno |
| Razmak između svjetiljki | 18.00 |
| Visina izvora svjetlosti | 8.00 |
| Proširenje | -1.00 |
| Nagib | 0.00 |
| Orijentacija | 0.00 |
| ------- | |
| Sjajnost srednja (>1) | 1,02 |
| Sjajnost min/srednja Uo (>0.4) | 0,44 |
| E horizontal srednja | 19,5 |
| E horizontal min/srednja | 0,56 |
| Uzdužna jednolikost Ul (>0.6) | 0,89 |
| Porast praga TI (<15) | 10 |
| SR (>0.5) | 0.89 |

**Slika 5.5.** *Ispis rezultata simulacije modela tablično*

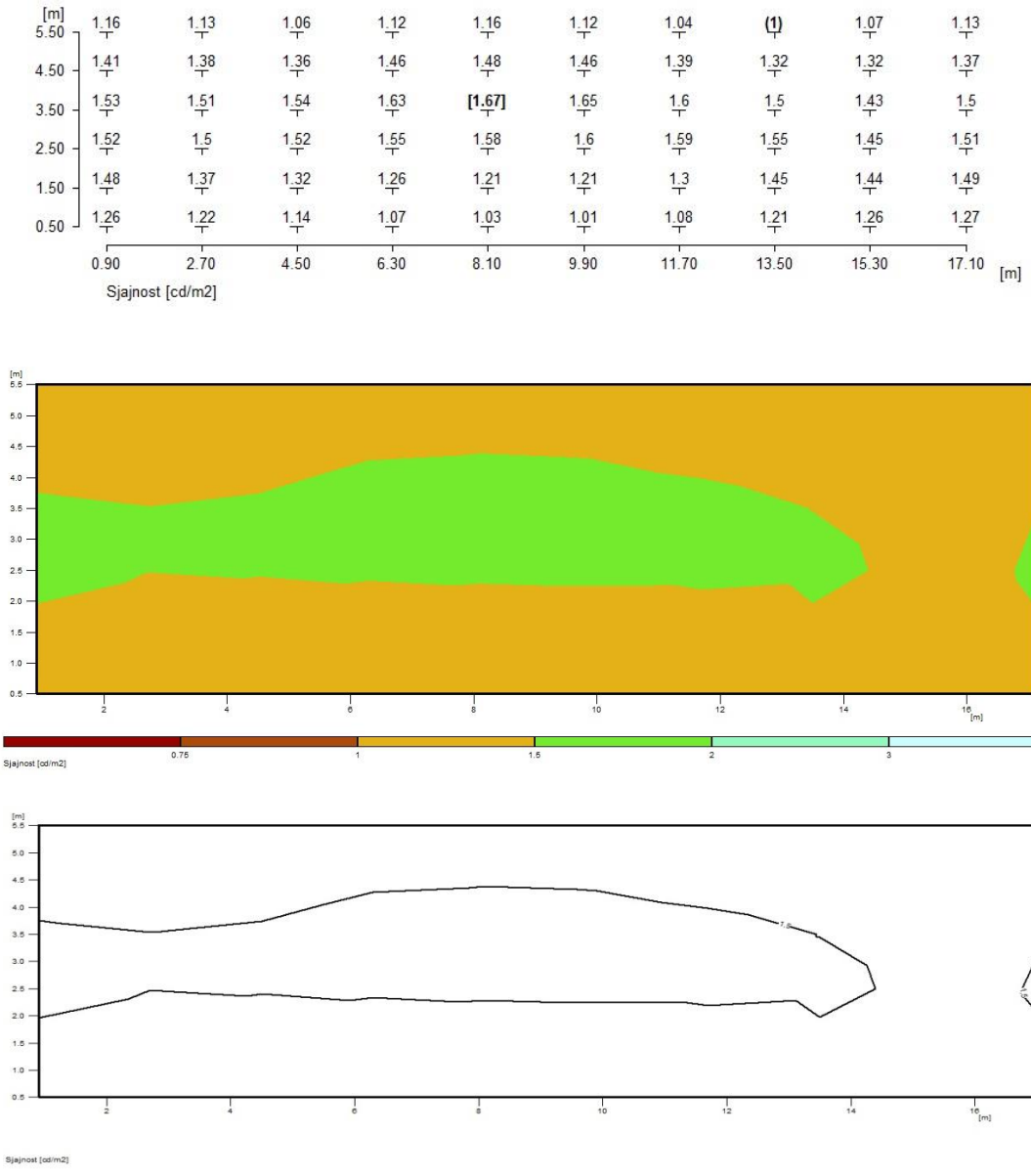
S obzirom da je za prometnicu odabrana ME3b klasa za motorni promet, promatrat će se sjajnost kolnika prema normi HRN EN 13201. Za njih je kao mjerilo kvalitete utvrđena luminancija površine kolnika.

Najvažnija veličina koju je potrebno imati u vidu pri projektiranju javne rasvjete je luminancija. Svjetlost koja iz svjetiljke pada na cestu, reflektira se od njene površine u oko promatrača, koji je percipira kao sjajnost. Ukoliko je luminancija jaka, ona može omesti sudionike u prometu, zato je važno usporediti dobivenu vrijednost luminancije kolnika sa optimalnom vriednosti zadanu normom. Na slici 5.6. prikazano je tablično, pseudo bojama i izoluks krivuljama vrijednost luminancije zadanog kolnika za Philips Malaga svjetiljku, živinog izvora svjetlosti.



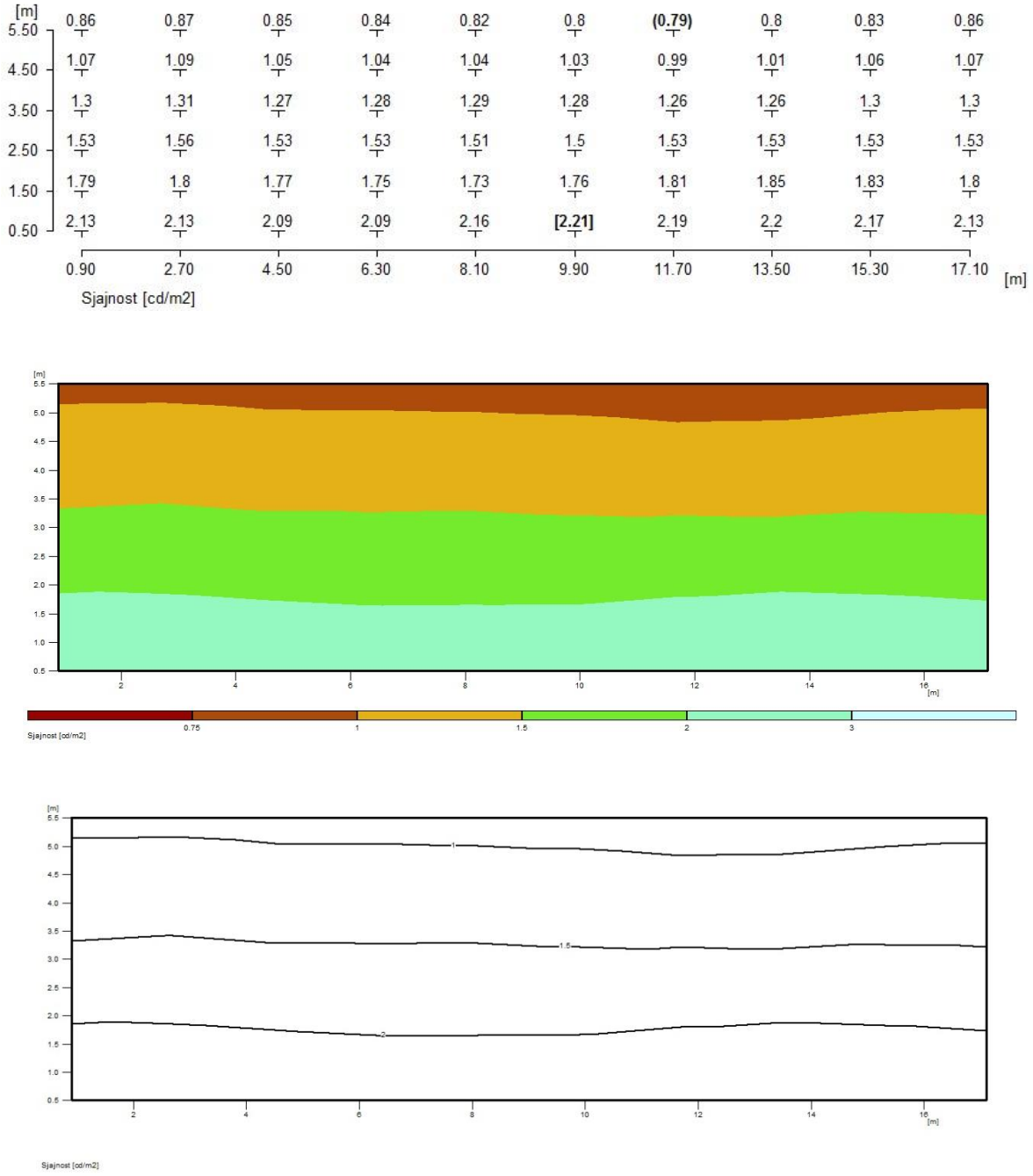

**Slika 5.6.** *Prikaz sjajnosti kolnika za **živin izvor** svjetlosti u pojedinim točkama, te pomoću izolinija i pseudo boja*

U većini slučajeva na prometnici je potrebna sjajnost kolnika između 1 i 2 cd/m$^2$ što je otprilike 10 do 20 luxa horizontalne rasvijetljenosti na površini kolnika. Također je potrebna kontrola ravnomjernosti rasvijetljenosti. Ukoliko se pojavljuju tamne zone sjajnosti ispod 40 % srednje sjajnosti kolnika ceste, rezultat su opasne situacije na cesti. Na slici 5.7. vidimo sjajnost kolnika tablično , pseudo bojama i izoluks krivuljama za Philips Selenium, snage 100 W




**Slika 5.7.** *Prikaz sjajnosti kolnika za **visokotlačni natrij** u pojedinim točkama, te pomoću izolinija i pseudo boja*

Na slici 5.8. prikazani su rezultati luminancije kolnika tablično, pseudo bojama i izoluks krivuljama sa LED izvorom Philips Clear Way-a




**Slika 5.8.** *Prikaz sjajnosti kolnika za **LED** u pojedinim točkama, te pomoću izolinija i pseudo boja*

Možemo zaključiti da različiti izvori daju različite vrijednosti sjajnosti za iste geometrije sustava javne rasvjete. Visokotlačni natrij najviše odstupa u sjajnosti ako pogledamo sheme pseudo boja. Cijeli kolnik je prekriven gotovo istim vrijednostima koje se kreću između 1 cd/m$^2$ i 1,5 cd/m$^2$. Živina žarulja i LED izvor svjetlosti sličniji su po vrijednostima sjajnosti na kolniku ali

postoji ogromna razlika u snazi i učinkovitosti izvora svjetlosti. Lampa sa živom daje vrijednosti oko 1,8 cd/m$^2$ na kolniku direktno ispod stupa , dok u najudaljenijoj točki od izvora na kolniku svjetiljka postiže sjajnost od oko 0,5 cd/m$^2$. LED lampa u točkama neposredno ispod izvora drži vrjednost luminancije  preko 2 cd/m$^2$., dok u točkama da drugoj strani kolnika poprima vrijednost od 0,8 cd/m$^{2\cdot}$.

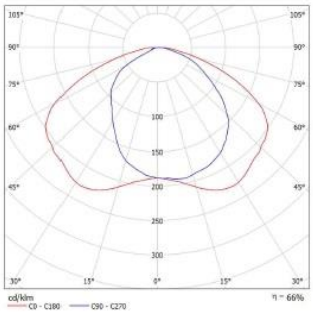
Znatno manja snaga LED-a od ostalih izvora, sa potpuno zasjenjenom svjetiljkom, ravne optike daje najbolje vrijednosti luminancije uzduž cijelog kolnika.

## 5.4. Modeliranje javne rasvjete u DIALUX-u

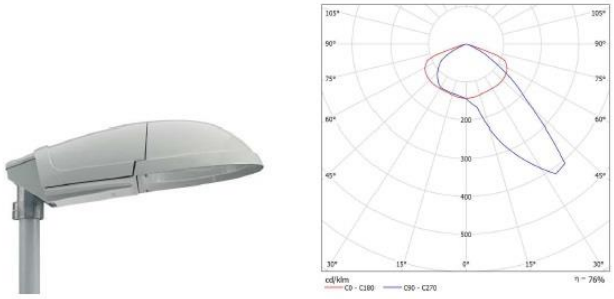
Modelirani primjer kolnika simuliran je i u DIALUX-u. DIALUX je međunarodni alat za izračun rasvjete i vizualizaciju. Pruža brze i točne izračune, detaljne analize rezultata i realistične vizualizacije. Sam alat je nešto složeniji od Reluxa te kroz više koraka dolazi do istih rezultata. Relux je praktičniji , brži ali i oskudniji u rezultatima. U oba programa puštene su iste simulacije, sa istim ulaznim parametrima, a zatim su dobiveni rezultati svjetlotehničkog proračuna uspoređeni međusobno i sa preporučenim vrijednostima iz normi. Sukladno parametrima u prethodnom poglavlju iz tablice 5.2. simuliran je isti model.

Na slikama  su prikazane  lampe sa danim polarnim dijagramima iz Dialux kataloga prema svjetlotehničkom proračunu iz priloga.



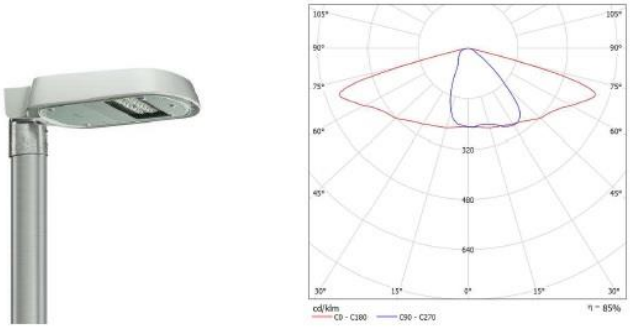



**Slika 5.9.** *Svjetiljka Malaga sa karakterističnim polarnim dijagramom*



**Slika 5.10.** *Svjetiljka Selenium sa karakterističnim polarnim dijagramom*

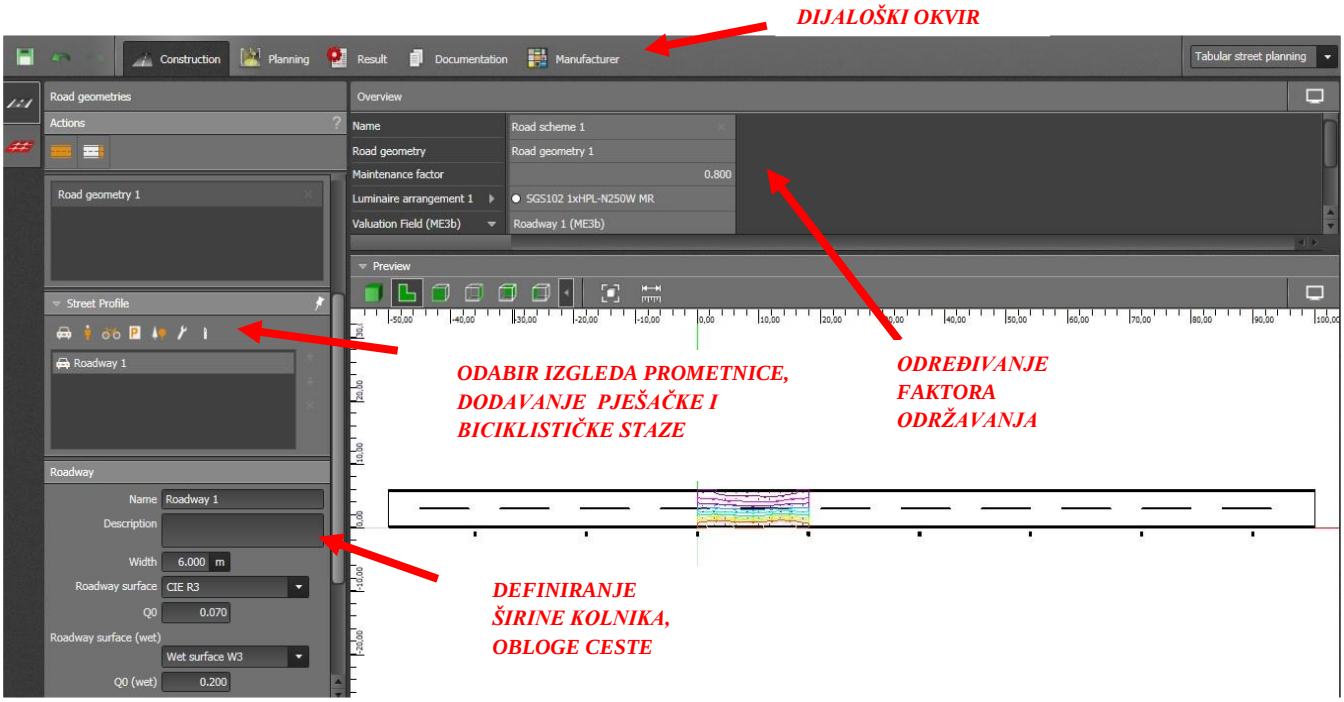
Svjetiljka sa slike 5.9. je svjetiljka za vanjsku rasvjetu sa simetričnim svjetlosnim tokom, dok lampa koju prikazuje slika 5.10. predstavlja LED svjetiljku za javnu rasvjetu sa asimetričnim svjetlosnim tokom.



**Slika 5.11.** *Svjetiljka ClearWay sa karakterističnim polarnim dijagramom*

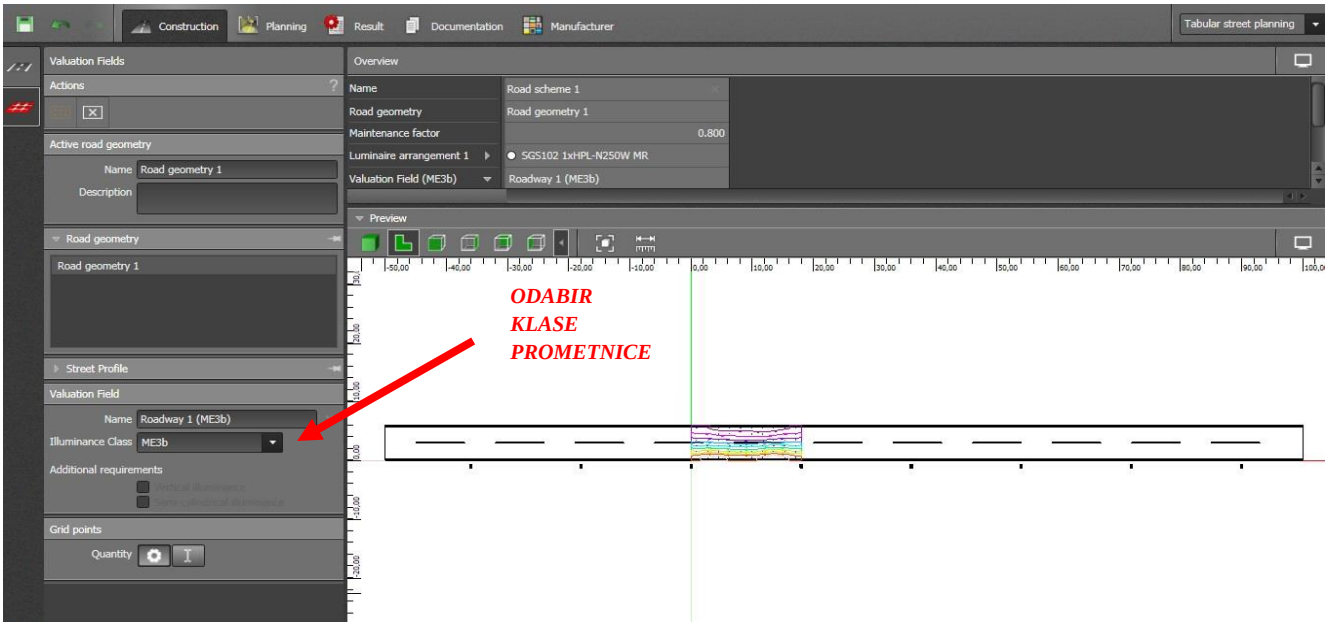
Dialux za razliku od Reluxa nije usko specijaliziran za vanjsku rasvjetu. Relux do rezultata dolazi u puno kraćem vremenu. Na slici 5.12. prikazan je prozor referentnog modela u Dialux-u.

Prvi korak u Dialux-u za izradu modela javne rasvjete je konstrukcijsko definiranje ceste. Odabire se izgled referentne površine, dodaju se pješački prijelazi, biciklističke staze, zelene površine. Upisuje se širina kolnika i vrijednosti obloge ceste.




**Slika 5.12.** *Definiranje modela u DiaLUX-u*

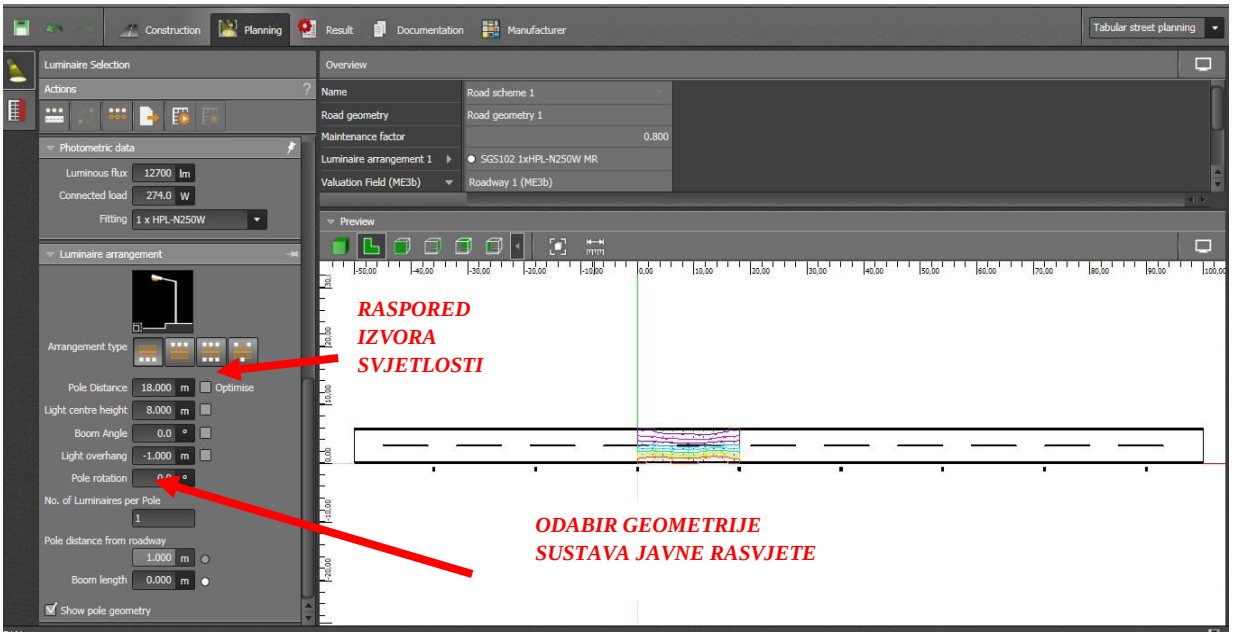
Drugi korak izrade modela u Dialux-u je odabir i upis klase prometnice za referentnu površinu




**Slika 5.13.** *Odabir klase prometnice u DiaLUX-u*

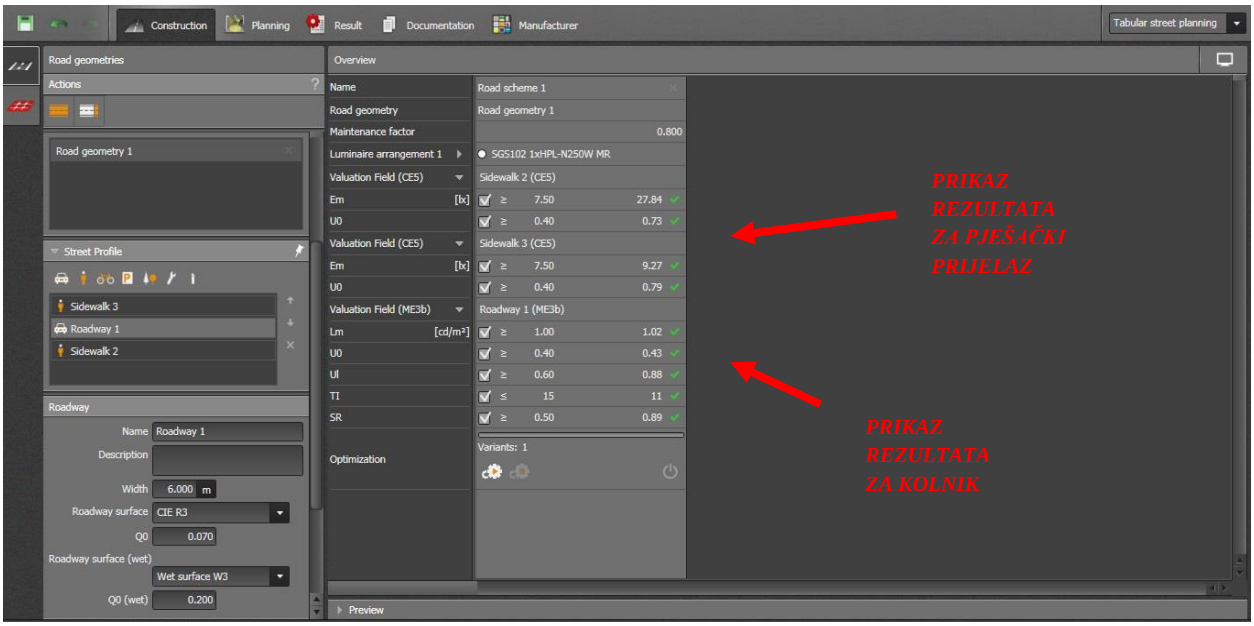
Nakon konstrukcije kolnika i odabira klase prometnice potrebno je izabrati svejtiljku te odrediti geometrijski raspored izvora svjetlosti. U ovom primjeru lampa se postavlja na stup visine

8m, razmak između stupova je 18 m i udaljenost stupa od kolnika je 1m. Svjetiljke su postavljene jednostrano .




**Slika 5.14.** *Odabir rasporeda svjetiljki DiaLUX-u*

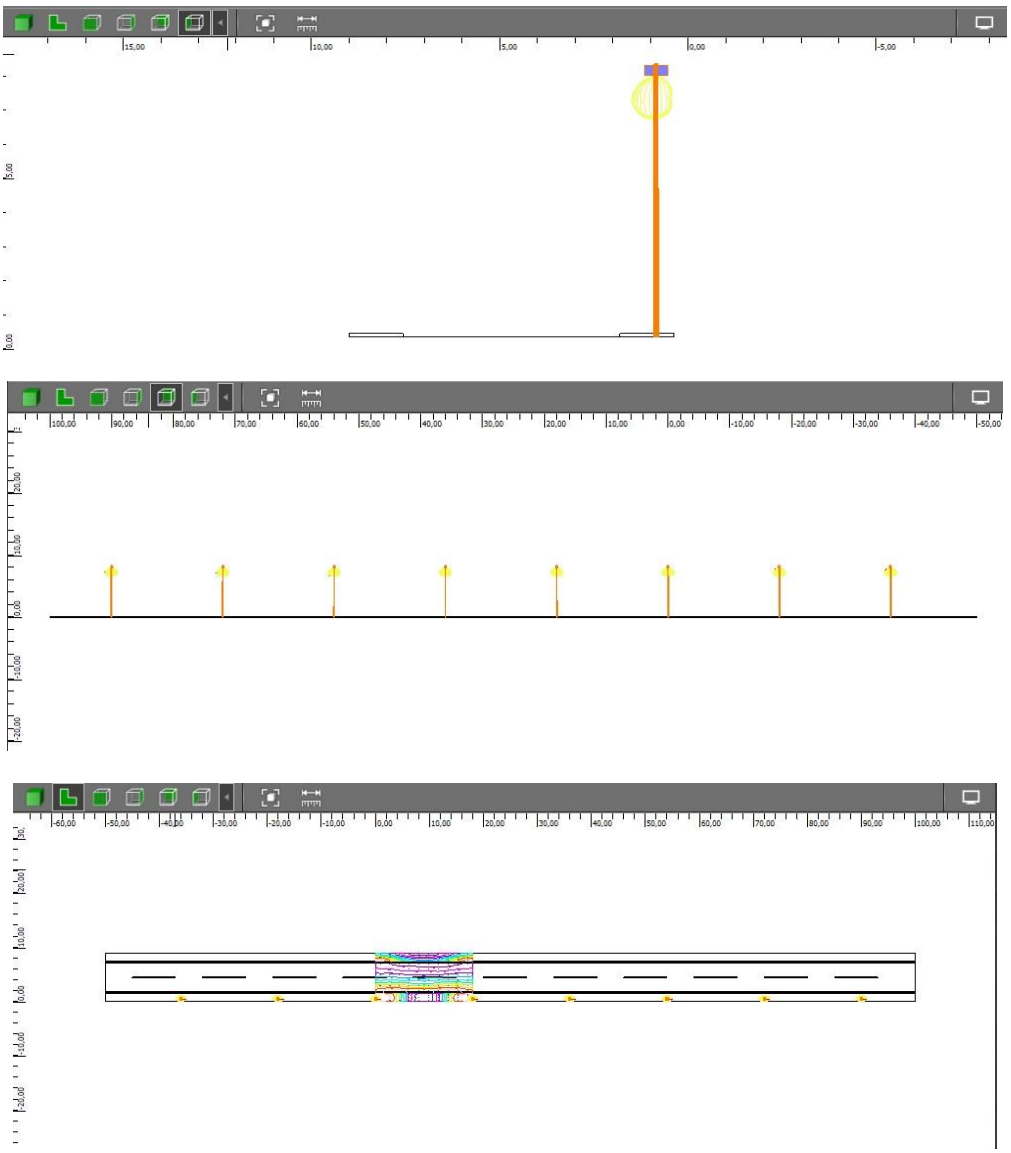
Na slici 5.15. prikazani su rezultati simulacije nakon unosa potrebnih parametara. Vidimo po zelenim kvačicama da kolnik i pješački prijelaz zadovoljavaju zadane norme. Izlazne vrijednosti nalaze se u optimalnim granicama.

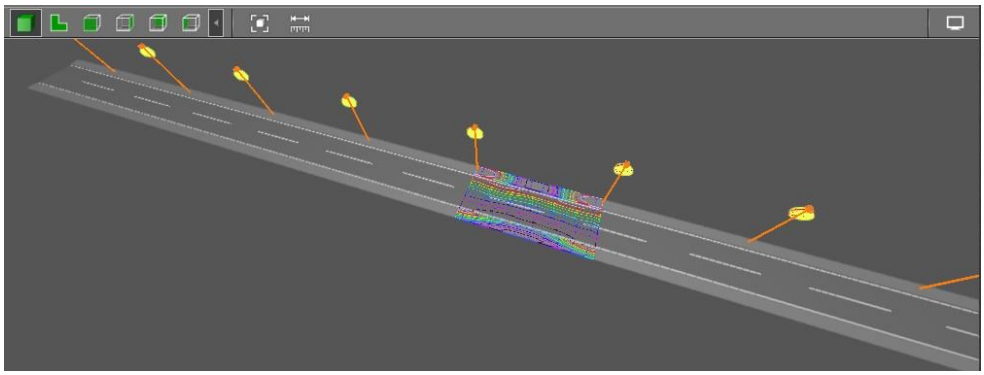



**Slika 5.15.** *Prikaz rezultata u DiaLUX-u*

Dialux nudi puno više mogućnosti i informacija nego Relux, ali Relux na jednostavniji način dolazi do rezultata koji su u konačnici gotovo isti kao kod Dialux-a. Oba programa imaju široku primjenu i zavisno o korisnikovim potrebama treba odlučiti kojim se služiti.

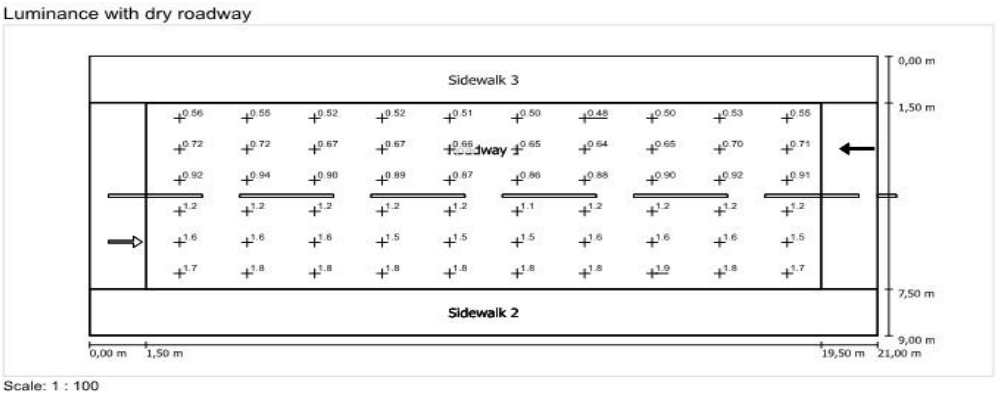
Na slici 5.16. vidimo mogućnost različitih prikaza referentnog modela. Prva slika prikazuje bočni pogled sa lijeve strane na kojoj vidimo jednu svjeiljku sa njenom polarnom karakteristikom. Druga slika prikazuje pogled sa stražnje strane kolnika, iza rasvjetnih stupova. Treći prikaz je tlocrtni sa označenim izoluks krivuljama na kolniku i na pješačkom prijelazu. Zadnja mogućost pogleda referentnog modela je u 3D prostoru

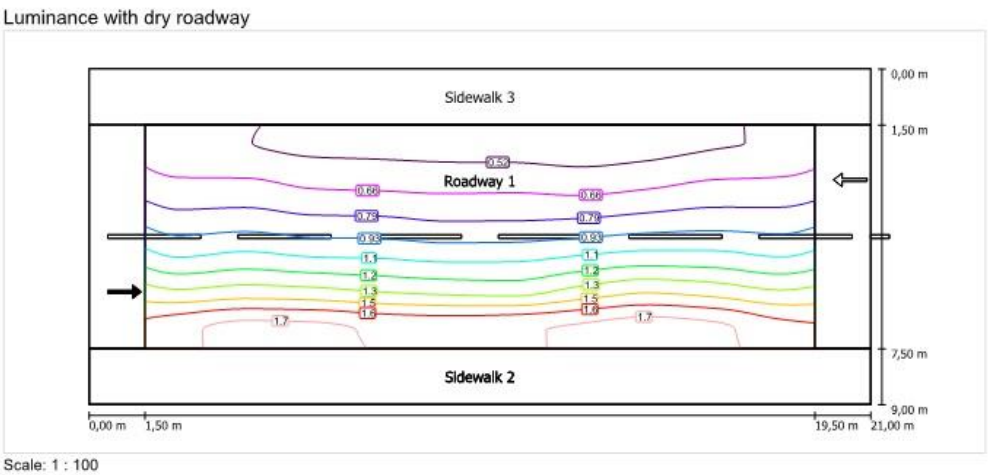




**Slika 5.16.** *Različite mogućnosti pogleda simuliranog modela*

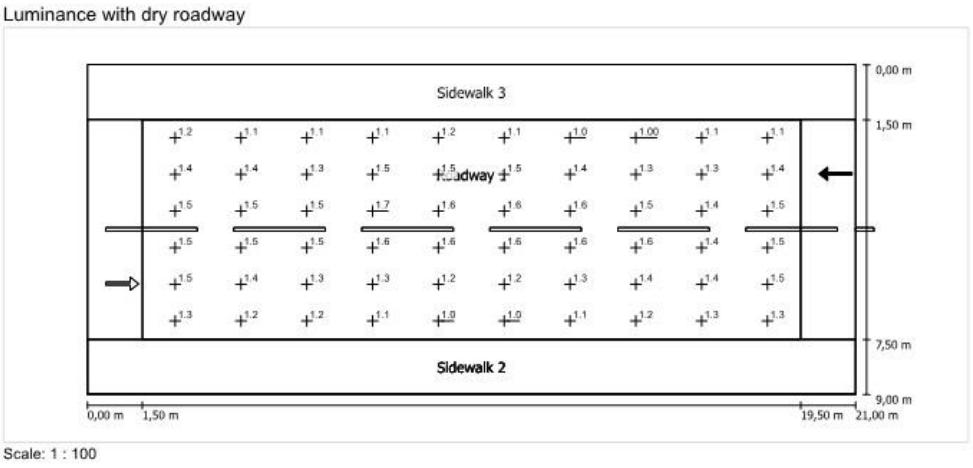
Kao i kod Relux-a, u Dialux-u ćemo prikazati rezultate luminancije kolnika za pojedine izvore svjetlosti. Na slici 5.17. vidi se sjajnost kolnika u pojedinim točkama dužinom ceste za izvor svjetlosti sa živom. Točka promatrača je postavljena u istim koordinatama kao i kod Relux-a, tako da većih odstupanja u vrijednostima ne bi trebalo biti. Osim iznosa luminancije u pojedinim točkama prikazane su i izoluks krivulje u različitim bojama za promatranu površinu kolnika.

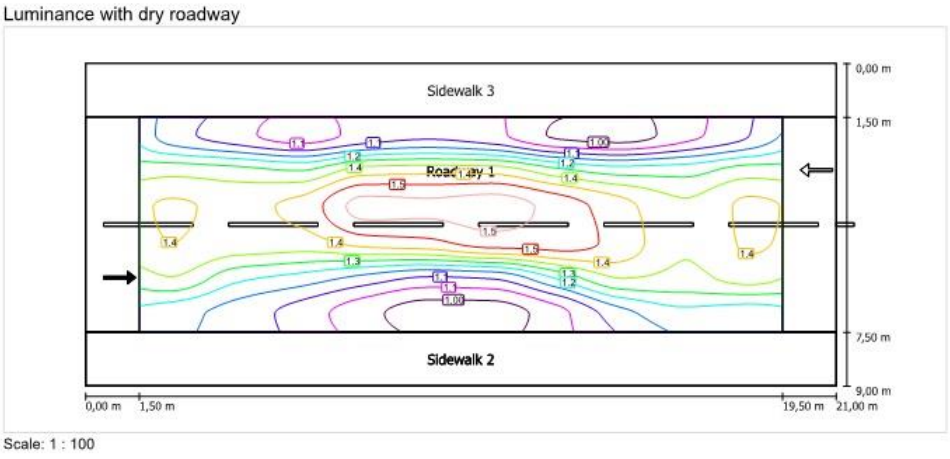


**Slika 5.17.** *Prikaz sjajnosti cijele površine kolnika rasvijetljenosg živinim izvorom svjetlosti u Dialux-u*

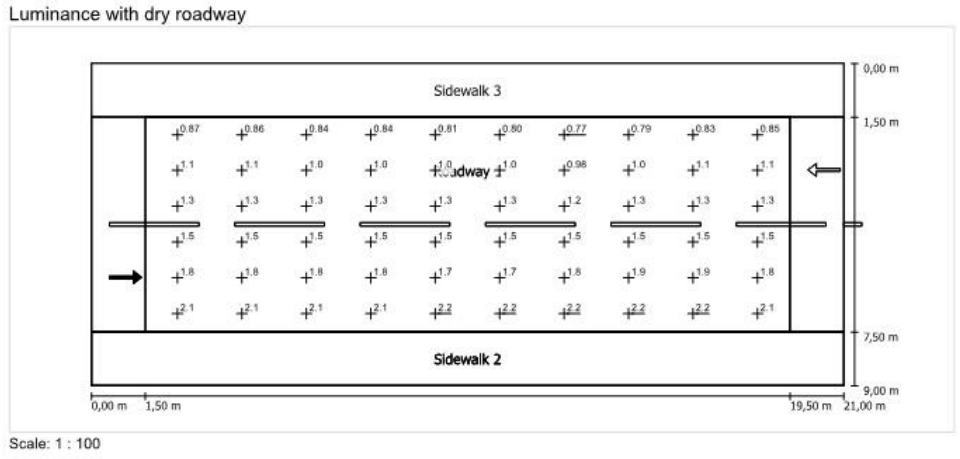
Na idućim slikama vidjet ćemo prikaz kolnika osvjetljenog sa lampom koja u sebi sadrži visokotlačni natrij kao izvor svjetlosti.

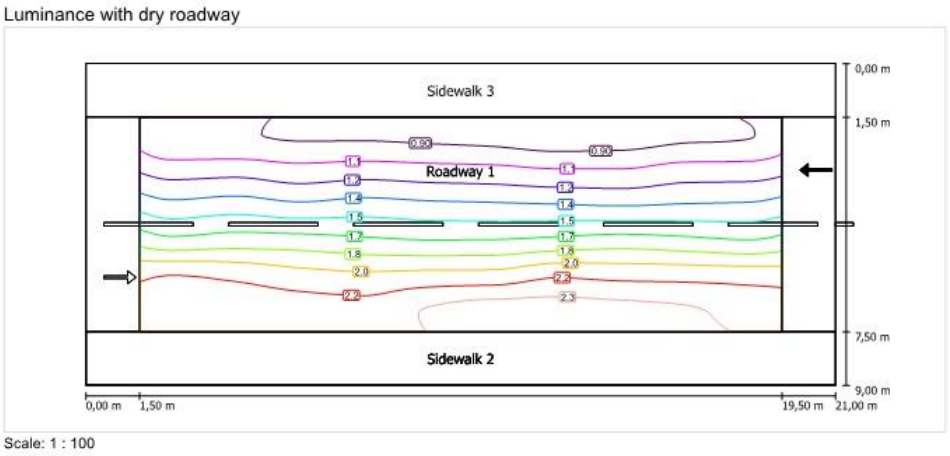



**Slika 5.18.** *Prikaz sjajnosti cijele površine kolnika obasjanog visokotlačnim natrijem u Dialux-u*

Prikazane  krivulje i izgledom i vrijednostima podsjećaju na one dobivene prethodnom simulacijom u Relux-u.




**Slika 5.19.** *Prikaz sjajnosti cijele površine kolnika obasjanog LED izvorom u Dialux-u*

Na slici 5.19. prikazane su vrijednosti luminancije na kolniku sa LED izvorom svjetlosti u određenim točkama i sa izoluks krivuljama.

## 5.5. Usporedba rezultata

U sljedećim tablicama uspoređeni su rezultati na osnovi programa u kojem su proračuni izrađeni. Ako gledamo rezultate na razini izvora svjetlosti vidimo da su odstupanja zanemariva u sva tri slučaja. Do malih razlika može doći ako postoje različitosti u samim postavkama software-a. Na primjer,rezultati će se malo razlikovati ako točke gledišta tj. pozicije promatrača nisu postavljene u istim koordinatama. Većih razlika i odstupanja ne bi smjelo biti jer oba programa rade na isti princip.

**Tablica 5.4.** *Rezultati simulacija za živinu žarulju*

| **Philips – SGS102 1xHPL-N250W MR** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Lm**[cd/m$^2$] | **$U_0$** | **$U_L$** | **TI [%]** | **SR** |
| ***RELUX*** | 1,02 | 0,45 | 0,89 | 10 | 0,89 |
| ***DIALux*** | 1,02 | 0,43 | 0,88 | 10 | 0,89 |
| **ODSTUPANJE** | 0% | 2% | 1% | 0% | 0% |
| **ZADOVOLJENA NORMA** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Ako uspoređujemo odnos dobivenog i uloženog na razini izvora svjetlosti, vidimo da živina žarulja sa duplo jačom snagom od visokotlačnog natrija daje slabije karakteristike. Visokotlačni natrij sa snagom od 100 W daje veću sjajnost nego živina žarulja sa snagom od 250 W. Isto tako živu karakterizira puno veće blještanje nego kod lampi sa visokotlačnim natrijem. Razlike su neznačajne u parametrima sjajnosti, ukupne jednolikosti, uzdužne jednolikosti, blještanja i rasvjetljenosti neposredne okoline u Reluxu i Dialuxu . Sjajnost u Reluxu i Dialuxu se ne razlikuje, razlika ukupne jednolikost $\Delta U_0$ iznosi 2 %, razlika uzdužne jednolikosti iznosi $\Delta U_L$ iznosi 1 %, faktor blještanja iznosi 10 u obje simulacije i na taj način zadovoljava normu HRN EN 13201:2008 isto kao i rasvjetljenost neposredne okoline. Vrijednosti svih pet parametara u usporedbi sa zahtjevima za klasu prometnice ME3b nalaze se u okvirima dozvoljenih.

**Tablica 5.5.** *Rezultati simulacija za žarulju sa visokotlačnim natrijem*

| **Philips – SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Lm**[cd/m$^2$] | **$U_0$** | **$U_L$** | **TI [%]** | **SR** |
| ***RELUX*** | 1,27 | 0,76 | 0,8 | 3 | 0,52 |
| ***DIALux*** | 1,30 | 0,72 | 0,81 | 4 | 0,51 |
| **ODSTUPANJE** | 3% | 4% | 1% | 1% | 1% |
| **ZADOVOLJENA NORMA** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

LED izvor prednjači sa omjerom uložene snage i povrata. Znatno veća uzdužna jednolikost i sjajnost karakterizira LED izvor. Uzdužna jednolikost sa visokom vrijednošću ostavlja dojam dobre i jednoliko rasvijetljene površine bez svjetlijih i tamnijih zona. LED svjetiljka bolje usmjerava svjetlosni tok pa je bolje iskorištenje proizvedenog svjetlosnog toka i bolja jednolikost od ostalih izvora svjetlosti.

**Tablica 5.6.** *Rezultati simulacija za LED izvor svjetlosti*

| **Philips – BGP303 1xLED73-3S/740 DM** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Lm**[cd/m$^2$] | **$U_0$** | **$U_L$** | **TI [%]** | **SR** |
| ***RELUX*** | 1,44 | 0,55 | 0,94 | 9 | 0,71 |
| ***DIALux*** | 1,44 | 0,51 | 0,92 | 10 | 0,71 |
| **ODSTUPANJE** | 0% | 4% | 2% | 1% | 0% |
| **ZADOVOLJENA NORMA** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Usporedbom rezultata analize svjetlotehničkog proračuna rasvjete dobivenih pomoću različitih programskih paketa, vidimo da nema znatne razlike u iznosima rezultata. Dobiveni rezultati u različitim programima većinom su unutar tolerancije od 5 %. Ako su svi parametri dobro zadani, rezultati moraju biti s vrlo malim odstupanjima, jer programi rade po istom principu. Svi svjetlotehnički proračuni dani su u prilogu.

Analizom ovih podataka moguće je zaključiti da bi se korištenjem svjetiljki sa LED izvorima, mogle ostvariti i značajne financijske uštede. U ovom slučaju ušteda bi iznosila oko 25 %, uzevši u obzir snage LED i ostalih konvencionalnih izvora svjetlosti. LED svjetiljke mogu u potpunosti zadovoljiti zahtjeve rasvjetljenosti i jednolikosti koji su postavljeni normama, pružiti značajne uštede u potrošnji električne energije, te smanjiti troškove održavanja.

## 5.6. Provjera sjajnosti kolnika mobilnom aplikacijom Photolux

U ovom dijelu prikazat ćemo alternativnu metodu provjere sjajnosti kolnika putem jednostavne mobilne aplikacije Photolux, razvijene za uređaje na Android sustavu.

Odabrana je prometnica koja uz kolnik ima pješačku stazu. Širina kolnika je 4 m, a staze 2 m. Sa druge strane kolnika nalaze se parking mjesta. Cijela ulica rasvijetljena je svjetiljkama sa

visokotlačnim natrijem snage 150 W. Fotografije su slikane u večernjim satima , kada se pali javna rasvjeta.

Aplikacija radi na principu da se prvo uslika kolnik mobilnim uređajem, te se na uslikanoj fotografiji označe točke za koje želimo znati vrijednost luminancije u cd/m$^2$. Razina luminancije je najvažniji pokazatelj kvalitete javne rasvjete. Ona se računa samo za kolnik. Poželjno je da luminancija bude što veća jer utječe na kontrasnu osjetljivost. Ispitivanja su pokazala da je optimalna luminancija za javnu rasvjetu 2.00 cd/m², ali ona se odnosi samo na autoputove i brze ceste. Ovisno o vrsti ceste luminancija se kreće od 0.5 cd/m² do 2.0 cd/m².

Na slici 5.20. prikazana je luminancija cijelom dužinom kolnika pomoću aplikacije Photolux. Slika 5.21.prikazuje isto kao i 5.20., ali iz drugog kuta gledanja, sa prednje strane svjetiljke.




**Slika 5.20.** *Prikaz sjajnosti kolnika u različitim točkama pomoću Photolux-a*



**Slika 5.21.** *Prikaz sjajnosti kolnika u različitim točkama pomoću Photolux-a; prednji pogled*

# 6. PROMJENE U NORMIZACIJI NA PODRUČJU JAVNE RASVJETE

Krajem 2015. godine Technical Committee CEN/TC 169 donio je izmjene norme EN 13201, zbog performansi LED izvora te je tako nastao novi oblik norme koji je prihvaćen u Hrvatskoj kao HRN EN 130201:2016. Zbog niza različitosti nova norma nije još u potpunosti zamjenila prethodnu normu.

Do trenutka pisanja ovog rada (lipanj 2016.) nove norme nisu primjenjene u programskim alatima za projektiranje javne rasvjete, te su tako u Reluxu i Dialuxu prihvaćeni i dalje stari oblici norme što uvelike otežava potpuno prilagođavanje na novu normu. Verzija iz 2008.god. je prepravljena te na taj način dolazi do nelogičnosti pri projektiranju JR. Trenutno je projektantima na raspolaganju ručno izračunavanje koje je izrazito složeno jer proračun treba obuhvatiti svaku svjetiljku na promatranom profilu. Potrebno je i kombinirati izračune dvaju ili više svjetiljaka odabranog profila ceste. Kada se izvrše svi izračuni, rezultat je krivo odabrana svjetiljka, pa se ručni izračun radi iz početka.

Obnovljena norma za razliku od prethodne sastoji se od pet odvojenih cjelina. Prvi dio nove norme olakšava izbor klase rasvjete. Ne postoje više klase ME i S. Uvodi se klasa M, C i P. Klasa M odnosi se na motorna vozila koja se koriste prometnicama. Klasu C također koriste motorizirana vozila, ali u konfliktinm situacijama. P klasom koriste se većinom pješaci i biciklisti. U tablici 6.1. prikazan je novi način odabira klase rasvjete M. Razlika kod nove nove norme u odnosu na staru je samo u posljednjoj koloni, gdje su vrijednosti manje

**Tablica 6.1.** *Klasa rasvjete M*

| KLASA | **SVJETLINA** | **OPĆA JEDNOLIKOST** | **UZDUŽNA JEDNOLIKOST** | **OPĆA JEDNOLIKOST, VLAŽNO VIJEME** | **ONEMOGUĆAVAJUĆE BLJEŠTANJE** | **RASVJETA OKOLICE REI** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **M1** | 2 | 0,4 | 0,7 | 0,15 | 10 | 0,35 |
| **M2** | 1,5 | 0,4 | 0,7 | 0,15 | 10 | 0,35 |
| **M3** | 1 | 0,4 | 0,6 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| **M4** | 0,75 | 0,4 | 0,6 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| **M5** | 0,5 | 0,35 | 0,4 | 0,15 | 15 | 0,30 |
| **M6** | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,15 | 20 | 0,30 |

U Tablici 6.2. dani su zahtjevi za klasu C (konfliktne zone) koja je identična tablici iz prethodne verzije norme.

**Tablica 6.2.** *Klasa rasvjete C*

| KLASA | PROSJEČNA RASVJETLJENOST KOLNIKA E' | OPĆA JEDNOLIKOST $U_O$ |
|---|---|---|
| C0 | 50 | 0,4 |
| C1 | 30 | 0,4 |
| C2 | 20 | 0,4 |
| C3 | 15 | 0,4 |
| C4 | 10 | 0,4 |
| C5 | 7,5 | 0,4 |

Nekadašnja klasa A je potpuno ukinuta, a klasa S zamjenjena je klasom P. Klasa rasvjetljenosti P dana je sljedećom tablicom 6.3.

**Tablica 6.3.** *Klasa rasvjete P*

| KLASA | PROSJEČNA RASVJETLJENOST E' | MINIMALNA RASVJETLJENOST Emin | MINIMALNA VERTIKALNA RASVJETLJENOST Ev,min | MINIMALNA POLUCILINDRIČNA RASVJETLJENOST Esc,min |
|---|---|---|---|---|
| P1 | 15 | 3 | 5 | 5 |
| P2 | 10 | 2 | 3 | 2 |
| P3 | 7,5 | 1,5 | 2,5 | 1,5 |
| P4 | 5 | 1 | 1,5 | 1 |
| P5 | 3 | 0,6 | 1 | 0,6 |
| P6 | 2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 |
| P7 | - | - | | |

U novom obliku norme umjesto 9 klasi za M razred, opisuje se 6 klasa. Vrijednosti su većinom ostale iste, jedino je razlika u faktoru koji se odnosi na rasvjetljenost okoliša.

Potpuna novost u ispravljenoj verziji je posljednje poglavlje norme HRN EN 13201:2016. Radi se o definiranju izračuna indikatora energetske učinkovitosti za cestovnu rasvjetu korištenjem PDI indikatora gustoće snage i AECI indikatora godišnje potrošnje el. energije.

# 7. ZAKLJUČAK

Javna rasvjeta obuhvaća rasvjetljavanje prometnica i javnih površina koje su namjenjene kretanju vozila i pješaka čija je osnovna funkcija ravnomjerna rasvjetljenost, osvjetljenje prometnice što bliže propisanoj vrijednosti te smanjenje efekta blještanja i jako je važan sektor potrošnje električne energije u svakoj zemlji, a podrazumjeva upravljanje, održavanje objekata i uređaja javne rasvjete, podmirivanje troškova električne energije za rasvjetljavanje javnih površina, javnih cesta koje prolaze kroz naselje i nerazvrstanih cesta.

Javna rasvjeta u Republici Hrvatskoj je pod upravom lokalnih jedinica te se njeno održavanje odnosno unaprjeđivanje financira iz lokalnog proračuna. U svakom gradskom ili općinskom proračunu na potrošnju električne energije za javnu rasvjetu otpada do 30 % proračunskih sredstava.

Pri projektiranju sustava javne rasvjete potrebno je za prostor, odnosno cestu, odabrati odgovarajuću geometriju i elemente instalacije te utvrditi svjetlotehničke i ostale zahtjeve. Projektiranje javne rasvjete treba biti u skladu s normama, te se predlaže primjena EU normi iz područja javne (cestovne) . Kod projektiranja je bitno utvrditi, lokacije stupova te orijentaciju lampi s obzirom na njihove svjetlotehničke karakteristike, uzimajući u obzir sve kriterije kvalitete javne rasvjete..

Kod modeliranja javne rasvjete važno je voditi računa o pojmovima temperatura svjetla i uzvrata boja, spektralnoj analizi, tj. zastupljenosti pojedine boje unutar spektra i njenom vijeku trajanja. Mjerodavna pravila i vrijednosti o minimalnim svjetlotehničkim uvjetima propisana su normom HRN EN 13201:2008 koja u četiri poglavljima definira kategorije prometnica, zahtijevana svojstva rasvjete po prometnicama u ovisnosti o namjeni prometnice i vrsti podloge, načine matematičkih proračuna te mjerenje svojstava rasvjete

Da bi se odabrala što kvalitetnija javna rasvjeta, potrebno je uz rezultate analiza provedenih u više programa, dobro poznavati norme i zahtjeve javne rasvjete te se držati propisa predviđenih za njezino projektiranje i modeliranje sukladno uputama za projektiranje danim od strane ″Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost″. Pravilnim rasporedom rasvjetnih tijela i odabirom energetski učinkovitijih žarulja mogu se ostvariti značajne uštede u potrošnji električne energije.

Svi konvencionalni izvori svjetlosti su već dosegli svoj maksimum funkcionalnosti i uporabljivosti, te se u njihov razvoj prestalo ulagati. LED svjetiljke mogu u potpunosti zadovoljiti zahtjeve rasvjetljenosti i jednolikosti koji su postavljeni u normama te pružiti velike uštede u potrošnji električne energije, te smanjiti troškove održavanja sustava javne rasvjete.

U praktičnom dijelu simulirana su dva modela istih karakteristika u dva različita programa za analizu rasvjete. Svi rezultati dobiveni svjetlotehničkim proračunom zadovoljavaju normu HRN EN 13201:2008. Rezulatati su uspoređeni i na razini programa te je zaključeno da su odstupanja u izlaznim vrijednostima zanemariva. Rezultat toga je to što svi programi rade na istom matematičkom princpu i jedine razlike se mogu pojavljivati ako su točke promatrača u različitim pozicijama. Analizom izlaznih podataka programa moguće je zaključiti da bi se korištenjem svjetiljki sa LED izvorima, mogle ostvariti značajne financijske uštede, uzevši u obzir snage LED i ostalih konvencionalnih izvora svjetlosti. LED svjetiljke mogu u potpunosti zadovoljiti zahtjeve rasvjetljenosti i jednolikosti koji su postavljeni normama, pružiti značajne uštede u potrošnji električne energije, te smanjiti troškove održavanja.

Na samom kraju prikazan je pregled trenutne situacije na području normizacije javne rasvjete.Spomenute su neke ključne promjene i razlike u odnosu na prethnodnu normu. Bitno je naglasiti da nova norma, iako je stupila na snagu nije još primjenjena u alatima za izradu svjetlotehničkih proračua, te su tako u Reluxu i Dialuxu prihvaćeni i dalje stari oblici norme što uvelike otežava potpuno prilagođavanje na novu normu

# LITERATURA


[1] E. Širola, Cestovna rasvjeta, ESING Zagreb, Zagreb, 1997.g

[2] Zakon o komunalnom gospodarstvu, Zagreb, 2012., http://www.zakon.hr

[3] Zakon o energetskoj učinkovitosti, Zagreb, 2014. http://www.zakon.hr

[4] Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Zagreb, 2011. g., http://www.zakon.hr

[5] Projekt ″KupiLED″, Povijest svjetla 2014., http://kupiled.eu, (pristup ostvaren 16.02.2016.)

[6] REGEA, Suvremena energetski učinkovita javna rasvjeta, Zagreb, 2013. g. http://www.regea.org , (pristup ostvaren 12.01.2016.)

[7] Glavaš, Hrvoje; Barić, Tomislav; Keser, Tomislav, Kriteriji energetske učinkovitosti rasvjete cesta, Zbornik radova Tridesetčetvrti skup o prometnim sustavima s međunarodnim sudjelovanjem AUTOMATIZACIJA U PROMETU 2014/ Željko Šakić (ur.), KoREMA, Zagreb 2014.

[8] Masmedia, Upravljanje javnom rasvjetom, Zagreb, 2008. g., http://www.gradimo.hr, (pristup ostvaren 01.02.2016)

[9] Sunce i UV zračenje, Zagreb, 2015. g., http://www.hoya.hr, (pristup ostvaren 01.02.2016.)

[10] J. D. Hooker, Welcome to the museum of electric lamp technology, 2016. g., http://www.lamptech.co.uk, (pristup ostvaren 12.01.2016.)

[11] D. Petranović, Utjecaj LED javne rasvjete na distribucijsku mrežu, Sv. Martin na Muri, 2012. g., http://www.ho-cired.hr, (pristup ostvaren 12.01.2016.)

[12] T. Rudež, Zaboravljeni patent genijalca iz Smiljana: eksperiment Nikole Tesle iz 1892. osvaja Hollywood, Zagreb, 2015. g., :http://www.jutarnji.hr, (pristup ostvaren 13.03.2016)

[13] Kora, Završen energetski pregled javne rasvjete grada Korčule, Korčula, 2014. g. http://kora.hr, (pristup ostvaren 01.02.2016.)

[14] V. Vrhovac, Opasnosti plavog svjetla, Zagreb, 2014. g. , http://www.ekorasvjeta.net (pristup ostvaren 03.03.2016.)

[15] Wikipedija, Crno tijelo, 2015. g., https://hr.wikipedia.org, (pristup ostvaren 13.02.2016.)

[16] Svjetlotehnički priručnik, Katalog energetski učinkovite rasvjete, Krško, 2013. g., http://www.regea.hr, ( pristup ostvaren 12.01.2016.)

[17] Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost, Upute podnositeljima za izradu zahtjeva na javni poziv fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost radi neposrednog sufinanciranja provedbe projekata energetski učinkovite i ekološke javne i vanjske rasvjete, Zagreb, 2015. g., http://www.menea.hr (pristup ostvaren 01.02.2016.)

[18] Philips, Katalog izvora svjetlosti i predspojnih naprava, 2010. g., http://www.lipapromet.hr (pristup ostvaren 18.03.2016.)

[19] History of the light bulb, :http://www.bulbs.com (pristup ostvaren 26.02.2016.)

[20] Program Relux

[21] Philips Lightning, Programski paket Calculux

[22] Ranko Skansi, Parametri svjetla u kontekstu javne rasvjete, Zagreb, 2003.

http://www.elicom.hr (pristup ostvaren 01.06.2015.)

[23] Program Dialux

[24] HRN-EN 13201-1:2004; Cestovna rasvjeta – 1. Dio: Odabir rasvjetnih zona(EN 13201-2:2003)

[25] HRN-EN 13201-2:2008; Cestovna rasvjeta -- 2. Dio: Zahtijevana svojstva (EN 13201-2:2003)

[26] HRN-EN 13201-3:2008; Cestovna rasvjeta -- 3. dio: Proračun svojstava (EN 13201-3:2003+AC:2007)

[27] HRN-EN 13201-4:2008; Cestovna rasvjeta -- 4. dio: Metode mjerenja svojstava rasvjete (EN 13201-4:2003)

[28] CIE 1982. Publication 30-2, Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting, ISBN 92-9034-030-4

[29] CIE 1984. Publication 66, Road surface and lightning , ISBN 978 3 901906 72 5

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu je opisan postupak modeliranja i analize javne rasvjete. Pojašnjen je pojam javne rasvjete i njezina važnost u svakodnevnom životu te uvjeti koje ona mora zadovoljavati da bi prije svega osiguravala sigurnost u kretanju. Također su opisani programski paketi koji se koriste za projektiranje javne rasvjete i analizu, Relux i DIALux. U radu je modeliran dio kolnika te je napravljena simulacija odabrane rasvjete u navedenim programskim paketima, a zatim su rezultati uspoređeni..



**Ključne riječi**: javna rasvjeta, analiza, projektiranje javne rasvjete, programski paketi Relux, Relux Pro i DIALux, norme i propisi.



## ABSTRACT

This thesis describes the process of modeling and analysis of public lightning. There is explained the meaning of public lighting, its importance in daily life and the conditions that must be satisfied in order to provide security in movement. Also, there are described software packages for planning ana analyzing public lighting: Relux, Relux Pro and DAILux. Model of selected part of pavement were simulated by listed software packages, and then the results were compared with prescribed limits.



**Ključne riječi**: public lightning, analysis, design of the public lighting, software packages Relux, Relux Pro i DIALux, standards and regulations.

# ŽIVOTOPIS

Mia Šibila rođena je 29.06.1990. u Osijeku. Nakon osnovne škole upisuje Opću gimnaziju koju završava 2009. godine. Obrazovanje nastavlja na Elektrotehničkom fakultetu . 2013. stječe svoje prvo akademsko zvanje, sveučilišna prvostupnica inženjerka elektrotehnike. Iste godine nastavlja sa diplomskim studijem, smijer elektroenergetika.

Završila je tečaj za CAD specijalista i trenutno kao pripravnica radi u Zavodu za urbanizam i izgradnju u Osijeku.

_____

Potpis

# PRILOZI

Proračun osvijetljenosti predmetnog područja u RELUX-u i DIALUX-u

RELUX
light simulation tools

# Prostor :

Broj projekta :
Stranka :
Projektirao :
Datum : 07.07.2016

Slijedeće vrijednosti temelje se na egzaktnom izračunu provedenom na kalibriranim žaruljama, svjetiljkama i njihovom zajedničkom radu. U praksi su moguća manja odstupanja.Ne postoje nikakve garancije na datoteke svjetiljki. Proizvođač ne preuzima nikakvu odgovornost za nastalu štetu odnosno štetu prouzročenu korisniku ili trećoj osobi.

Objekt :
Prostor :
Broj projekta :
Datum : 07.07.2016

# 1 Podaci o svjetiljci

## 1.1 Philips Lighting, SGS102 1xHPL-N250W MR ()

### 1.1.1 Stranica s podacima

**Proizvođač: Philips Lighting**

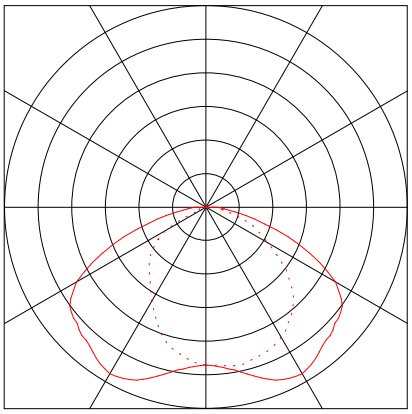
**other SGS102 1xHPL-N250W MR**

**Podaci o svjetiljci**

| | | |
|---|---|---|
| Svjetl. iskoristivost svjetiljke | : | 66% |
| Efikasnost svjetiljki | : | 30.59 lm/W |
| Klasifikacija | : | A40 □99.9% ↑0.1% |
| CIE Flux Codes | : | 45 78 96 100 66 |
| UGR 4H 8H | : | 26.6 / 19.7 |
| Predspojna naprava | : | CONV |
| Snaga | : | 274 W |
| Svjetlosni tok | : | 8382 lm |
| Dimenzije | : | 635 mm x 375 mm x 315 mm |

**Opremljeno žaruljama**

| | | |
|---|---|---|
| Broj | : | 1 |
| Opis | : | HPL-N250W |
| Boja | : | - |
| Svjetlosni tok | : | 12700 lm |





# 1 Podaci o svjetiljci

## 1.2 Philips Lighting, SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1 ()

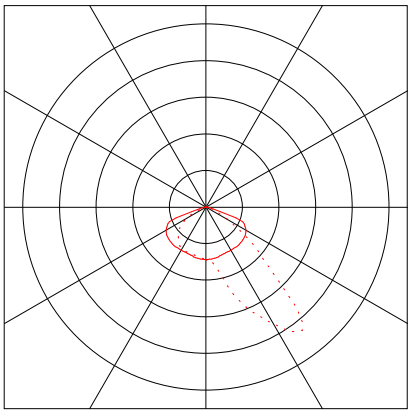
### 1.2.1 Stranica s podacima

**Proizvođač: Philips Lighting**

**other SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1**

| **Podaci o svjetiljci** | | |
|---|---|---|
| Svjetl. iskoristivost svjetiljke | : | 76% |
| Efikasnost svjetiljki | : | 71.33 lm/W |
| Klasifikacija | : | A40 □100.0% ↑0.0% |
| CIE Flux Codes | : | 41 82 100 100 76 |
| UGR 4H 8H | : | 30.2 / 21.4 |
| Predspojna naprava | : | CONV |
| Snaga | : | 114 W |
| Svjetlosni tok | : | 8132 lm |
| Dimenzije | : | 749 mm x 321 mm x 207 mm |

| **Opremljeno žaruljama** | | |
|---|---|---|
| Broj | : | 1 |
| Opis | : | SON-TPP100W |
| Boja | : | - |
| Svjetlosni tok | : | 10700 lm |





Objekt :
Prostor :
Broj projekta :
Datum : 07.07.2016

# 1 Podaci o svjetiljci

## 1.3 Philips Lighting, BGP303 1xLED73-3S/740 DM ()

### 1.3.1 Stranica s podacima

**Proizvođač: Philips Lighting**

**other BGP303 1xLED73-3S/740 DM**

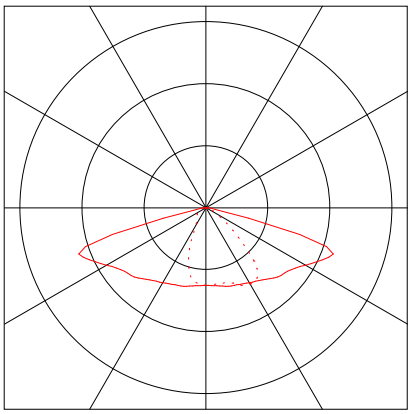
**Podaci o svjetiljci**

| | | |
|---|---|---|
| Svjetl. iskoristivost svjetiljke | : | 85% |
| Efikasnost svjetiljki | : | 109.91 lm/W |
| Klasifikacija | : | A30 □100.0% ↑0.0% |
| CIE Flux Codes | : | 42 76 98 100 85 |
| UGR 4H 8H | : | 37.4 / 19.9 |
| Snaga | : | 58 W |
| Svjetlosni tok | : | 6375 lm |

Dimenzije : 330 mm x 465 mm x 80 mm

**Opremljeno žaruljama**

| | | |
|---|---|---|
| Broj | : | 1 |
| Opis | : | LED73-3S/740 |
| Boja | : | - |
| Svjetlosni tok | : | 7500 lm |

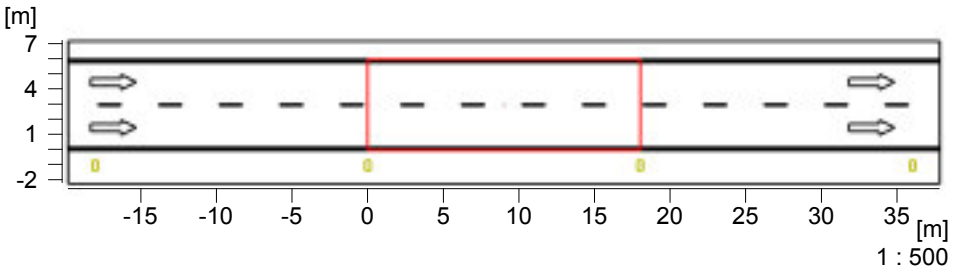




# 2 Živa 250W

## 2.1 Opis, Živa 250W

### 2.1.1 Tlocrt

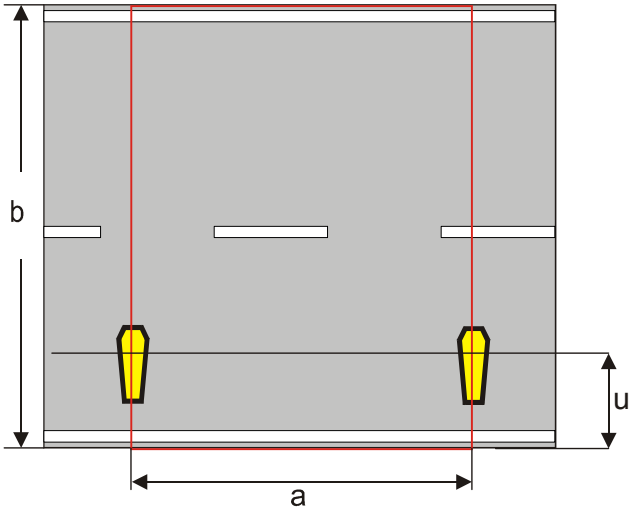


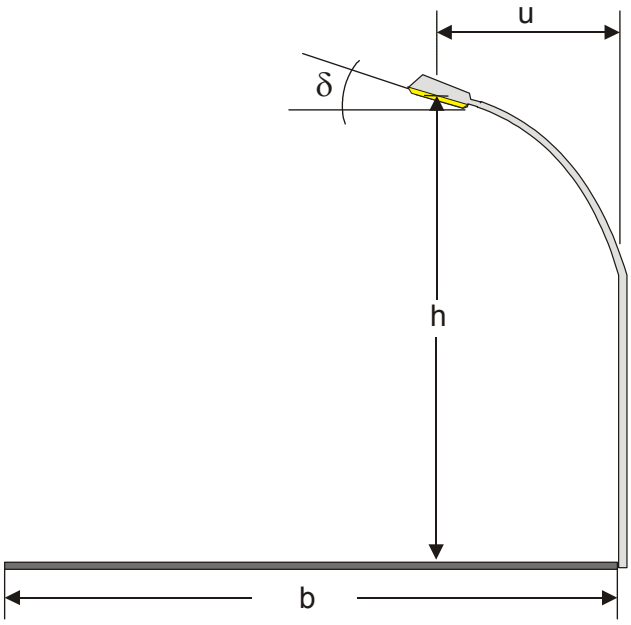

| | | | |
|---|---|---|---|
| Road | | Tip svjetiljke | :SGS102 1xHPL-N250W MR ( ) |
| Profil ceste | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | : Linija desno |
| Širina kolnika | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | : 2 | Razmak između svjetiljki | : 18.00 m |
| Obloga ceste | : R3 | Svjetiljka od ruba | : -1.00 m |
| q0 | : 0.07 | Nagib svjetiljke | : 0.00° |

# 2 Živa 250W

## 2.2 Sažetak, Živa 250W

### 2.2.1 Pregled rezultata, Road




**Podaci o svjetiljci**

Proizvod : Philips Lighting
Tipska oznaka : SGS102 1xHPL-N250W MR ( )
Naziv svjetiljke : SGS102 1xHPL-N250W MR
Žarulje : 1 x HPL-N250W 274 W / 12700 lm

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Profil ceste | | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | | : Linija desno |
| Širina kolnika | (b) | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | (h) | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | | : 2 | Razmak između svjetiljki | (a) | : 18.00 m |
| Obloga ceste | | : R3 | Svjetiljka od ruba | (u) | : -1.00 m |
| q0 | | : 0.07 | Nagib svjetiljke | (δ) | : 0.00° |
| Promet po desnoj strani | | | Faktor održavanja | | : 0.80 |

**Sjajnost**

| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.02 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.45 | (ME3b min. 0.4) |
| Pozicija promatrača 2 | : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.11 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.44 | (ME3b min. 0.4) |

**Uzdužna jednolikost**

| | | |
|---|---|---|
| Ul (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) | : 0.89 | (ME3b min. 0.6) |
| Ul (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) | : 0.89 | (ME3b min. 0.6) |

**Bliještanje / sjajnost okolice**

| | | |
|---|---|---|
| TI (B1: y=1.50m) | : 10 % | (ME3b max. 15) |
| SR | : 0.89 | (ME3b min. 0.5) |

**Horizontalna rasvijetljenost E**

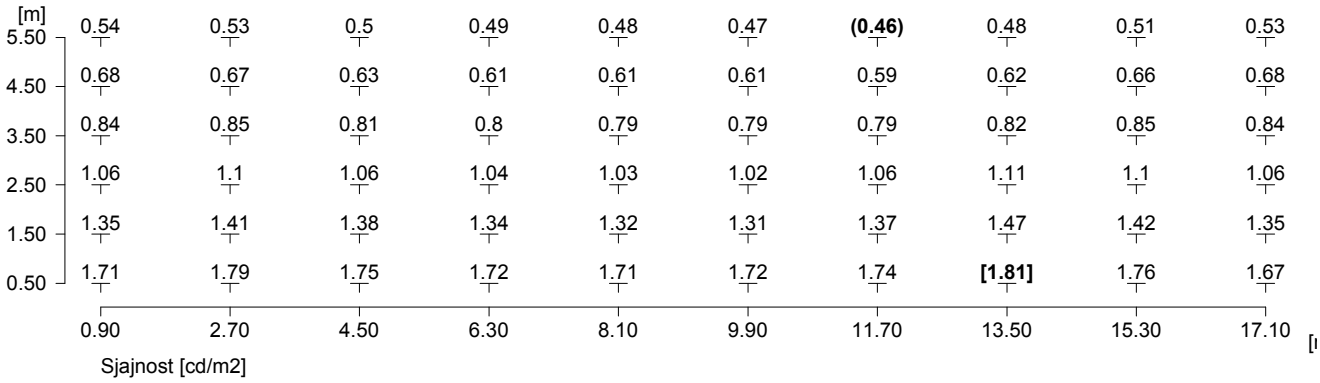
| | |
|---|---|
| Srednja | : 19.5 lx |
| Min / srednja | : 0.56 |

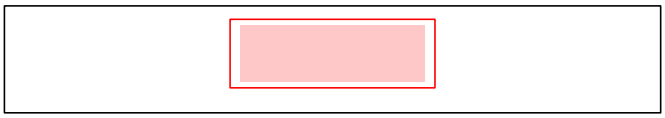
Objekt :
Prostor :
Broj projekta :
Datum : 07.07.2016

# 2 Živa 250W

## 2.3 Rezultati izračuna, Živa 250W

### 2.3.1 Tablica, Road (L)

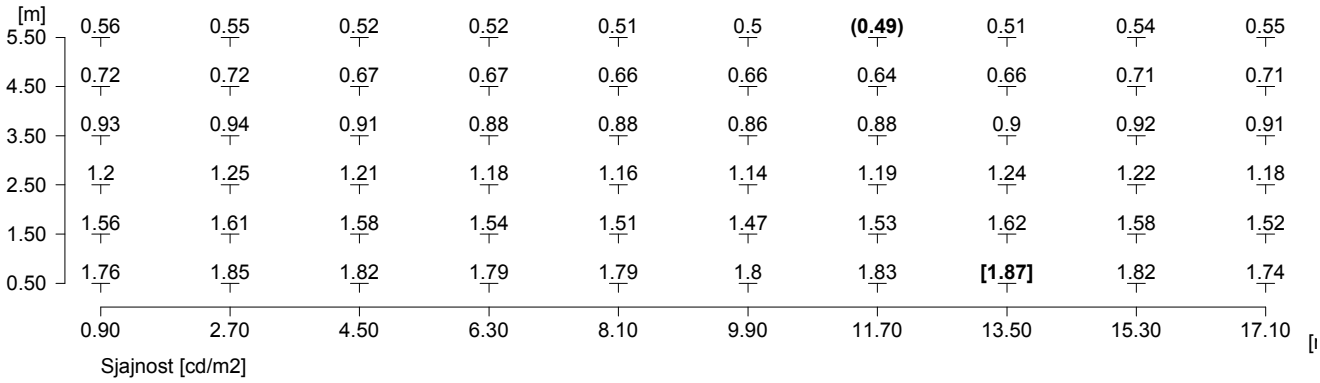


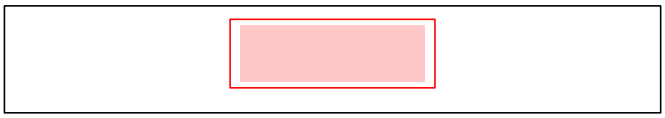



| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | | : x = -60, y = 1.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.02 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 0.46 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.45 |
| Porast praga | TI | : 10 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.89 |

## 2.3 Rezultati izračuna, Živa 250W

### 2.3.2 Tablica, Road (L)

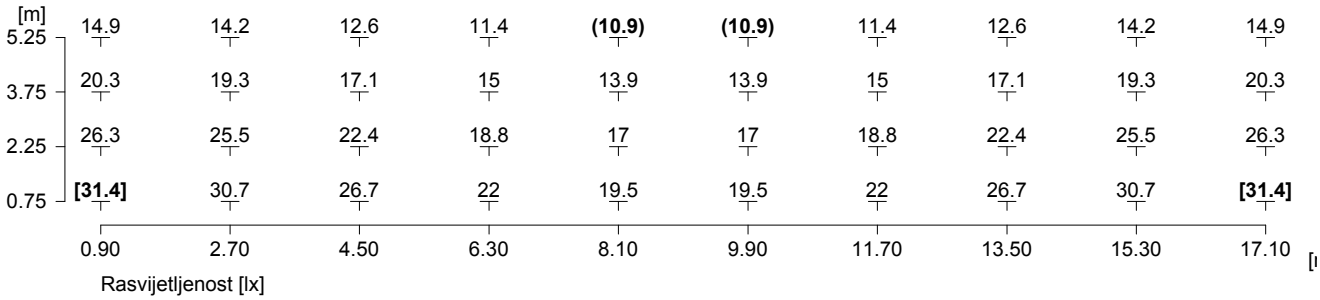


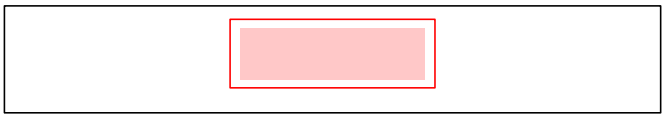



| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 2 | | : x = -60, y = 4.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.11 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 0.49 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.44 |
| Porast praga | TI | : 7 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.89 |

## 2.3 Rezultati izračuna, Živa 250W

### 2.3.3 Tablica, Road (E horizontal)



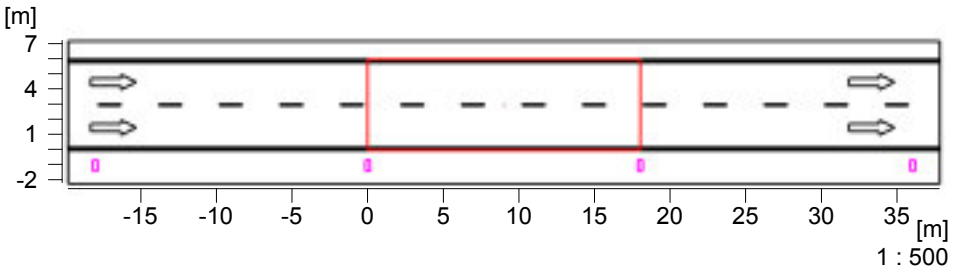
Visina referentne površine : 0.00 m

| | | |
|---|---|---|
| Srednja rasvijetljenost | Esr | : 19.5 lx |
| Minimalna rasvijetljenost | Emin | : 10.9 lx |
| Maksimalna rasvijetljenost | Emax | : 31.4 lx |
| Jednolikost Uo | min/sred | : 1 : 1.79 (0.56) |
| Jednolikost Ud | min/max | : 1 : 2.88 (0.35) |

# 3 Natrij 100W

## 3.1 Opis, Natrij 100W

### 3.1.1 Tlocrt

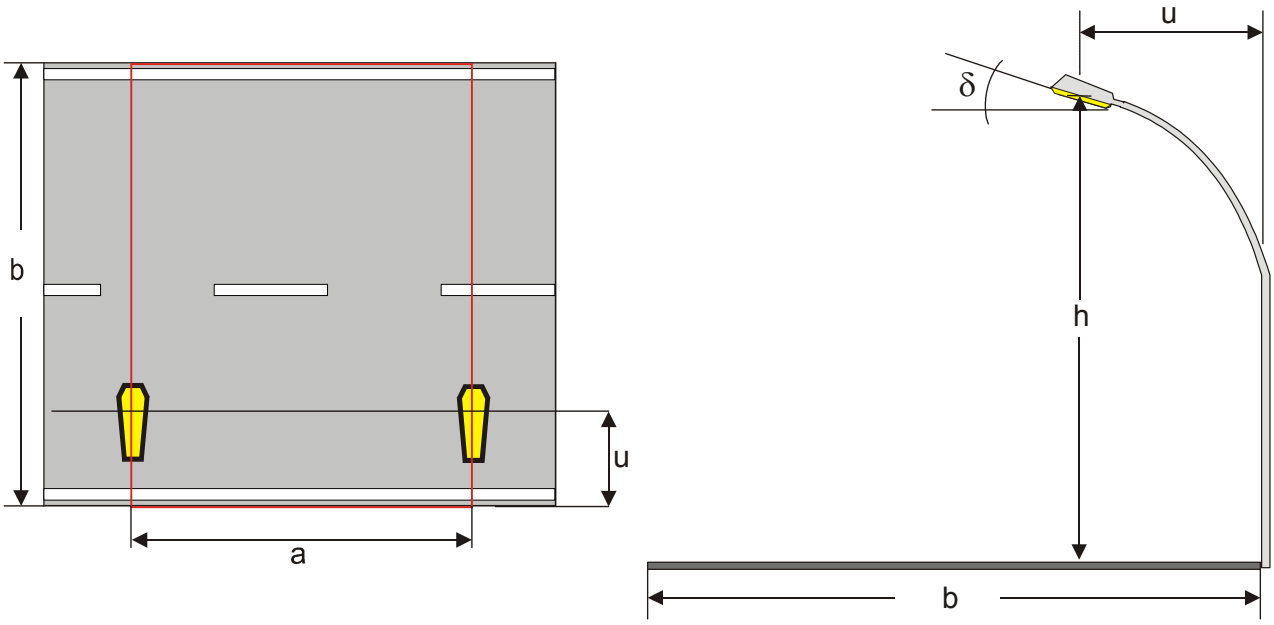



| | | | |
|---|---|---|---|
| Road | | Tip svjetiljke | :SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1 ( ) |
| Profil ceste | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | : Linija desno |
| Širina kolnika | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | : 2 | Razmak između svjetiljki | : 18.00 m |
| Obloga ceste | : R3 | Svjetiljka od ruba | : -1.00 m |
| q0 | : 0.07 | Nagib svjetiljke | : 0.00° |

# 3 Natrij 100W

## 3.2 Sažetak, Natrij 100W

### 3.2.1 Pregled rezultata, Road




**Podaci o svjetiljci**

Proizvod : Philips Lighting
Tipska oznaka : SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1 ( )
Naziv svjetiljke : SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1
Žarulje : 1 x SON-TPP100W 114 W / 10700 lm

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Profil ceste | | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | | : Linija desno |
| Širina kolnika | (b) | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | (h) | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | | : 2 | Razmak između svjetiljki | (a) | : 18.00 m |
| Obloga ceste | | : R3 | Svjetiljka od ruba | (u) | : -1.00 m |
| q0 | | : 0.07 | Nagib svjetiljke | (δ) | : 0.00° |
| Promet po desnoj strani | | | Faktor održavanja | | : 0.80 |

**Sjajnost**

| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.27 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.76 | (ME3b min. 0.4) |
| Pozicija promatrača 2 | : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.35 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.74 | (ME3b min. 0.4) |

**Uzdužna jednolikost**

| | | |
|---|---|---|
| Ul (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) | : 0.8 | (ME3b min. 0.6) |
| Ul (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) | : 0.89 | (ME3b min. 0.6) |

**Bliještanje / sjajnost okolice**

| | | |
|---|---|---|
| TI (B1: y=1.50m) | : 3 % | (ME3b max. 15) |
| SR | : 0.52 | (ME3b min. 0.5) |

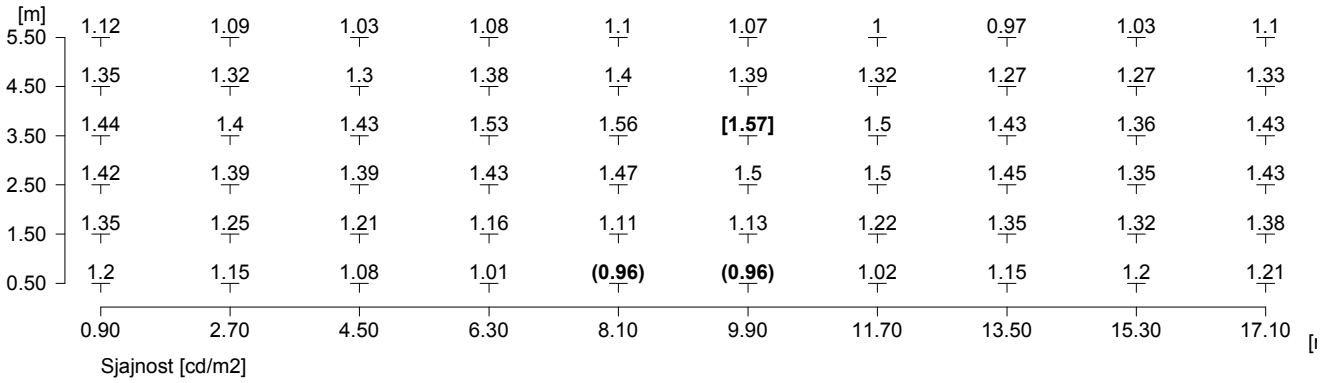
**Horizontalna rasvijetljenost E**

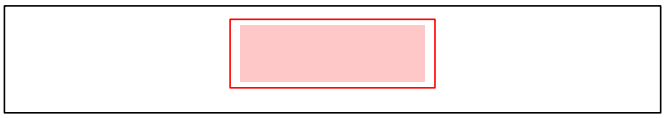
| | |
|---|---|
| Srednja | : 27.8 lx |
| Min / srednja | : 0.48 |

# 3 Natrij 100W

## 3.3 Rezultati izračuna, Natrij 100W

### 3.3.1 Tablica, Road (L)

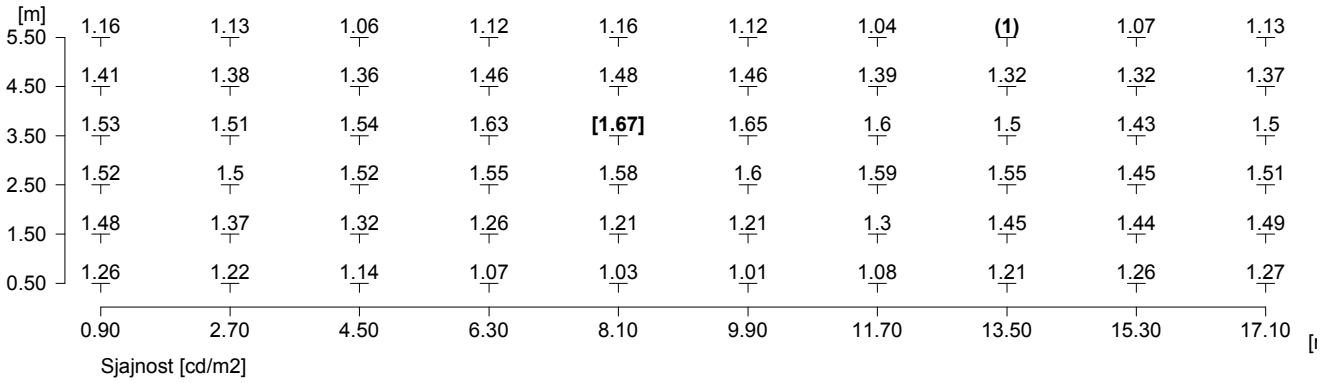


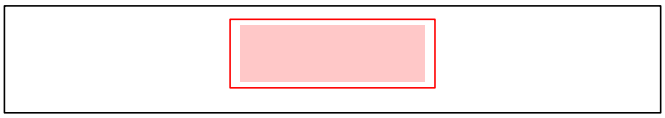



| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | | : x = -60, y = 1.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.27 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 0.96 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.76 |
| Porast praga | TI | : 3 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.8 |

## 3.3 Rezultati izračuna, Natrij 100W

### 3.3.2 Tablica, Road (L)

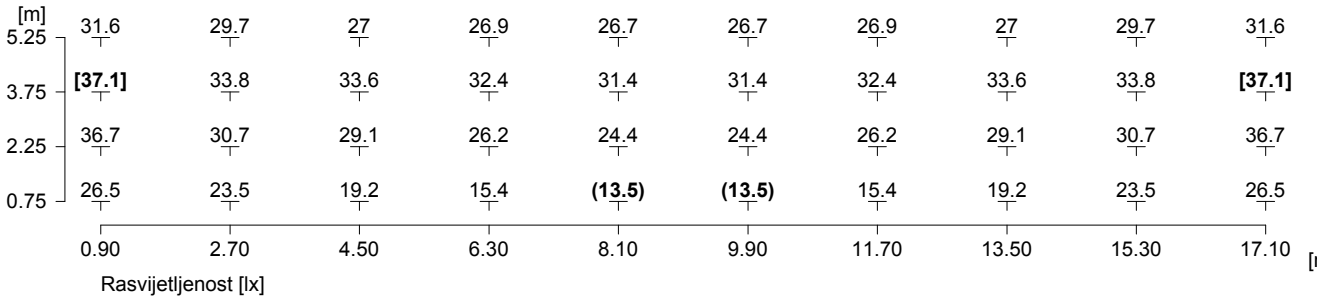


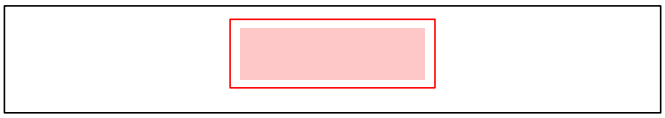



| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 2 | | : x = -60, y = 4.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.35 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 1 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.74 |
| Porast praga | TI | : 3 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.89 |

## 3.3 Rezultati izračuna, Natrij 100W

### 3.3.3 Tablica, Road (E horizontal)



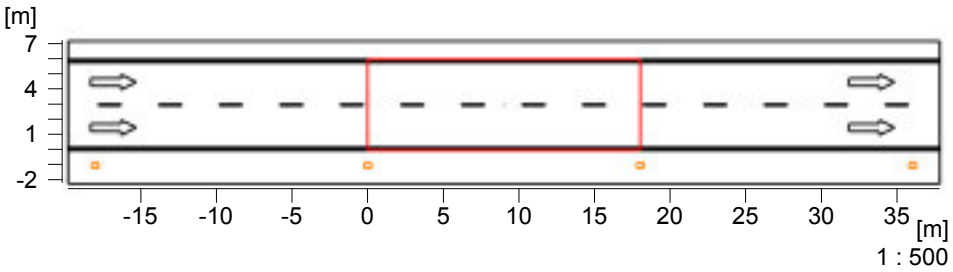
Visina referentne površine : 0.00 m

| | | |
|---|---|---|
| Srednja rasvijetljenost | Esr | : 27.8 lx |
| Minimalna rasvijetljenost | Emin | : 13.5 lx |
| Maksimalna rasvijetljenost | Emax | : 37.1 lx |
| Jednolikost Uo | min/sred | : 1 : 2.06 (0.48) |
| Jednolikost Ud | min/max | : 1 : 2.76 (0.36) |

# 4 LED 58W

## 4.1 Opis, LED 58W

### 4.1.1 Tlocrt

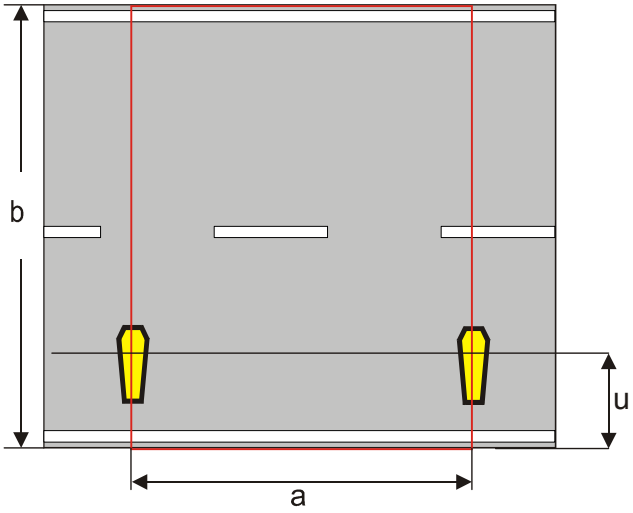


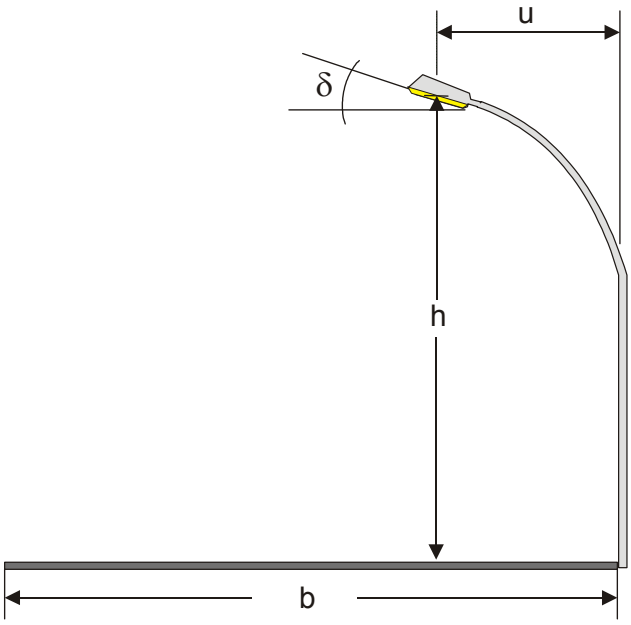

| | | | |
|---|---|---|---|
| Road | | Tip svjetiljke | :BGP303 1xLED73-3S/740 DM ( ) |
| Profil ceste | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | : Linija desno |
| Širina kolnika | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | : 2 | Razmak između svjetiljki | : 18.00 m |
| Obloga ceste | : R3 | Svjetiljka od ruba | : -1.00 m |
| q0 | : 0.07 | Nagib svjetiljke | : 0.00° |

# 4 LED 58W

## 4.2 Sažetak, LED 58W

### 4.2.1 Pregled rezultata, Road




**Podaci o svjetiljci**

Proizvod : Philips Lighting
Tipska oznaka : BGP303 1xLED73-3S/740 DM ( )
Naziv svjetiljke : BGP303 1xLED73-3S/740 DM
Žarulje : 1 x LED73-3S/740 58 W / 7500 lm

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Profil ceste | | : dvosmjerni promet | Postavljanje svjetiljki | | : Linija desno |
| Širina kolnika | (b) | : 6.00 m | Visina izvora svjetlosti | (h) | : 8.00 m |
| Broj voznih traka | | : 2 | Razmak između svjetiljki | (a) | : 18.00 m |
| Obloga ceste | | : R3 | Svjetiljka od ruba | (u) | : -1.00 m |
| q0 | | : 0.07 | Nagib svjetiljke | (δ) | : 0.00° |
| Promet po desnoj strani | | | Faktor održavanja | | : 0.80 |

**Sjajnost**

| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.44 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.55 | (ME3b min. 0.4) |
| Pozicija promatrača 2 | : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m | |
| Srednja | : 1.6 cd/m2 | (ME3b min. 1) |
| Uo (Min/Srednja) | : 0.52 | (ME3b min. 0.4) |

**Uzdužna jednolikost**

| | | |
|---|---|---|
| Ul (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) | : 0.94 | (ME3b min. 0.6) |
| Ul (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) | : 0.93 | (ME3b min. 0.6) |

**Bliještanje / sjajnost okolice**

| | | |
|---|---|---|
| TI (B1: y=1.50m) | : 9 % | (ME3b max. 15) |
| SR | : 0.71 | (ME3b min. 0.5) |

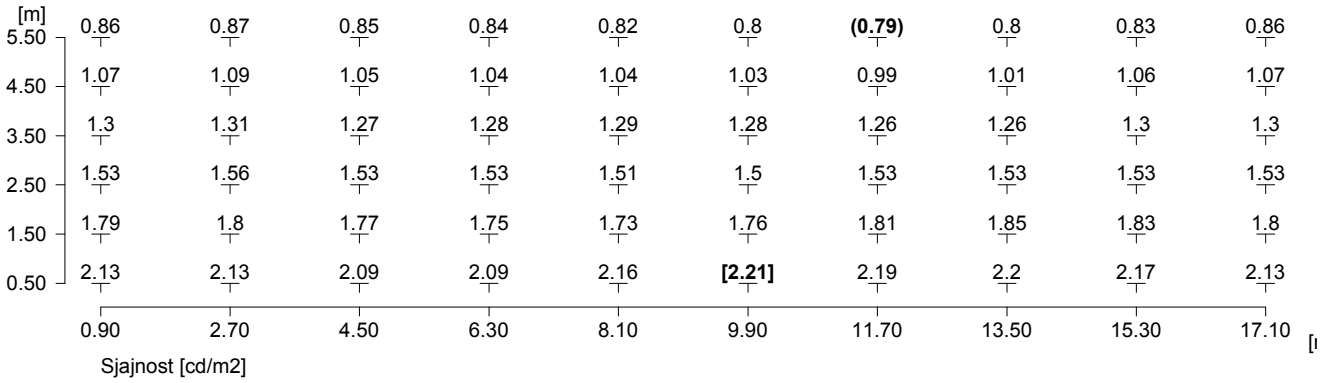
**Horizontalna rasvijetljenost E**

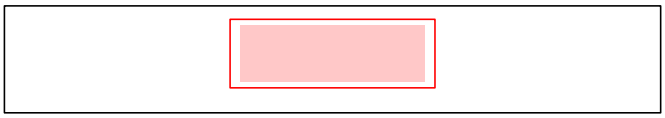
| | |
|---|---|
| Srednja | : 22.5 lx |
| Min / srednja | : 0.79 |

# 4 LED 58W

## 4.3 Rezultati izračuna, LED 58W

### 4.3.1 Tablica, Road (L)



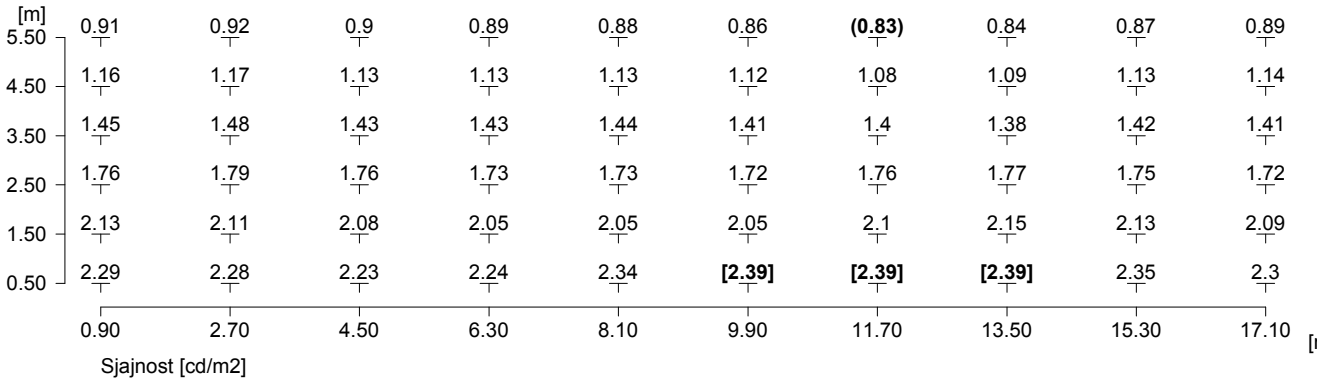



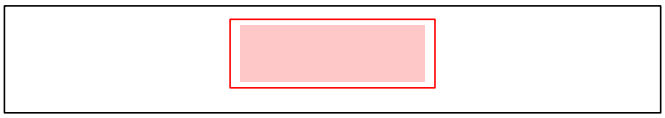
| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 1 | | : x = -60, y = 1.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.44 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 0.79 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.55 |
| Porast praga | TI | : 9 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.94 |

Objekt :
Prostor :
Broj projekta :
Datum : 07.07.2016

## 4.3 Rezultati izračuna, LED 58W

### 4.3.2 Tablica, Road (L)

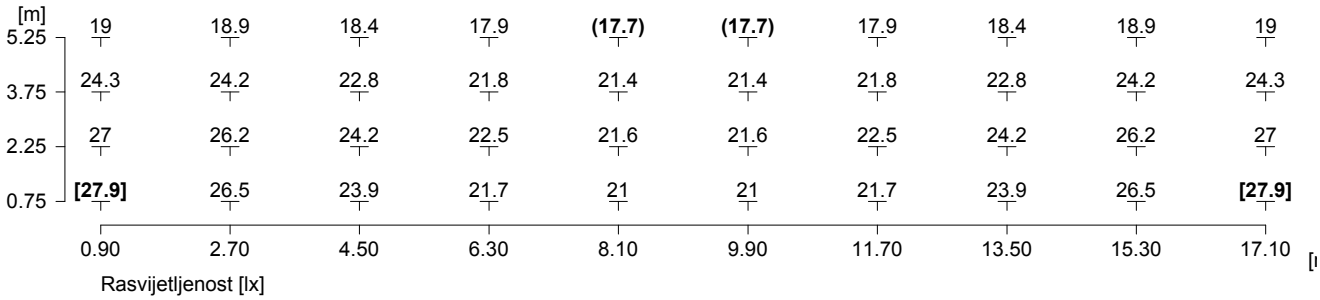


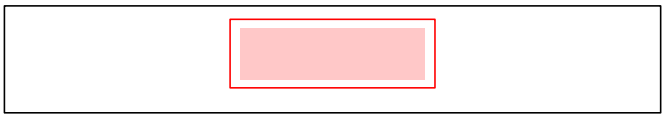



| | | |
|---|---|---|
| Pozicija promatrača 2 | | : x = -60, y = 4.5, z = 1.5 |
| Srednja sjajnost | Lm | : 1.6 cd/m2 |
| Minimalna sjajnost | Lmin | : 0.83 cd/m2 |
| Ukupna jednolikost Uo | Lmin/Lm | : 0.52 |
| Porast praga | TI | : 5 % |
| Uzdužna jednolikost Ul | Llmin/Llmax | : 0.93 |

## 4.3 Rezultati izračuna, LED 58W

### 4.3.3 Tablica, Road (E horizontal)



Visina referentne površine : 0.00 m

| | | |
|---|---|---|
| Srednja rasvijetljenost | Esr | : 22.5 lx |
| Minimalna rasvijetljenost | Emin | : 17.7 lx |
| Maksimalna rasvijetljenost | Emax | : 27.9 lx |
| Jednolikost Uo | min/sred | : 1 : 1.27 (0.79) |
| Jednolikost Ud | min/max | : 1 : 1.58 (0.63) |

# Svjetotehnički proračun

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

Date: 07.07.2016

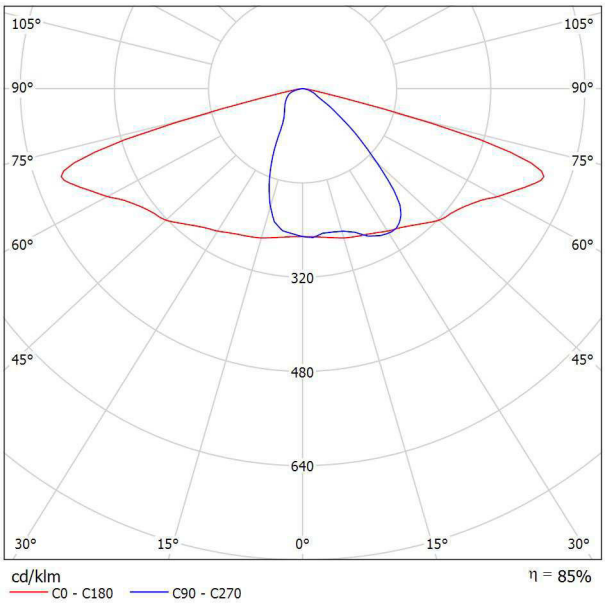
# Table of contents

**Svjetotehnički proračun**
Project Cover 1
Table of contents 2
**PHILIPS BGP303 1xLED73-3S/740 DM**
Luminaire Data Sheet 3
**PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1**
Luminaire Data Sheet 4
**PHILIPS SGS102 1xHPL-N250W MR**
Luminaire Data Sheet 5
**Živa 250W**
Planning data 6
Luminaire parts list 7
Photometric Results 8
**Valuation Fields**
**Valuation Field Roadway 1**
**Observer**
**Observer 1**
Isolines (L) 10
**Observer 2**
Isolines (L) 11
**Natrij 100W**
Planning data 12
Luminaire parts list 13
Photometric Results 14
**Valuation Fields**
**Valuation Field Roadway 1**
**Observer**
**Observer 1**
Isolines (L) 16
**Observer 2**
Isolines (L) 17
**LED 58W**
Planning data 18
Luminaire parts list 19
Photometric Results 20
**Valuation Fields**
**Valuation Field Roadway 1**
**Observer**
**Observer 1**
Isolines (L) 22
**Observer 2**
Isolines (L) 23

# PHILIPS BGP303 1xLED73-3S/740 DM / Luminaire Data Sheet



Luminous emittance 1:




Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 42 76 97 100 85

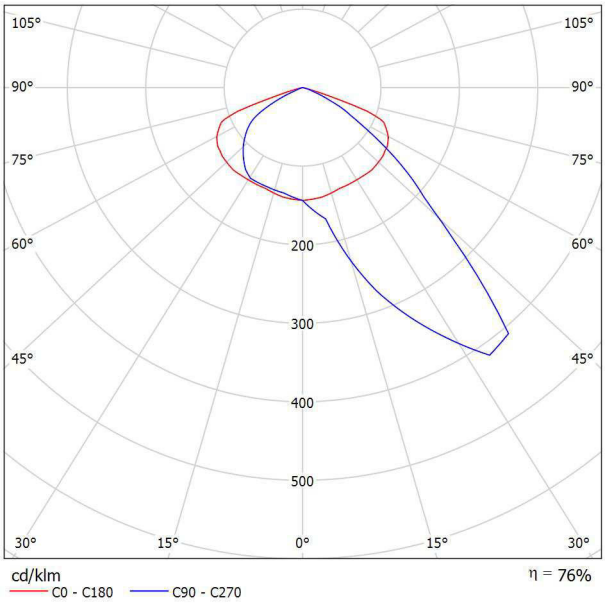
ClearWay – economical LED performance LED technology represents a breakthrough in lighting in many different respects. The light quality provided by LEDs, for example, has made our roads safer, while the tremendous efficacy of LEDs is helping cities reduce their energy bills.
At Philips, we believe we can make even more roads safer, and help more municipalities achieve their goal of reducing energy consumption. That's why we have developed ClearWay – a LED road luminaire that is affordable yet does not compromise on light quality and energy efficiency.

Due to missing symmetry properties, no UGR table can be displayed for this luminaire.

# PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1 / Luminaire Data Sheet



Luminous emittance 1:




Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 41 82 99 100 76

Selenium – timeless design. Selenium SGP340 is an efficient, ergonomic road-lighting luminaire. Its simple, rounded form reduces its daytime visual impact, allowing it to integrate into any kind of environment. Selenium incorporates the renowned T-POT reflector for excellent optical performance. Energy savings are possible by means of dimming with a switch or stand-alone Chronosense system (without pilot cable).
Selenium is suitable for side-entry or post-top mounting, with a choice of three tilt angles for optimal installation (0, 5, 15o).

Due to missing symmetry properties, no UGR table can be displayed for this luminaire.

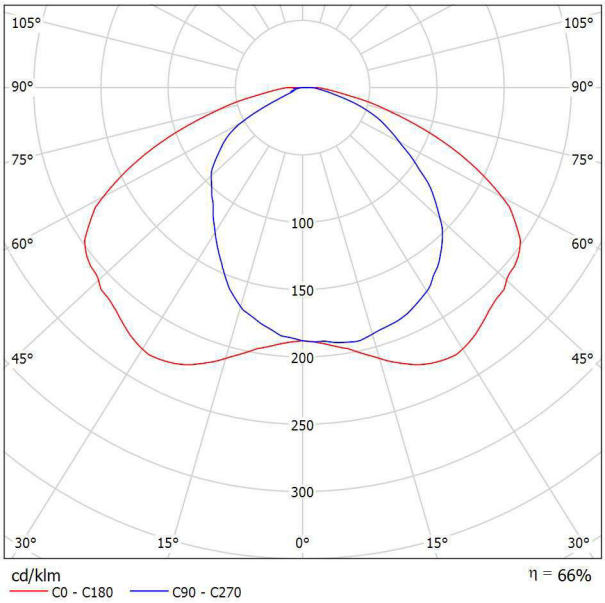
# PHILIPS SGS102 1xHPL-N250W MR / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 45 78 96 100 66

Malaga – contemporary style Malaga is a versatile road-lighting luminaire. It offers modern styling and quality lighting for safe and comfortable driving, and for area illumination, with low investment and maintenance costs. The optical system has been designed to deliver good beam control and light output.
Malaga provides optimal illuminance and good uniformity when the mounting height approximately equals the road width and the mast spacing is approximately 3.5 times the road width. It is suitable for post-top and side-entry mounting; a wall-mounting bracket is also available.

Luminous emittance 1:




Due to missing symmetry properties, no UGR table can be displayed for this luminaire.

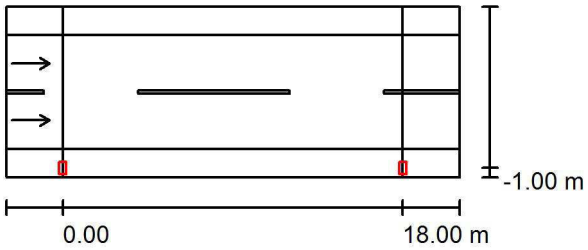
## Živa 250W / Planning data

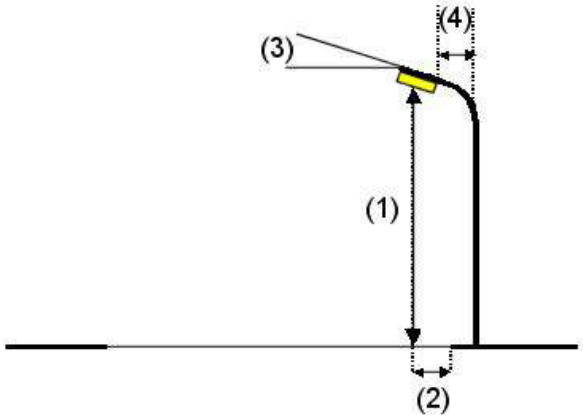
### Street Profile

| | |
|---|---|
| Sidewalk 1 | (Width: 1.500 m) |
| Roadway 1 | (Width: 6.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070) |
| Sidewalk 2 | (Width: 1.500 m) |

Maintenance factor: 0.80

### Luminaire Arrangements




| | |
|---|---|
| Luminaire: | PHILIPS SGS102 1xHPL-N250W MR |
| Luminous flux (Luminaire): | 8382 lm |
| Luminous flux (Lamps): | 12700 lm |
| Luminaire Wattage: | 274.0 W |
| Arrangement: | Single row, bottom |
| Pole Distance: | 18.000 m |
| Mounting Height (1): | 8.315 m |
| Height: | 8.000 m |
| Overhang (2): | -1.000 m |
| Boom Angle (3): | 0.0 ° |
| Boom Length (4): | -0.350 m |

Maximum luminous intensities

| | |
|---|---|
| at 70°: | 104 cd/klm |
| at 80°: | 37 cd/klm |
| at 90°: | 12 cd/klm |

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

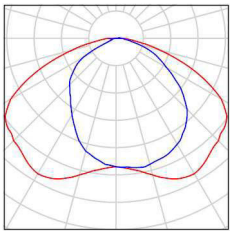
No luminous intensities above 90°.

Arrangement complies with luminous intensity class G3.

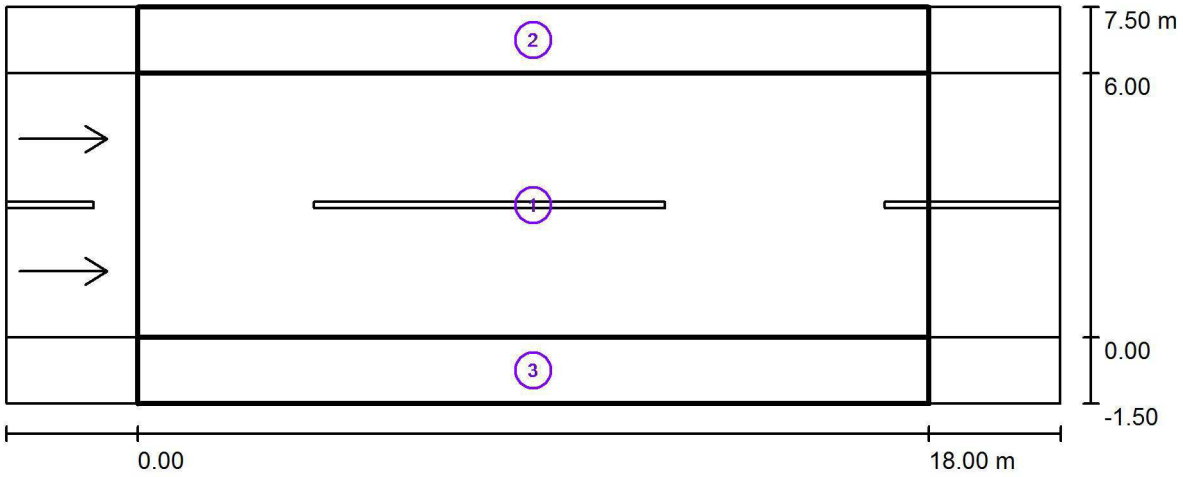
Arrangement complies with glare index class D.6.

PHILIPS SGS102 1xHPL-N250W MR
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 8382 lm
Luminous flux (Lamps): 12700 lm
Luminaire Wattage: 274.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 45 78 96 100 66
Fitting: 1 x HPL-N250W (Correction Factor 1.000).





## Živa 250W / Photometric Results




Maintenance factor: 0.80

Scale 1:172

**Calculation Field List**

1 Valuation Field Roadway 1
Length: 18.000 m, Width: 6.000 m
Grid: 10 x 6 Points
Accompanying Street Elements: Roadway 1.
tarmac: R3, q0: 0.070
Selected Lighting Class: ME3b (All lighting performance requirements are met.)

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | Ul | TI [%] | SR |
|---|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.02 | 0.43 | 0.88 | 10 | 0.89 |
| Required values according to class: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 | ≥ 0.50 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## Živa 250W / Photometric Results

### Calculation Field List

2 Valuation Field Sidewalk 1
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 1.
Selected Lighting Class: S1 (Not all lighting performance requirements are met.)

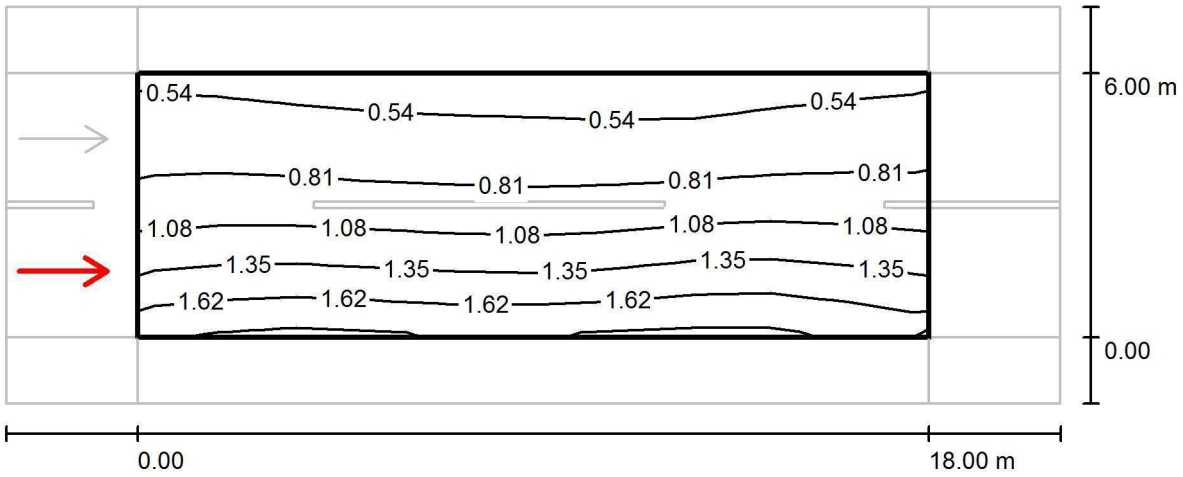
| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 9.36 | 7.43 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✗ | ✓ |

3 Valuation Field Sidewalk 2
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 2.
Selected Lighting Class: S1 (Not all lighting performance requirements are met.)

| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 27.51 | 20.21 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✗ [1] | ✓ |

[1] Notice: To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the minimum value indicated for the class.

## Živa 250W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 1 / Isolines (L)

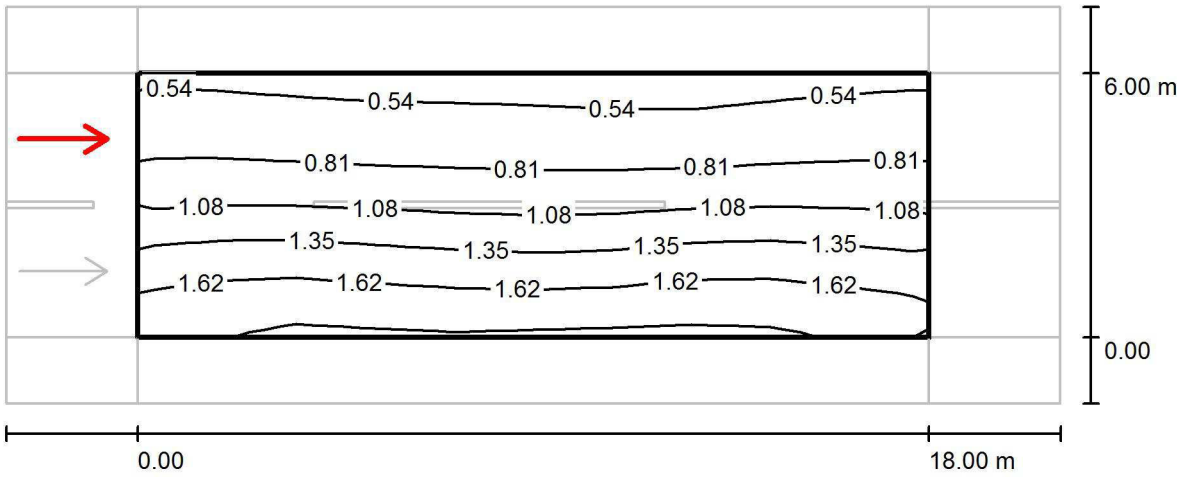



Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.02 | 0.45 | 0.89 | 10 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## Živa 250W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 2 / Isolines (L)




Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.11 | 0.43 | 0.88 | 7 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

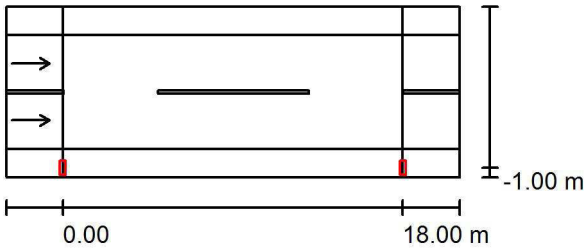
## Natrij 100W / Planning data

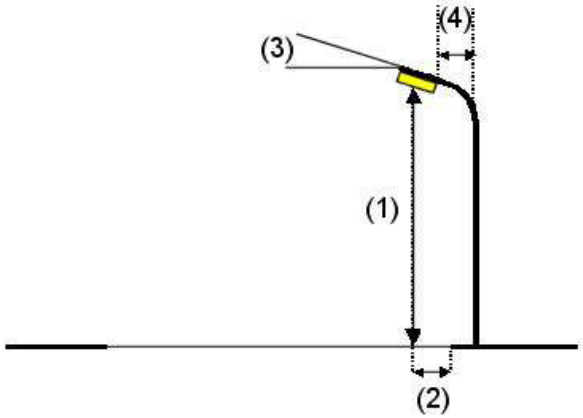
### Street Profile

| | |
|---|---|
| Sidewalk 1 | (Width: 1.500 m) |
| Roadway 1 | (Width: 6.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070) |
| Sidewalk 2 | (Width: 1.500 m) |

Maintenance factor: 0.80

### Luminaire Arrangements




| | |
|---|---|
| Luminaire: | PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1 |
| Luminous flux (Luminaire): | 8132 lm |
| Luminous flux (Lamps): | 10700 lm |
| Luminaire Wattage: | 114.0 W |
| Arrangement: | Single row, bottom |
| Pole Distance: | 18.000 m |
| Mounting Height (1): | 8.000 m |
| Height: | 7.793 m |
| Overhang (2): | -1.000 m |
| Boom Angle (3): | 0.0 ° |
| Boom Length (4): | -0.350 m |

Maximum luminous intensities

| | |
|---|---|
| at 70°: | 240 cd/klm |
| at 80°: | 3.84 cd/klm |
| at 90°: | 0.00 cd/klm |

Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

No luminous intensities above 90°.

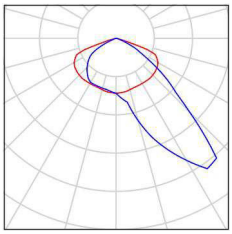
Arrangement complies with luminous intensity class G6.

Arrangement complies with glare index class D.6.

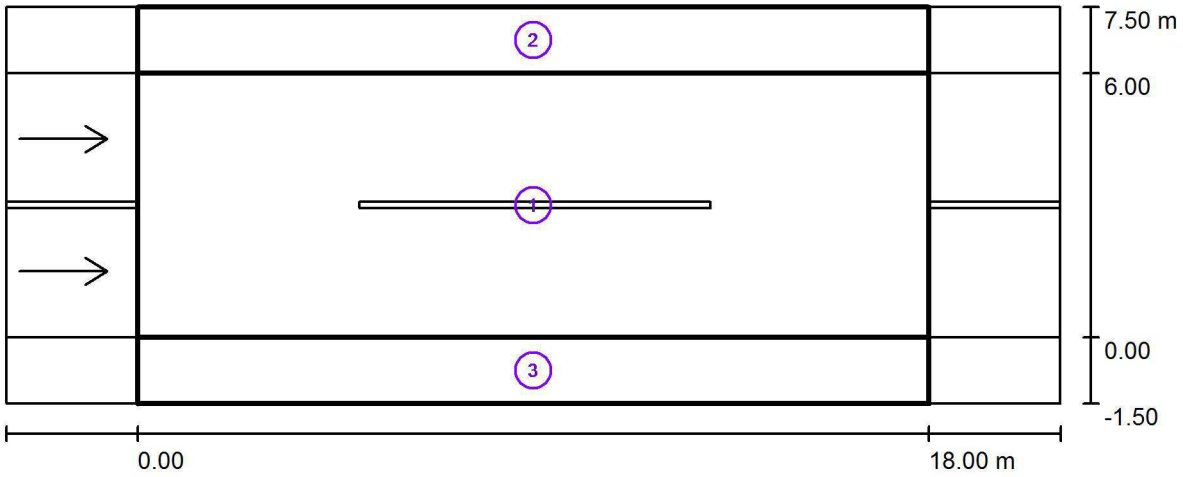
## Natrij 100W / Luminaire parts list

PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP100W TP P1
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 8132 lm
Luminous flux (Lamps): 10700 lm
Luminaire Wattage: 114.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 41 82 99 100 76
Fitting: 1 x SON-TPP100W (Correction Factor 1.000).





## Natrij 100W / Photometric Results




Maintenance factor: 0.80

Scale 1:172

**Calculation Field List**

1 Valuation Field Roadway 1
Length: 18.000 m, Width: 6.000 m
Grid: 10 x 6 Points
Accompanying Street Elements: Roadway 1.
tarmac: R3, q0: 0.070
Selected Lighting Class: ME3b (All lighting performance requirements are met.)

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | Ul | TI [%] | SR |
|---|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.30 | 0.70 | 0.81 | 4 | 0.51 |
| Required values according to class: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 | ≥ 0.50 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## Natrij 100W / Photometric Results

### Calculation Field List

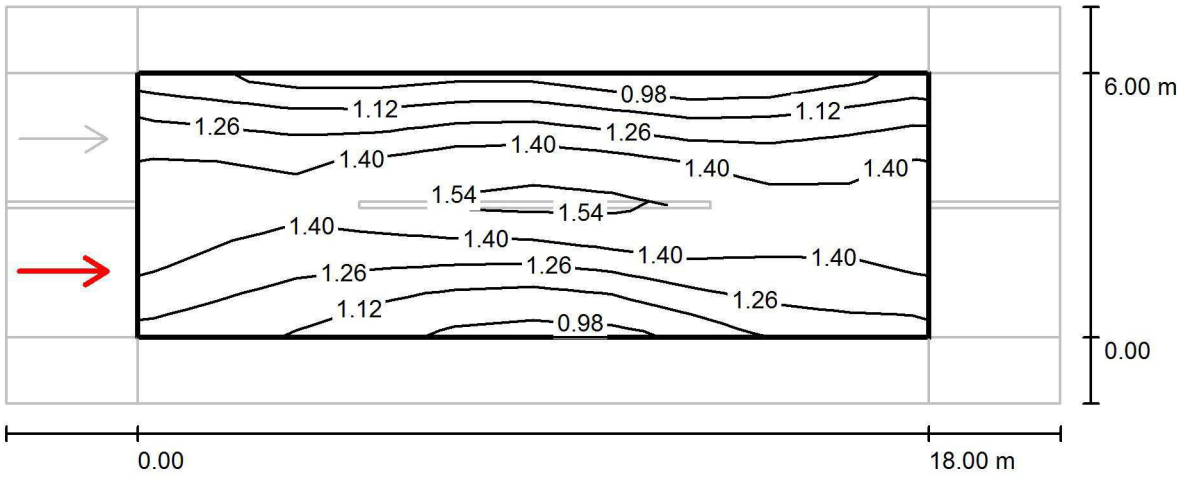
2 Valuation Field Sidewalk 1
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 1.
Selected Lighting Class: S1 (All lighting performance requirements are met.)

| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 16.78 | 13.55 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ |

3 Valuation Field Sidewalk 2
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 2.
Selected Lighting Class: S1 (All lighting performance requirements are met.)

| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 16.11 | 10.76 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ |

## Natrij 100W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 1 / Isolines (L)

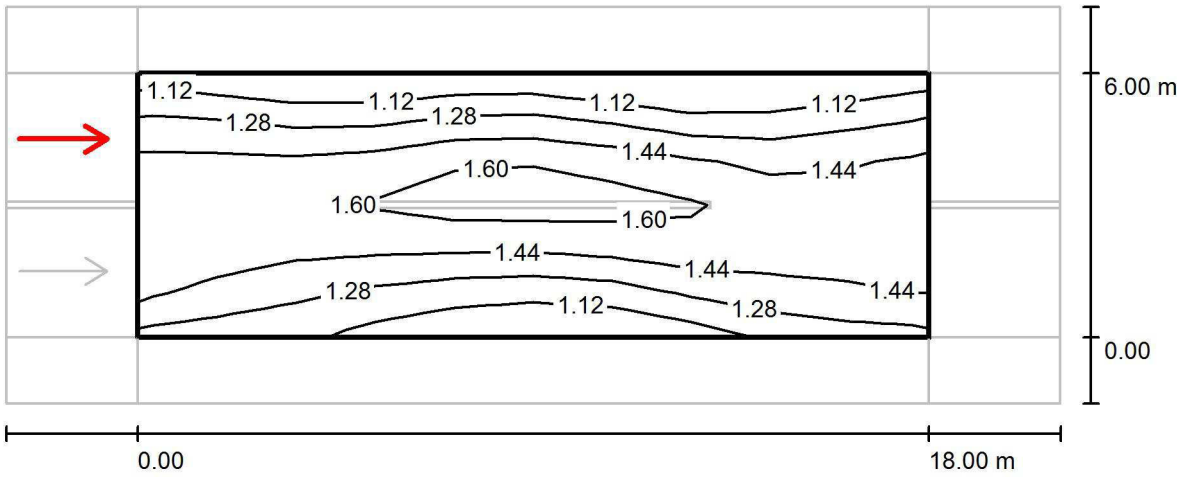



Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.30 | 0.72 | 0.81 | 4 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## Natrij 100W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 2 / Isolines (L)




Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.38 | 0.70 | 0.86 | 3 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

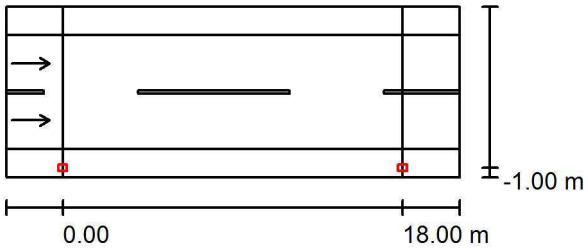
## LED 58W / Planning data

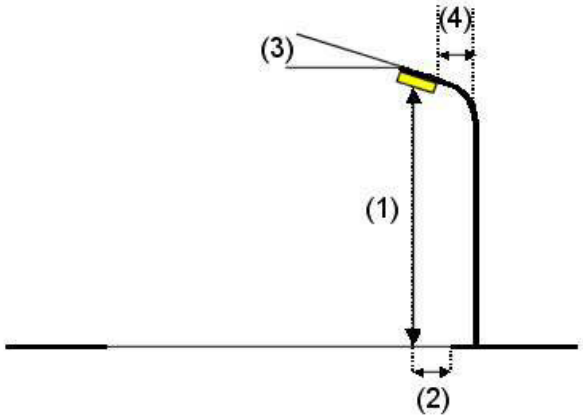
### Street Profile

| | |
|---|---|
| Sidewalk 1 | (Width: 1.500 m) |
| Roadway 1 | (Width: 6.000 m, Number of lanes: 2, tarmac: R3, q0: 0.070) |
| Sidewalk 2 | (Width: 1.500 m) |

Maintenance factor: 0.80

### Luminaire Arrangements



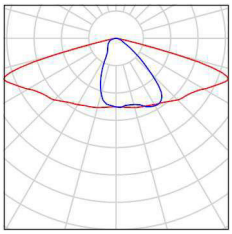




| | | | |
|---|---|---|---|
| Luminaire: | PHILIPS BGP303 1xLED73-3S/740 DM | | |
| Luminous flux (Luminaire): | 6375 lm | Maximum luminous intensities | |
| Luminous flux (Lamps): | 7500 lm | at 70°: | 609 cd/klm |
| Luminaire Wattage: | 58.0 W | at 80°: | 48 cd/klm |
| Arrangement: | Single row, bottom | at 90°: | 0.00 cd/klm |
| Pole Distance: | 18.000 m | Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use. | |
| Mounting Height (1): | 8.080 m | | |
| Height: | 8.000 m | No luminous intensities above 90°. | |
| Overhang (2): | -1.000 m | Arrangement complies with luminous intensity class G3. | |
| Boom Angle (3): | 0.0 ° | Arrangement complies with glare index class D.6. | |
| Boom Length (4): | -0.350 m | | |

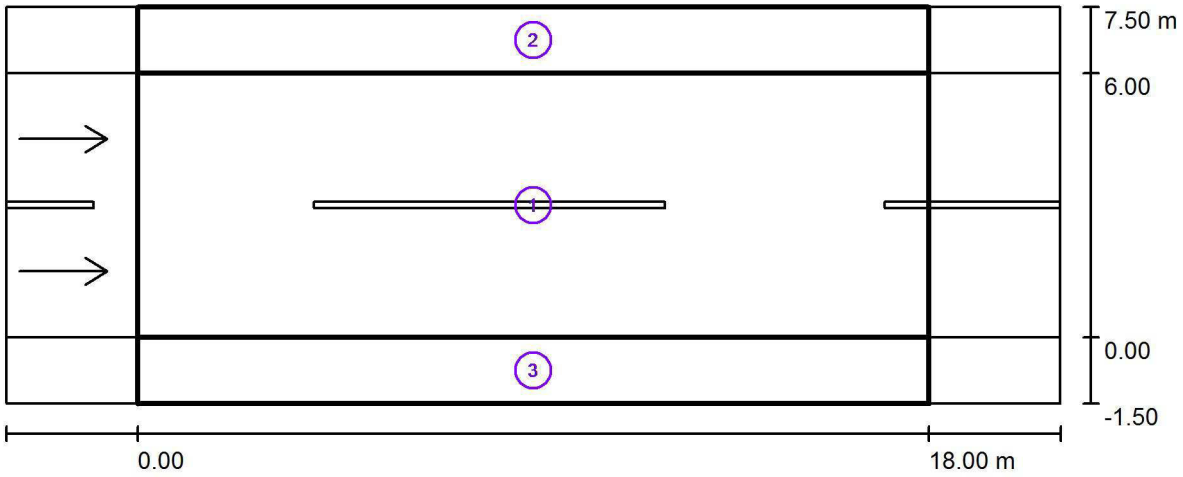
## LED 58W / Luminaire parts list

PHILIPS BGP303 1xLED73-3S/740 DM
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 6375 lm
Luminous flux (Lamps): 7500 lm
Luminaire Wattage: 58.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 42 76 97 100 85
Fitting: 1 x LED73-3S/740 (Correction Factor 1.000).





## LED 58W / Photometric Results




Maintenance factor: 0.80

Scale 1:172

**Calculation Field List**

1 Valuation Field Roadway 1
Length: 18.000 m, Width: 6.000 m
Grid: 10 x 6 Points
Accompanying Street Elements: Roadway 1.
tarmac: R3, q0: 0.070
Selected Lighting Class: ME3b (All lighting performance requirements are met.)

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | Ul | TI [%] | SR |
|---|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.44 | 0.51 | 0.92 | 10 | 0.71 |
| Required values according to class: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 | ≥ 0.50 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## LED 58W / Photometric Results

### Calculation Field List

2 Valuation Field Sidewalk 1
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 1.
Selected Lighting Class: S1 (Not all lighting performance requirements are met.)

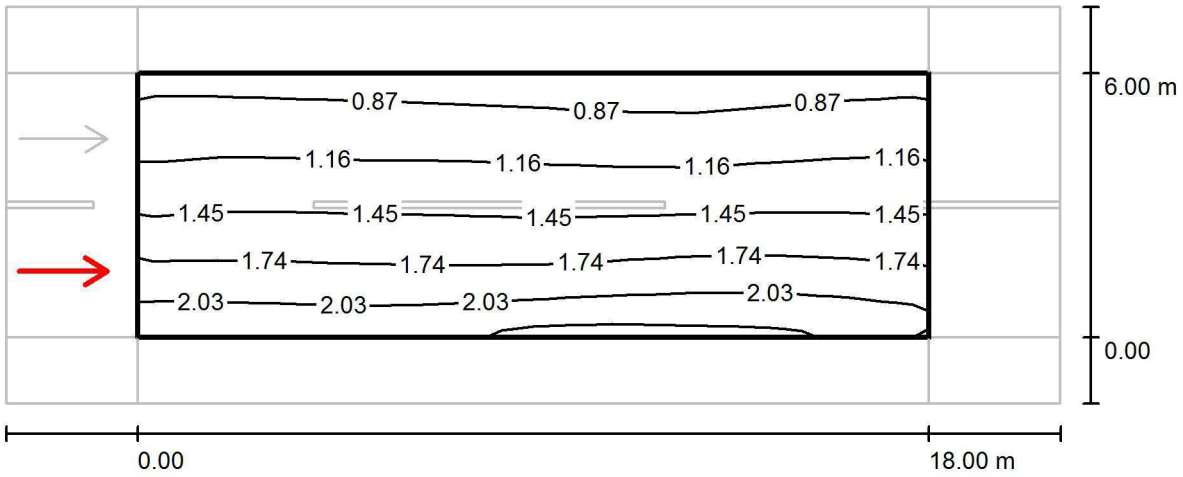
| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 12.14 | 9.45 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✗ | ✓ |

3 Valuation Field Sidewalk 2
Length: 18.000 m, Width: 1.500 m
Grid: 10 x 3 Points
Accompanying Street Elements: Sidewalk 2.
Selected Lighting Class: S1 (Not all lighting performance requirements are met.)

| | $E_{av}$ [lx] | $E_{min}$ [lx] |
|---|---|---|
| Calculated values: | 24.12 | 19.16 |
| Required values according to class: | ≥ 15.00 | ≥ 5.00 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✗ [1] | ✓ |

[1] Notice: To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the minimum value indicated for the class.

## LED 58W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 1 / Isolines (L)

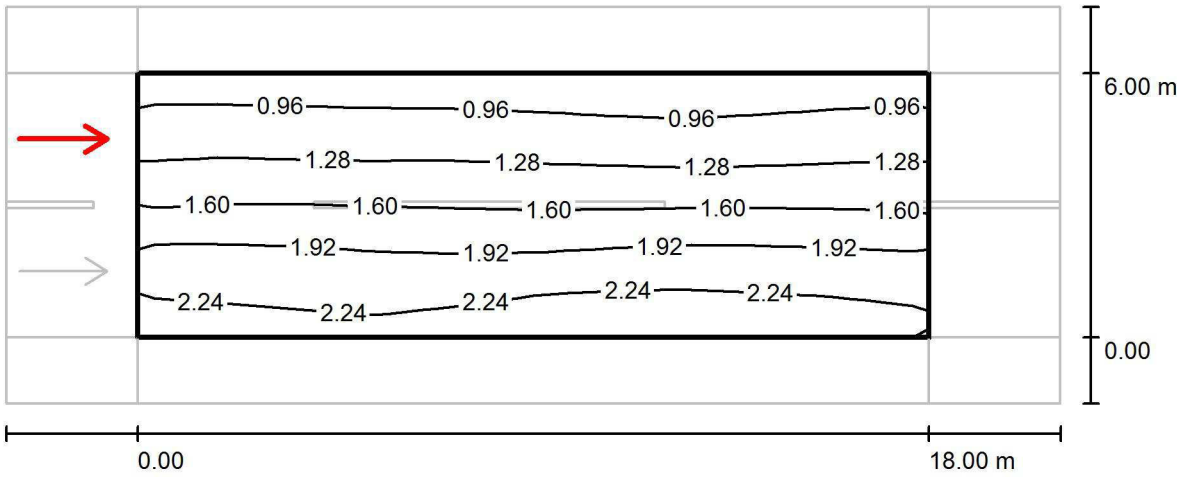



Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.44 | 0.54 | 0.93 | 10 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## LED 58W / Valuation Field Roadway 1 / Observer 2 / Isolines (L)




Values in Candela/m², Scale 1 : 172

Grid: 10 x 6 Points
Observer Position: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
tarmac: R3, q0: 0.070

| | $L_{av}$ [cd/m²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|---|---|---|---|
| Calculated values: | 1.60 | 0.51 | 0.92 | 5 |
| Required values according to class ME3b: | ≥ 1.00 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 |
| Fulfilled/Not fulfilled: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |