

# SVJETLOZAGAĐENJE – EKONOMSKI I EKOLOŠKI PROBLEM

Mr. sc. Ranko SKANSI, Zagreb

UDK 621.32:644.3  
STRUČNI ČLANAK

Vanjska rasvjeta je postala bitan integralni dio našeg društva. Međutim, kao popratni efekt vanjske rasvjete, pojavilo se, svjetlozagađenje. Ovaj nedostatak može biti znatno smanjen rasvjetljavanjem samo onoga što je zaista potrebno rasvijetliti i kada je potrebno rasvijetliti, te s točno određenom jakošću svjetla. Ovaj članak razmatra tri elementa svjetlozagađenja, a to su povećanje svjetline neba, smetajuće svjetlo, te blještanje. Također, daju se preporuke za smanjenje ili uklanjanje neželjenih efekata svakog elementa, prigodom projektiranja i izvođenja vanjske rasvjete.

**Ključne riječi:** Svjetlozagađenje, smetajuće svjetlo, neželjeno svjetlo, provaljujuće svjetlo, ekonomski gubici, opasnost za zadržavanje, ugrožavanje eko-sustava

## 1 UVOD

*“Da se zvijezde, mjesto što sjaju uvijek nad našim glavama, mogu vidjeti samo s jedne točke zemaljske kugle, ljudi ne bi prestali u hrpama onamo putovati, kako bi motrili nebo i divili se čudesima neba” Seneca.*

Moderno društvo rasvjetljava svoj okoliš kako bi ispunilo određene potrebe, kao što je povećanje sigurnosti, unaprjeđenje ekonomskog razvoja, te rasvjetljavanje povijesnih spomenika i znamenitosti. Naše je društvo počelo funkcionirati 24 sata na dan, pa je noćna rasvjeta neizostavna kategorija aktivnosti našeg društva. Ipak, ova situacija ima i svoje neželjene dimenzije. Na slici koja slijedi je dana kompozitna satelitska fotografija zemlje, snimljena tijekom 24 satne revolucije satelita oko zemlje, čime je postignuto kretanje satelita u isključivo noćnom dijelu našeg planeta. Izrazito su vidljive zone veće gustoće stanovništva, jer su jače rasvijetljene.

Svjetlozagađenje je svaka nepotrebna / nekorisna emisija svjetla u prostor izvan zone (ceste, ulice, trga..) koju je potrebno rasvijetliti, odnosno svako emitiranje umjetnog svjetla u područja gdje je ono nepotrebno ili neželjeno. Ono obuhvaća neželjeno rasvjetljavanje neba, smetajuće svjetlo i blještanje. Uzrokuju ga umjetna rasvjetna tijela koja (često zbog toga jer su nepravilno konstruirana ili postavljena) snop svjetla usmjeravaju prema nebu ili lateralno. Sve što emitira svjetlo lateralno umjesto prema tlu, zagađuje nebo i okolinu viškom svjetla. Na slici 2 pokazani su svi elementi

svjetlozagađenja, prouzročeni ljudskim faktorima, odnosno tehnologijom rasvjete.



Slika 1 - Zemlja noću

[Izvor: Image and data processing by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Geophysical Data Center. Data collected by the U.S. Air Force Weather Agency under the Defense Meteorological Satellite Program, 1994.-1995.]

Utjecaj prometne infrastrukture na okoliš je predmet istraživanja već više godina. Jedan od aspekata koji se u kontekstu prometa stalno ignorira, jest svjetlozagađenje. U mnogim područjima, međutim, svijest o svjetlozagađenju, odnosno sprječavanju istoga, postala je važan aspekt projektiranja i planiranja. Susjedstva su postala osjetljivija na tuđe svjetlo koje im “provaljuje” u njihove posjede. Prvi koji su podigli glas i pokazali (i dokazali) svijetu potrebu o razmišljanju u ovoj domeni, bili su astronomi, koji su prvi zapazili “smanjenje” broja zvijezda. Shvatili su da je razlog rasvijetljenost atmosfere, a ne gašenje zvijezda.

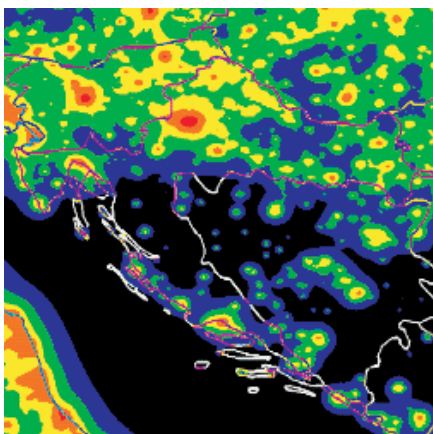
Prema nekim procjenama, 30 – 50 % svjetlozagađenja proizlazi iz cestovne rasvjete [1]. Na neki način ova spoznaja je problem svjetlozagađenja pozicionirala u domenu projekatnata cestovne rasvjete. Njima je posvećena i obveza iznalaženja dovoljno efikasnih tehničko-ekonomskih rješenja u ovom kontekstu.

Znamo kako se primjenom danas dostupnih tehnologija, svjetlozagađenje može uvelike suzbiti, a u cijelom opsegu nadzirati. Stoga se mora raditi na široj stručnoj spoznaji ovog problema kao i mogućih rješenja, te apelirati na investitore kako bi prigodom izrade projekta inzistirali na modernim svjetiljkama koje su atestirane u ovom kontekstu.



Slika 2 - Primjer korisne rasvjete i štetne, odnosno neželjene, komponente kod tipične cestovne svjetiljke na stupu  
[Izvor: Institution of Lighting Engineers]

Svjetlozagađenje je svjetski problem koji utječe na gotovo cijelu ljudsku populaciju. Za razliku od onečišćenja vode ili zraka, svjetlozagađenje je nepoznanica za većinu ljudi. Ovaj, na prvi pogled beznačajan problem izaziva mnoge neželjene efekte od nepotrebnog rasipanja energije do štetnog utjecaja na životinje i ljude. Glavna značajka zagađenja svjetlom jest povećanje svjetline neba (za vrijeme noći) uzrokovano umjetnom rasvjetom [2]. Ukratko, noći postaju svjetlije, što implicira različite negativne posljedice za čovjeka i njegov okoliš.



Slika 3 - Prikaz razine svjetlozagađenja teritorija RH  
[Izvor: International Dark-Sky Association]

Neki manje zastupljeni problemi koji proizlaze iz svjetlozagađenja su konfuzija u vidnom polju, proizašla iz neadekvatnih izvora svjetla, kao i problemi tipa nemir, gubitak energije, te opća smetnja i nelagoda. Osim nelagode pješacima, u promet se unosi znatna doza nesigurnosti, proizašla iz efekta zablještavanja te lošeg ili nikakvog optičkog vođenja.

Uz svjetlozagađenje, cestovna rasvjeta može prouzročiti još neke probleme koji mogu biti vezani uz zagađenje okoliša. Ovdje se govori o kolorističkoj zabludi (nastaloj uporabom neadekvatnih izvora svjetla, s ograničenim stupnjem uzvratu boje), vizualnim smetnjama (prouzročnim jakim stupnjem zablještavanja) itd.

Ipak, budući da je glavna tema ovog članka svjetlo, koje po svojoj osnovnoj definiciji nikako nije zagađivač, već izuzetno potrebna i opravdana tehnološka kategorija, koju se isključivo lošom koncepcijom i uporabom pretvara u zagađivača, u nastavku se neće koristiti pojam svjetlozagađenje, već **neželjeno svjetlo**.

## 2 KOMPONENTE NEŽELJENOG SVJETLA

### *Fontes Moralitatis*

*Coram obiecto, intentio se collocat e parte subiecti agentis. Intentio, quippe quae ex fonte voluntario est actionis eamque per finem determinat, elementum est essentiale in morali aestimatione actionis. Finis est primus terminus intentionis et scopum indicat quem actio prosequitur. Intentio motus est voluntatis in finem; terminum respicit actionis. Ipsa est propositum boni quod ab actione incepta exspectatur.*

Pred objektom, namjera postaje dio subjekta koji vrši akciju. Budući postoji na samom izvoru akcije koju određuje rezultatom, namjera je esencijalni element moralne kvalifikacije same akcije. Rezultat je značajniji termin od namjere i određuje cilj akcije. Namjera je svojevuljni pomak prema rezultatu a odnosi se na zaključak akcije. Očekuje se pozitivna konotacija od izabranog načina djelovanja.

**CATECHISMUS CATHOLICAE ECCLESIAE; PARS TERTIA - VITA IN CHRISTO; SECTIO PRIMA - VOCATIO HOMINIS: VITA IN SPIRITU; CAPUT PRIMUM - PERSONAE HUMANAE DIGNITAS; ARTICULUS 4 - ACTUUM HUMANORUM MORALITAS; 1752**

### 2.1 Svjetlina neba

Svjetlina neba nastaje iz prirodnih i umjetnih razloga. Prirodna komponenta svjetline neba proizlazi iz pet elemenatarnih izvora: sunčevo svjetlo se reflektira od površine mjeseca i zemlje, slabo "svijetljenje neba" u gornjim slojevima atmosfere (stalna slaba aurora), refleksija sunčevog svjetla od međuplanetarne prašine

(zodiakalno svjetlo), lom zvjezdanog sjaja u atmosferi, te pozadinsko svjetlo zvijezda i svemirskih maglica [3]. Sve ove komponente su na našoj planeti postojale i prije no što je njome prohodao prvi čovjek, a posebno prije no što je čovjek upalio prvu svjetiljku i tako započeo eru neželjenog svjetla.

Svjetlo koje se emitira iz svjetiljaka proizvodi (poput svakog drugog svjetla) tri komponente. To su direktno svjetlo, reflektirano svjetlo i apsorbirano svjetlo [4]. Prva i treća komponenta nas u ovom slučaju ne brinu, međutim reflektirano svjetlo, je komponenta koja izmiče nadzoru. Kada se odbije od površine koju se rasvjetljava, ova komponenta svjetla se lomi između brojnih čestica prašine i aerosolnih mješurica u atmosferi, stvarajući tako disperzni oblak svjetla. Ujedno, ova komponenta svjetla je varijabilna, a uz tehnološku komponentu svjetiljke koja dovodi do neželjenog svjetla, u relaciji je s trenutačnim zagađenjem atmosfere, te meteorološkim uvjetima.



Slika 4 - Primjer svjetljenja neba iznad Zagreba

[Fotografija sa Strossmayer-ovog šetališta u smjeru Tomičeve ulice i Ilice (u pozadini se vidi rasvjetljen krov Hrvatskog Narodnog Kazališta i hotel Vestin)]

Ustanovljeno je kako se u zenitu iznad gradova svjetlina neba povećava od 25 do 50 puta više nego je to slučaj u nerasvjetljenim ruralnim područjima [5]. Ove činjenice ustanovili su astronomi, nakon što su im neke zvijezde počele “nestajati” iz dijela svemira u kojemu postoje.

Mjerenje svjetline neba je započeto tek nedavno i to je razlog poradi kojega danas još ne postoje precizni i standardizirani načini kvantifikacije ove komponente neželjenoga svjetla. Govori se o mnogim komponentama koje utječu na rezultantno svjetljenje neba. U prvom redu riječ je o kutnoj razdiobi snopa svjetla proizašlog iz svjetiljke, zatim kutnoj razdiobi reflektirane komponente, te uvjetima u atmosferi (temperatura, vlažnost i onečišćenje). Samo mjerenje svjetline neba obavlja se instrumentom koji se zove fotoelektrični fotometar, a radi se o instrumentu koji je u stanju precizno izmjeriti količinu svjetla koje ulazi

u tanku kapilarnu cjevčicu osjetila instrumenta, usmjerenu prema zenitu (okomito na površinu zemlje) u nekoj točki [6]. Druge metode mjerenja svjetline neba su opisane u CIE tehničkom izvješću u sklopu [7]. Ukratko, postoji nekoliko matematičkih kvantifikacijskih pristupa ovom problemu, međutim, većina je dosta simplificirana budući da ne uzimaju u obzir neke teško mjerljive parametre, ali koji znatno mijenjaju konačan rezultat (razdioba svjetla, broj izvora svjetla, vrsta izvora, snaga izvora, količina reflektiranog svjetla, itd). Kasnije u tekstu, daje se osvrt na jednu od danas najprihvaćenijih metoda izračuna, tzv. Walker-ov zakon.

## 2.2 Smetajuće svjetlo

Smetajućim svjetlom se naziva ona komponenta vanjske rasvjete koja “provaljuje” u tuđe posjede. Ova kategorija je presudan faktor u kontekstu ljudske ugone i zdravlja, budući da se između ostaloga govori o svjetlu koje prodire u spavaće sobe. Istraživanja pokazuju kako umjetna rasvjeta utječe i na ljude - dolazi do poremećaja sna, životnog ritma, te alergijskih i hormonalnih poremećaja koji mogu uzrokovati razna oboljenja, pa čak i tumorsna oboljenja. Medicinske statističke studije pokazuju kako žene koje su po noći izložene svjetlu imaju povećanu opasnost od zadobivanja tumora dojke [8] i [9]. Taj efekt je povezan je s hormonom melatoninom, kojega tijelo proizvodi noću, dok spavamo. Kada soba u kojoj se spava nije zamračena, produkcija melatonina je smanjena, što povećava rizik od tumorskih oboljenja. Iz tog razloga dnevni san nije toliko efikasan kao noćni [10].



Slika 5 - Primjer smetajućeg svjetla u Zagrebu

[Fotografija: D. Korunić]

Institution of Lighting Engineers (ILE) definira smetajuće svjetlo kao onu komponentu rasvjete koja s ulice ulazi kroz prozor u unutrašnjost zgrade prema (za SAD definirane) okolišne zone [11]. Sljedeća tablica pokazuje okolišne zone:



**Tablica 1** - Okolišne zone prema definiciji IESNA  
(Illuminating Engineering Society of North America)

Zona	Opis
E1	Područja s tamnim okolišem Nacionalni parkovi ili stambene zone s posebnim ograničenjima rasvjete Nerasvijetljene ceste i ulice
E2	Područja sa slabom ambijentalnom svjetlinom Vanjske urbane ili ruralne stambene zone
E3	Područja sa srednjom ambijentalnom svjetlinom Urbane stambene zone
E4	Područja sa velikom ambijentalnom svjetlinom Urbane zone, rezidencijalne i komercijalne s visokim intenzitetom noćnih aktivnosti

[Izvor: IESNA 1999]

Vrlo je teško precizno mjeriti smetajuće svjetlo budući da su pojave različite. Rasvijetljenost (iluminacija) u vertikalnom smislu (naprimjer vertikalna rasvijetljenost prozora) može u nekim situacijama biti dopustiva i opravdana, dok je u drugim slučajevima, smetajuća. Isto vrijedi i za horizontalnu rasvijetljenost. Ona npr. na površini kreveta može biti smetajuća dok je opravdana na površini poda. U svakom slučaju rasvijetljenost od 1 lux-a (0,1 footcandle) u principu može biti prihvatljiva. Za usporedbu, mjesečina pri punom mjesecu osigurava rasvijetljenost prostora minimalno 0,3 lux [12].

U principu, smetajuće svjetlo je potrebno ustanoviti na granici posjeda (uvjetno rečeno) koji se rasvijetljava. Zamislimo vertikalnu ravninu na granici posjeda. Mjeri se upadno svjetlo na samoj granici, ali usmjereno prema točki rasvijetljavanja, suprotno od smjera tuđeg posjeda. Tada se mjeri na istom mjestu, ali usmjereno prema tuđem posjedu (koji se ne rasvijetljava). Izračunava se omjer ta dva rezultata, s time da je prvo mjerenje u brojniku, a drugo u nazivniku. Ako je rezultat manji od jedan, znamo da rasvijetljavani posjed dobiva više svjetla od susjednog nego što rasvijetljavani prostor daje susjednom. Što je rezultat manji to je veća količina smetajućeg svjetla spriječena u smislu upada na susjedni posjed.

### 2.3 Blještanje

Blještanje je vizualna senzacija koja nastaje prevelikom količinom svjetla koje ulazi u oko. U osnovi razlikujemo tri kategorije blještanja [13]:

#### Zasljepljujuće blještanje

Blještanje je toliko intenzivno da neko vrijeme po uklanjanju stimulusa, zasljepljena osoba ne razaznaje predmete ispred sebe. Ova se pojava susreće kod zablješavanja dugim svjetlima vozača koji dolazi u susret.

#### Onesposobljavajuće blještanje

Blještanje uzrokuje smanjenje vidnih mogućnosti. Naziva se još zavjesna rasvijetljenost (eng: veiling luminance). Ova se pojava manifestira kod ulaza intenzivne zrake svjetla u staklinu oka, gdje se zraka lomi i odbija umanjujući doživljaj kontrasta slike, na rožnici. Izračun ovog tipa blještanja dan je u nastavku.

#### Neugodno blještanje

Blještanje uzrokuje nelagodu i smetnju iako u isto vrijeme ne umanjuje znatno sposobnost razaznavanja objekata u vidnom polju. Ipak, dulje izlaganje ovom tipu blještanja kod sudionika u prometu izaziva zamor te je moguća pogreška u prometu. Ova je pojava subjektivna, te ne postoje globalni standardi u vezi s njom. U Kaliforniji, naprimjer, ovu pojavu nadziru prema slijedećem ključu: ograničenje izmjerene svjetline izvora u okviru 10° između smjera gledanja i položaja svjetiljke, ne smije prijeći minimalnu izmjerenu ambijentalnu rasvijetljenost pomnoženu s 1 000 (u vidnom polju). Tamo se na ovaj način nadziru i svjetleće reklame uz prometnicu.

Slijedeće dvije slike, 6 i 7, vrlo zorno pokazuju razliku između nepravilno izvedene cestovne rasvjete i one koja je izvedena pazeći na redukciju blještanja.



Slika 6 - Primjer blještanja kod loše cestovne rasvjete  
[Izvor: THORN – stručna dokumentacija, 2001.]



Slika 7 - Primjer dobre cestovne rasvjete  
[Izvor: Lumec]

### 3 OSNOVNI ELEMENTI TEORIJE CESTOVNE RASVJETE

Kako bi bolje razumjeli negativne učinke cestovne rasvjete, najprije moramo znati neke osnovne pojmove vezane uz cestovnu rasvjetu [14].

#### 3.1 Definicije

##### Kandela

Intenzitet svjetla kojega daje neki izvor svjetla, izražava se u kandelama [cd]. Ovo je osnovna jedinica količine svjetla. Nekada se kandelama izražavala količina svjetla proizašla iz plamena svijeće. SI sustav mjera, definira kandelu kao svjetlosni intenzitet na danoj udaljenosti, za izvor monokromatske radijacije vala frekvencije  $540 \times 10^{12}$  Hz, a koji ima polarni intenzitet u tom smjeru  $1/683$  W/sr (Watt / steradian).

##### Lumen

Lumen je jedinica svjetlosnog toka nekog izvora svjetla. Točkasti izvor od jedne kande, proizvest će svjetlosni tok od 1 lumena kroz prostorni kut od jednog steradiana (kugla ima ukupnu površinu do  $4\pi$  steradiana). Stoga točkasti izvor od jedne kande ima ukupni svjetlosni tok od  $4\pi$  ili 12,57 lumena). Općenito se može reći da je lumen količina svjetla emitirana iz nekog izvora pri određenom intenzitetu.

##### Illuminacija (rasvijetljenost)

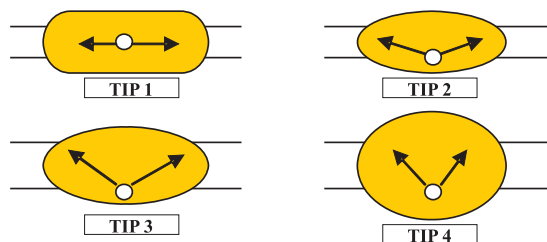
Razina iluminacije je definirana kao količina svjetla koja padne na određenu površinu. SI jedinica za iluminaciju jest lux (lx), što odgovara jednom lumen na kvadratni metar. Imperijalna mjera je footcandela što odgovara jednoj kandelu po kvadratnoj stopi. Illuminacija se opisuje inverznim kvadratnim zakonom. Prema tom zakonu rasvijetljenost neke površine se smanjuje direktno proporcionalno kvadratu udaljenosti.

##### Luminacija (svjetlina)

Svjetlina objekta ovisi o karakteristikama materijala od kojega je izgrađen (reflektivna svojstva). Budući da svjetlina predstavlja odbijenu komponentu svjetla, objekt se u ovom slučaju ponaša kao novi izvor svjetla. Postoji izravni odnos između svjetline gledanog objekta i rezultatne rasvijetljenosti slike koja padne na rožnicu promatračevog oka. Jedinica za svjetlinu je kandela / m<sup>2</sup>. Cestovne svjetiljke se klasificiraju prema načinu na koji emitiraju svjetlo. Uporaba različitih optičkih elemenata (zrcala i leće), omogućavaju projektantima produkciju efikasnih svjetiljaka [15]. Klasifikacija svjetiljaka se vrši temeljem vertikalne raspodjele svjetla, lateralne raspodjele svjetla i nadzorom raspodjele svjetla iznad najvećeg

potrebnog intenziteta. Vertikalna i lateralna raspodjela se prvenstveno odnose na tip i dimenzije prometnice koja se rasvijetljava. Istodobno, obje se ove veličine razmatraju u kontekstu neovlaštenog upada svjetla u tuđi posjed (npr. prosvjetljavanje ulične svjetiljke u privatni stan) [16].

Sljedeća slika prikazuje četiri osnovna tipa raspodjele svjetla kod cestovne rasvjete [17]:

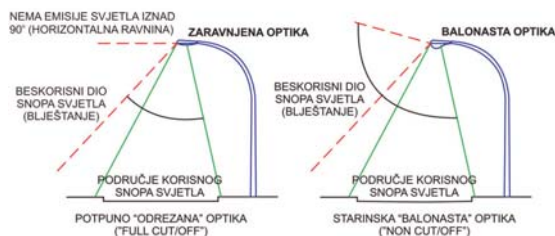


Slika 8 - Tipovi cestovne rasvjete

Izvor: [17]

Smetajuće svjetlo je u prometnom kontekstu lako izbjeći, a taj zahvat nije niti skup. U prvom redu projektanti moraju pažljivo birati svjetiljke koje predlažu kroz projekt. Naprimjer, slučaj označen kao "TIP 3", na gornjoj slici, nije pogodan za uske rezidencijalne prometnice, dok je "TIP 2" znatno prihvatljiviji. Nadalje, projektant mora precizno izračunati geometriju svjetlotehničkog rješenja (razmak stupova, visinu montaže, nagib svjetiljke), kako bi se postigao optimum rasvijetljenosti prometnice. Na taj način će predložiti, i u ekonomskom smislu, najprihvatljivije rješenje. I na kraju, uporaba modernih "CUT-OFF" svjetiljaka će osigurati potpun nadzor nad snopom svjetla, te u najvećoj mjeri spriječiti rasvijetljavanje neba.

Nadzor količine svjetla koje se emitira iznad horizontalne linije u ravnini ruba svjetiljke je presudan za ograničavanje blještanja. Ako takva komponenta ne postoji, govorimo o tzv. "Cut-Off" svjetiljci, dok se kod svih drugih ova komponenta pojavljuje u većoj ili manjoj mjeri [18]. Za starije svjetiljke je tipično postojanje refraktorskog stakla (balona) [19]. U takvim svjetiljkama se žarulja obično nalazi ispod ruba neprozirnog dijela svjetiljke, te se emisija svjetla (između ostaloga) vrši i u nebo. Sljedeća slika pokazuje razliku između moderne "Cut-Off" svjetiljke i zastarjele "NON Cut-Off" verzije.



Slika 9 - Efekt moderne "FULL CUT-OFF" svjetiljke i zastarjele "NON CUT-OFF" svjetiljke

Izvor: [20]

Udruženje inženjera svjetlotehlike (Illuminating Engineering Society) je ustanovilo tijelo koje se bavi različitim svjetlotehničkim preporukama, uključujući i domenu cestovne rasvjete [21]. Ovi standardi su obuhvaćeni dokumentom [11] i opisuju minimalne dozvoljene vrijednosti svih smetajućih komponenti cestovne rasvjete. Iz ovih je dokumenata proizašla preporučena rasvjetljenost različitih prometnica, a jedan izvadak je dan tablicom 2, koja slijedi:

Tablica 2 - Preporučena rasvjetljenost nekih prometnica

Vrsta prometnice	Rasvjetljenost [lux]
Urbana brza cesta	10
Odvojak s brze ceste	14
Komercijalna arterijska cesta	20
Rezidentna prilazna cesta	8
Lokalna cesta	6

Izvor: [11]

### 3.2 Izračuni

Rasvjeta prometnica se izražava kao rasvjetljenost ciljanog prostora. Osnovna jednačba za **izračun rasvjetljenosti** je:

$$E_{sr} = \frac{(RT \times KK \times FGS)}{RS \times \check{S}K} \quad (1)$$

gdje su:

$E_{sr}$  - srednja rasvjetljenost površine [lux]

$RT$  - rasvjetni tok izvora [lm]

$KK$  - koeficijent korisnosti svjetiljke (preuzima se iz tehničke literature proizvođača svjetiljke, a u relaciji je s razmakom stupova i širine prometnice)

$FGS$  - faktor gubitka svjetla (ovaj podatak govori o smanjenju intenziteta izvora koje proizlazi iz broja radnih sati kao i nečistoćama akumuliranim u svjetiljci); tipično 0,7 – 0,8

$RS$  - Razmak stupova

$\check{S}K$  - širina kolnika koji se rasvjetljava.

Naprimjer, ako se rasvjetljava kolnik širine 10 m, a razmak stupova je 50 m, koristeći svjetiljku čiji je izlazni rasvjetni tok 25 000 lumena, a koeficijent korisnosti svjetiljke 45 % i faktor gubitka svjetla iznosi 70 %, ostvarujemo srednju rasvjetljenost:

$$E_{sr} = \frac{(25\,000 \times 0,45 \times 0,7)}{50 \times 10} = 15,75 \text{ lx}$$

Rasvjeta prometnice se, također, može izračunati na temelju svjetline površine prometnice [22]. U ovom slučaju potrebno je uzeti u obzir refleksijske osobine kolnika. Iako se smatra kvalitetnijom metodom, ova je metoda dosta složena, tako da se rabi tek u nekoliko računalnih programa.

Kao što je već rečeno, važna komponenta rasvjete prometnica je količina blještanja koju proizvodi izvor svjetla. **Izračun pretpostavljenog onesposobljavajućeg blještanja** je u direktnoj relaciji s upotrijebljenom svjetiljkom, visinom montaže, te položajem promatrača. Osnovna empirijski derivirana jednačba za blještanje kod rasvjete prometnica je:

$$L_v = \sum_{i=1}^n \frac{10E_{vi}}{\Theta^2 + 1,5\Theta} \quad (2)$$

gdje su:

$L_v$  - blještanje (veiling luminance) na lokaciji promatrača [cd/m<sup>2</sup>]

$E_v$  - vertikalna rasvjetljenost površine zjenice promatračevog oka

$\Theta$  - kut između pravca gledanja i položaja svjetiljke [°]

$n$  - broj svjetiljaka u vidnom polju

Izračun blještanja bez obzira na metodu, vrlo je zahtjevan proces i najbolje ga je izvoditi uporabom specijalističkih računalnih programa. O blještanju će još biti govora u nastavku.

Sve do sada pokazane jednačbe su vrlo egzaktna i već dulje vrijeme poznate. Međutim, kada se govori o rasvjetljavanju neba, stvari su znatno kompleksnije. Znamo da je ljudsko oko u mogućnosti razaznati zvijezdu šeste magnitude, koja je otprilike 15 milijuna puta svjetlija od one koju mogu uočiti astronomi (24-e magnitude). Svjetlo svijeće (intenzitet svjetla od otprilike jedne kandeće) promatrano s udaljenosti od jednog kilometra odgovara svjetlini prve magnitude i lako je uočljivo golim okom (pretpostavka je da je u okolini potpuni mrak). Ovo svjetlo je oko milijardu puta svjetlije od najudaljenijih zvijezda koje promatraju astronomi.

Već smo napomenuli kako je ulična rasvjeta kriva za oko 50 % svjetline neba, poradi 95 % ukupnog snopa svjetla, usmjerenog u tlo, a koji se reflektira uvis (asfalt ima koeficijent refleksije 6 % a beton čak 25 %) [22]. Osim toga, primijećeno je kako se svjetlina neba povećava čak i do 30 % godišnje u većim gradovima!

Empiričku formulu za **izračunavanje svjetline neba**, objavio je Merle Walker [23] i ona se naziva Walkerovo pravilo. Uz pomoć ove formule vrši se procjenjivanje svjetline neba gledano iz određene pozicije, u smjeru zenita (45° iznad horizonta) prema promatranom gradu, na udaljenosti od  $r$  kilometara.

$$I = 0,01 \times P \times r^{-2,5} \quad (3)$$

gdje su:

$I$  - porast svjetline neba u odnosu na ambijentalnu svjetlinu

$P$  - populacija grada

$r$  - udaljenost od grada

Za grad od oko 300 000 stanovnika promatrano s udaljenosti od 25 km računamo:

$$I = 0,01 \times 300\,000 \times 25^{-2,5} = 0,96$$

Iz toga slijedi kako je povećanje svjetline neba na 45° od horizonta 96 % (od čega polovica otpada na cestovnu i javnu rasvjetu)!

Drugi izvor svjetline neba je svjetlo koje se direktno usmjerava prema nebu [8]. Ovdje je riječ u glavnom o svjetiljkama starinskog tipa, koje osim u smjeru koji je isprojektiran, svijetle i preko te putanje, pa dio snopa odlazi prema nebu. Mnoge od starijih ili zastarjelih svjetiljaka gotovo 10 % svoga snopa emitiraju u nebo (preko ravnine s rubom svjetiljke), a čak 30 % u smjeru koji je za 10° manji. Potpuno zaravnjene svjetiljke (FULL CUT-OFF), ne emitiraju uopće svjetlo preko ravnine sa svjetiljkom!

Kako bi u detalje povećali preciznost izračuna, osim Walkerovog pravila koristimo se predkalkulacijom. Za željenu zemljopisnu poziciju uvedimo pojmove longituda i latituda (zemljopisna dužina i zemljopisna širina) i označimo ih respektivno s  $\varphi_1$  i  $\lambda_1$ . Za primjer uzmimo sljedeću zemljopisnu poziciju:

$$\varphi_1 = 41,8042^\circ \quad \text{i} \quad \lambda_1 = -94,6276^\circ$$

(zapadne zemljopisne dužine se označavanju s negativnim brojevima, kao i južne zemljopisne širine).

Pretvorimo ove brojeve u redijane:

$$\varphi_1 [\text{radijana}] = (\pi / 180) \varphi_1 \text{ stupnjeva i}$$

$$\lambda_1 [\text{radijana}] = (\pi / 180) \lambda_1 \text{ stupnjeva, gdje je } \pi = 3,141592654\dots$$

Adekvatno tome, odredimo i lokaciju promatranog grada, odnosno njegovog centra i označimo ju s  $\varphi_2$  i  $\lambda_2$ . Za ovaj primjer, uzmimo:

$$\varphi_2 = 41,6006^\circ \quad \text{i} \quad \lambda_2 = -93,6089^\circ$$

Sada preračunajmo sve poznate vrijednosti:

$$\varphi_1 = 41,8042^\circ = 0,729621 \text{ radijana}$$

$$\lambda_1 = -94,6276^\circ = -1,65156 \text{ radijana}$$

$$\varphi_2 = 41,6006^\circ = 0,726067 \text{ radijana}$$

$$\lambda_2 = -93,6089^\circ = -1,63378 \text{ radijana}$$

Sada računamo udaljenost te dvije točke uz pomoć jednadžbe:

$$r = 12756,274 \sin^{-1} \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \quad (4)$$

i dobivamo rezultat, 87,6 km. Sada nam je poznata udaljenost točke gledanja od promatranog grada. Iako nam to za krajnji rezultat nije važno, izračunat ćemo i smjer u kome u odnosu na naše stajalište leži promatrani grad. U tu svrhu koristimo se jednadžbom:

$$AZI = \left( \frac{180}{\pi} \right) \tan^{-1} \left( \frac{\cos \varphi_2 \sin (\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (5)$$

gdje *AZI* označava azimut, odnosno smjer gledanja. Da bi ostvarili jednoznačnost u kontekstu kvadranta, a u slučaju ako je denominator arc tg funkcije manji od nula, uvodimo korekciju:

$$\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1) < 0$$

tada, ako je  $\cos \varphi_2 \sin (\lambda_2 - \lambda_1) \geq 0$  moramo korigirati *AZI* tako da bude

$$AZI = AZI + 180, \text{ ali ako je}$$

$$\cos \varphi_2 \sin (\lambda_2 - \lambda_1) < 0, \text{ tada je}$$

$$AZI = AZI - 180$$

Ako se nakon ovih korekcija ustanovi kako je  $AZI < 0$ , određujemo

$$AZI = AZI + 360.$$

U primjeru kojega smo ovdje spomenuli, *AZI* iznosi 104,6° (promatrano u smjeru kazaljke na satu u odnosu na smjer SJEVER).

Sada možemo primijeniti Walker-ovo pravilo ( $I = 0.01 \times P \times r^{-2.5}$ ), te slijedi:

$$I = 0,01 \times 392 \, 928 \times 87,6^{-2.5} = 0,055$$

što znači kako se iznad grada (populacije 392 928 stanovnika) kojega promatramo s udaljenosti od 87,6 km na smjeru od 45° (uz azimut od 104,6°) ustanovila svjetlina neba veća za 5,5 % u odnosu na prirodnu svjetlinu koja bi bila prisutna u slučaju da na ovom mjestu ne postoji naselje. Iako u malom postotku, povećana svjetlina neba je svejedno uočljiva. Međutim, prema međunarodnim pravilima i preporukama, za sada još nema maligni utjecaj na atmosferu okoliša (barem u smislu astronomije). Tek kada se populacija ovoga grada poveća na 714 415 stanovnika, postići će se granica od 10 % zasvjetljavanja neba. Nadamo se da će se to ipak spriječiti povećanjem svijesti ljudi koji tamo žive, te isključivom uporabom adekvatnih svjetiljaka (kao i zamjenom postojećih neadekvatnih). I još samo jedan podatak, za one koje to zanima, Zagreb je na lokaciji 45,8° (latituda) i 16° (longituda), te srednjoj nadmorskoj visini od 131 m.

#### 4 OSVRT NA EKONOMSKE POKAZATELJE GUBITAKA

Osnovni parametar efikasnog poslovanja, svakako je novac. U tom smislu, podsjetimo se distribucije novca samo u kontekstu javne rasvjete.

Podaci iz 2003. godine govore kako u Zagrebu (područje jurisdikcije DP ELEKTRA, Zagreb) postoji nešto manje od 3000 potrošača (svjetiljaka) u domeni javne rasvjete, što predstavlja potrošnju od 102 471 MWh [24], te sa cijenom od 0,45 kn/kWh (posebna tarifa za javnu rasvjetu) [25], dobivamo cifru od cca 46,1 milijuna kuna godišnje. Ako uzmemo u obzir da cca 5 - 10 % rasvjetnih tijela nije u funkciji, realna potrošnja se smanjuje na cca 42 mil kuna godišnje! To je utrošak koji se odnosi samo na energiju. U kontekstu održavanja, zna se kako je za 2003. godinu održavanje sustava javne rasvjete grada Zagreba utrošeno oko 27,9 mil kuna (+ PDV) [izvor: DPELEKTRA ZAGREB, Pogon Zagreb], bez cijene potrošnog i krupnog materijala (koji iznosi oko 9 mil kuna; izvor: Uprava grada Zagreba, Gradski ured za prostorno uređenje, zaštitu



okoliša, izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet). Također, prema podacima dostupnim putem interneta [25] vidimo kako se od 1. rujna 2005. godine, cijena kWh za javnu rasvjetu povećala na 0,47 kn, što znači da će u buduću (do nove korekcije cijene) trošak za 2 % biti veći od gore izvedenog izračuna.

Uz ovo treba napomenuti da je u gradu Zagrebu javna rasvjeta uglavnom koncipirana na zastarjeli način, čime su, nažalost, zagarantirani visoki troškovi (kako za energiju, tako i za održavanje). Regulacija i upravljanje javnom rasvjetom, gotovo su u potpunosti izostavljeni, čime se bespotrebno troše dodatne (znatne) količine novca. Ako bi se uvela pravilna regulacija javne rasvjete, što znači smanjenje intenziteta svjetla na prometnicama za oko 50 %, tijekom noći kada je promet znatno slabijeg intenziteta, uštedjelo bi se za oko 30 % na energiji. Također, uvođenje regulacije javne rasvjete dovodi i do znatnog smanjenja troškova održavanja, koji se smanjuju za gotovo 50 % (duži vijek trajanja svjetlotehničkih elemenata, nepotreban "scouting"). Znajući da oko 30 % ukupno emitiranog svjetla (u slučaju neadekvantnih svjetiljaka, kakvih je u Zagrebu preko 80 %) odlazi u neželjenom pravcu i bude zauvijek izgubljeno, stvarajući pritom i neželjene ekološke posljedice, lako izračunamo da u svemir godišnje bespovratno ode, u kontekstu energije, preko 1,36 milijuna (naših, teško stečenih, hrvatskih) eura!

Hipotetski scenarij u kojemu bi sve svjetiljke u gradu bile moderne i samim tim ekološki podobne, te kada bi se uvela efikasna regulacija javne rasvjete, mogao bi se predstaviti sljedećom tablicom (u obzir je uzeta cijena za kWh koja je vrijedila do 1. rujna 2005. godine):

**Tablica 3** – Usporedni izračun aktualne i hipotetske situacije javne rasvjete u Zagrebu

kategorija	danas	hipotetski	
		energija	održavanje
potrošnja	42 000 000 kn	42 000 000 kn	
održavanje	36 900 000 kn		36 900 000 kn
CUT-OFF svjetiljke		-12 600 000 kn	
regulacija		-3 780 000 kn	-18 450 000 kn
<b>ostatak</b>		<b>16 380 000 kn</b>	<b>18 450 000 kn</b>
<b>trošak</b>	<b>78 900 000 kn</b>	<b>34 830 000 kn</b>	

Dakle, trošak kojega bi grad trebao platiti na ime energije u našem hipotetskom scenariju, u slučaju uporabe preporučenih svjetiljaka, te uvođenja regulacije javne rasvjete na cijelom području jurisdikcije DP ELEKTRA Zagreb, iznosio bi oko polovice današnjeg ukupnog troška (energija + održavanje)!

Ovdje nismo računali sekundarne i tercijarne uštede koje se ostvaruju očuvanjem eko sustava, te važnije od svega, ljudskog zdravlja! Te se kategorije praktički ne mogu iskazati u novcu!

## 5 POSLJEDICE NEŽELJENOG SVJETLA

### 5.1 Općenito

Posljedice neželjenog svjetla možemo definirati kao utjecaj na eko-sustav, sigurnost, osjećaj ugone, te posebno, na ljudsko zdravlje.

Nešto na prvi pogled beznačajno kao što ja zalutala zraka svjetla može stvoriti mnogo problema. Pogledajmo na koji se način svjetlozagađenje manifestira u prirodi:

- o Biljke
  - Kopnene
    - Neprirodna oprašivanja
    - Mutacije
  - Vodene
    - Hiperprodukcija zbog produženog procesa fotosinteze
- o Životinje
  - Kukci
    - Prestaju egzistirati autohtone vrste zbog "produženog dana"
    - Doseljavaju netipične vrste
    - Mutiraju autohtone vrste
  - Ptice
    - Gube orijentaciju pri migracijama dnevnim i sezonskim
    - Produžuje im se dan, te gube vremenske orijentire
    - Doseljavaju netipične vrste
    - Izumiru ili odlaze autohtone vrste
  - Ribe
    - Odseljavaju u druge dijelove mora
    - Gube orijentaciju i genetske navike
  - Vodozemci
    - Gube orijentaciju pri migracijama
    - Ne posjećuju više prerասvjeljene zone
  - Sisavci
    - Noćnim životinjama se skraćuje vrijeme lova i hranjenja
    - Dnevnim životinjama se skraćuje vrijeme odmora
- o Ljudi
  - Direktno
    - Povećava se opasnost u prometu zbog blještanja
    - Povećanje zamora
    - Otežana orijentacija
    - Povećanje nesigurnosti
    - Povećani troškovi energije
  - Indirektno
    - Nedostatak kvaliteta sna
    - Porast broja alergija
    - Porast bolesti uzrokovanih poremećenim eko sustavom
    - Povećanje onečišćenja (makro i mikro)
    -



## 5.2 Posljedice u eko-sustavu

Nestankom noći, preduvjet za opstanak noćnih životinja nestaje, njihova se životna sredina mijenja, one se ne uspijevaju prilagoditi i nestaju. Zahvaljujući svjetlosnom zagađenju došlo je i do poremećaja u prirodnom ciklusu dana i noći. Poremećen je jedan od temeljnih faktora življenja u prirodi (ciklus rada/hranjenja i odmora/spavanja), pa tako npr. neke noćne životinje više nemaju dovoljno vremena za hranjenje, drugima pak odmor ne traje dovoljno dugo, treći su dezorijentirani u prostoru i vremenu. Slične se stvari događaju i biljkama. Noći su nestale, dan je postao neizdrživo predugačak. Rezultat toga je umiranje životinjskih i biljnih populacija, sve do potpunog nestanka pojedinih vrsta.



**Slika 10** - Ptice selice stradale u jednoj noći zbog dezorijentacije zbog svjetlosnog onečišćenja  
[Izvor: Greenpeace]

Ptice se ne gnijezde u rasvijetljenim područjima, selice gube orijentaciju bez zvjezdanog neba. Jarka svjetla ih zaslijepljuju te se mnoge sudaraju s raznim građevinama i preprekama (tornjevi, stabla, dalekovodi,...). Godišnje više ptica strada zbog svjetlozagađenja nego zbog ostalih ekoloških katastrofa. Zbog hormonskih poremećaja ptice se gnijezde ili u jesen, čime se ugrožava mogućnost preživljavanja novoizleglih ptića. Nekim pticama nestanak noći godi, pa imamo eksplozije broja vrabaca, čvoraka, vrana, galebova [26].

Mlade morske kornjače se u moru orijentiraju isključivo prema odbljescu mjeseca s površine mora. Ako se u blizini nalazi javna rasvjeta, kreću prema njoj i završavaju u plićaku, kao plijen grabežljivaca koji nisu njihovi prirodni neprijatelji ili čak pod kotačima vozila.

Kako je reproduksijski ciklus nekih riba vezan uz obalu i utjecaj Mjeseca, umjetna "mjesečina" koju mi stvaramo rasvjetljavanjem plićaka, smanjuje ribi broj mrjestilišta, a ribarima se narušava mogućnost opstanka.

Svjetlo privlači kukce, tako da mnogi stradavaju u blizini rasvjetnih tijela, što dovodi do pražnjenja susjednih eko sustava. Krijesnicama je narušen prirodni mehanizam

zavođenja i parenja, te one postupno mijenjaju lokaciju boravka ili čak izumiru na prerasvijetljenim područjima.

U kontekstu biljaka, pojačana rasvijetljenost povećava produkciju algi u vodi, čime se smanjuje kvaliteta vode. "Produženi dan" uzrokovan neželjenim i nenadziranim svjetlom, pospješuje kontinuirani rast stabala, mijenja cvjetne uzorke (što zbunjuje kukce), odgađa vegetiranje u jesen, uzrokuje prerano "buđenje" iz vegetacije u proljeće, uzrokuje povećanje dimenzija listova s povećanim stomatnim porama, čime je stablo ugroženije u kontekstu zagađenja zraka. Posebno su ugrožena mlada stabla. Također je uočena različita osjetljivost na neželjeno svjetlo. Tako su najosjetljivija stabla javora, breze i bukve, dok su najmanje osjetljiva stabla jasena, smreke, omorike, bora i hrasta. Posebno je važno prisjetiti se kako povećana količina svjetla pogoduje ubrzanom rastu korova.

Svaki iskorišteni kWh energije iz domene svjetla, uzrokuje produkciju: [9]

600 g CO<sub>2</sub>

2 g SO<sub>2</sub>

1,6 g NO

U Americi, naprimjer, godišnje se izgubi u nepovrat 62 milijuna kWh što odgovara štetnoj emisiji plinova iz 900 milijuna automobila! Za pročišćavanje ovolike količine štetnih plinova iz atmosfere, bilo bi potrebno

52 611 000 000 000 m<sup>2</sup> šume [27]!

Istraživanja pokazuju da umjetna rasvjeta, a posebno ona njezina komponenta koja izmiče nadzoru i koja predstavlja neželjenu komponentu svjetla, utječe i na ljude - dolazi do poremećaja sna, životnog ritma, te hormonalnih i alergijskih poremećaja koji mogu uzrokovati razna oboljenja.

## 5.3 Posljedice u prometu

Loše riješena rasvjeta ometa sudionike u prometu. Iako u našem "Zakonu o sigurnosti prometa" već više od petnaest godina stoji odredba "...rasvjeta uz prometnice mora biti zasjenjena (eng. "cut off")", stvarnost je drugačija. 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) zaslijepljuje sudionike u prometu. Nagli prijelazi sa rasvijetljenog u neraskvijetljeno područje rezultiraju privremenim oslabljenim vidom, što može dovesti do nesreće. To je razlog iz kojega se rasvjetljavaju tuneli i podvoznjaci, pri čemu se posebno mora voditi računa o inenzitetu 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. 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 se smanjuje [28], [29] i [30].

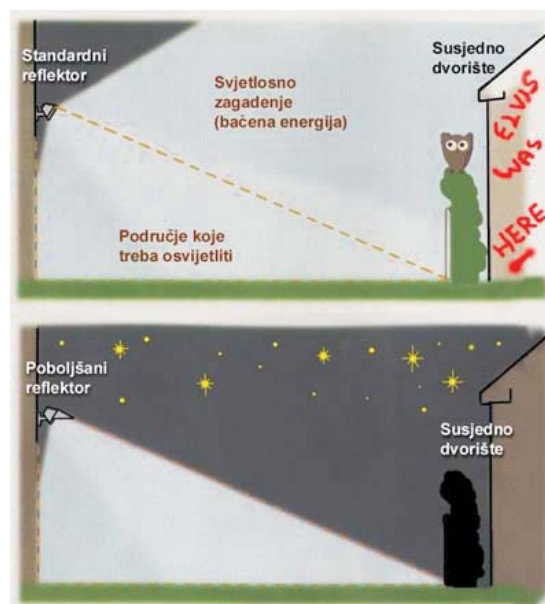


Slika 11 - Dio prometnice – Istarski Y  
[Izvor: Astronomska udruga VIDULINI]

#### 5.4 Posljedice za 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 [31]! 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 1/2 ispitanih se tijekom svojih "rabota" ne obazire na prolaznike ili svjedoke. Od 100 ispitanih kradljivaca automobila samo jedan se odlučuje za krađu automobila na neraskvijetljenom mjestu, dok se 1/4 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 rasvijetljeno područje, a ne i sami izvor svjetla [32].



Slika 12 - Usporedba dvorišne (protuprovalničke) rasvjete  
[Izvor: Darksky.org]

Dobro postavljenom svjetiljkom vide se obasjani objekti, ali ne i blještanje izvora svjetla. Bez blještanja, 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 blještanja, sposobnost bilo kakve akcije smanjuje se za 75 %!

Oporavak od zasljepljivanja za 55 - 65 godišnjake iznosi 15 sekundi dok za ljude od 85 godina oporavak traje i do dvije minute!

### 5.5 Posljedice za ljudsko zdravlje

U novije vrijeme sve se više pažnje poklanja utjecaju neželjenog svjetla na ljudsko zdravlje. Istraživanja pokazuju da umjetna rasvjeta utječe i na ljude - dolazi do poremećaja sna, životnog ritma, te alegijskih i hormonalnih poremećaja koji mogu uzrokovati razna oboljenja, pa čak i tumorozna oboljenja [33].

Istraživanja u institutima diljem svijeta pokazuju neke nepobitne činjenice. Neželjeno svjetlo povećava opasnost od tumoroznih oboljenja za 0,16 %. Izloženost svjetlini od 5 lx potpuno zaustavlja produkciju melatonina. Melatonin umanjuje mogućnost stvaranja raka dojke (in vitro test) za 30 – 40 %. Tumori na miševima u laboratoriju rastu 2 puta brže na primjercima izloženim dnevnom svjetlu po danu i svjetlu od 0,2 lx po noći. Kod radnica u noćnoj smjeni (starosti do 30 godina) opasnost od raka dojke se povećava za 8 % u odnosu na one koje rade samo u dnevnoj smjeni, dok se kod starijih ta opasnost povećava na čak 36 %. Melatonin je zaslužan za potpuni noćni odmor (zato je dnevni san manje relaksirajući od noćnog).

Blještavilo koje nastaje od neželjenog svjetla može kod učestale manifestacije štetiti vidu, isto tako kao što buka šteti sluhu. Svjetlo koje izmakne nadzoru definitivno smanjuje i otpornosti (imunost) ljudskog tijela.

To su tek neke od dosad primijećenih posljedica na ljude. Iako ovdje govorimo o, za sada, novom i nedovoljno istraženom području, dosad provedena istraživanja definitivno pokazuju da neželjeno svjetlo ostavlja negativne posljedice na zdravlje čovjeka.

## 6 ZAKLJUČAK

Iz svega do sada rečenog vidljivo je koliko se gubi novca, zdravlja, te narušava naš prirodni okoliš (koji je ovdje bio i prije nas, ali se ne zna hoće li ostati i nakon nas). Govori se o gubicima izrazivim u milijunima kuna za urbane sredine, stotinama ljudi narušenog zdravlja (koji nisu trebali oboljeti), te mutacijama ili izumiranjima pojedinih biljnih i životinjskih vrsta, samo poradi rasvjete koja je izmakla nadzoru, odnosno koja je površno isprojektirana i/ili izvedena. Možda će netko reći kako je već prekasno za akciju, jer je toliki broj tehnički neprihvatljivih svjetiljaka već montiran i u funkciji. Međutim, podsjetimo se kako je prosječni vijek svjetiljke (kvalitetnijeg proizvođača) oko 25 godina. Zatim, ako već govorimo o kvalitetnijim proizvođačima, oni su već davno počeli misliti na zaštitu okoliša, kako u smislu korištenih konstrukcijskih materijala, tako i u smislu svjetlozagađenja ili neželjenog svjetla. Stoga možemo biti sigurni da su njihovi proizvodi postavljeni prije dosta godina (misliti se na one svjetiljke koje ne odgovaraju modernim tehničkim zahtjevima), pri kraju svog radnog vijeka. Iz svega ovoga zaključujemo kako bi (pod uvjetom da o tome već danas povedemo računa),

moгли uvesti najveću moguću zaštitu ljudi i okoliša u roku od najviše dvadesetak godina. To je taman onaj termin u kome će naša djeca u punoj mjeri naslijediti svijet kojega mi staramo, mijenjamo, ali i uništavamo nepažnjom ili nespretnošću. Meni osobno nije svejedno kakav ćemo im svijet ostaviti. A Vama?

## LITERATURA

- [1] A Statement on Astronomical Light Pollution and Light Trespass, IES CP-46, Illuminating Engineering Society of North America, 1985
- [2] BATINSEY, JOHN, Light Pollution: The Neglected Problem, New Jersey Municipalities, May 1995
- [3] IDA Information Sheets, International Dark-Sky Association, Tucson, AZ
- [4] LEWIN, PHD, Light Trespass: Problems and Directions, Lighting Design and Application, IES, New York, June 1992
- [5] CRAWFORD, DAVID, PHD, Statement on Light Trespass (Draft), March 1991
- [6] Estimating the Level of Sky Glow Due to Cities, No. 11
- [7] Guidelines for Minimizing Sky Glow, Publication CIE 1997
- [8] NELPAG Circulars No. 2 to 11, New England Light Pollution Advisory Group, Cambridge, MA, December 1993 - February 1995
- [9] FINCH, D.M., Atmospheric Light Pollution, Journal of the IES, Volume 7, No.2, January 1978
- [10] Sample Letter to Help build Awareness and Ask for Help, No. 22, January, 1990
- [11] American National Standard Practice for Roadway Lighting, ANSI/IES RP-8, Illuminating Engineering Society of North America, 1983
- [12] An Introduction to Light Pollution, No. 28, February, 1990
- [13] Exterior Lighting: Glare and Light Trespass, No. 76, September, 1993
- [14] The CIE - Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination), Publications
- [15] Operating Data and the Economics of Different Lamps, No. 4, January, 1990
- [16] Light Pollution Theft of the Night (A Handout Sheet), No. 90, October, 1993
- [17] Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized Traffic, 2nd ed., Publication CIE 12.2-1977
- [18] Discussion and Partial List of Lighting Fixtures, No. 30, March, 1990
- [19] Why We Don't Like the 175 Watt Mercury Fixture, No. 3, December, 1989
- [20] Glare and Uniformity in Road Lighting Installations, Publication CIE 31-1976
- [21] Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, Publication CIE 115-1995

- [22] Road Surfaces and Lighting, Publication CIE 66-1984
- [23] Guidelines for Minimizing Urban Sky Glow Near Astronomical Observatories, Publication CIE 01-1980
- [24] HEP-DISTRIBUCIJA d.o.o., D.P. ELEKTRA ZAGREB, godišnje izvješće za 2003. godinu
- [25] Tarifni stavovi, <http://www.hep.hr/kupci/akti/podzakonski/tarifni/stavovi.html>
- [26] CARL SHAFLIK, BASc, Peng, Environmental Effects of Roadway Lighting, Technical Paper prepared at University of British Columbia, Department of Civil Engineering, December 1995
- [27] Economic Issues in Wasted and Inefficient Outdoor Lighting, No. 26, February, 1990
- [28] International Recommendations for Motorway Lighting, Publication CIE 23-1973
- [29] KETVIRTIS, A, et al, Control of Disability Veiling Brightness in High Mast Lighting Design, Journal of the IES, Volume 23, No.1, Winter 1994
- [30] JANOFF, M. AND STAPLIN, L., Effect of Reduced Freeway Lighting on Driver Performance, Journal of the IES, Fall 1985
- [31] Lighting and Crime, No. 51, April, 1992
- [32] Lighting for Parking Facilities, IES RP-20, Illuminating Engineering Society of North America, 1985
- [33] EVA S. SCHERNHAMMER, FRANCINE LADEN, FRANK E. SPEIZER, WALTER C. WILLETT, DAVID J. HUNTER, ICHIRO KAWACHI, GRAHAM A. COLDITZ, Rotating Night Shifts and Risk of Breast Cancer in Women Participating in the Nurses' Health Study, Journal of the National Cancer Institute 93 (20): 1563-1568.

U radu je korištena i sljedeća literatura:

- [1] Efficient Outdoor Lighting, No. 52, April, 1992.
- [2] Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies, Publication CIE 22-1972.
- [3] Road Lighting as an Accident Countermeasure, Publication CIE 93-1992.
- [4] IES Lighting Handbook, 8th ed., Reference and Application, Illuminating Engineering Society of North America, New York, 1993.

Mnogi podaci iz ovog članka su preuzeti s interneta i to poglavito sa sljedećih adresa:

URL: <http://www.iesna.org>, Illuminating Engineering Society of North America  
 URL: <http://www.darksky.org>, International Dark-Sky Association

URL: <http://www.cie.co.at/cie>, Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)

URL: <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/nelpag.html>, New England Light Pollution Advisory Group

## LIGHT POLLUTION – ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PROBLEM

Outdoor lighting has become a significant integral part of our society. However, as a side effect of outdoor lighting, light pollution has appeared. This defect can be significantly decreased if lighting is used only for what really needs to be illuminated and at the time necessary, using strictly determined light intensity. This paper considers three elements of light pollution, i.e. increase of sky brilliance, disturbance light and flashing. Also, some recommendations are given on how to decrease or remove negative effects of each element when designing and realizing outdoor lighting.

## DIE UMWELTVERUNREINIGUNG DURCH BELEUCHTUNG - EINE WIRTSCHAFTS- UND UMWELTSCHUTZFRAGE

Die Beleuchtung im Freien ist zu einem wesentlichen mitgestaltenden Teil unserer Gesellschaft geworden. Als Nebeneffekt dieser Beleuchtung ist aber zur Beleuchtungsverschmutzung gekommen. Man kann diesen Nachteil wesentlich verringern durch die Beschränkung der Beleuchtung lediglich auf das nur in bestimmten Zeitspannen notwendig zu Beleuchtende, und zwar mit genau bestimmter Lichtstärke. Dieser Artikel betrachtet drei Arten von Beleuchtungsverschmutzung: Erhöhung der Himmelhelligkeit, störendes Licht und Blendung. Für das Entwerfen und Ausführen der Beleuchtung im Freien werden ebenfalls Empfehlungen für die Minderung oder Beseitigung unerwünschter Folgen jeder von den drei Verschmutzungsarten gegeben.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Ranko Skansi, dipl.ing.**  
**INTERLIGHT d.o.o., Buzin**  
**Cebini 28, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2005-08-18