

**POLITEHNIKA PULA**  
**VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA S P.J.**

DIPLOMSKI RAD

**SVJETLOSNO ZAGAĐENJE**

Igor Terlević

Pula, lipanj 2011.



**POLITEHNIKA PULA**  
**VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA S P.J.**

Igor Terlević

Matični broj: 0269

**SVJETLOSNO ZAGAĐENJE**

Diplomski rad

Kolegij: Elektrotehnika

Mentor: prof.dr.sc. Luciano Delbianco

Pula, lipanj 2011.

# SAŽETAK

Svjetlosno zagađenje je svaka nepotrebna/nekorisna emisija svjetlosti u prostor izvan zone (ceste, ulice, trga..) koju je potrebno osvijetliti, odnosno, svako emitiranje umjetnog svjetla u područja gdje je ono nepotrebno ili neželjeno. Uzrokuju ga vanjska rasvjetna tijela koja, često zbog toga jer su nepravilno postavljena, svjetlost bacaju prema nebu ili u stranu. Sve što isijava svjetlost u stranu umjesto prema tlu, zagađuje nebo i okolinu sa viškom svjetlosti.

Svjetlosno zagađenje je svjetski problem koji utječe na gotovo cijelu ljudsku populaciju. Za razliku od onečišćenja vode ili zraka, svjetlosno zagađenje nepoznanica je za većinu ljudi. Na prvi pogled beznačajan problem izaziva mnoge neželjene efekte od nepotrebnog rasipanje energije do štetnog utjecaja na životinje i ugrožavanja sigurnosti u prometu.

Glavna značajka zagađenja svjetlom jest povećanje svjetline neba za vrijeme noći uzrokovano umjetnom rasvjetom.

**SADRŽAJ:**

1. Uvod .....	1
2. Uvodna razmatranja .....	2
2.1. Fizikalne osnove svjetla i boje .....	2
2.1.1. Spektar zračenja .....	2
2.1.2. Teorija zračenja.....	4
2.1.3. Spektar vidljivog zračenja .....	5
2.1.4. Svjetlost i boja .....	8
2.1.5. Temperatura boja.....	9
2.2. Elementi vizualne percepcije .....	10
2.2.1. Ljudsko oko.....	10
2.3. Svjetlotehničke veličine i jedinice .....	13
2.3.1. Svjetlosni tok.....	14
2.3.2. Jakost svjetlosti .....	15
2.3.3. Rasvjetljenost.....	16
2.3.4. Luminacija.....	18
3. Propisi koji reguliraju svjetlosno zagađenje .....	21
3.1. Zakon o sigurnosti prometa na cestama (4. lipnja 2008.).....	21
3.2. Zakon o zaštiti okoliša (10. listopada 2007.) .....	22
4. Utjecaji svjetlosnog zagađenja .....	23
4.1. Utjecaji na promet .....	23
4.2. Utjecaji na javnu sigurnost .....	24
4.3. Utjecaji na energetiku.....	26
5. Praktični primjeri na području grada Pule .....	28
6. Tehno-ekonomska analiza modernizacije javne rasvjete Grada Pule .....	42
6.1. Metodologija proračuna.....	42
6.1.1. Simulacija trenutne potrošnje sustava.....	42
6.1.2. Simulacija potrošnje energije nakon modernizacije.....	43
6.1.3. Proračun ušteda u energiji .....	43
6.1.4. Proračun ušteda u održavanju .....	44

# POLITEHNIKA PULA

## Visoka tehničko – poslovna škola

---

6.2.	Stanje javne rasvjete grada Pule prije modernizacije .....	45
6.3.	Radni raspored javne rasvjete .....	46
6.4.	Potrošnja električne energije sustava javne rasvjete .....	46
6.5.	Stanje javne rasvjete Grada Pule nakon modernizacije .....	48
6.6.	Tehno-ekonomska analiza mjernog mjesta 134 .....	49
6.6.1.	Stanje javne rasvjete mjernog mjesta 134 prije modernizacije .....	50
6.6.2.	Potrošnja električne energije prema računima .....	51
6.6.3.	Mjere modernizacije javne rasvjete mjernog mjesta 134 .....	52
6.6.4.	Stanje javne rasvjete mjernog mjesta 134 nakon modernizacije .....	54
7.	Zaključak .....	55
8.	Literatura .....	56
9.	Prilozi .....	57

**Popis tablica:**

Tablica 1. Valne duljine elektromagnetskog zračenja (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	3
Tablica 2. Svjetlotehničke veličine .....	13
Tablica 3. Primjeri rasvijetljenosti (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	17
Tablica 4. Primjer različitih izvora svjetlosti jednake jakosti svjetlosti, ali različite luminacije, koju primjećuje ljudsko oko (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	19
Tablica 5. Financijski pokazatelji prema Scenariju 2 .....	42
Tablica 6. Proračun ušteta u održavanju .....	44
Tablica 7. Struktura svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti .....	45
Tablica 8. Raspodjela po snazi žarulje .....	46
Tablica 9. Potrošnja električne energije prema računima za tri godine.....	47
Tablica 10. Usporedna tablica godišnje potrošnje, prosječne potrošnje, simulacije sa 100% snage sustava i referentne potrošnje.....	48
Tablica 11. Tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije .....	49
Tablica 12. Financijski pokazatelji .....	49
Tabela 13. Struktura svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti.....	50
Tablica 14. Raspodjela po snazi žarulje .....	50
Tablica 15. Raspodjela prema modelu svjetiljke.....	51
Tablica 16. Potrošnja električne energije mjernog mjesta 134 prema računima za tri godine.....	52
Tablica 17. Mjera 2 .....	53
Tablica 18. Mjera 4 .....	53
Tablica 19. Tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije .....	54
Tablica 20. Financijski pokazatelji .....	54

**Popis slika:**

Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010).....	3
Slika 2. $V(\lambda)$ za RGB komponente (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	6
Slika 3. Krivulje $V(\lambda)$ i $V'(\lambda)$ koriste se za vrednovanje stupnja svjetlosnog utiska energetsko jednakih spektara (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	7
Slika 4. Složeno zračenje - diskretno.....	7
Slika 5. Složeno zračenje - kontinuirano.....	7
Slika 6. Monokromatsko zračenje.....	7
Slika 7. Trikromatski dijagram prema DIN 5033 (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010).....	9
Slika 8. Planckova krivulja s Judd linijama (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010) .....	10
Slika 9. Ljudsko oko.....	11
Slika 10. Utjecaj sjajnosti na širinu zjenice oka.....	12
Slika 11. Prostorni kut.....	14
Slika 12. Svjetlosni tok.....	15
Slika 13. Jakost svjetlosti.....	16
Slika 14. Rasvijetljenost.....	17
Slika 15. Rasvijetljenost površine .....	18
Slika 16. Rasvijetljenost u točki .....	18
Slika 17. Utjecaj površine na luminaciju .....	19
Slika 18. Ovisnost luminacije o površini.....	20
Slika 19. Primjer utjecaja rasvjete na uočavanje sudionika u prometu .....	24
Slika 20. Usporedba dvorišne (protuprovalne) rasvjete .....	25
Slika 21. Pulska zaobilaznica – primjer dobre ekološke rasvjete.....	28
Slika 22. Pulska zaobilaznica (novi kružni tok) - primjer dobre ekološke rasvjete ....	29

# POLITEHNIKA PULA

## Visoka tehničko – poslovna škola

---

Slika 23. Uspon na Monte Zaro (Boškovićev uspon) - primjer loše postavljene neekološke rasvjete koja zasljepljuje vozače.....	30
Slika 24. Uspon na Monte Zaro (Boškovićev uspon) - primjer loše postavljene neekološke rasvjete koja zasljepljuje vozače.....	30
Slika 25. Park Monte Zaro - primjer „polu-ekološke“ rasvjete koja je ujedno i loše postavljena (previše svjetlosti odlazi pored reflektora) .....	31
Slika 26. Park Monte Zaro - primjer „polu-ekološke“ rasvjete koja je ujedno i loše postavljena (previše svjetlosti odlazi pored reflektora) .....	32
Slika 27. Vrtić Monte Zaro - primjer loše neekološke rasvjete koja usput osvjetljava i pulsku zvjezdarnicu. ....	33
Slika 28. Pulska zvjezdarnica - neželjeno osvjetljena rasvjetom vrtića Monte Zaro..	33
Slika 29. Park Monte Zaro (fontana) - dobar primjer ekološke rasvjete .....	34
Slika 30. Park Monte Zaro (fontana) - dobar primjer ekološke rasvjete .....	35
Slika 31. Stepenice sa Monte Zaro prema Centru grada - primjer ekološke rasvjete	36
Slika 32. Stepenice sa Monte Zaro prema Centru grada - primjer ekološke rasvjete	36
Slika 33. Smareglina ulice (kod INK-a) - primjer ekološke rasvjete .....	37
Slika 34. Smareglina ulica (kod INK-a) - primjer ekološke rasvjete .....	38
Slika 35. Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete .....	39
Slika 36. Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete .....	40
Slika 37. Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete .....	41
Slika 38. Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete .....	41
Slika 39. Usporedni graf potrošnje električne energije iz računa i prosječne potrošnje .....	52

## 1. Uvod

Svjetlosno zagađenje je svaka nepotrebna/nekorisna emisija svjetlosti u prostor izvan zone (ceste, ulice, trga..) koju je potrebno osvijetliti, odnosno, svako emitiranje umjetnog svjetla u područja gdje je ono nepotrebno ili neželjeno. Uzrokuju ga vanjska rasvjetna tijela koja, često zbog toga jer su nepravilno postavljena, svjetlost bacaju prema nebu ili u stranu. Sve što isijava svjetlost u stranu umjesto prema tlu, zagađuje nebo i okolinu sa viškom svjetlosti. Svjetlosno zagađenje je svjetski problem koji utječe na gotovo cijelu ljudsku populaciju.

Za razliku od onečišćenja vode ili zraka, svjetlosno zagađenje nepoznanica je za većinu ljudi. Na prvi pogled beznačajan problem izaziva mnoge neželjene efekte od nepotrebno rasipanje energije do štetnog utjecaja na životinje i ugrožavanja sigurnosti u prometu. Glavna značajka zagađenja svjetlom jest povećanje svjetline neba za vrijeme noći uzrokovano umjetnom rasvjetom. Neka od područja na koje svjetlosno zagađenje najviše utječe su ekologija, astronomija, javna sigurnost, sigurnost u prometu, energetika itd.

Astronomi amateri zbog sve veće svjetline neba, pogotovo u gradovima, sve teže nalaze pogodan prostor za uspješno promatranje neba. Mnoge životinje kao što su ptice selice ili morske kornjače orijentiraju se pomoću zvijezda ili mjeseca. Loše riješena rasvjeta smeta i u prometu. Dio svjetlosti zasljepljuje vozače direktno, a odbljesci sa mokre ceste i indirektno. Uz sve te probleme, rasvjetna tijela koja svjetlost nepotrebno isijavaju u okolinu rasipaju i energiju. To dovodi do apsurdna da vlasnici takvih tijela u stvari troše novac da bi zagađili vlastiti okoliš.

## 2. Uvodna razmatranja

Čovjek prvenstveno skuplja informacije vidom, budući je njegova okolina vizualni svijet. Oko je najvažnije osjetilo i dobiva 80% svih informacija koje čovjek prima. Bez svjetla ovo ne bi bilo moguće – svjetlo je medij koji omogućuju vizualnu percepciju. Brzina prijenosa informacija vidom (od oka do mozga) je gotovo 10 puta veća nego sluhom (od uha do mozga).

Svjetlo ne omogućuje samo da vidimo, već i utječe na raspoloženje i osjećaj dobrostanja. Rasvijetljenost i boja, utjecaj sjene i izmjena svjetla i tame utječu na trenutne osjećaje i određuju ritam života. Nedovoljno svjetla ili potpuni izostanak stvaraju osjećaj nesigurnosti – nedostatak informacija. Umjetno svjetlo zbog toga povećava osjećaj sigurnosti. Prosječan Europljanin provede 90% svog vremena u zatvorenom, pa je zbog toga važnost umjetne rasvjete nenadoknadiva.

Sve što se želi vidjeti mora biti osvijetljeno, budući je sama svjetlost nevidljiva. Za sunčana dana rasvijetljenost je do 100.000 lx, u hladu drveta 10.000 lx, a pri mjesecini samo 0,2 lx. Ipak, prilagodljivost oka dozvoljava da vidimo u svim ovim uvjetima.

Prije 400.000 godina čovjek je počeo koristiti vatru kao izvor svjetla i topline. Unatrag nekoliko desetaka godina je razvoj izvora svjetlosti i svjetiljaka izuzetno dinamičan, te uključuje najnovije tehnologije, nove optičke sustave, nove materijale i posebno u zadnje vrijeme – brigu prema okolišu.

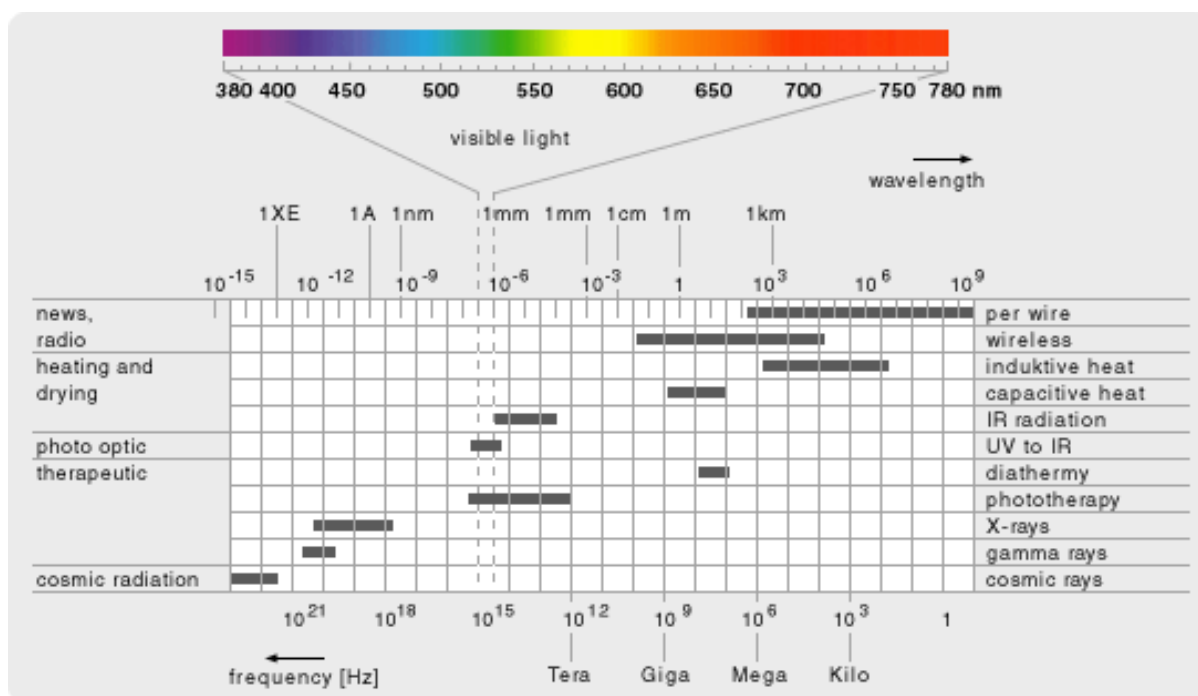
### 2.1. Fizikalne osnove svjetla i boje

#### 2.1.1. Spektar zračenja

Elektromagnetsko zračenje je oblik energije, a spektar takvog zračenja daje informaciju o njegovom sastavu. Kompletan spektar elektromagnetskog zračenja

obuhvaća od X-zraka na visokoenergetskom, kratkovalnom području do radio valova na nisko-energetskom, dugovalnom području.

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od  $10^{-7}$  m do  $10^{-3}$  m koje nadražuje mrežnicu u čovječjem oku i time u organizmu izaziva osjet vida. Taj dio zračenja nazivamo optičko zračenje.



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Tablica 1. Valne duljine elektromagnetskog zračenja (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Zračenje	Valna duljina
UV – C	100 – 280 nm
UV – B	315 – 380 nm
UV – A	315 – 380 nm
Vidljivo zračenje	380 – 780 nm
IR – A	780 nm – 1,4 $\mu$ m
IR – B	1,4 – 3 $\mu$ m
IR – C	3 $\mu$ m – 1 mm

Svjetlost se može protumačiti na dva načina, i to u:

fizikalnom smislu (prijenos energije u obliku elektromagnetskih valova ili čestica)

osjetilnom smislu (modeliranje djelovanja ljudskog oka)

Od ukupnog toka energije što je zrači neki izvor svjetlosti, samo elektromagnetsko zračenje valnih duljina od 380 do 780 nm može izazvati vizualni osjet svjetline, i naziva se vidljivi dio spektra. Iznad i ispod tog dijela spektra nalazi se infracrveno (IR) i ultraljubičasto (UV) područje.

IR područje obuhvaća valne duljine od 780 nm do 1 mm. Ovo termičko zračenje sunca omogućuje život na zemlji.

UV zračenje (100 do 380 nm) je zbog svog biološkog učinka nužno, ali i štetno u UV-C području (ozonska rupa!).

### 2.1.2. Teorija zračenja

Za tumačenje fizikalnih svojstava svjetlosti koristimo se dualnom teorijom zračenja:

- Valnom duljinom:

Svjetlost se širi prostorom kao elektromagnetski val.

Brzina širenja je:

$$c = f \times \lambda$$

gdje su:

c brzina širenja (m/s),

f frekvencija zračenja (Hz),

$\lambda$  valna duljina (m)

- Kvantnom teorijom:

Svako je zračenje sastavljeno od elementarnih energetske čestice (fotona).

Fotoni se u vakuumu šire brzinom svjetlosti i njihova je energija to veća što je frekvencija zračenja veća, odnosno što je valna duljina manja.

Količina energije definira se kao:

$$W = h \times f$$

gdje su:

h Planckova konstanta (Js)

f frekvencija zračenja (Hz)

**Planckova konstanta** jedna je od osnovnih fizikalnih konstanti, koja se ne pojavljuje u okviru klasične fizike, ali se kao veličina često pojavljuje u kvantnoj mehanici.

Planckova konstanta iznosi:

$$h = 6,6260693 \times 10^{-34} [Js] = 4,13566743 \times 10^{-15} [eVs]$$

Dimenzija Planckove konstante je (N·m·s), što je također dimenzija fizikalne veličine poznate kao akcija. Planckova konstanta prvi je puta uvedena u okviru tumačenja zračenja crnog tijela od strane Maxa Plancka, što je predstavljalo početak stvaranja kvantne mehanike. Upravo ova pretpostavka da atom ne može primiti ili emitirati bilo kakvu količinu energije, već samo neke određeno količine (kvante) dalo je teoriji ime.

Foton nema materijalne osnove, dakle ima energiju samo ako se krede. Kada neki foton naiđe na neki materijalni atom onda on nestaje i predaje mu svu energiju. Novo zračenje materije može tada imati istu ili manju energiju, te stoga ima veću valnu duljinu. Ovo svojstvo koristi se kod izvora svjetlosti na izboj u plinu, fluorescentnih materijala i fotoelemenata.

I valna i kvantna teorija zračenja koriste se za objašnjenje učinaka svjetlosti i njenog ponašanja prema zakonima prirode.

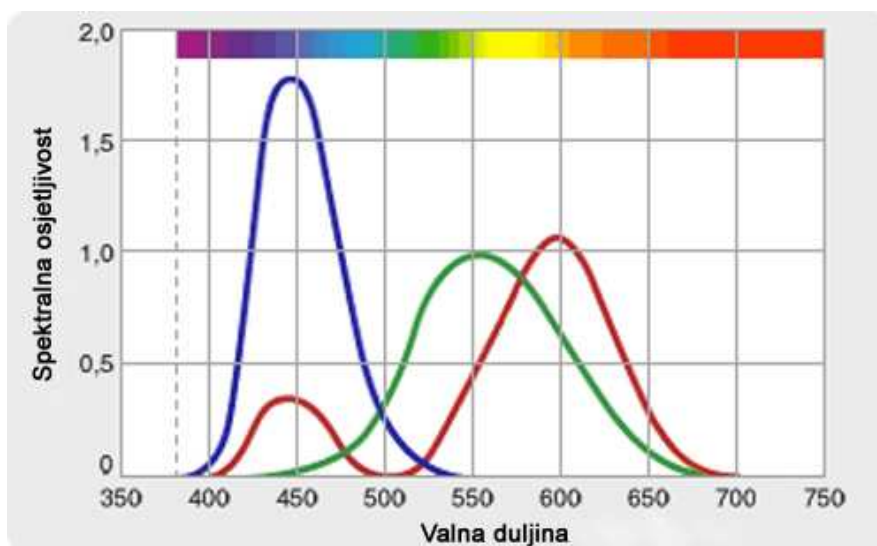
### 2.1.3. Spektar vidljivog zračenja

Vidljivi dio spektra obuhvaća zračenja valne duljine od 380 -780 nm.

Čunjići u oku dijele svjetlo u tri različita područja spektra, koje nazivamo crveni, zeleni i plavi (RGB), te pobuđuju mozak na aditivno miješanje boja. Zbog toga

Ljudsko oko nije jednako osjetljivo na sve dijelove vidljivog spektra. To znači da je za valne duljine na krajevima vidljivog spektra potrebna veća snaga zračenja da bi se dobio utisak iste sjajnosti.

Odnos između snage zračenja pri 555 nm i snage zračenja za druge valne duljine naziva se relativna svjetlosna osjetljivost.

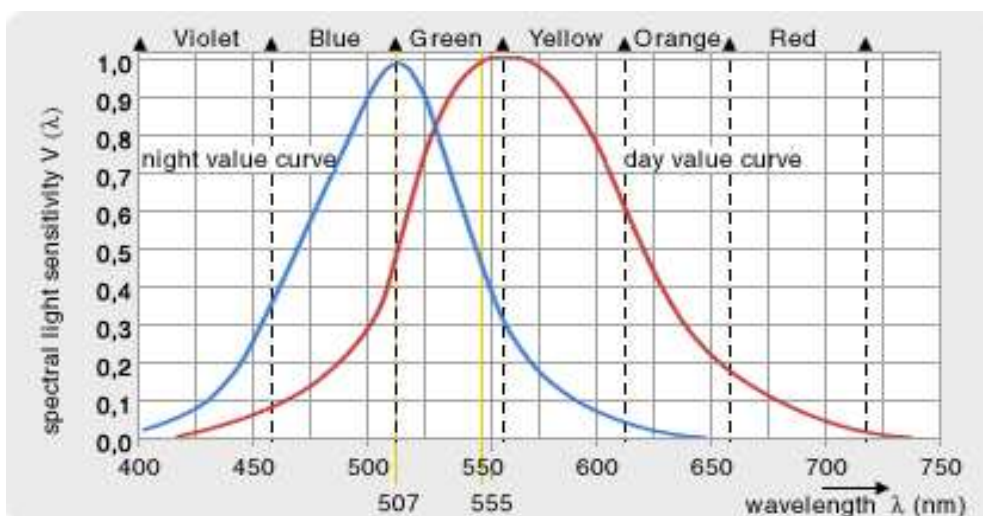


Slika 2.  $V(\lambda)$  za RGB komponente (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Ovisno o nivou sjajnosti (luminancije), dva tipa očnih receptora - štapići i čunjići - su uključeni u proces viđenja:

- Štapići su jako osjetljivi na sjajnost, a manje na boju, pa su aktivniji pri manjoj sjajnosti (noćno ili fotopsko viđenje) i njihova maksimalna osjetljivost se nalazi u plavo-zelenom području na 507 nm  $-V'(\lambda)$
- Čunjići su osjetljiviji na boju, i preuzimaju ulogu u dnevnom (skotopskom) viđenju pri jačoj sjajnosti i njihova maksimalna osjetljivost se nalazi u žuto-zelenom području na 555 nm  $-V(\lambda)$

Prema krivuljama sa slike 3 podešavaju se svjetlotehnički instrumenti.



**Slika 3.** Krivulje  $V(\lambda)$  i  $V'(\lambda)$  koriste se za vrednovanje stupnja svjetlosnog utiska energetsko jednakih spektara (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

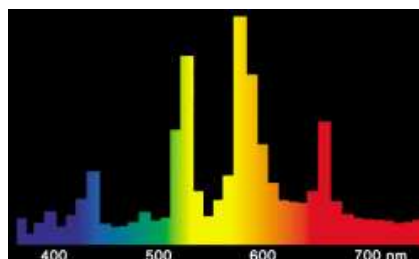
Naša percepcija svjetla zasniva se na njegovoj raspodjeli na spektralne komponente (frekventni sastav).

Razlikujemo:

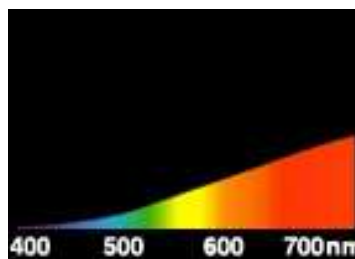
- Monokromatsko zračenje - sastoji se od samo jedne valne duljine, odnosno vrlo uskog spektra koji se može tako prikazati (npr. širine 10 nm)
- Složeno zračenje - sastoji se od više različitih valnih duljina.

Dijelimo ga na:

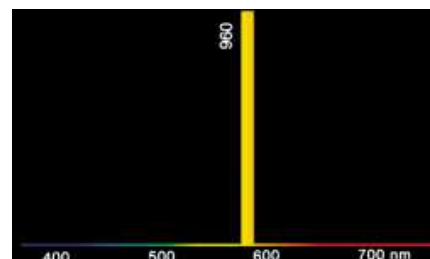
- Kontinuirano zračenje -bez skokovitih promjena valnih duljina
- Diskretno zračenje -sa skokovitim promjenama valnih duljina



**Slika 4.** Složeno zračenje - diskretno



**Slika 5.** Složeno zračenje - kontinuirano



**Slika 6.** Monokromatsko zračenje

Vidljivo zračenje može se podijeliti na:



- ljubičasto 380 - 400 nm
- plavo 400 - 430 nm
- modro 430 - 470 nm
- zeleno 470 - 520 nm
- žuto 520 - 590 nm
- narančasto 590 - 610 nm
- crveno 610 - 750 nm

### 2.1.4. Svjetlost i boja

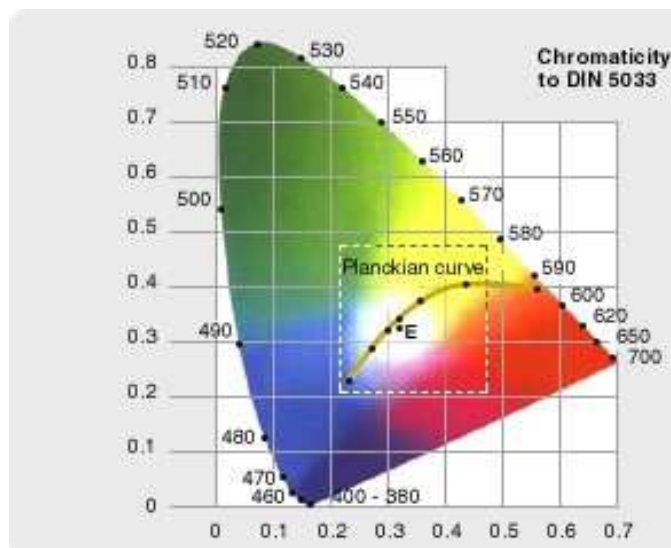
Vidljivo zračenje čovječje oko ne opaža samo po jačini svjetlosti već i po bojama. Taj se osjećaj naziva podražaj boja. Pri tome je svejedno da li se radi o zračenju izvora (boja svjetlosti) ili osvjetljenom objektu (boja predmeta), jer je upravo svjetlost jedini izvor boje na svijetu. Svjetlost je uvijek obojena, a zastupljenost pojedinih boja može se odrediti analizom pojedinih valnih duljina. Svjetlost ne može proizvesti nikakvu boju koje nema u spektru te svjetlosti (primjetno kod monokromatskih izvora svjetlosti).

Teorija tri boje (crvene, zelene i plave), koje nadražuju pojedine čepičaste receptore u oku, te superponiranjem svih podražaja stvaraju zapažanje boje, osnova je kolorimetrije. Kolorimetrija ili mjerenje boja je znanost koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem boja.

Na temelju teorije triju boja sve se boje mogu prikazati u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu, ako svaka točka sustava predstavlja određenu boju, na čemu se zasniva trikromatski dijagram.

CIE je definirala standardni kolorimetrijski sustav 1931. godine, a standardiziran je prema DIN 5033.

Uz pomoć trikromatskog dijagrama moguće je precizno odrediti svaku boju izvora svjetlosti uz poznate udjele barem dviju osnovnih boja (x i y).



Slika 7. Trikromatski dijagram prema DIN 5033 (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Definiraju se trikromatske komponente:

- x -mjerilo za crvenu boju
- y -mjerilo za zelenu boju
- z -mjerilo za plavu boju

$$x + y + z = 1$$

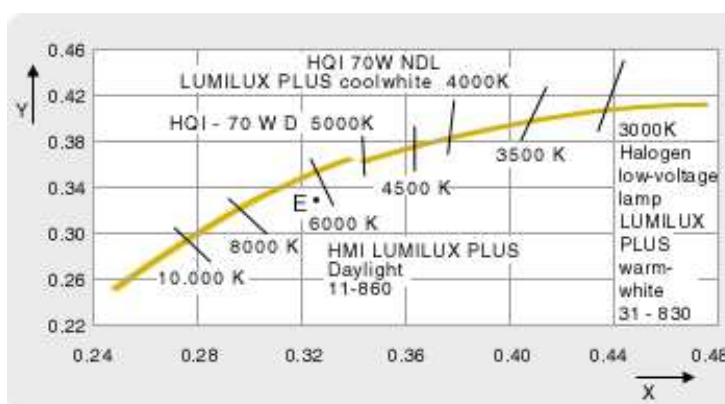
### 2.1.5. Temperatura boja

Za označavanje boje nekog izvora svjetlosti uz trikromatski dijagram koristi se i pojam temperature boje.

Temperatura boje označuje boju izvora svjetlosti usporedbom s bojom svjetlosti koju zrači idealno crno tijelo. Temperatura idealnog crnog tijela u Kelvinima, pri kojoj ono emitira svjetlost kao mjereni izvor, naziva se temperatura boje tog izvora svjetlosti.

Kada se trikromatske komponente crnog tijela za različite temperature unesu u dijagram boja, dobiva se linija koja se naziva Planckova krivulja.

Budući da izvori sa žarnom niti pripadaju grupi izvora s termičkim zračenjem, kao i idealno crno tijelo, njihove temperature boja leže na Planckovoj krivulji. Međutim, žarulje na izboj, kod kojih se svjetlo generira principom luminiscencije, imaju bitno drukčije spektralne karakteristike, te točke ne leže na Planckovoj krivulji nego u njenoj blizini, te se za takve izvore koristi pojam “slične temperature boje”. To je ona temperatura crnog tijela pri kojoj je njegova boja najbližnja boji izvora svjetlosti, što je određeno Judd linijama na Planckovoj krivulji.



**Slika 8.** Planckova krivulja s Judd linijama (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Zbog standardizacije, temperature boje izvora svjetlosti podijeljene su u tri grupe:

- dnevno svjetlo (>5.000 K)
- neutralno bijelo (3.500 -5.000 K)
- toplo bijelo (<3.500 K)

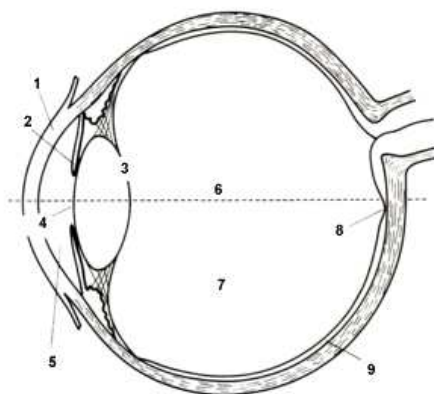
## 2.2. Elementi vizualne percepcije

### 2.2.1. Ljudsko oko

Naše oko je optički sustav za preslikavanje objekata na mrežnicu. Može se vrlo fleksibilno prilagoditi različitim uvjetima rasvjete. Granica osjetljivosti jest bilijunti dio luxa (zvijezda na noćnom nebu). Mrežnica je, za shvaćanje svjetla, odlučujući dio oka. Sastoji se od dva receptora različito osjetljivih na svjetlo: čunjića, zaduženog za shvaćanje boja i štapića koji je odgovoran za visoku osjetljivost na svjetlo.

Viđenje ima tri aspekta: prizor koji se gleda, slika tog prizora na mrežnici i njegov konačni vidni doživljaj u mozgu. Poznati objekti prepoznaju se brže od novih objekata.

Mrežnica predstavlja “projekciono platno” sa 130 milijuna receptorskih stanica, koje su uključene u proces viđenja ovisno o svjetlosnom nivou. 120 milijuna štapića osjetljivo je na svjetlo, i koristi se za rasvijetljenost manju od 1 lx, a 7 milijuna čunjića koristi se za prepoznavanje boja.



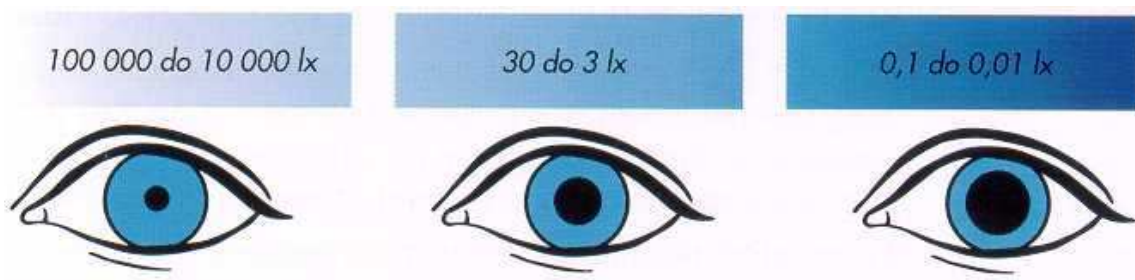
**Slika 9.** Ljudsko oko

Na slici 9 je moguće vidjeti ove dijelove:

1. Rožnica
2. Šarenica
3. Leća
4. Zjenica
5. Voda u ćeliji
6. Optička os
7. Staklasto tijelo
8. Žuta pjega
9. Mrežnica

Mogućnost oka da se prilagođuje na više ili manje razine sjajnosti naziva se adaptacija. Mogućnost adaptacije ljudskog oka kreće se unutar omjera sjajnosti od 1:

10 milijardi. Trajanje procesa adaptacije ovisi o sjajnosti na početku i kraju procesa. Adaptacija na manju sjajnost traje dulje od adaptacije na višu sjajnost. Proces adaptacije omogućuje složena mreža ganglija - živčanih stanica, koje prenose informacije do mozga.



**Slika 10.** Utjecaj sjajnosti na širinu zjenice oka

Oštrina vida je sposobnost razlikovanja finih detalja na nekom predmetu ili prizoru. Na nju utječe razina rasvjetljenosti, ali isto tako i starost promatrača.

Akomodacija je sposobnost oka da se prilagodi predmetu koji se nalazi na određenoj udaljenosti i da ga oštro vidi, što se postiže promjenom oblika očne leće.

Da bi se objekt prepoznao, potrebna je razlika sjajnosti ili boje između objekta i neposredne okoline, što se naziva minimalni kontrast.

Zadatak rasvjetnog sustava je da stvori dobre vizualne uvjete poznavajući način rada oka - npr. postizanjem odgovarajuće rasvjetljenosti i njene ravnomjerne raspoređenosti.

Trodimenzionalno ili stereoskopsko viđenje moguće je zahvaljujući činjenici da su naše oči međusobno razmaknute. Kada se fokusira objekt, uzorci koji se stvaraju na mrežnici oka se neznatno razlikuju za svako oko zbog drukčije perspektive, a mozak koristi ove informacije da bi "izračunao" utiska prostora, što omogućuje stvaranje utiska udaljenosti.

Kada se gleda u daljinu mozak razlikuje bliže i dalje objekte po plavoj komponenti njihovog svjetla. Bliži objekti imaju toplije i intenzivnije tonove, a dalji plavičasti i bljeđi izgled.

Ljudski sustav percepcije koristi sljedeće informacije:

- Kontrast
- Svjetlina
- Boja

### 2.3. Svjetlotehničke veličine i jedinice

Svjetlost se vrednuje na dva načina: fizikalnim veličinama i svjetlotehničkim veličinama. Fizikalnim se veličinama svjetlost opisuje u onom djelu gdje svjetlost promatramo energetski, kao elektromagnetski val ili kao energetsku česticu.

Svjetlotehničke odnosno fotometrijske veličine vrednuju svjetlost na temelju osjetilnog efekta i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra 380 do 780 nm.

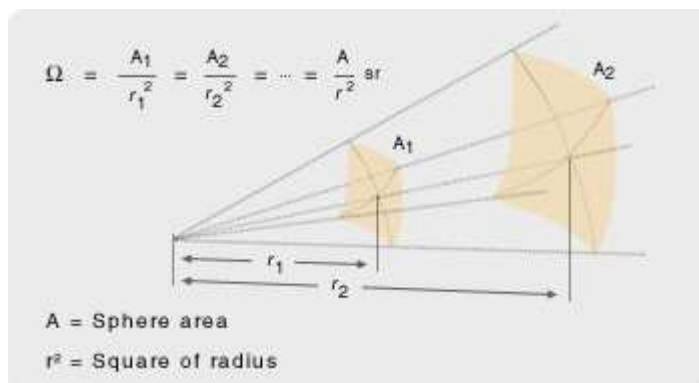
Da bi se ove jedinice razlikovale dodaje im se indeks  $e$  za fizikalne i  $v$  za fotometrijske. Ako se odnose samo na određenu valnu duljinu dodaje se još oznaka  $\lambda$ , a ako se odnose na neki spektar onda se u zagradi piše npr.  $V(\lambda)$ .

Tablica 2. Svjetlotehničke veličine

Veličina	Oznaka	Formula	Mjerna jedinica
Svjetlosni tok	$\Phi$	$\Phi = I \times \Omega$	Lumen (lm)
Jakost svjetlosti	$I$	$I = \Phi / \Omega$	Candela (cd)
Rasvjetljenost	$E$	$E = \Phi / A$	Lux (lx)
Sjajnost (luminacija)	$L$	$L = I / A$	Candela po kv. metru ( $cd/m^2$ )

$A$  - osvjetljena ili svjetleća površina ( $m^2$ )

$\Omega$  - prostorni kut (sr)



Slika 11. Prostorni kut

Prostorni kut predstavlja omjer površine kugle (A) i kvadrata njenog polumjera (r).

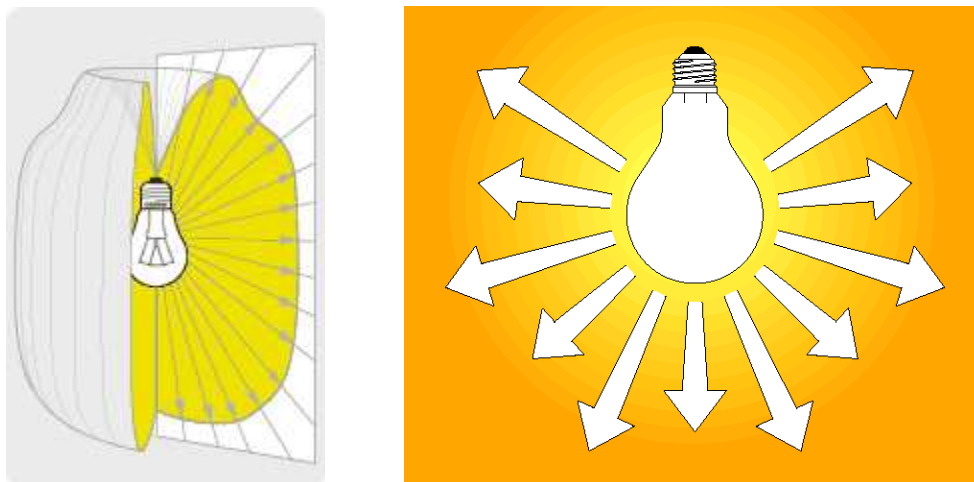
$$\Omega = A/r^2 [\text{sr}]$$

SI jedinica mjere je steradian (sr). Puni prostorni kut iznosi  $4\pi$  sr.

### 2.3.1. Svjetlosni tok

Svjetlosni tok predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u svim smjerovima. Ovo zračenje ljudsko oko vrednuje kao svjetlost prema krivulji osjetljivosti ljudskog oka.

Jedinica za svjetlosni tok je lumen (*lm*). To je izvedena jedinica SI sustava - točkasti izvor svjetla ima svjetlosni tok od 1 *lm* kada u prostorni kut od 1 *sr* zrači jakošću svjetlosti od 1 *cd*.



Slika 12. Svjetlosni tok

Svjetlosni tok standardne žarulje sa žarnom niti snage 100 W iznosi 1.380 lm, a kvalitetne fluorescentne cijevi snage 18 W iznosi 1.350 lm.

Da bi mogli povezati fotometrijske i fizikalne veličine, koristimo konstantu razmjernosti  $K(\lambda)$ , koju nazivamo fotometrijski ekvivalent zračenja.

Tako vrijedi:

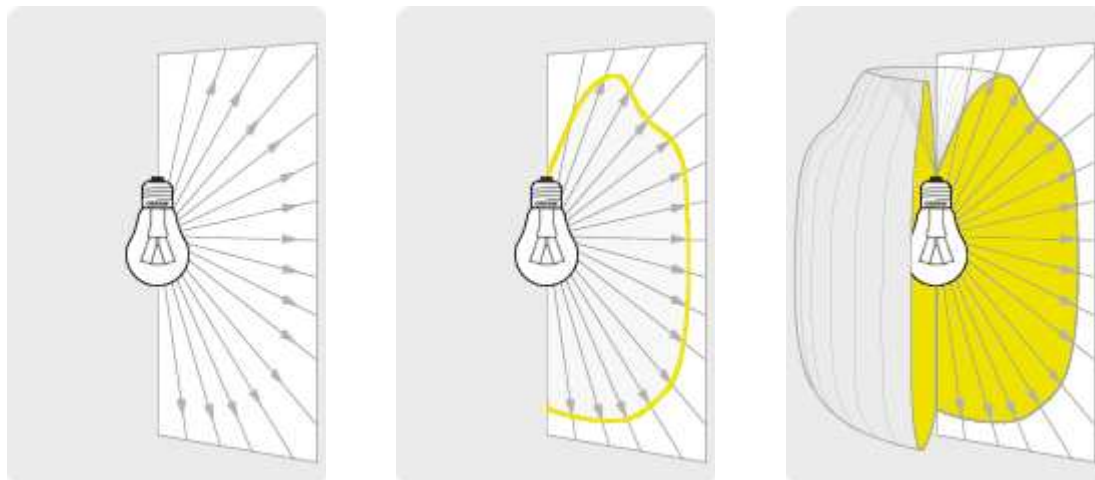
$$\Phi = \Phi_v = K_m \int \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

gdje je:

$K_m$  - maksimalni fotometrijski ekvivalent zračenja i iznosi 673 lm/W kod monokromatskog zračenja od 555 nm.

### 2.3.2. Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u određenom smjeru. Jedinica za jakost svjetlosti je candela (cd). To je osnovna jedinica SI sustava - definirana kao jakost svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monokromatski izvor svjetla frekvencije  $540 \times 10^{12}$  Hz i snage zračenja u tom smjeru od 1/683 W/sr.



Slika 13. Jakost svjetlosti

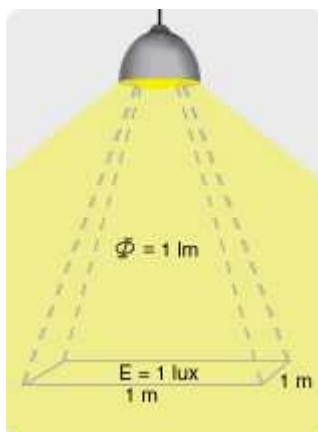
Jakost svjetlosti može se predstaviti vektorom. Spajanjem svih vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobiva se krivulja distribucije jakosti svjetlosti (fotometrijska krivulja). Obično se kod prikaza fotometrijske krivulje odabiru standardizirane ravnine.

Izvori svjetlosti sa simetričnom karakteristikom definiraju se svjetlosnim tokom u lumenima, i za njih vrijedi da je  $\Phi = 4 I$ , a ostali (npr. reflektorske žarulje) pomoću jakosti svjetlosnog toka.

Vrijedi:  $I = I_V = d\Phi_V/d\Omega$ , odnosno za konačni tok:  $I = \Phi/\Omega$

### 2.3.3. Rasvijetljenost

Rasvijetljenost je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za rasvijetljenost je lux (lx) i to je izvedena jedinica SI sustava. Lux je definiran kao rasvijetljenost 1 kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm. Radi se o isključivo računskoj veličini, koju naše oko ne primjećuje.



Slika 14. Rasvjetljenost

Tablica 3. Primjeri rasvjetljenosti (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

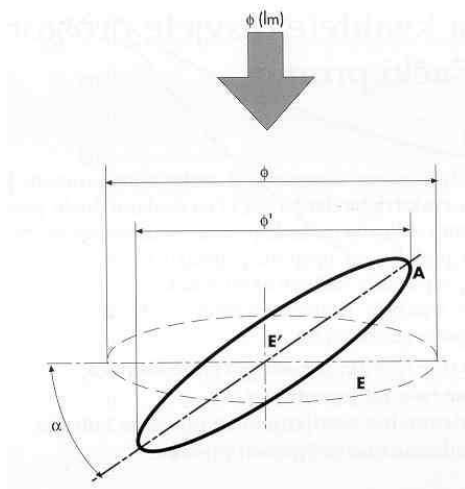
Primjer	Rasvjetljenost (lx)
Rasvjeta operacijskog stola	20.000 – 120.000
Sunčan ljetni dan	60.000 – 100.000
Oblačan ljetni dan	20.000
Oblačan zimski dan	3.000
Dobro rasvjetljeno radno mjesto	500 – 750
Pješačka zona	5 – 100
Noć s punim mjesecom	0,25
Noć s mladim mjesecom	0,01

Vrijedi:

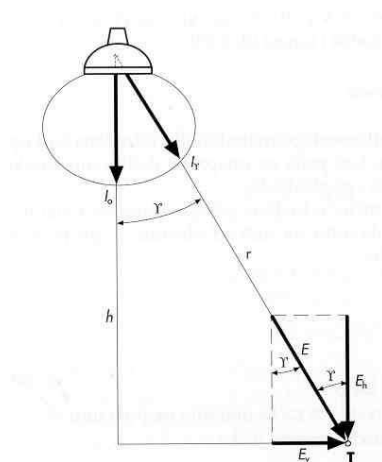
$E = E_v = d\Phi_v/dA$ , odnosno za konačni tok:  $E = \Phi/A$ . Također vrijedi (zbog  $\Omega = A/r^2$  i  $\Phi = I \times \Omega$ )  $E = I/r^2$ . Ovaj izraz vrijedi ako svjetlost pada okomito na površinu koju rasvjetljava, a ako pada pod kutom  $\alpha$ , potrebno je izraz pomnožiti s  $\cos \alpha$ .

Razlikujemo dvije vrste rasvjetljenosti:

- rasvjetljenost površine
- rasvjetljenost u točki



Slika 15. Rasvijetljenost površine



Slika 16. Rasvijetljenost u točki

Rasvijetljenost površine je omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada okomito na zadanu površinu i zadane površine. U slučaju da svjetlosni tok pada na zadanu površinu pod kutom  $\alpha$ , rasvijetljenost je manja i iznosi:  $E' = \Phi / A = \Phi \times \cos \alpha / A = E \times \cos \alpha$ .

Rasvijetljenost točke određene površine je omjer jakosti izvora svjetlosti koja pada okomito na tu točku i kvadrata udaljenosti, i iznosi  $E = I / r^2$ .

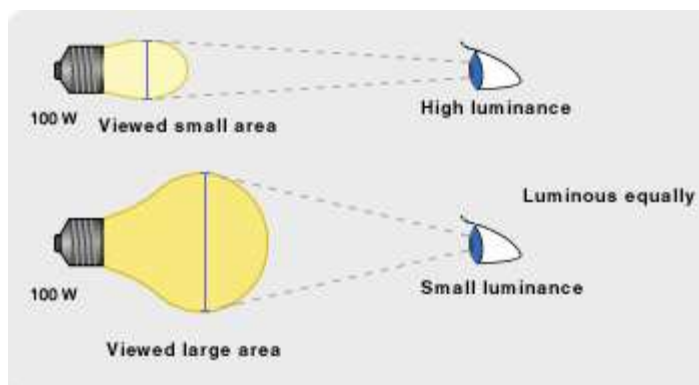
U slučaju da svjetlosni tok pada na točku pod kutom  $\gamma$ , rasvijetljenost u toj točki dobivamo kao rezultantu horizontalne i vertikalne rasvijetljenosti:  $E_h$  i  $E_v$ .

$$E_h = E \times \cos \gamma ; E_v = E \times \sin \gamma$$

### 2.3.4. Luminacija

Luminancija (L) je sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. Mjeri se u candelama po površini ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), a za izvore svjetlosti često se koristi i prikladniji oblik ( $\text{cd}/\text{cm}^2$ ).

Oko posebno dobro vidi razliku između luminancija. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti.



Slika 17. Utjecaj površine na luminaciju

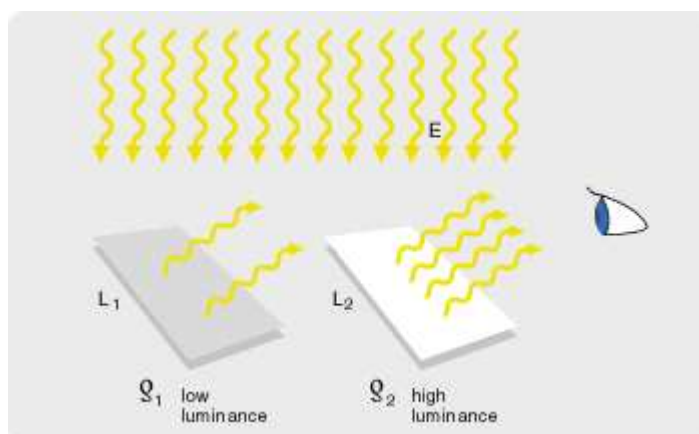
**Tablica 4.** Primjer različitih izvora svjetlosti jednake jakosti svjetlosti, ali različite luminancije, koju primjećuje ljudsko oko (Izvor: Slavko Krajcar - Električna rasvjeta, 2009/2010)

Izvor svjetla	Prosječna luminacija [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]
Sunce u podne	$1,6 \times 10^9$
Xenon kino žarulja	$0,2 - 5 \times 10^9$
Bistra standardna žarulja	$2 \times 10^6 - 2 \times 10^7$
Fluorescentna cijev	$1,2 \times 10^4$
Bijeli oblak	$1 \times 10^4$
Svijeća	7.500
Vedro nebo	3.000 – 5.000
Mjesec	2.500
Ugodna unutarnja rasvjeta	50 – 500
Bijeli papir pri 500 lx	100
Bijeli papir pri 5 lx	1
Noćno nebo	$10^{-3}$

Luminancija opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko, te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete. Kod difuznih reflektivnih površina (faktor refleksije jednak u svim smjerovima), kakve se uglavnom nalaze kod unutarnjih prostora, moguće je jednostavno povezati luminanciju i rasvijetljenost sljedećim izrazom (Lambertov zakon):

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi}$$

Budući da je luminanciju u tom slučaju jednostavno izračunati putem rasvijetljenosti (koja se može jednostavno dobiti proračunom), onda se vrijednosti za unutarnju rasvjetu uvijek daju u lx (rasvijetljenost).



**Slika 18.** Ovisnost luminacije o površini

Kod javne rasvjete, gdje okolina nema karakteristike difuzne refleksije, već prevladava miješana refleksija, ovaj izraz ne vrijedi, i vrijednosti za javnu rasvjetu daju se u  $cd/m^2$  (luminancija).

Pri tome se definira koeficijent luminacije q (sr-1), koji osim o vrsti materijala ovisi i o položaju izvora svjetlosti i promatrača, a da pri tome vrijedi:  $L = q \times E$ .

### **3. Propisi koji reguliraju svjetlosno zagađenje**

#### **3.1. Zakon o sigurnosti prometa na cestama (4. lipnja 2008.)**

##### Članak 15.

- (1) Na cesti se ne smiju postavljati ploče, znakovi, svjetla, stupovi ili drugi slični predmeti kojima se zaklanja ili smanjuje vidljivost postavljenih prometnih znakova, ili koji svojim oblikom, bojom, izgledom ili mjestom postavljanja oponašaju neki prometni znak ili slične na neki prometni znak, ili zaslijepljuju sudionike u prometu, ili odvrću njihovu pozornost u mjeri koja može biti opasna za sigurnost prometa.
- (2) Novčanom kaznom u iznosu od 5.000,00 do 15.000,00 kuna kaznit će se za prekršaj pravna ili fizička osoba obrtnik ako postupi suprotno stavku 1. ovoga članka.
- (3) Za prekršaj iz stavka 1. ovoga članka kaznit će se novčanom kaznom u iznosu od 1.500,00 do 5.000,00 kuna odgovorna osoba u pravnoj osobi i u tijelu državne vlasti ili tijelu jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave.
- (4) Novčanom kaznom u iznosu od 2.000,00 kuna kaznit će se za prekršaj fizička osoba koja postupi suprotno stavku 1. ovoga članka.

##### Članak 23.

- (1) Ako vrhovi pješačkih otoka, otoka za usmjeravanje prometa i drugi objekti na kolniku nisu noću dovoljno osvijetljeni, moraju se obilježiti svjetlima, refleksnim staklima ili reflektirajućim tvarima žute boje.
- (2) Novčanom kaznom u iznosu od 5.000,00 do 15.000,00 kuna kaznit će se za prekršaj pravna ili fizička osoba obrtnik ako postupi suprotno odredbama ovoga članka.
- (3) Za prekršaj iz ovoga članka kaznit će se novčanom kaznom u iznosu od 1.500,00 do 5.000,00 kuna i odgovorna osoba u pravnoj osobi i u tijelu jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave.

### **3.2. Zakon o zaštiti okoliša (10. listopada 2007.)**

Članak 31.

- (1) Svjetlosno onečišćenje je promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana unošenjem svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem.
- (2) Zaštita od svjetlosnog onečišćenja obuhvaća mjere zaštite od nepotrebnih, nekorisnih ili štetnih emisija svjetlosti u prostor u zoni i izvan zone koju je potrebno osvijetliti te mjere zaštite noćnog neba od prekomjernog osvjetljenja.
- (3) Zaštita od svjetlosnog onečišćenja određuje se na temelju zdravstvenih, bioloških, ekonomskih, kulturoloških, pravnih, sigurnosnih, astronomskih i drugih standarda.

## 4. Utjecaji svjetlosnog zagađenja

### 4.1. Utjecaji na promet

Loše riješena rasvjeta ometa sudionike u prometu. Svjetlo se na velikom broju lokacija nepotrebno rasipa u nebo.

Dio svjetlosnog snopa neprilagođene svjetiljke (bilo da se radi o izboru nekvalitetne svjetiljke ili je riječ o nepravilno postavljenoj svjetiljci) zasljepljuje sudionike u prometu. Nagli prijelazi sa rasvijetljenog u nerasvijetljeno područje rezultiraju privremenim oslabljenim vidom, što može dovesti do nesreće. To je razlog iz kojega se rasvjetljavaju tuneli i podvožnjaci, pri čemu se posebno mora voditi računa o intenzitetu rasvjete tijekom dana u razlici s onim tijekom noći.

Pravilo je pokušati što je više moguće smanjiti efekt prijelaza iz svjetla u tminu. Posebno je važno o tome voditi računa ako se zna da je adaptacija ljudskog oka koje je boravilo u tmini, pri prijelazu na rasvijetljeno područje traje nekoliko sekundi, dok u obratnom slučaju, govorimo o adaptacijskom intervalu od nekoliko minuta.

Jasno je da je to vrijeme letalno predugo ako govorimo o sudionicima u motornom prometu. Veliko blještavilo također izaziva umor kod vozača, kao i smanjenu pažnju, što također može uzrokovati nesreću. Nadalje, rasvjeta koja manifestira efekt ritmičkih izmjena svjetla i tmine (tzv. Stroboskopski efekt), (u prirodi se susreće za sunčana vremena tijekom vožnje prometnicom uz koju je posađen drvored), mora se bezuvjetno izbjegavati.



**Slika 19.** Primjer utjecaja rasvjete na uočavanje sudionika u prometu

I na kraju, ali ne manje važno, prilikom projektiranja cestovne rasvjete treba posebno paziti na povećanje odnosno smanjenje kontrasta u vidnom polju sudionika u prometu. Cestovna rasvjeta, naime, ima i tu ulogu, pri čemu se njezinim svjetlosnim zastorom smanjuje kontrast koji nastaje tijekom susreta s drugim sudionicima u prometu koji koriste jaka prednja svjetla. U tim slučajevima, prividno se oko reflektorskih svjetiljaka vozila s kojim se susrećemo, potpuno gubi percepcija okoline, a time i eventualnih prepreka u prometu.

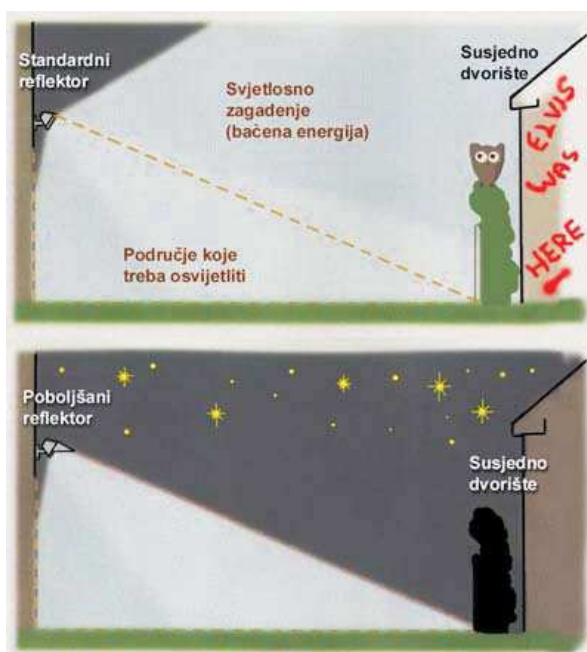
Kontrast je najvažnija optička veličina za sve sudionike u prometu, ali ako je prevelik, sigurnost u prometu se smanjuje.

## **4.2. Utjecaji na javnu sigurnost**

Umjetna svjetla posvuda rasvijetljavaju ulice, zgrade, dvorišta i parkirališta stvarajući od noći dan. Moglo bi se pomisliti da su naši gradovi i kuće vrlo sigurni jer su dobro rasvijetljeni. Međutim, blještava svjetla mogu dati lažan osjećaj sigurnosti. Svjetlo ne sprječava kriminal, ono samo umanjuje naš strah od kriminala.

Statistike nedvosmisleno pokazuju kako se veći dio kriminalnih radnji dogodi za dnevnog svjetla, dok je noćni kriminal gotovo isključivo vezan uz mjesta okupljanja ljudi. Iznimka su provalnici i kradljivci automobila, ali i u njihovom slučaju istraživanja u Velikoj Britaniji su pokazala (na uzorku od 300 provalnika) da niti jedan nije spomenuo rasvjetu kao sprječavajući faktor, a čak polovica ispitanih se tijekom svojih “rabota” ne obazire na prolaznike ili svjedoke.

Od 100 ispitanih kradljivaca automobila samo jedan se odlučuje za krađu automobila na nerasvjetljenom mjestu, dok se četvrtina ispitanih brine za eventualne prolaznike odnosno svjedoke. Također, statistike pokazuju da loše podešena (prejaka) rasvjeta pospješuje kriminal, a ne smanjuje kako mnogi misle. Kao prvo, gledajući iz daljine trebalo bi se vidjeti samo rasvjetljeno područje, a ne i sami izvor svjetla.



Slika 20. Usporedba dvorišne (protuprovalne) rasvjete

Dobro postavljenom svjetiljkom vide se obasjani objekti, ali ne i bliještanje izvora svjetla. Bez bliještanja, oko se bolje privikne na mrak tako da se jednako kvalitetna rasvjeta može postići i sa slabijom žaruljom. Konkretno, nezasjenjena rasvjeta stvara

veliki kontrast – prejako rasvijetli jedno područje, ali pritom stvara tamne sjene drugdje, na mjestima u kojima se nepozvana osoba lako može sakriti.

U slučaju onesposobljavajućeg bliještanja, sposobnost bilo kakve akcije smanjuje se za 75 %. Oporavak od zaslepljivanja za 55 - 65 godišnjake iznosi 15 sekundi dok za ljude od 85 godina oporavak traje i do dvije minute!

### **4.3. Utjecaji na energetiku**

Ekonomska računica je transparentna. Zbog neekološke rasvjete štetno i bespotrebno se gubi 30-40% električne energije namijenjene noćnoj, umjetnoj, rasvjeti. Tako visok postotak neučinkovitosti rezultat je za uzbunu i smišljanje rješenja problema.

Ekološka rasvjetna tijela, koja predstavljaju rješenje problema svjetlosnog zagađenja, u nabavci koštaju manje ili isto koliko i neekološka rasvjetna tijela. Ekološka rasvjetna tijela troše znatno manje električne energije od neekoloških. Ekološka rasvjetna tijela upotrebljavaju žarulje visoke energetske učinkovitosti.

Čest je slučaj da se u ekološke armature ugrađuju žarulje od 70W, a koje mijenjaju neučinkovite, neekološke armature sa žaruljama od po 400W!

Ekološka rasvjetna tijela proizvode bezmalo svi proizvođači rasvjetnih tijela, na policama su svih trgovaca takovom opremom, ne zahtijevaju nikakve alate, opremu ili specijalne postupke, uređaje za postavljanje i održavanje!

Troškovi eksploatacije ekoloških rasvjetnih tijela znatno su niži od takovih troškova kod neekoloških rasvjetnih tijela.

Odnedavno, u Hrvatskoj HEP-ESCO, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja u suradnji sa Svjetskom bankom za obnovu i razvoj, a u programu poboljšanja energetske učinkovitosti nude zainteresiranim općinama/gradovima

snimanje stanja javne rasvjete na terenu i današnje potrošnje, trenutnu zamjenu svih neekoloških rasvjetnih tijela onim - ekološkim.

Bez ikakvog financijskog izdvajanja iz općinskih/gradskih proračuna! Besplatno! Općina/grad dužan je potpisati ugovor kojime se obvezuje 4-7 godina plaćati HEP-ESCOu mjesečno iznos u visini današnjeg iznosa računa utroška električne energije. Na taj način na terenu se nalazi nova, ekološka rasvjeta u koju nije trebalo dodatno ulagati, a iz razlike na smanjenoj potrošnji ekoloških rasvjetnih tijela HEP-ESCO u tom vremenu ostvaruje naplatu potraživanja.

Nakon tog vremena troškovi za električnu energiju računaju se prema stvarno utrošenoj energiji, te se otada izdvajanje iz proračuna za tu svrhu smanjuje za najmanje 30%!

## 5. Praktični primjeri na području grada Pule



**Slika 21.** Pulska zaobilaznica – primjer dobre ekološke rasvjete

Na slici 21 se vidi dobar primjer ekološke rasvjete postavljene na Pulskoj zaobilaznici. Moguće je vidjeti kut emitiranja svjetlosti, odnosno vidljivo je da nema emisije svjetlosti iznad horizonta.

**POLITEHNIKA PULA**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

---



**Slika 22.** Pulska zaobilaznica (novi kružni tok) - primjer dobre ekološke rasvjete

Slika 22 prikazuje kružni tok na Pulsjoj zaobilaznici (križanje sa Valturskom ulicom). Ovdje se također može vidjeti odličan primjer ekološke rasvjete koja dobro osvjetljava kružni tok i nema neželjene emisije svjetlosti prema horizontu. Nedostatak ovog primjera je što se nenamjerno osvjetljava i privatna kuća, točnije prozori kuće što zasigurno stvara neugodnosti stanarima.

**POLITEHNIKA PULA**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

---



**Slika 23.** Uspon na Monte Zaro (Boškovićev uspon) - primjer loše postavljene neekološke rasvjete koja zasljepljuje vozače

Na slici 23 je moguće vidjeti poluzaštićeno neekološko rasvjetno tijelo koje je ujedno i postavljeno pod velikim kutem. Uz očito svjetlosno zagađenje, rezultat toga je i prejaka svjetlost koja ometa vozače koji se kreću Boškovićevim usponom.



**Slika 24.** Uspon na Monte Zaro (Boškovićev uspon) - primjer loše postavljene neekološke rasvjete koja zasljepljuje vozače

Na slici 24 se vidi bočni prikaz rasvjetnog tijela sa slike 23. Slikano je po danu kako bi se moglo vidjeti o kojem se rasvjetnom tijelu radi i kut pod kojim je isto postavljeno.



**Slika 25.** Park Monte Zaro - primjer „polu-ekološke“ rasvjete koja je ujedno i loše postavljena (previše svjetlosti odlazi pored reflektora)

Slika 25 prikazuje primjer rasvjetnog tijela otvorenog tipa gdje se reflektor nalazi iznad izvora svjetlosti, a izvor svjetlosti je usmjeren prema reflektoru. Na ovom primjeru je vidljivo da izvor svjetlosti nije usmjeren prema sredini reflektora nego prema jednom kraju tako da dobar dio svjetlosti odlazi pored reflektora što je moguće

vidjeti i na krošnji stabla iznad samog reflektora. Na istoj lokaciji se nalazi više rasvjetnih tijela ovoga tipa. Na nekima je izvor svjetlosti dobro usmjeren prema reflektoru dok na nekim nije.



**Slika 26.** Park Monte Zaro - primjer „polu-ekološke“ rasvjete koja je ujedno i loše postavljena (previše svjetlosti odlazi pored reflektora)

Na slici 26 je moguće vidjeti istu vrstu rasvjetnog tijela iz primjera slike 25. Ne radi se o istom primjeru nego samo o istom tipu rasvjetnog tijela. Slikano po danu kako bi se bolje mogla vidjeti konstrukcija rasvjetnog tijela.

**POLITEHNIKA PULA**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

---



**Slika 27.** Vrtić Monte Zaro - primjer loše neekološke rasvjete koja usput osvjetljava i pulska zvjezdarnicu.

Slika 27 prikazuje primjer neekološke rasvjete oko vrtića Monte Zaro. Radi se o poluzaštićenim rasvjetnim tijelima koja osvjetljavaju ono što treba ali dobrim dijelom i ono što ne treba.



**Slika 28.** Pulska zvjezdarnica - neželjeno osvjetljena rasvjetom vrtića Monte Zaro

Slika 28 prikazuje negativne učinke rasvjete iz prethodnog primjera. Na slici 28 se vidi Pulska zvjezdarnica koja je neželjeno osvijetljena neekološkom rasvjetom vrtića Monte Zaro. Čak je i kupola zvjezdarnice osvijetljena.



**Slika 29.** Park Monte Zaro (fontana) - dobar primjer ekološke rasvjete

Na slici 29 vidimo ekološku rasvjetu oko fontane parka Monte Zaro. Radi se potpuno zatvorenom rasvjetnom tijelu (full cut-off). Jedini nedostatak je nosač ispod samog izvora svjetlosti koji reflektira dio svjetlosti koji je zanemariv.



**Slika 30.** Park Monte Zaro (fontana) - dobar primjer ekološke rasvjete

Na slici 30 se može vidjeti ekološko rasvjetno tijelo iz prethodnog primjera slikano po danu kako bi se moglo vidjeti o kakvom je rasvjetnom tijelu riječ.



Slika 31. Stepenice sa Monte Zara prema Centru grada - primjer ekološke rasvjete

Slika 31 pokazuje još jedan primjer ekološke rasvjete. Na ovom primjeru se na zgradi na kojoj je montirano rasvjetno tijelo može dobro vidjeti i kut emitiranja svjetlosti.



Slika 32. Stepenice sa Monte Zara prema Centru grada - primjer ekološke rasvjete

Slika 32 prikazuje ekološka rasvjetna tijela iz prethodnog primjera. Radi se potpuno zatvorenim rasvjetnim tijelima (full cut-off).



**Slika 33.** Smareglina ulice (kod INK-a) - primjer ekološke rasvjete

Slika 33 prikazuje primjer ekološke rasvjete u Smareglinoj ulici (prema Pulskoj tržnici). Radi se o full cut-off rasvjetnim tijelima.

**POLITEHNIKA PULA**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

---



**Slika 34.** Smareglina ulica (kod INK-a) - primjer ekološke rasvjete

Slika 34 je snimljena preko dana i prikazuje ekološko rasvjetno tijelo iz primjera sa slike 33. Na ovoj slici se lijepo vidi o kojem je tipu rasvjetnog tijela riječ i način na koji je postavljeno. Kao što se može vidjeti, radi se o full cut-off rasvjetnom tijelu postavljenim skoro horizontalno u odnosu na cestu.



**Slika 35.** Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete

Slika 35 je čisti primjer neekoloških rasvjetnih tijela koja emitiraju svjetlost u svim smjerovima. Radi se o najgorim tipova rasvjetnih tijela pošto veliki dio emitirane svjetlosti odlazi iznad horizonta i stvara svjetlosno zagađenje. Samim time je i energetska učinkovitost takvih rasvjetnih tijela jako mala.



**Slika 36.** Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete

Slika 36 je također primjer sa Trga 1. svibnja. Na slici se vidi kako su obasjane zgrade i zgrada Pulske tržnice i to visoko iznad razine samih rasvjetnih tijela što je direktni dokaz kuta emitiranja svjetlosti ovakvih tipova rasvjetnih tijela.

**POLITEHNIKA PULA**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

---



**Slika 37.** Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete



**Slika 38.** Trg 1. svibnja - primjer loše neekološke rasvjete

Slike 37 i 38 su slikane po danu kako bi se moglo vidjeti o kojem tipu rasvjetnih tijela je riječ u primjerima sa slika 35 i 36. Ove slike također prikazuju i loše stanje ovih rasvjetnih tijela.

## 6. Tehno-ekonomska analiza modernizacije javne rasvjete Grada Pule

Cjelokupni sustav javne rasvjete Grada Pule prije modernizacije se sastojao od 5.285 komada svjetiljki koju su raspoređene na 173 mjerna mjesta. Prosječna godišnja potrošnja električne energije (prema računima iz tri promatrane godine) iznosi 4.499.898 kWh.

Rekonstrukcija javne rasvjete je izvedena na temelju scenarija 2 (iz investicijske studije za projekt energetske učinkovitosti JR Grada Pule) te je obuhvatila zahvat na 45% sustava.

**Tablica 5.** Financijski pokazatelji prema Scenariju 2

Uštede		Investicija		
Uštede [kWh/god]	Uštede [kn/god]	Ukupna investicija u opremu [kn]	Ukupna investicija u radove [kn]	Ukupna investicija [kn]
1.033.653	475.480,21	4.931.655,00	2.072.053,20	7.003.708,20

### 6.1. Metodologija proračuna

U sklopu prikupljanja podataka o dijelovima sustava za koje se smatra da je primjena mjera energetske učinkovitosti opravdana, napravljena je detaljna analiza prema matematičkom modelu. Postupak je izveden u slijedećim koracima:

#### 6.1.1. Simulacija trenutne potrošnje sustava

Simulacija potrošnje sustava se dobiva umnoškom instalirane snage sustava i pretpostavljenog vremena rada sustava.

$$P_t = S_t \times t$$

Gdje je:

$P_t$  godišnja potrošnja energije [kWh]

$S_t$  instalirana snaga sustava [kW]

$t$  godišnje vrijeme rada sustava javne rasvjete [h]

### 6.1.2. Simulacija potrošnje energije nakon modernizacije

Simulacija potrošnje sustava nakon modernizacije se dobiva umnoškom instalirana snage sustava temeljene na zamjeni svjetiljki i pretpostavljenog vremena rada sustava.

$$P_m = S_m \times t$$

Gdje je:

$P_m$  godišnja potrošnja energije nakon modernizacije [kWh]

$S_m$  instalirana snaga sustava [kW]

$t$  godišnje vrijeme rada sustava javne rasvjete [h]

### 6.1.3. Proračun ušteta u energiji

Proračun ušteta u energiji dobiva se oduzimanje vrijednosti potrošnje energije prije i nakon modernizacije sustava javne rasvjete.

$$U = P_t - P_m$$

Gdje je:

$U$  godišnja ušteta energije [kWh]

$P_t$  godišnja potrošnja energije [kWh]

$P_m$  godišnja potrošnja energije nakon modernizacije [kWh]

#### 6.1.4. Proračun ušteta u održavanju

Provedbom projekta energetske učinkovitosti JR Grada Pule ostvaruje se ušteta na troškovima održavanja zbog korištenja opreme s duljim vijekom trajanja i rjeđom potrebom redovnog i pojačanog održavanja.

Cijena održavanja pojedine svjetiljke temelji se na sljedećim principima:

- Kod redovnog servisa mijenja se samo žarulja
- Kod pojačanog servisa mijenja se žarulja, prigušnica, propaljivač, grlo i kompletno ožičenje svjetiljke

Ušteta u održavanju temelji se na sljedećim principima:

- Kod starih svjetiljki redovni servis potreban je svake 2 godine, a pojačani servis svake 4 godine
- Kod novih svjetiljki redovni servis potreban je svake 3 godine, a pojačani servis svake 6 godine

Uzimajući u obzir gore navedene principe moguće je definirati uštede u održavanju na način prikazan u tablici 6.

**Tablica 6.** Proračun ušteta u održavanju

	Redovno održavanje			Pojačano održavanje			Ukupno 12 godina	Ukupno godišnje
	količina	cijena	ukupno	količina	cijena	ukupno		
Stari sustav	6	200,00	1.200,00	4	450,00	1.800,00	3.000,00	250,00
Novi sustav	4	200,00	800,00	2	450,00	900,00	1.700,00	141,67
<b>UŠTEDA po svjetiljci</b>								<b>108,33</b>

## 6.2. Stanje javne rasvjete grada Pule prije modernizacije

Izradi investicijske studije za projekt energetske učinkovitosti JR Grada Pule prethodila je izrada detaljnog snimka nekadašnjeg stanja sustava javne rasvjete Grada Pule.

Na temelju gore spomenute snimke stanja, dobiveni su podaci o strukturi svjetiljki prikazani u tablici 7.

**Tablica 7.** Struktura svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti

Redni broj	Oznaka svjetiljke	Broj svjetiljki [kom]	Broj svjetiljki [%]	Ukupna snaga svjetiljki [kW]	Ukupna snaga svjetiljki [%]
1	Visokotlačni natrij	3544	67,1%	815,98	65,9%
2	Niskotlačni natrij	137	2,6%	29,35	2,4%
3	Živa	1426	27,0%	357,35	28,9%
4	Metal-halogene	120	2,3%	33,20	2,7%
5	Fluorescentne	58	1,1%	1,79	0,1%
<b>UKUPNO</b>		<b>5285</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.237,67</b>	<b>100,0%</b>

Uz podjelu svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti, napravljena je i raspodjela prema snazi žarulje što se može vidjeti u tablici 8.

Kao što je u tablici 8 vidljivo, prevladavaju tri snage, a to su 250W, 150W, 70W i 400W. Ovi rezultati su i očekivani obzirom da su to uobičajene snage žarulja koje se danas primjenjuju u javnoj rasvjeti.

Tablica 8. Raspodjela po snazi žarulje

Redni broj	Snaga žarulje [W]	Broj svjetiljki [kom]	Broj svjetiljki [%]	Ukupna snaga svjetiljki [kW]	Ukupna snaga svjetiljki [%]
1	23	45	0,9%	1,23	0,1%
2	36	13	0,2%	0,56	0,05%
3	70	1018	19,3%	91,21	7,4%
4	80	110	2,1%	10,85	0,9%
5	100	16	0,3%	1,90	0,2%
6	125	495	9,4%	73,63	5,9%
7	150	1238	23,4%	220,98	17,9%
8	180	137	2,6%	29,35	2,4%
9	200	0	0,0%	0,00	0,0%
10	250	1446	27,4%	432,86	35,0%
11	400	755	14,3%	360,81	29,2%
12	1000	12	0,2%	14,28	1,2%
<b>UKUPNO</b>		<b>5285</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.237,67</b>	<b>100,0%</b>

### 6.3. Radni raspored javne rasvjete

Kako bi se mogao napraviti izračun potrošnje energije, potrebno je odrediti radni raspored javne rasvjete, odnosno broj sati rada tijekom godine.

Referentni broj sati rada za sustav javne rasvjete Grada Pule iznosi 4050 sati godišnje. Javna rasvjeta Grada Pule se ne regulira, odnosno osim paljenja i gašenja nema drugih režima rada.

### 6.4. Potrošnja električne energije sustava javne rasvjete

Računi za potrošnju električne energije prikupljeni su za tri godine, odnosno 2004, 2005 i 2006 godinu. U tablici 9 prikazani su kumulativni podaci o potrošnji kroz tri godine.

Tablica 9. Potrošnja električne energije prema računima za tri godine

Godina	Godišnja potrošnja [kWh]	Odstupanje od prosječne potrošnje [%]
2004.	4.568.056	1,5%
2005.	4.481.856	-0,4%
2006.	4.449.782	-1,1%
<b>Prosječna potrošnja</b>	<b>4.499.898</b>	

Potrošnja energije računa se kao zbroj umnožaka snage svjetiljaka po brojilu, sati rada i radnog faktora (0,9). Radni faktor je sastavljen od faktora istodobnosti za svjetiljke tj. pretpostavke da 5-7% svjetiljki nije u funkciji te faktora dodatne potrošnje koji uključuje priključivanje dodatnih potrošača na sustav javne rasvjete tijekom blagdana ili javnih događanja (3-5%).

Ovako dobivena referentna potrošnja iznosi 4.511.304 kWh, odnosno razlikuje se za 1,38% od stvarne potrošnje iz računa za 2006. godinu i 0,3% od prosječne potrošnje prema računima za tri godine.

Potrošnju dobivenu iz računa potrebno je normalizirati kako bi mogli uspoređivati sa modeliranom potrošnjom. Potrebno je svesti na isti nivo broj svjetiljaka koje su stvarno u funkciji tijekom cijele godine (radni faktor 90%) i broj svjetiljki koje rade iz modela (100%).

U tablici 10 prikazani su podaci od potrošnji kroz tri godine, prosječna potrošnja, simulacija sa 100% snage sustava i referentna potrošnja. Iz tablice može se zaključiti da odstupanje referentne potrošnje od trogodišnjeg prosjeka iznosi 0,3% što je zanemarivo.

**Tablica 10.** Usporedna tablica godišnje potrošnje, prosječne potrošnje, simulacije sa 100% snage sustava i referentne potrošnje

Godina	Godišnja potrošnja [kWh]	Odstupanje od prosječne potrošnje [%]	Odstupanje od potrošnje za 2006. [%]
2004.	4.568.056	1,5%	2,7%
2005.	4.481.856	-0,4%	0,7%
2006.	4.449.782	-1.1%	0,0%
Prosječna potrošnja	4.499.898	0,0%	1,1%
Simulirana godišnja potrošnja (100%)	5.012.560	11,4%	12,6%
Referentna godišnja potrošnja (90%)	4.511.304	0,3%	1,4%

## 6.5. Stanje javne rasvjete Grada Pule nakon modernizacije

Modernizacija je izvedena na temelju scenarija 2 iz investicijske studije za projekt energetske učinkovitost JR Grada Pule. Kao što je prije spomenuto, scenarij 2 temelji se na rekonstrukciji sustava sa područjem zahvata od 45% sustava.

Uz glavne ulice, scenarij 2 je obuhvatio zahvat i na manjim ulicama po naseljima u kojima se nalazio najveći broj starih svjetiljki baziranih na živi koje je nužno bilo zamijeniti sa novim svjetiljkama ili ih rekonstruirati na način da se zamjene samo aktivni dijelovi unutar svjetiljke.

U tablici 11 su prikazani tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije javne rasvjete.

Tablica 11. Tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije

Prije modernizacije				Nakon modernizacije			
Broj svjetiljki na brojilu	Instalirana snaga na brojilu [kW]	Proračunska potrošnja na brojilu [kWh]	Proračunska potrošnja na brojilu [kn]	Broj svjetiljki na brojilu	Instalirana snaga na brojilu [kW]	Proračunska potrošnja na brojilu [kWh]	Proračunska potrošnja na brojilu [kn]
5.286	1.237,97	5.013.764	2.306.331,63	5.250	982,74	3.980.112	1.830.851,42

U tablici 12 prikazani su financijski pokazatelji za kompletan projekt odnosno sumarni podaci svih 173 mjernih mjesta koliko ih ukupno ima za javnu rasvjetu Grada Pule.

Tablica 12. Financijski pokazatelji

Uštede		Investicija		
Uštede [kWh/god]	Uštede [kn/god]	Ukupna investicija u opremu [kn]	Ukupna investicija u radove [kn]	Ukupna investicija [kn]
1.033.653	475.480,21	4.931.655,00	2.072.053,20	7.003.708,20

## 6.6. Tehno-ekonomska analiza mjernog mjesta 134

Modernizacija javne rasvjete koja spada pod mjerno mjesto oznake 134 odnosno trafostanicu u ulici 43. Istarske divizije je primjer koji je odabran za detaljniju analizu. Pod mjerno mjesto 134 spada i dio svjetiljki sa trga 1. Istarske brigade te autobusnog kolodvora. Kompletnu pokrivenost moguće je vidjeti na slici 40 koja se nalazi u prilogu.

**6.6.1. Stanje javne rasvjete mjernog mjesta 134 prije modernizacije**

Kao što je vidljivo iz tablica 13 i 14, ukupan broj svjetiljki koji spada pod mjerno mjesto 134 je 70. Struktura svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti za mjerno mjesto 134 prikazana je u tablici 13.

**Tabela 13.** Struktura svjetiljki prema tipu izvora svjetlosti

Redni broj	Oznaka svjetiljke	Broj svjetiljki [kom]	Broj svjetiljki [%]	Ukupna snaga svjetiljki [kW]	Ukupna snaga svjetiljki [%]
1	Visokotlačni natrij - NaV	45	64,3%	11,92	63,0%
2	Niskotlačni natrij - NaN	0	0,0%	0,00	0,0%
3	Živa - VTF	18	25,7%	4,91	26,0%
4	Metal-halogene - HQI	7	10,0%	2,08	11,0%
5	Fluorescentne	0	0,0%	0,00	0,0%
<b>Ukupno</b>		<b>70</b>	<b>100,0%</b>	<b>18,92</b>	<b>100,0%</b>

Raspodjela svjetiljki prema snazi prikazana je u tablici 14. Iz tablice 14 moguće je zaključiti da su prije modernizacije prevladavale svjetiljke sa žaruljama veće snage (iznad 150W).

**Tablica 14.** Raspodjela po snazi žarulje

Redni broj	Snaga žarulje [W]	Broj svjetiljki [kom]	Broj svjetiljki [%]	Ukupna snaga svjetiljki [kW]	Ukupna snaga svjetiljki [%]
1	70	6	8,6%	0,50	2,6%
2	125	3	4,3%	0,45	2,4%
3	150	24	34,3%	4,28	22,6%
4	250	22	31,4%	6,55	34,6%
5	400	15	21,4%	7,14	37,7%
<b>Ukupno</b>		<b>70</b>	<b>100,0%</b>	<b>18,92</b>	<b>100,0%</b>

U tablici 15 prikazana je raspodjela prema modelima svjetiljki koje su bile instalirane prije modernizacije mjernog mjesta 134.

**Tablica 15.** Raspodjela prema modelu svjetiljke

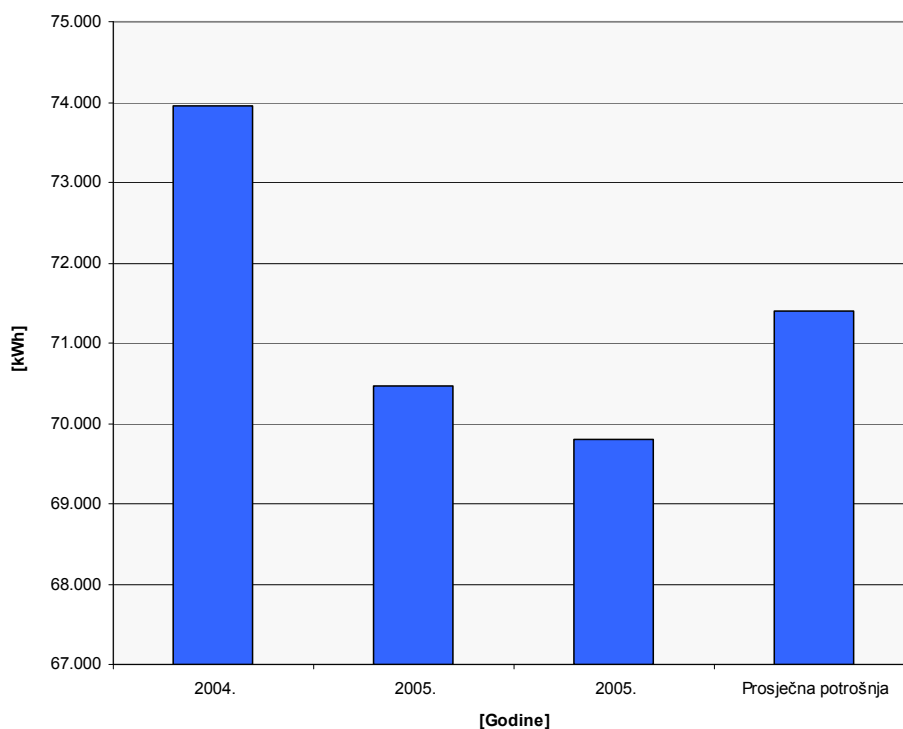
Opis svjetiljke	Ukupna snaga žarulja [W]	Snaga predspojnih naprava [W]	Gubici u mreži [4%]	Ukupna snaga svjetiljke [W]	Ukupan broj svjetiljki	Ukupna snaga svjetiljki [kW]
TEP LVC 02 VTF 250W	250	38	10	298	15	4,46
TEP Šikić VTF 125W	125	19	5	149	2	0,30
TEP Ovoid VTF 125W	125	19	5	149	1	0,15
TEP Tivoli KN 133 NaVT 150W	150	23	6	179	2	0,36
SCHREDER Z1 NaVT 70W	70	11	3	83	2	0,17
GENERAL ELECTRIC Eurostreet NaVT 150W	150	23	6	179	2	0,36
ELEKTROKOVINA CD NaVT 400W	400	60	16	476	15	7,14
IGUZZINI Argo NaVT 150W	150	23	6	179	8	1,43
IGUZZINI Delphi NaVT 150W	150	23	6	179	12	2,14
IGUZZINI Open Applique NaVT 70W	70	11	3	83	4	0,33
IGUZZINI Platea HQI 250W	250	38	10	298	7	2,08

### 6.6.2. Potrošnja električne energije prema računima

Računi za potrošnju električne energije mjernog mjesta 134 prikupljeni su za tri godine, odnosno 2004, 2005 i 2006 godinu. U tablici 16 prikazani su kumulativni podaci o potrošnji kroz tri godine što se grafički može vidjeti na slici 39.

Tablica 16. Potrošnja električne energije mjernog mjesta 134 prema računima za tri godine

Godina	Godišnja potrošnja [kWh]	Odstupanje od prosječne potrošnje [%]
2004.	73.957	3,6%
2005.	70.468	-1,3%
2006.	69.800	-2,3%
<b>Prosječna potrošnja</b>	<b>71.408</b>	



Slika 39. Usporedni graf potrošnje električne energije iz računa i prosječne potrošnje

### 6.6.3. Mjere modernizacije javne rasvjete mjernog mjesta 134

Izvođenje modernizacije javne rasvjete detaljno je definirano mjerama koje je potrebno poduzeti kako bi se modernizirala rasvjetna tijela. Ukupno je definirano 16 mjera modernizacije.

# POLITEHNIKA PULA

## Visoka tehničko – poslovna škola

U primjeru modernizacije svjetiljki koje spadaju pod mjerno mjesto 134 poduzete su mjere 2 i 4 pa će samo one i biti prikazane u tablicama 17 i 18.

**Tablica 17.** Mjera 2

OPIS	Mjera	Količina	Jedinična cijena	Ukupna cijena	Tip stavke
Armatura Schreder Sapphire 70W	kom	1	2.100,00	2.100,00	oprema
Kabel PP00-Y 3x2,5mm <sup>2</sup>	m	6	5,00	30,00	oprema
Demontaža i odvoz postojećih svjetiljaka s nosačima, dovoz novih svjetiljki na lokaciju, montaža, spajanje i ispitivanje sukladno važećoj zakonskoj regulativi u Republici Hrvatskoj.	pau	1	789,70	789,70	radovi
Troškovi ekološkog zbrinjavanja otpada.	kom	1	34,00	34,00	radovi

**Tablica 18.** Mjera 4

OPIS	Mjera	Količina	Jedinična cijena	Ukupna cijena	Tip stavke
Armatura Schreder Sapphire 250W	kom	1	2.500,00	2.500,00	oprema
Adapter - nasadnik	kom	1	70,00	70,00	oprema
Kabel PP00-Y 3x2,5mm <sup>2</sup>	m	10	5,00	50,00	oprema
Demontaža i odvoz postojećih svjetiljaka s nosačima, dovoz novih svjetiljki na lokaciju, montaža, spajanje i ispitivanje sukladno važećoj zakonskoj regulativi u Republici Hrvatskoj.	pau	1	824,20	824,20	radovi
Troškovi ekološkog zbrinjavanja otpada.	kom	1	34,00	34,00	radovi

Modernizacija javne rasvjete ovog mjernog mjesta izvedena je mjerama 2 i 4 i to u količini od 18 kom. mjere 2 te 15 kom. mjere 4.

#### 6.6.4. Stanje javne rasvjete mjernog mjesta 134 nakon modernizacije

U tablici 19 prikazani su tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije javne rasvjete za mjerno mjesto 134. Kao što je vidljivo u tablici, broj svjetiljki prije i poslije modernizacije je ostao isti ali je zato instalirana snaga na brojilu drastično smanjena (za 32.18 %) pa samim time i potrošnja na brojilu (izražena u kunama).

**Tablica 19.** Tehnički pokazatelji prije i nakon modernizacije

Prije modernizacije				Nakon modernizacije			
Broj svjetiljki na brojilu	Instalirana snaga na brojilu [kW]	Proračunska potrošnja na brojilu [kWh]	Proračunska potrošnja na brojilu [kn]	Broj svjetiljki na brojilu	Instalirana snaga na brojilu [kW]	Proračunska potrošnja na brojilu [kWh]	Proračunska potrošnja na brojilu [kn]
70	18,92	76.606	35.238,74	70	12,83	51.954	23.898,94

U tablici 20 prikazani su financijski pokazatelji za mjerno mjesto 134. Prema navedenoj tablici, na temelju ukupne investicije i godišnje uštede moguće je izračunati jednostavno vrijeme povrata investicije u godinama što bi iznosilo 9,3 godine.

**Tablica 20.** Financijski pokazatelji

Uštede		Investicija		
Uštede [kWh/god]	Uštede [kn/god]	Ukupna investicija u opremu [kn]	Ukupna investicija u radove [kn]	Ukupna investicija [kn]
24.652	11.339,80	77.640,00	27.699,60	105.339,60

## 7. Zaključak

Iz razrade teme može se zaključiti nekoliko bitnih činjenica. Svjetlosno zagađenje odnosno sprječavanje istog u Hrvatskoj još nije pravno regulirano što znači da je izbor vrste rasvjetnih tijela prepušten na izbor pojedincima koji mogu ali i ne moraju koristiti ekološka rasvjetna tijela.

Utjecaji svjetlosnog zagađenja su primjetni na više područja. Jedno od bitnijih utjecaja je naravno utjecaj na energetiku. Zamjenom neekoloških (rastrošnih) rasvjetnih tijela ekološkim, poboljšava se energetska učinkovitost javne rasvjete što uz smanjenje svjetlosnog zagađenja rezultira i smanjenjem potrošnje električne energije za javnu rasvjetu odnosno smanjuju se izdaci za javnu rasvjetu.

Sudjelovanjem u projektima kao što su HEP-ESCO, moguće je uz minimalna ulaganja izvršiti zamjenu neekoloških rasvjetnih tijela i kroz određeni period ostvariti značajnu uštedu glede izdvajanja sredstava za korištenje javne rasvjete.

Grad Pula sudjeluje u projektu HEP-ESCO i samim time je izvršena zamjena velikog broja rasvjetnih tijela. Nažalost moguće je vidjeti i primjere gdje se još uvijek koristi izrazito neekološka rasvjeta što će se u budućnosti zasigurno izmijeniti.

Najbitnije od svega je da se napokon shvaća da svjetlosno zagađenje uistinu predstavlja problem koji se može riješiti i da se radi na tome kako bi se taj problem kompletno eliminirao.

## 8. Literatura

Knjige / članci:

1. Rea, M.S.: Lighting Handbook Reference, IESNA, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000
2. Krajcar, S., Šribar, A.: Električna rasvjeta (skripta), FER, Zagreb, 2005
3. Širola, E.: Cestovna rasvjeta, Esing, Zagreb, 1997
4. Mizon, Bob: Light Pollution, Springer – Verlag, London, 2002
5. Skansi, Ratko: Parametri svjetla u kontekstu javne rasvjete, Elikom d.o.o., Zagreb, 2003
6. Skansi, Ratko: Časopis Energija (Godište 54 (2005), Zagreb 2005, Br. 6) - stručni članak "SVJETLOZAGAĐENJE – EKONOMSKI I EKOLOŠKI PROBLEM", Zagreb, 2005
7. Borgia, M.P.: Human Vision and the Night Sky, Springer, 2006
8. Hrvatski sabor: Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine, Zagreb, 4. lipanj 2008
9. Hrvatski sabor: Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine, Zagreb, 10. listopada 2007
10. HEP ESCO d.o.o.: Investicijska studija – Primjena mjera energetske učinkovitosti na sustavu javne rasvjete grada Pule, Zagreb, srpanj 2007.

Internetske stranice:

1. Andreić, Željko: Problematika svjetlosnog onečišćenja, s Interneta, [http://rgn.hr/~zandreic/studenti/lp/lp\\_index.html](http://rgn.hr/~zandreic/studenti/lp/lp_index.html), listopad 2010
2. Croatian Dark Sky Association: Svjetlosno onečišćenje Hrvatske, s Interneta, [http://www.astro.hr/lp\\_cdsa/](http://www.astro.hr/lp_cdsa/), listopad 2010
3. Astronomska udruga Vidulini: Light pollution, s Interneta, <http://www.lightpollution.org>, listopad 2010

## **9. Prilozi**

1. Slika 40. Dio sustava javne rasvjete Grada Pule koje spada pod analizirano mjerno mjesto 134