

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

OVISNOST SVJETLINE NOĆNOG NEBA O ATMOSFERSKIM UVJETIMA

Diplomski rad

Ana Mostečak

R 21

Zagreb, 2013.

OVISNOST SVJETLINE NOĆNOG NEBA O ATMOSFERSKIM UVJETIMA
ANA MOSTEČAK

Diplomski rad je izrađen : Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za matematiku, informatiku i nacrtnu geometriju
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

Svjetlosno onečišćenje obuhvaća skup posljedica koje izaziva svaka promjena prirodne razine svjetlosti u noćnim uvjetima, nastala kao rezultat antropogenog djelovanja. Posljedice svjetlosnog onečišćenja imaju biološku dimenziju (utjecaj na biljke, životinje i ljude) no i energetske-sociološku dimenziju (potrošnja energije i gubitak noćnog neba). Na ozbiljnost svjetlosnog onečišćenja utječe količina i svrha rasvjete, tehnologija osvjetljenja itd., kao antropogeni čimbenici te naoblaka, padaline, dim i prašina i sl. kao atmosferski čimbenici. Kontinuirana mjerenja u periodu od osam mjeseci pokazala su da je standardna vrijednost svjetline noćnog neba u gradu Zagrebu oko 17 magnitude s maksimalnom vrijednošću 18 mag u izrazito vedrim uvjetima. Utjecaj naoblake na količinu svjetlosnog onečišćenja na tlu je značajan (do 3 mag) u usporedbi s vedrim nebom bez Mjeseca.

Ključne riječi: svjetlosno onečišćenje i posljedice, mjerenje svjetline noćnog neba, atmosferski uvjeti.

Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 11 tablica, 22 slike, 4 priloga i 28 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski.

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb.

Voditelj: dr. sc. Željko Andreić, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: dr. sc. Željko Andreić, izvanredni profesor RGNF
dr. sc. Dario Perković, docent RGNF
dr. sc. Rajna Rajić, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 19. rujna 2013.

DEPENDANCE OF THE SKY BRIGHTNESS ON ATMOSPHERIC CONDITIONS

ANA MOSTEČAK

Thesis compiled at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mathematics, Informatics and Descriptive Geometry
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Light pollution includes a whole group of effects that are caused by any change in the night sky brightness level as a result of anthropogenic activity. Effects of light pollution have a biological dimension (effects on plants, animals and humans) and also an energy-social dimension (energy consumption and loss of night sky). The severity of light pollution depends on the amount and purpose of lighting, lighting technology used, etc. as anthropogenic factors and cloudiness, precipitation, smoke and dust, etc., as atmospheric parameters. Continuous measurements of sky brightness during eight months showed that the standard value of night sky brightness in a city of Zagreb is around 17 mag with the maximum value of 18 mag in clear sky conditions. Influence of cloudiness on the amount of light pollution on the ground is significant (up to 3 mag) compared to clear sky conditions without the Moon.

Key words: light pollution and effects, measurement of the night sky brightness, atmospheric conditions.

Master thesis contains: 65 pages, 11 tables, 22 figures, 4 appendixes and 28 references.

Original language: Croatian.

Thesis archived at: library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb.

Supervisor: PhD Željko Andreić, Associate Professor

Reviewers: PhD Željko Andreić, Associate Professor
PhD Dario Perković, Assistant Professor
PhD Rajna Rajić, Associate Professor

Date of defense: September 19, 2013

SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	I
POPIS SLIKA	II
POPIS PRILOGA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I ODGOVARAJUĆIH SI JEDINICA	IV
1. UVOD	1
2. ŠTO JE SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE?.....	3
3. SVRHA, IZVORI I TEHNOLOGIJE OSVJETLJENJA	7
3.1. Svrha osvjetljenja	8
3.2. Tehnologije osvjetljenja.....	10
3.3. Izvori svjetla	10
3.3.1. Lampe sa žarnom niti	11
3.3.2. Izbojni rasvjetni elementi (fluorescentni i lučni).....	12
3.3.3. Poluvodičke lampe	14
4. Ljudski vid.....	17
4.1. Fotoreceptori i vrste vida.....	18
4.2. Vid u boji i kolorimetrija	22
4.3. Negativni efekti svjetla.....	27
5. POSLJEDICE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA	28
5.1. Biološki aspekt	28
5.1.1. Svjetlosno onečišćenje i biljke	29
5.1.2. Svjetlosno onečišćenje i životinje.....	30
5.1.3. Svjetlosno onečišćenje i ljudsko zdravlje.....	36
5.2. Ekološko-sociološki aspekt	38
5.2.1. Energetski aspekt	38
5.2.2. Sociološki aspekt	40
5.3. Astronomija i svjetlosno onečišćenje	43
6. HRVATSKO ZAKONODAVSTVO	46
7. MJERENJE SVJETLINE NEBA	49
7.1. Veličine i mjerne jedinice	49
7.2. Mjerenje svjetline noćnog neba.....	50
7.3. Instrumenti.....	53
7.4. Modeliranje svjetlosnog onečišćenja.....	55
8. REZULTATI I ANALIZA IZMJERENIH PODATAKA.....	56
9. ZAKLJUČAK	62
10. LITERATURA.....	63

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Primjer učinkovitosti pojedine vrste lampi (Narisada i Schreuder 2004)	11
Tablica 4-1. Relativna osjetljivost oka (Narisada i Schreuder 2004)	20
Tablica 4-2. Raspon svjetline koju možemo percipirati (Narisada i Schreuder 2004)	21
Tablica 5-1. Rezultati pokusa hvatanja kukaca (Narisada i Schreuder 2004)	32
Tablica 5-2. Emitirana energija po gradovima (Narisada i Schreuder 2004)	39
Tablica 7-1. Radiometrijske i fotometrijske veličine i jedinice.....	49
Tablica 7-2. Svjetlina izvora (Narisada i Schreuder 2004).....	51
Tablica 7-3. Svjetlina izvora svjetla (Narisada i Schreuder 2004)	51
Tablica 7-4. Broj vidljivih zvijezda i magnituda granične zvijezde (Narisada i Schreuder 2004).....	52
Tablica 8-1. Srednje vrijednosti mjesečnih mjerenja.....	58
Tablica 8-2. Usporedba vrijednosti svjetline noćnog neba.....	58

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Prikaz korisnog i nepoželjnog svjetla (svjetlosnog onečišćenja) (LRC 2013)	4
Slika 3-1. Raspodjela umjetnog svjetla vidljiva iz svemira (Teikari 2007).....	9
Slika 3-2. Spektralna raspodjela (Teikari 2007)	14
Slika 3-3. Primjeri spektara različitih izvora svjetlosti (Teikari 2007).....	15
Slika 3-4. Vrste žarulja kod različitih tipova lampi (Teikari 2007)	15
Slika 3-5. Primjer full cut-off i non cut-off rasvjete (UFL 2013).....	16
Slika 3-6. Primjeri dobre i loše rasvjete (IAC 2012).....	16
Slika 3-7. Primjeri dobre i loše rasvjete vezano uz nagib rasvjetnih tijela (IAC 2012)	16
Slika 4-1. Građa oka (NEI 2012).....	17
Slika 4-2. Krivulja fotopske funkcije svjetlosti (Foley et al.1990)	19
Slika 4-3. Krivulje fotopske (narančasto) i skotopske funkcije (ljubičasto) normaliziranih vrijednosti (Kolb 2011).....	22
Slika 4-4. Spektralna raspodjela tri vrste ćunjića (RGB – crveno, zeleno i plavo) (Foley et al. 1990).....	23
Slika 4-5. Purkinje efekt tj. promjena boja u skotopskom (noćnom) vidu (Sharma 2013)	24
Slika 4-6. CIE standardiziran dijagram (Kolb 2011).....	25
Slika 4-7. Standardiziran trokut s točkama boje različitih izvora svjetla (Narisada i Schreuder 2004)	26
Slika 5-1. Diorama izrađena u okviru grčkog edukativnog programa (Pasachoff 1999)	43
Slika 5-2. Bortle-ova skala svjetline noćnog neba (Stellarium 2011)	45
Slika 7-1. Sky Quality Metar (Unihedron 2013)	54
Slika 8-1. Graf vrijednosti svjetline neba u četvrtom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca.....	59
Slika 8-2. Graf vrijednosti svjetline neba u četvrtom tjednu travnja 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca.....	60
Slika 8-3. Graf vrijednosti svjetline neba u drugom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca.....	60
Slika 8-4. Graf vrijednosti svjetline neba u petom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca	61

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Primjer grafova srednjih vrijednosti svjetline noćnog neba

Prilog 2. Primjer snimka s kamere, noć 13. travnja 2011

Prilog 3. Primjer analize snimaka kamere pomoću Sky patrol-a, noć 25. svibnja 2011.

Prilog 4. Primjeri slika noćnog neba (zvijezde Labud snimljeno u području zenita, kolovoz 2013. oko 23 sata) (Sharma 2013)

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I ODGOVARAJUĆIH SI JEDINICA

Oznaka	značenje	mjerna jedinica
Q	energija zračenja	J
Φ	fluks (tok) zračenja	W
M	gustoća toka tj. emisivnost	W/m ²
B	gustoća toka tj. isijavanje	W/m ²
I	intenzitet	W/sr
Q	energija svjetlosti	talbot=lms
Φ	svjetlosni tok	lm
M	svjetlina	lux= lm/m ²
B	osvijetljenost	lux
I	jakost svjetlosti	cd=lm/sr
K	intenzitet svjetlosti	cd/m ²
m	sjaj neba	mag/arcs ²
I	svjetlina neba izmjerena u smjeru izvora svjetla pod kutom od 45°	MPSAS, NELM
d	udaljenost	km
P	naseljenost grada	-
C	faktor ovisan o više parametara	-
R	faktor rastrošnosti grada	lm/p.c.
N	broj stanovnika	-

1. UVOD

Strah od mraka najčešće je karakterističan za djecu. Ipak, u sve većem trendu udaljavanja od prirode, mrak tj. tama zbog tog istog straha trpi možda čak i više no drugi aspekti prirode i okoliša. Dok za moderne stanovnike Zemlje, pogled na čisto noćno nebo sve više postaje luksuz, naši su preci bili usko povezani sa zvjezdanom zavjesom i promatranjem iste. Dok nas mrak plaši, naši su preci preko tamnog zvjezdanog platna projicirali svoje misli, snove i nade te određivali svoje mjesto na Zemlji (doslovno i apstraktno). Dok se nama čini da su zvijezde, ukoliko se uopće vide, nasumično rasute bez nekog posebnog smisla, naše je pretke kaos plašio više od mraka te su zvijezdama pridružili razne likove životinja i bogova te mitove i priče. Koliko smo zakinuti za pogled kakav su generacije prije nas imale ilustrira anegdota prema kojoj su 1990. godine za vrijeme nestanka struje stanovnici Los Angelesa zvali 911 žaleći se na čudne oblake na nebu. Po prvi su puta vidjeli Mliječnu stazu.

Govoreći o bogatstvu i obilju, bilo bi točno reći da je pogled na noćno nebo jednako dostupan svima neovisno o dobi, rasi, spolu, nacionalnosti i iznosu na bankovnom računu. To je možda vrijedilo u prošlosti no danas (zaslužno ili ne?) bogatstvo pogleda na potpuno mračno noćno nebo i zvijezde imaju samo stanovnici manje razvijenih zemalja koji nisu imali prilike niti resursa ugroziti noćno nebo prekomjernom upotrebom umjetne rasvjete.

U dokumentarnom filmu "The City Dark" (Cheney 2011) ekološke i ostale posljedice svjetlosnog onečišćenja prikazane su vrlo direktno i jasno. Dezorijentirane ptice slomljenih kljunova, tek izlegle morske kornjače izgubljene na svom putu do oceana, utjecaj svjetla na sintezu hormona koji dovodi do bolesti kod smjenskih radnika samo su neke od njih. Posljedice svjetlosnog onečišćenja ne pogađaju samo astronome, no za ilustraciju veličine problema zgodno je spomenuti da se teleskop u zvjezdarnici na planini Mount Wilson, kojim je Edwin Hubble otkrio širenje svemira, danas jedva koristi budući da je područje oko Los Angelesa toliko zagušeno umjetnim svjetlom. Sam teleskop više nije toliko značajan, ali (svaka) lokacija jest.

Za ciklus dana i noći možemo reći da je jedan od osnovnih mehanizama života na Zemlji. Također, dan i noć doslovno oblikuju našu percepciju. Iako moderno društvo i većina njegovih aktivnosti počiva na svjetlu (što nažalost vrlo često uključuje i borbu protiv mraka), tama otkriva i skriva u isto vrijeme. Možda upravo tako treba i biti. Kažu da odrasti znači shvatiti da nismo središte Svemira. To ne mora biti zastrašujuće. Paul Bogard (2008) u svom radu u kojem je prikupljeno nekoliko desetaka eseja o važnosti tame i noćnog neba, navodi da se sve više boji za mrak, nego što se boji mraka. Malo što nam na takav način daje sliku o nama samima i našoj važnosti kao što čini noćno nebo i pogled na njega. Kao što je to rekao Antun Branko Šimić (1920): "Čovječe, pazi da ne ideš malen ispod zvijezda!". Što kada više ne bude vidljivih zvijezda?

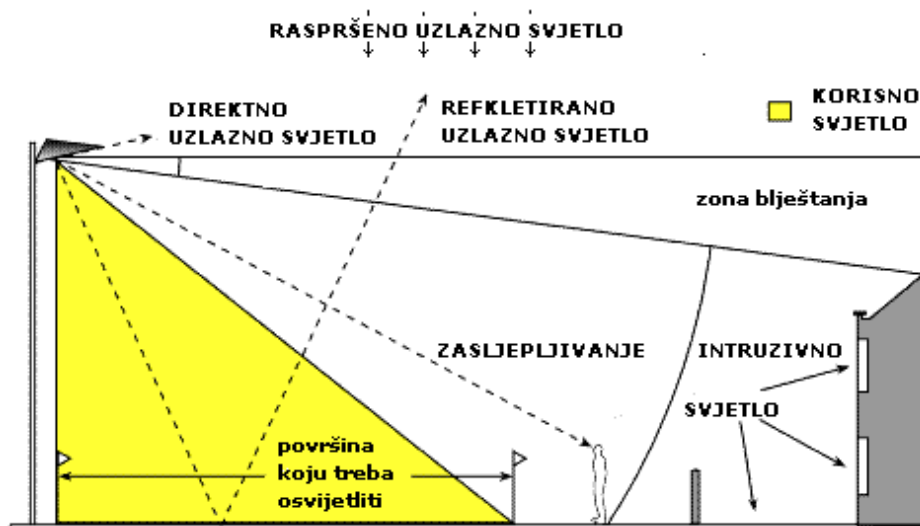
2. ŠTO JE SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE?

Noć je kao tišina i jednako krhka.
Mark Tredinnick

Pojam svjetlosno onečišćenje odnosi se na skup posljedica koje izaziva svaka promjena prirodne razine svjetlosti u noćnim uvjetima, nastala kao rezultat antropogenog djelovanja. Svjetlosno onečišćenje definiramo pomoću svjetline noćnog neba izazvane umjetnim izvorima svjetla (engl. sky glow). Svjetlina noćnog neba očituje se kao pozadinsko osvjetljenje noćnog neba i uzrokovana je neusmjerenim raspršenjem svjetla na česticama u atmosferi. Svjetlo, kao i čestice mogu biti prirodnog i umjetnog porijekla. Govorimo o umjetnom svjetlu usmjerenom prema gore, koje se rasprši i vraća natrag prema Zemlji. Osim svjetla usmjerenog prema gore, svjetlosnom onečišćenju doprinosi i svjetlo usmjereno prema predmetima, ali reflektirano s njihovih površina. Za prirodno pozadinsko osvjetljenje uobičajeno¹ je korištenje vrijednosti 21,6 mag/arcs² koja odgovara $3,52 \cdot 10^{-4}$ cd/m². Prirodnoj svjetlini neba doprinosi svjetlo zvijezda slabog sjaja, koje se pojedinačno ne vide golim okom i prašina u solarnom sustavu kao čimbenici izvan Zemljine atmosfere te atomi i molekule zraka, prašina i vodena para u atmosferi kao čimbenici vezani uz zemljinu atmosferu. Značajni dio prašine u atmosferi mogu činiti aerosoli² nastali antropogenom aktivnošću. Pojavu izmaglice prvi su primijetili astronomi nakon nužnog sve većeg udaljavanja od velikih gradova. Efekt nije lokaliziran već se opaža desetcima i stotinama kilometara daleko. Jedan od ciljeva Međunarodne astronomske unije (IAU - International Astronomical Union) je da antropogeni doprinos svjetlini neba ne čini više od 10% prirodne svjetline neba, iako se ta vrijednost smatra poprilično strogom i teško izvedivom bez konkretnih globalnih smjernica vezanih za postavljanje adekvatne vanjske rasvjete (Narisada i Schreuder 2004). Dobro osmišljena rasvjeta osigurava osvjetljavanje ondje gdje je to potrebno, a izbjegava rasipanje svjetla tj. usmjeravanje svjetla ondje gdje to nije nužno. Rasipanje svjetla rezultira ekološkim, ekonomskom i energetske gubitcima te ujedno čini razliku između korisnog svjetla ili osvjetljenja i svjetlosnog onečišćenja. Razlikujemo nekoliko načina rasipanja svjetla koje rezultira svjetlosnim onečišćenjem (slika 2-1.): **direktno, reflektirano i raspršeno svjetlo** (Narisada i Schreuder 2004).

¹ Više riječi o mjernim jedinicama bit će u sedmom poglavlju.

² Aerosol je koloidna suspenzija koju čine sitne čvrste čestice ili kapljice tekućine kao disperzna faza i plin kao disperzno sredstvo.



Slika 2-1. Prikaz korisnog i nepoželjnog svjetla (svjetlosnog onečišćenja) (LRC 2013)

Direktno svjetlo je usmjereno prema gore i najčešće je posljedica loše dizajnirane ili neprikladne rasvjete. Uz pojam direktno svjetlo veže se i naziv intruzivno svjetlo zbog činjenice da vrlo često uzrokuje smetnju i nelagodu kod ljudi koji nemaju nikakve koristi od konkretnog osvijetljavanja. Narisada i Schreuder (2004) navode tzv. žrtve intruzivnog ili zadirućeg svjetla kao npr. stanovništvo, flora i fauna, astronomi, vozači, itd.

Za intruzivno svjetlo koristi se i engleski naziv *light trespass*. Odnosi se na nepoželjno rasipanje svjetla izvan granica područja koje treba osvijetliti, smetajući susjednim objektima kao npr. ulična rasvjeta koja osvjetljava unutrašnjost građevina i krovove, često uspješnije nego same ulice. Takvo zadiranje svjetla uz sebe veže i zasljepljivanje (engl. glare) koje se najkraće može definirati kao osjećaj neugode, smetanja i čak smanjenja i gubitka vizualnih sposobnosti zbog izloženosti očiju svjetlini u vidom polju koja je puno veća od one kojoj se oko može prilagoditi. O različitim vrstama zasljepljivanja bit će riječi u četvrtom poglavlju.

Reflektirani spekularni i difuzni doprinos svjetlini neba čini svjetlo koje je usmjereno prema objektima, ali je reflektirano od njihove površine i to najčešće prema gore. Značajnu količinu svjetla reflektiraju površine prometnica, trave i površine građevina. Narisada i Schreuder (2004) navode da kontribuciju raspršenog svjetla svjetlosnom onečišćenju tek treba definirati, iako talijanska mjerenja pokazuju da je doprinos direktnog svjetla svjetlosnom onečišćenju puno manji od doprinosa reflektiranog svjetla. To vrijedi samo

ako su svjetiljke zaista *cut-off* svjetiljke što je bio slučaj u Italiji. Također, objašnjavaju kako je u većini slučajeva baš reflektirano svjetlo ona korisna komponenta svjetla, osim u slučajevima signalizacije kada je sam izvor svjetla bitan. Ovu činjenicu koriste i kao odgovor na ideju da se bojanjem svih površina u crno doskoči reflektiranoj komponenti svjetlosnog onečišćenja što u principu ne može funkcionirati jer je onda nužno za rasvjetu koristiti mnogo jače svjetlo čime se ponovno dobije isti rezultat. Uklanjanje reflektirane komponente iz jednadžbe, bila ona značajna ili ne, nažalost nije moguće bez ugrožavanja funkcije rasvjete kao takve, pa se i ne razmatra kao jedna od mogućih mjera smanjenja svjetlosnog onečišćenja.

Crawford u svom radu glavne čimbenike svjetlosnog onečišćenja predstavlja kraticom **GLUT: glare, light trespass, uplight, too much light (zasljepljivanje, zadiranje svjetla, direktno svjetlo, i previše svjetla)** (Crawford 2000).

Jedan od aspekata svjetlosnog onečišćenja značajan za astronomiju je horizontalno onečišćenje. Svjetlo emitirano iz izvora na visini koja je bliska smjeru prema horizontu prolazi znatno duži put kroz atmosferu i to do značajne udaljenosti od samog izvora pa mnogo više doprinosi svjetlosnom onečišćenju od svjetla koje ide prema gore pod velikim kutom. Ova je činjenica posebno važna za velike zvjezdarnice koje se nalaze na velikim udaljenostima od naselja kao i za činjenicu da horizontalno onečišćenje priječi velikom dijelu populacije nesmetano promatranje noćnog neba. Zaključak je da je svjetlo emitirano u smjeru bliskom horizontu štetnije od direktnog uzlaznog svjetla, što treba imati u vidu pri projektiranju i odabiru rasvjetne tehnologije.

Pristup smanjenju intruzije svjetla u okoliš odnosi se na zoniranje (engl. zoning) koji polazi od činjenice da se svjetlosno onečišćenje u okolišu ne osjeća svugdje jednako. Razlikuje se nekoliko zona prema specifičnim aktivnostima i nužnim mjerama. Iako zoniranje ne sprječava onečišćenje, važno je za uspostavu okvira zakonske regulative s ciljem smanjenja onečišćenja. Razlikuju se četiri zone prema vrijednosti zone (E1, ... E4). Zona označena s E1 predstavlja područje s izuzetno tamnim krajolikom gdje su ceste obično neosvijetljene. E2 označava vanjske urbane i ruralne stambene zone s adekvatno osvijetljenim cestama. U zoni E3 riječ je o urbanim područjima u kojima su ceste osvijetljene po prometnim standardima. Zonu E4 karakterizira visoka svjetlina i izrazita

noćna aktivnost. Sve se zone dijele na pod-zone i navode se astronomske aktivnosti moguće u određenoj zoni. Na način na koji se uvodi pojam zona, u kontekstu vremena uvodi se pojam ograničenja (engl. curfew) koji pokazuje da slično kao kod lokacije, svjetlosno onečišćenje nije jednako ozbiljno u svako doba noći i dana. Također, mjere za smanjenje svjetlosnog onečišćenja ne moraju biti jednako stroge u svakom razdoblju dana i noći. Uvode se pojmovi noći i večeri, a razlikuju se prema količini tame. Ovi pojmovi nezgodno su odabrani te ne predstavljaju standardne definicije noći i večeri već se koriste samo u ovom kontekstu ograničenja svjetla. Za prijelazni trenutak obično se uzima ponoć, ali točno vrijeme određeno je zakonskom regulativom pojedine države. Preporučuje se da u razdoblju noći aktivna budu samo svjetla čiji je cilj osiguranje, dok bi sva ostala svjetla trebalo ugaziti (Narisada i Schreuder 2004).

Utjecaj dima i prašine

Kao što je ranije spomenuto, sitne čestice i kapljice (aerosoli) su sveprisutne u atmosferi. Sudjeluju u apsorpciji i raspršenju svjetla. Postoji više vrsta aerosola, a obično uključuju mineralne čestice odnesene iz pustinja, vulkanski pepeo, kristale soli nastale evaporacijom iz morske izmaglice, peludna zrnca, bakterije, spore i sitne čestice otpada nastale kao produkt životnog stila industrijskog društva. Glavni krivac za slabu vidljivost dalekih tijela i to ne samo u uvjetima oblačnog neba, je voda u atmosferi. Uz vodenu paru, astronomi su zamijetili i utjecaj učestalosti zračnog prometa i tankih velova kondenzacije koje ostavljaju tragovi aviona (Mizon 2002). Međunarodni astronomske savez donio je odluku koja traži od vlasti da za vrijeme pomrčine Sunca regulira zračni promet u vremenu tako da zračni koridori izbjegavaju zonu pomrčine kako bi mjerenja bila uspješna. Osim tragova kondenzacije za koje tvrdi da mogu potrajati i nekoliko dana, Paul Murdin (2001) u svom radu navodi utjecaj dima i prašine iz miniranja na porast koncentracije aerosola u atmosferi. Navodi i primjere opservatorija u Kaliforniji, Arizoni, Australiji i na Kanarskim otocima koji se nalaze izuzetno blizu zona sklonih šumskim požarima te osim očite opasnosti po ljude i imovinu ugrožena su i sama znanstvena mjerenja. Mnogi autori razlikuju astronomske i ekološke svjetlosno onečišćenje (Teikari 2007). Prvo bi se odnosilo na povećanu svjetlinu neba zbog koje se nebeska tijela teško opažaju, a ekološko onečišćenje uključuje cijeli niz negativnih posljedica po okoliš, poremećene obrasce dana i noći te posljedice po biljke, životinje i ljude.

3. SVRHA, IZVORI I TEHNOLOGIJE OSVJETLJENJA

Ne trebaju sva tamna mjesta svijetlo.

Jeanette Winterson

Vanjska rasvjeta definira se kao fiksna umjetna rasvjeta čiji je cilj osvjetljavanje otvorenih područja kako bi se poboljšala vizualna sposobnost, olakšale ljudske aktivnosti i povećala njihova učinkovitost u noćnom, ali i dnevnom razdoblju. Ljudska učinkovitost je u najmanju ruku složen pojam jer za razliku od tehničke učinkovitosti koja prepoznaje i vrednuje uloženu te dobivenu energiju u bilo kojem procesu u kontekstu ljudske aktivnosti nije lako kvantitativno odrediti niti jedan od ta dva parametra. Poseže se za kvalitativnim razmatranjem učinkovitosti. Prema Narisadi i Schreuderu (2004) na ljudsku učinkovitost u noćnim uvjetima utječe nekoliko čimbenika: fotometrijski uvjeti u vidnom polju nastali kao rezultat djelovanja vanjske rasvjete, fizički uvjeti osvjetljenog okoliša, fiziološki uvjeti ljudi koji obavljaju aktivnosti te fiziološki uvjeti svih ostalih ljudi na koje gore navedene aktivnosti utječu. Ova četiri faktora međusobno su povezana, npr. poboljšanjem fotometrijskih uvjeta poboljšava se i vizualna izvedba pa i sama učinkovitost aktivnosti. Može se govoriti i o pozitivnom učinku i na apstraktne pojmove kao što su ljudska motivacija i volja. Sve navedeno odnosi se na funkcionalne aktivnosti. Za ne-funkcionalne aktivnosti, primjerice neformalna druženja izuzetna vizualna izvedba nije nužna, zahtjevi su puno manji nego u prvom slučaju, iako je određena količina svjetla ipak nužna, bilo da je riječ o blagoj umjetnoj rasvjeti, mjesečini, itd.

U kontekstu svjetlosnog onečišćenja ključna je vanjska rasvjeta. Općenito, u svjetlosnom inženjerstvu postoji glavna podjela rasvjete na unutrašnju i vanjsku. Vanjsku očito određuje odsustvo krova. Unutrašnju rasvjetu karakterizira da je ponekad isključivo dekorativna dok se smatra da je vanjsku rasvjeta prvenstveno funkcionalna. Oba pojma su relativna. Funkcionalnost rasvjete može biti usmjerena prema njezinoj učinkovitosti tj. vidljivosti ili prema estetici tj. dekorativnosti. Ukoliko uzmemo u obzir ogromne reklame i reflektore koji ih ističu, nameće se pitanje: jesu li zbilja funkcionalne, kako i za koga?

3.1. Svrha osvjetljenja

Vanjska rasvjeta često se koristi za uljepšavanje gradova. Osvjetljeni krajolik, građevine i spomenici, noću se bolje ističu, a smjer, raspodjela i boja svjetla razlikuju se od prirodnog svjetla te doslovno predstavljaju objekte u „drugom svjetlu“. To je domena dizajnera svjetla, a ne inženjera. Cilj takvog osvjetljavanja je isticanje dobrih strana određenog mjesta, najčešće u turističke svrhe. Kako bi se izbjeglo vizualno nagrdivanje prekomjernim osvjetljenjem kao i rasipanje energije, trebalo bi uvažiti određene tehničke smjernice. Nažalost, vrlo se malo pažnje pridaje noćnoj arhitekturi velikih urbanih područja (Narisada i Schreuder 2004).

Ulice i trgovi osvjetljavaju se prvenstveno zbog sigurnosti. Uvriježeno mišljenje je da dobra ulična rasvjeta znatno doprinosi smanjenju stope kriminala, no o tom aspektu detaljnije je napisano u petom poglavlju. Osnovni zahtjevi ulične rasvjete su da omogući sigurno kretanje i osigura pješacima dobru procjenu orijentacije i trenutne pozicije. Trgovi su često mjesta velike gužve i aktivnosti te se i u ovom slučaju koristi jaka i visoko kvalitetna rasvjeta. Korištenje rasvjete za osvjetljavanja povijesnih spomenika, fontana, parkova, itd. je opravdano, ali vrsta rasvjete i njihova lokacija treba biti pažljivo odabrana. Rasvjeta za prometnice spada pod funkcionalnu rasvjetu. Omogućuje jednaku aktivnost noću kao i danju, na što se može gledati kao na jednu od važnijih prednosti naše kulture.

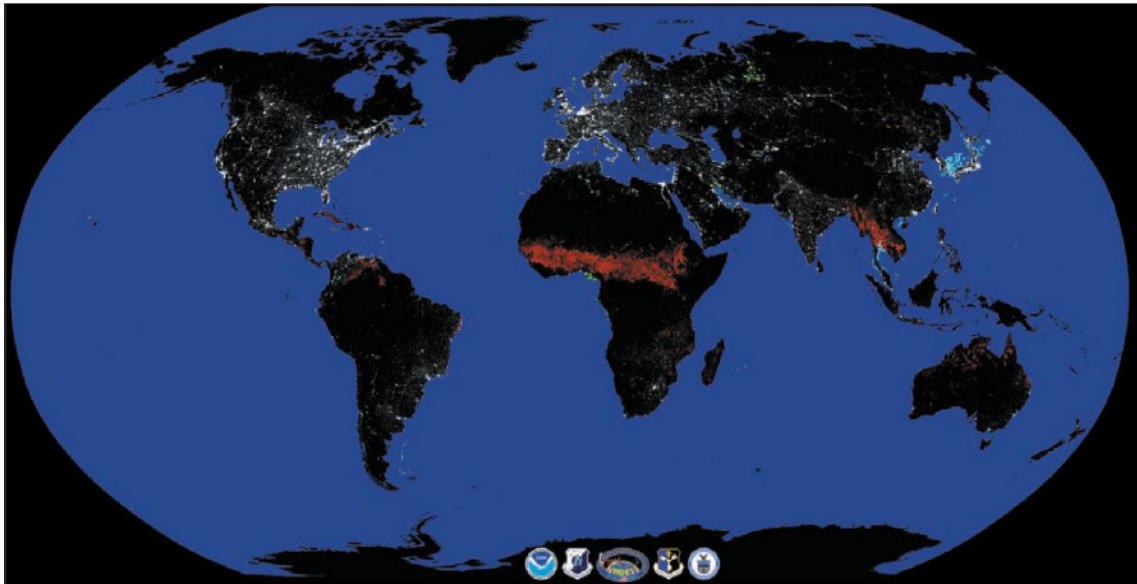
Vezano za industriju i trgovinu, neovisno o vrsti, rasvjeta treba zadovoljiti četiri uvjeta:

- 1) omogućiti učinkovit i siguran rad na održavanju objekata i pogona noću;
- 2) održati zadovoljavajuću razinu sigurnosti pogona, također noću;
- 3) omogućiti učinkovito i pravovremeno djelovanje u slučaju nesreća, prirodnih katastrofa i sl, ako se dogode noću i
- 4) omogućiti siguran izvoz proizvoda iz pogona te dostavu materijala u pogon u noćnim uvjetima.

Rasvjeta važna za trgovinu odnosi se na unutrašnju rasvjetu u samim dućanima, vanjsku rasvjetu trgovina, trgovačkih centara, itd. Specifična rasvjeta potrebna je za rad staklenika. Osim izrazito jake rasvjete spominju se i velike količine energije koje staklenici troše. U Nizozemskoj koja ima oko 1500 hektara pod staklenicima koji koriste umjetnu rasvjetu,

upravo je ta rasvjeta glavni uzročnik svjetlosnog onečišćenja (Narisada i Schreuder 2004).

Na slici 3-1. prikazana je raspodjela umjetnog svjetla na Zemlji vidljiva iz svemira. Podaci su preuzeti od meteoroloških satelita Američke vojske. Prepoznate su četiri vrste svjetla: bijelom bojom označena su ljudska naselja, crvena označava požare (prolazna svjetla na tlu), zelena plinske baklje, a plava boja pretjerano osvijetljene ribarske brodove.



Slika 3-1. Raspodjela umjetnog svjetla vidljiva iz svemira (Teikari 2007)

U skladu s raspodjelom prikazanom na gornjoj slici, podaci koje iznose Narisada i Schreuder (2004) također ističu lošu naviku ribarenja noću privlačenjem ulova svjetlom na površinu i bliže mrežama. Procjenjuje se da u Japanskom moru flota brodova emitira više od 100 MW svjetla.

3.2. Tehnologije osvjetljenja

Osim vanjskog svjetla koje je u najvećoj mjeri odgovorno za svjetlosno onečišćenje, dio krivnje pripada i unutrašnjoj rasvjeti. Unutrašnja rasvjeta, posebno ona na višim katovima visokih zgrada, može biti izvor onečišćenja. Osim neprimjerene opreme, razlog je i svjetlo reflektirano od zidova, namještaja ili podova koje se emitira kroz prozore. Problem specifičan za velike gradove je osvjetljavanje poslovnih prostora i tijekom noći kad to nije nužno, isključivo u svrhu promocije.

Vanjsku rasvjetu najčešće čini kombinacija više rasvjetnih tijela. Elementi rasvjetnih tijela su potporna struktura - armatura (stupovi i nosači) i lampe - izvori svjetla. Pri odabiru lampi treba paziti na nekoliko faktora: intenzitet svjetlosti, spektar svjetla, karakteristike paljenja, učinkovitost, troškove održavanja, vijek trajanja, utjecaj na okoliš, itd. Također, zahtjevi su povezani i s ranije spomenutim zonama u okolišu.

Smatra se da postoje dvije struje u kontekstu svjetlosnog dizajna. Prva stavlja naglasak na estetiku i trudi se postići da rasvjetna tijela budu estetski lijepa i skladno se uklapaju u okoliš danju i noću. Druga struja teži funkcionalnosti tj. postizanju da površine koje treba osvijetliti budu jasno vidljive uz što manje štetnih utjecaja. Ciljevi oba pristupa su na prvi pogled različiti, ali nisu nužno i međusobno isključivi.

3.3. Izvori svjetla

Prema Narisadi i Schreuderu (2004) rasvjetne elemente moguće je podijeliti u tri skupine prema kriteriju generacije razvoja:

- 1) žarulje;
- 2) izbojni rasvjetni elementi (fluorescentni i lučni) i
- 3) poluvodički rasvjetni elementi (LED).

Četiri su osnovna dijela građe električnih lampi, neovisno o njezinom tipu:

- 1) dio koji emitira svjetlo;
- 2) vanjski balon ili omotač koji štiti dio koji emitira svjetlo;
- 3) potporna struktura na koju je emitirajući dio fiksiran unutar same lampe i

- 4) električni vodovi i kontakti koji služe za povezivanje lampe na izvor struje.

Emitirajući elementi žarulja imaju strukturu niti dok izbojni rasvjetni elementi imaju cijev. Općenito, lampe su uređaji u kojima dolazi do pretvorbe električne energije u vidljivo zračenje tj. svjetlosnu energiju. Manji dio energije vidimo kao svjetlost jer se njezin veliki dio gubi na nevidljivo zračenje (infracrveno uključujući i toplinsko te ultraljubičasto). Preostala energija prelazi u toplinu pa nije pogrešno reći da se na konvencionalne žarulje više grijemo nego što nam služe za osvjetljavanje. Što se učinkovitosti lampi tiče, ona se definira kao omjer energije pretvorene u svjetlosnu i ukupno utrošene energije. Učinkovitost nekih vrsta lampi prikazana je u tablici 3-1. Podaci ukazuju na činjenicu da čak i moderna rasvjeta tek trećinu energije utroši na proizvodnju svjetla.

Tablica 3-1. Primjer učinkovitosti pojedine vrste lampi (Narisada i Schreuder 2004)

VRSTA LAMPE	UČINKOVITOST (%)
Žarulje i plinske lampe	10,00
Cijevne fluorescentne lampe	28,00
Kompaktne fluorescentne lampe	19,50
Natrijeve lampe pod niskim tlakom (LPS lampe)	40,50
Živine lampe pod visokim tlakom	16,50
Lampe s metalnim halidima	24,00
Natrijeve lampe pod visokim tlakom (HPS lampe)	31,00

3.3.1. Lampe sa žarnom niti

Kao što je ranije rečeno, emitirajući element ove vrste lampi je žarna nit koja se nalazi unutar staklenog balona. Dije se na dvije vrste: uobičajene ili standardne lampe i halogene lampe. Materijal od koje je nit napravljena je wolfram³, a do nastanka svjetla dolazi zagrijavanjem. Što je veća temperatura, to je veći svjetlosni fluks⁴ (tok). Veća temperatura utječe na brzinu isparavanja metala od koje je nit napravljena te na životni

3 Wolfram – kemijski element poznat i pod imenom tungsten. Simbol mu je W, a atomski broj 74. Koristi se zbog izuzetno visoke temperature taljenja.

4 Svjetlosni fluks (tok) – fotometrijska veličina koja predstavlja snagu zračenja koje emitira izvor svjetla o čemu će više riječi biti u sedmom poglavlju.

vijek žarulja koji u prosjeku iznosi oko 2000 sati. Ispareni metal taloži se na unutarnjoj stijenci zbog čega se ona nakon dužeg gorenja doima crna što smanjuje učinkovitost same lampe. Prednosti ove vrste lampi su njihova cijena i dostupnost, mogućnost prigušenja svjetla (mijenjanjem ulaznog napona), dobro obojenje i mala površina emitirajućeg elementa. Nedostaci su niska učinkovitost, kratki životni vijek i velik utrošak energije (veći dio utroši se na proizvodnju topline) te činjenica da privlače kukce.

Halogene lampe sa žarnom niti razvijene su kako bi se doskočilo problemu kratkog životnog vijeka lampi s žarnom niti. Došlo je do promijene konstrukcije te je stakleni balon zamijenjen onim napravljenim od kvarca⁵ koji je ispunjen inertnim plinom (npr. dušik, argon, kripton, itd.) pod tlakom puno većim od atmosferskog. Neke od prednosti su veća učinkovitost u usporedbi s lampama sa žarnom niti, duži životni vijek i bolje obojenje svjetla.

3.3.2. Izbojni rasvjetni elementi (fluorescentni i lučni)

Ova vrsta lampi temelji se na činjenici da prolaskom električne struje kroz razrijeđeni plin ili paru metala nastaje svjetlo. Glavne prednosti ovih lampi su visoka učinkovitost, dug životni vijek i visoka svjetlina. Osnovni dijelovi su staklena cijev kao emitirajući element, armatura koja podupire cijev te električni kontakti. Neke izvedbe imaju i zaštitni omotač (balon) koji štiti cijev koja je najvažniji dio i najčešće je izrađena od stakla ili kvarca, ali se sve češće koristi i aluminijska keramika koja je otporna na visoke temperature, tlakove i kemijsko djelovanje vrućih metalnih para za vrijeme gorenja.

Razlikujemo tri glavne grupe izbojnih rasvjetnih elemenata:

- obične lampe

Rade s različitim plinovima i metalnim parama, no bez halogenih komponenti. Imaju prozirni stakleni balon unutar kojeg su vidljivi cijev i plin za vrijeme gorenja. Danas su najviše korištene natrijeve lampe pod niskim tlakom tzv. LPS lampe (engl. low pressure sodium) i natrijeve lampe pod visokim tlakom ili HPS lampe (engl. high pressure sodium).

5 Kvarc – mineral kemijske formule SiO₂. Proziran je i u odnosu na staklo bolje podnosi visoke temperature bez gubitka mehaničkih svojstava.

Za LPS lampe se smatra da imaju najveću učinkovitost od svih lampi, najmanji utrošak energije, dug životni vijek i moguće paljenje i u uvjetima niskih temperatura. Njihovo obilježje je žuto monokromatsko svjetlo koje je ujedno i prednost i mana. Jedna od prednosti je i visoka osjetljivost oka na tu valnu duljinu te malo raspršenje u magli. Takvo svjetlo najpovoljnije je i u kontekstu astronomskih promatranja, lako ga je blokirati uskopojasnim filtrom, ali otežava razlikovanje boja pod takvih svjetlom. Osim toga, veličina emitirajućeg elementa otežava dizajn optičkih sustava. HPS lampe imaju slične prednosti, a mana je pretjerano crvenkasto-žuto obojeno svjetlo.

- fluorescentne lampe

Od običnih lampi razlikuje ih fluorescentni premaz na unutrašnjoj strani vanjskog balona kroz koji se ne vidi unutrašnjost. U ovu skupinu spadaju i živine lampe pod visokim tlakom (engl. MV – mercury vapor) koje se često koriste za osvjetljavanje ulica, stadiona, i sl. Osnovna uloga premaza kod živinih lampi je poboljšanje efikasnosti kvalitete boje svjetla (fosfor pretvara nama nevidljivo ultraljubičasto zračenje živinih para u vidljivo svjetlo), dodajući više crvenog svjetla prvobitnom plavičastom svjetlu. Danas su gotovo svugdje zamijenjene HPS lampama i lampama s metalnim halidima (MH lampe) zbog velike količine žive u njima i nepovoljne boje svjetla koje proizvode. U unutrašnjoj rasvjeti koriste se i fluorescentne cijevi koje rade sa živinim parama pod niskim tlakom te emitiraju uglavnom ultraljubičasto zračenje. Da bi se dobio vidljiv spektar nužan je fluorescentni premaz.

Prednost fluorescentnih lampi pod niskim tlakom je slična prethodno navedenima, ali su im glave mane veličina emitirajućeg elementa, relativno slaba osvjetljenost, mali izlazni svjetlosni fluks i ovisnost paljenja i učinkovitosti o temperaturi okoline.

- lampe s metalnim halidima

Osnova ovih lampi su živine pare pod visokim tlakom unutar prozirnog balona. U cijevi koja je izrađena od kvarca ili aluminijske keramike se osim žive nalaze i halidne⁶ komponente rijetkih metala. Uočeno je da je neugodna obojenost svjetla posljedica nedostataka određenih valnih duljina spektra u svjetlu koje nastaje u ranijoj izvedbi lampi.

6 Halidi su kemijski spojevi koji sadrže jedan halogen atoma i jedan element koji je obično manje elektronegativan od halogena.

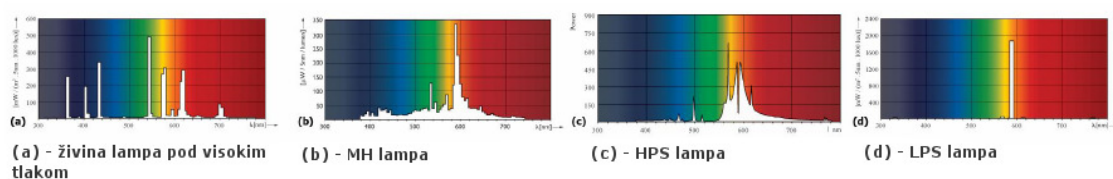
Dodavanje metala ima cilj poboljšati boju te ujedno povećava učinkovitost lampi. Prednosti MH lampi su učinkovitost, kompaktnost, velik izlazni svjetlosni tok, visoka osvijetljenost, bijelo obojenje svjetla i činjenica da dobro prikazuje boju osvijetljenih predmeta. Glavni nedostaci su kratak životni vijek, ovisnost boje svjetla o vremenu gorenja i položaju lampe i najvažnije živin otpad iz lampi i njegovo zbrinjavanje.

3.3.3. Poluvodičke lampe

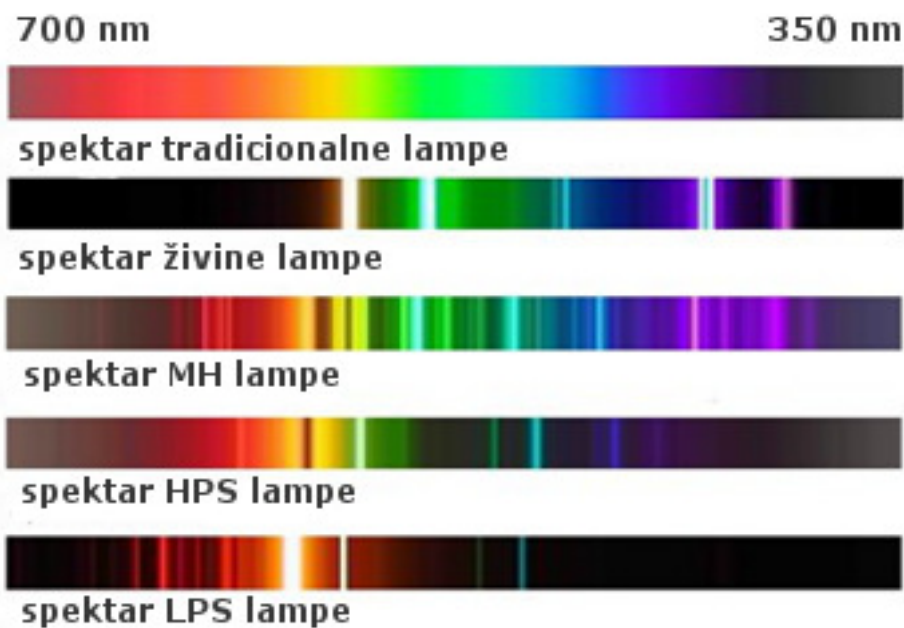
Fizikalni principi ove generacije lampi razlikuju se od ranijih generacija. Poluvodičke lampe stvaraju svjetlosni fluks prolaskom električne struje kroz svjetlosnu diodu (LED). Trenutno nemaju široku primjenu u vanjskoj rasvjeti, osim u prometu za signaliziranje. Moguću primjenu imaju u cestovnim uvjetima u kojima konvencionalna rasvjeta nije primjenjiva, a ipak ne mogu biti ostavljeni potpuno neosvijetljeni. Slike 3-2. i 3-3. prikazuju usporedbu spektralnih svojstava kod različitih tipova ranije spomenutih lampi. Također, prikazane su i vrste žarulja za različite lampe (slika 3-4.).

Murđin (2001) navodi kratak popis ključnih smjernica za dobru i kvalitetnu rasvjetu:

- koristiti adekvatnu razinu osvijetljenja, niti previše niti premalo
- eliminirati zasljepljenje i minimizirati intruzivno svjetlo
- minimizirati gubitke energije
- minimizirati rasipanje direktnog svjetla
- ne osvijetljivati ukoliko to nije nužno
- isključiti rasvjetu kad nije potrebna
- ukloniti svjetlo iznad 90°
- smanjiti intenzitet svjetla pod kutom od 70° do 90°
- skloniti izvore svjetla i reflektore od direktnog pogleda.



Slika 3-2. Spektralna raspodjela (Teikari 2007)



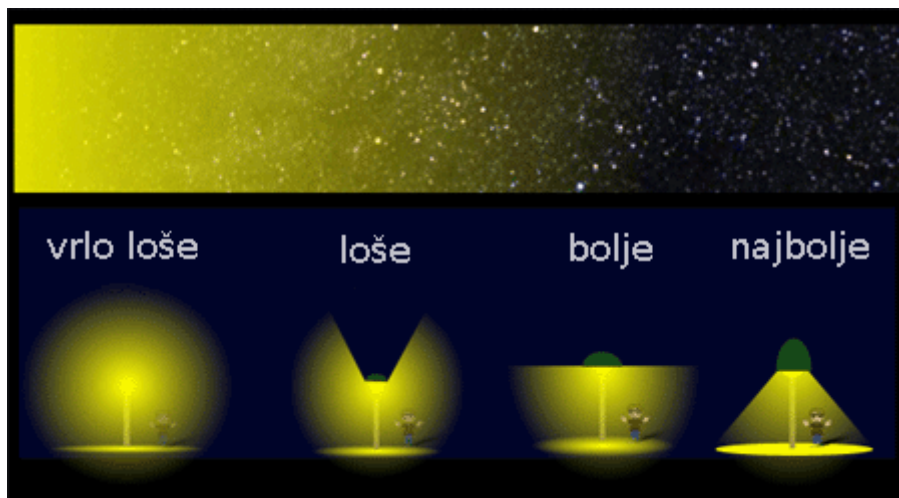
Slika 3-3. Primjeri spektara različitih izvora svjetlosti (Teikari 2007)



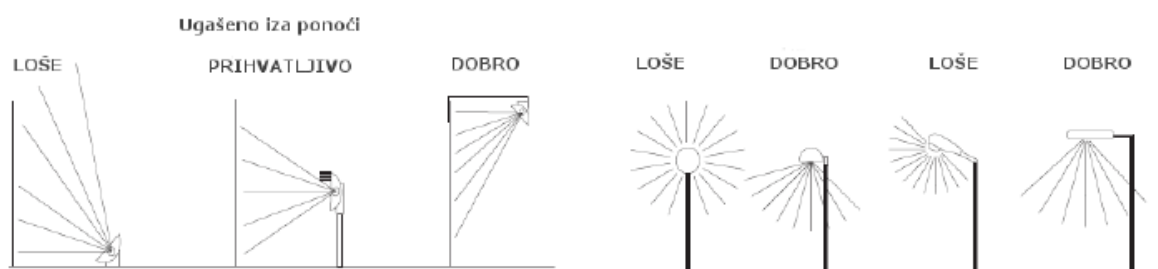
Slika 3-4. Vrste žarulja kod različitih tipova lampi (Teikari 2007)

Trenutačno najbolja rasvjeta je tzv. „full cut-off“ rasvjeta koja eliminira rasipanje svjetlosti u okoliš (iznad linije horizonta) te naglašava isključivo korisnu komponentu svjetla izvedbom koja s donje strane ima ravno staklo uz pravilno usmjeravanje svjetla (slika 3-5.). Nekoliko loših i dobrih primjera rasvjetnih tijela prikazano je na slici 3-6. Na

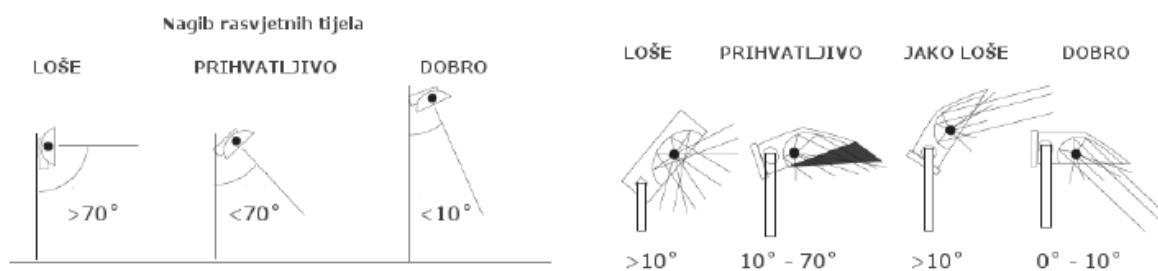
dobru i lošu rasvjetu utječe i nagib samih rasvjetnih tijela tj. izvora svjetla (slika 3-7).
 Primjeri su preuzeti su iz uputa španjolskog Instituta za astrofiziku s Kanarskih otoka (IAC).



Slika 3-5. Primjer full cut-off i non cut-off rasvjete (UFL 2013)



Slika 3-6. Primjeri dobre i loše rasvjete (IAC 2012)



Slika 3-7. Primjeri dobre i loše rasvjete vezano uz nagib rasvjetnih tijela (IAC 2012)

4. LJUDSKI VID

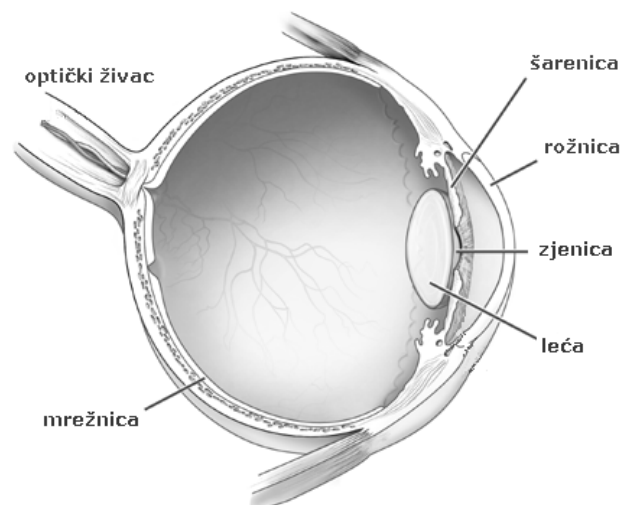
Postoje dvije vrste svjetla – sjaj koji osvjetljava i bljesak koji zasljepljuje.

James Thurber

Ljudski je vidni sustav izuzetno složen, a oko je, kao njegov glavni organ, složene građe. U kontekstu svjetlosnog onečišćenja važno je istaknuti osnovnu građu ljudskog oka, glavne značajke ljudskog vida, vida u boji i kolorimetrije. Ljudski vidni sustav čini pet osnovnih dijelova, od kojih su prva tri smještena u samom oku tj. očnoj jabučici, a ostala dva u lubanji:

- 1) optički dijelovi oka;
- 2) mrežnica (retina) i fotoreceptori (stanice osjetljive na svjetlo);
- 3) živčane stanice (neuroni) u oku;
- 4) očni živac i
- 5) mozak tj. vizualni korteks.

Osnovna građa oka prikazana je na slici 4-1. Na prednjem dijelu nalaze se prozirna rožnica, gotovo prozirna bjeloočnica te šarenica koja sadrži pigment čija je uloga da spriječi prodiranje svjetlosti igdje osim kroz otvor – zjenicu. U unutarnjem dijelu nalazi se mrežnica čiji je dio nazvan slijepa pjega odgovoran za oštrinu vida. Osnovni optički dijelovi oka su rožnica, očna leća i šarenica sa zjenicom.



Slika 4-1. Građa oka (NEI 2012)

Leća je glavni refraktivni dio, tvori oštru sliku predmeta na mrežnici, ujedno prilagođava žarišnu duljinu te tako omogućava da različito udaljene objekte vidimo oštro. Dio loma odvija se na rožnici, ali ona tek s lećom čini komplet optičkog sustava oka. Fotoreceptori na mrežnici primaju dolazno svjetlo i pretvaraju ga u električne impulse. Sam proces stvaranja slike nije do kraja razjašnjen, ali se smatra da se u fotoreceptorima prijenosom energije mijenja struktura neke od molekula koje se nazivaju tzv. vizualnim pigmentima (Narisada i Schreuder 2004). Električni impulsi se nakon predobrade u ganglijima⁷ optičkim živcem prenose od oka prema vizualnom korteksu. U tom se dijelu mozga impulsi pretvaraju u svjesni doživljaj „gledanja“.

4.1. Fotoreceptori i vrste vida

Postoje dvije osnovne vrste fotoreceptora: štapići i čunjići. Osim u mrežnici ljudskog oka, nalaze se i kod životinja, iako ne svih. Potrebno je naglasiti da se poimanje svjetla pa tako i svjetlosnog onečišćenja o kojem je riječ u ovom radu odnosi na čovjeka, ali da se doživljaj i posljedice svjetla i onečišćenja mogu znatno razlikovati kod ostalih vrsta što ovu problematiku čini još značajnijom i složenijom. Poznavanje osobina ljudskog vida i razlika u odnosu na druge vrste može nam ukazati na potencijalne propuste u određivanju utjecaja svjetlosnog onečišćenja.

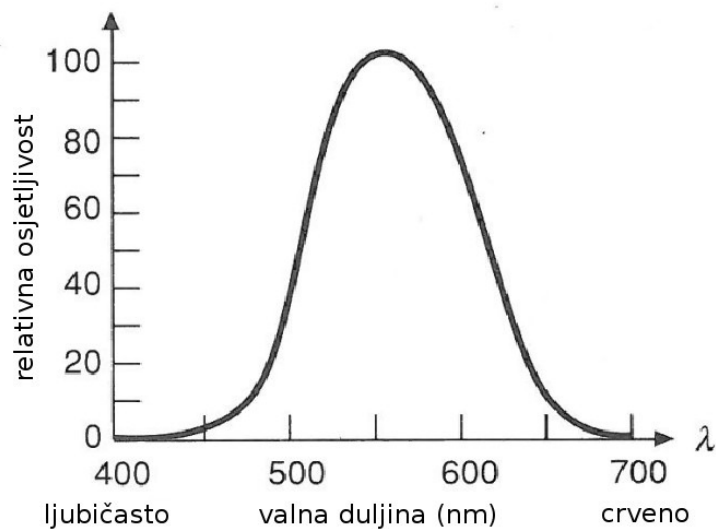
Štapići i čunjići su slične građe, ali se razlikuju po funkciji. Štapići su puno osjetljiviji od čunjića. Čunjići su odgovorni za vid u boji. Tri različite vrste čunjića različite osjetljivosti na boje omogućuju tzv. trobojni vid, dok štapići ne razlikuju boje.

U prostornoj raspodjeli na mrežnici čunjići su koncentrirani u njezinom središnjem dijelu, a štapići su smješteni na perifernom dijelu. Položaj čunjića objašnjava zašto je oštar vid moguć jedino u centralnom dijelu vidnog polja. Štapići reagiraju na slabo svjetlo, ali sa slabom prostornom razlučivošću. Čunjići reagiraju na jako svjetlo i trebaju znatno veći broj fotona svjetla od štapića.

7 Gangliji – skupina tijela živčanih stanica.

Ljudsko oko može vidjeti samo određen dio spektra elektromagnetskog zračenja, otprilike od 380 nm do 780 nm, ali nije jednako osjetljivo na sve valne duljine svjetla. Osjetljivost ovisi o aktivnosti štapića ili čunjića ili oboje u isto vrijeme. U usporedbi s čunjićima spektralna osjetljivost štapića pomaknuta je prema plavom kraju spektra. U dnevnim uvjetima aktivni su skoro pa samo čunjići.

Pojam fotopski ili dnevni vid definiran je 1924. godine od strane CIE⁸ - Međunarodne komisije za rasvjetu s ciljem definiranja standardnog promatrača tj. određivanja standardnog vida u uvjetima normalnog osvjetljenja. U ispitivanju je sudjelovalo 200 ispitanika i unatoč određenim varijacijama rezultata dobivena je standardizirana krivulja. Na slici 4-2. prikazana je CIE krivulja fotopske funkcije svjetlosti iz 1931.godine. Na horizontalnoj osi označena je valna duljina svjetlosti λ (nm), a na vertikalnoj osi nalazi se relativna osjetljivost oka. Skraćeni prikaz vrijednosti u intervalu od 50 nm prikazan je u tablici 4-1.



Slika 4-2. Krivulja fotopske funkcije svjetlosti (Foley et al.1990)

Osim fotopskog vida postoje skotopski ili noćni vid i mezopski vid koji je zapravo kombinacija fotopskog i skotopskog vida. Prije detaljnijeg opisa karakteristika obje vrste vida, nije naodmet spomenuti mogućnost prilagodbe (osjetljivosti) oka osvjetljenosti prostora.

8 CIE (Commission internationale de l'éclairage) – međunarodna organizacija nadležna za svjetlo, osvjetljenje, boju. itd. Osnovana je 1913. godine, a danas joj je sjedište u Beču, Austrija.

Smatra se da je raspon prilagodbe ljudskog vidnog sustava izuzetno velik pri čemu je najniža razina osvijetljenosti koju oko još može percipirati prije „apsolutnog“ crnog 10^{-6} cd/m². Suprotna ekstremna vrijednost pri kojoj su još moguće korisno zapažanje je 10^4 cd/m². Moguće je gledanje i pri višim razinama osvijetljenosti, no uz vrlo jake negativne efekte zasljepljivanja i bliještanja (tablica 4-2).

Krivulja spektralne osjetljivosti u uvjetima noćnog vida, unatoč različitoj osjetljivosti i aktivnosti štapića i čunjića, ima sličan oblik kao i fotopska krivulja. To se može objasniti sličnim karakteristikama vizualnih pigmenata kod fotopskog i skotopskog vida, koji su kemijski gledano slični u obje situacije.

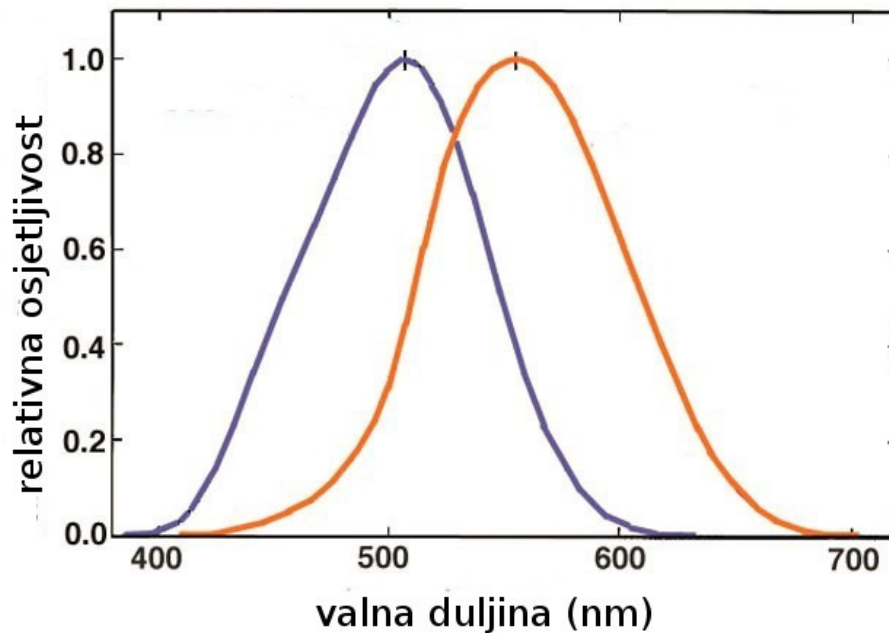
Krivulje se sijeku samo u jednoj točki. Područje između krivulja je područje definirano kao mezopski vid. Ranije je rečeno da je mezopski vid kombinacija fotopskog i skotopskog vida. Riječ je o situacijama koje su slabo osvijetljene, ali još uvijek nije riječ o potpunom mraku. Razlog postojanja zone mezopskog vida je podjednaka istovremena aktivnost štapića i čunjića, koji se gotovo nikad u potpunosti ne „isključuju“ već njihova aktivnost ponekad nije očita. Same granice kao i kriterij za određivanje kad je riječ o fotopskom ili mezopskom vidu nisu jasno određene.

Tablica 4-1. Relativna osjetljivost oka (Narisada i Schreuder 2004)

VALNA DULJINA (nm)	RELATIVNA OSJETLJIVOST OKA
400	0,0004
450	0,038
500	0,323
550	0,995
600	0,631
650	0,107
700	0,0041
750	0,00012

Tablica 4-2. Raspon svjetline koju možemo percipirati (Narisada i Schreuder 2004)

SVJETLINA log (cd/m ²)	PRIMJERI	VIDLJIVOST
5		osljepljivanje
4,5	sunce na snijegu	zasljepljivanje
4		
3,5	prosječno dnevno svjetlo	dobra vidljivost
3		
2,5		
2	unutarnja rasvjeta	
1,5		
1	sumrak	
0,5	osvjetljenje glavnih ulica	moгуće читати
0	svjetlo svijeće	teško читати
-0,5		
-1		nemoguća percepcija boje
-1,5	mjesečina na snijegu	
-2		
-2,5		
-3	jasna noć bez Mjeseca	samo obrisi
-3,5	svjetlo zvijezda na snijegu	
-4	tamna noć bez Mjeseca	
-4,5		
-5		samo neznatni dojam svjetla
-5,5		
-6		prag percepcije



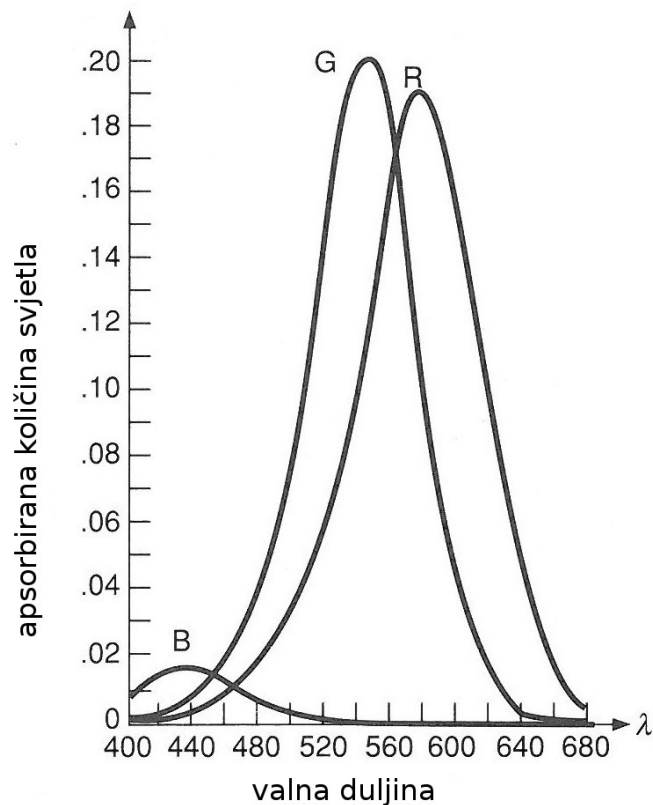
Slika 4-3. Krivulje fotopske (narančasto) i skotopske funkcije (ljubičasto) normaliziranih vrijednosti (Kolb 2011)

4.2. Vid u boji i kolorimetrija

Postoji više različitih sustava kolorimetrije i više različitih pojmova, no navode se tri najznačajnija pojma koji se koriste i kolokvijalno:

- 1) stvarna boja (crvena, zelena, žuta, itd.)
- 2) zasićenje (blijeda ili jarka crvena, itd.)
- 3) svjetlina (svjetla ili tamna crvena, itd.)

Ranije je spomenuto da su čunjići odgovorni za vid u boji te da postoje tri vrste čunjića: za kratke valne duljine svjetlosti, za srednje i za duge valne duljine. Nazivaju se redom: protanotopi, deuteranotopi i tritanotopi i sadrže pigmente za različite boje (crvenu, zelenu i plavu). Ispitivanja spektralne osjetljivosti čunjića rađena su pomoću ispitanika s poremećajem razlučivanja određenih (sljepoće za boje) boja zbog poremećaja funkcije jedne ili više vrsta čunjića. Na slici 4-4. prikazan je spektralna raspodjela za tri vrste čunjića.



Slika 4-4. Spektralna raspodjela tri vrste ćunjića (RGB – crveno, zeleno i plavo) (Foley et al. 1990)

Ranije spomenuti fotopski i skotopski vid razlikuju se:

- 1) prema oštini koja je izraženija kod fotopskog vida, nego kod skotopskog noću;
- 2) skotopski vid ne raspoznaje boje;
- 3) kod fotopskog vida adaptacija oka odvija se puno brže nego kod skotopskog i
- 4) maksimalna vrijednost spektralne osjetljivosti kod fotopskog vida nalazi se kod većih valnih duljina nego kod skotopskog vida.

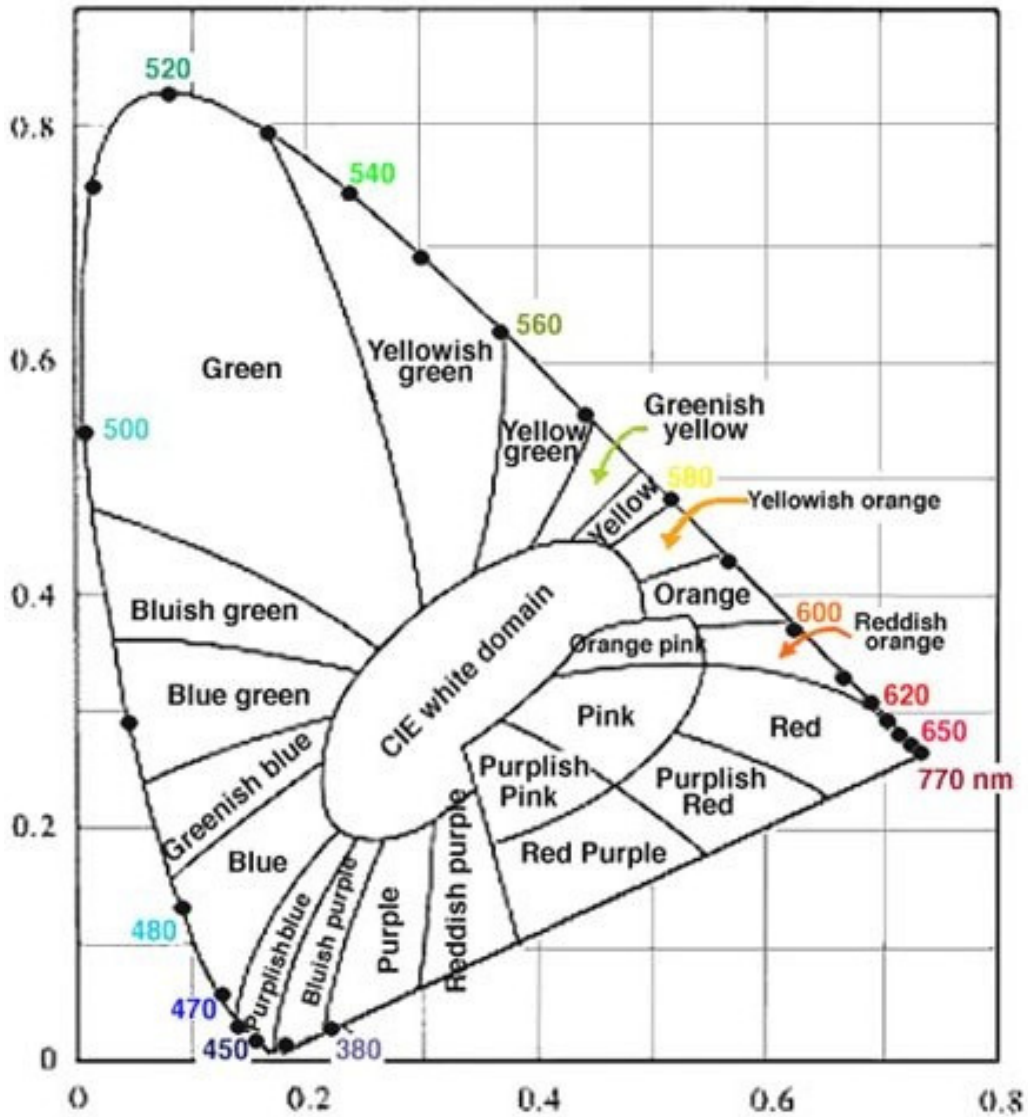
Krivulje spektralne osjetljivosti za obje vrste vida sličnog su oblika (slika 4-3.), ali je maksimum fotopske krivulje na 550 nm, a skotopske na 507 nm. Posljedica toga je manja osjetljivost fotopskog vida na plavo svjetlo nego na crveno i žuto i suprotno kod skotopskog koje je više osjetljivo na plavo svjetlo. Ovaj se fenomen naziva Purkinje efekt ili adaptacija i zbog njega npr. u noćnom vidu plavi cvijet izgleda bijelo, a crveni crno (slika 4-5.). Jan Evangelista Purkinje je 1819. godine uočio da se boja njegovog najdražeg cvijeća razlikuje za sunčanog popodneva i u zoru (Wade i Brožek 2008).



Slika 4-5. Purkinje efekt tj. promjena boja u skotopskom (noćnom) vidu (Sharma 2013)

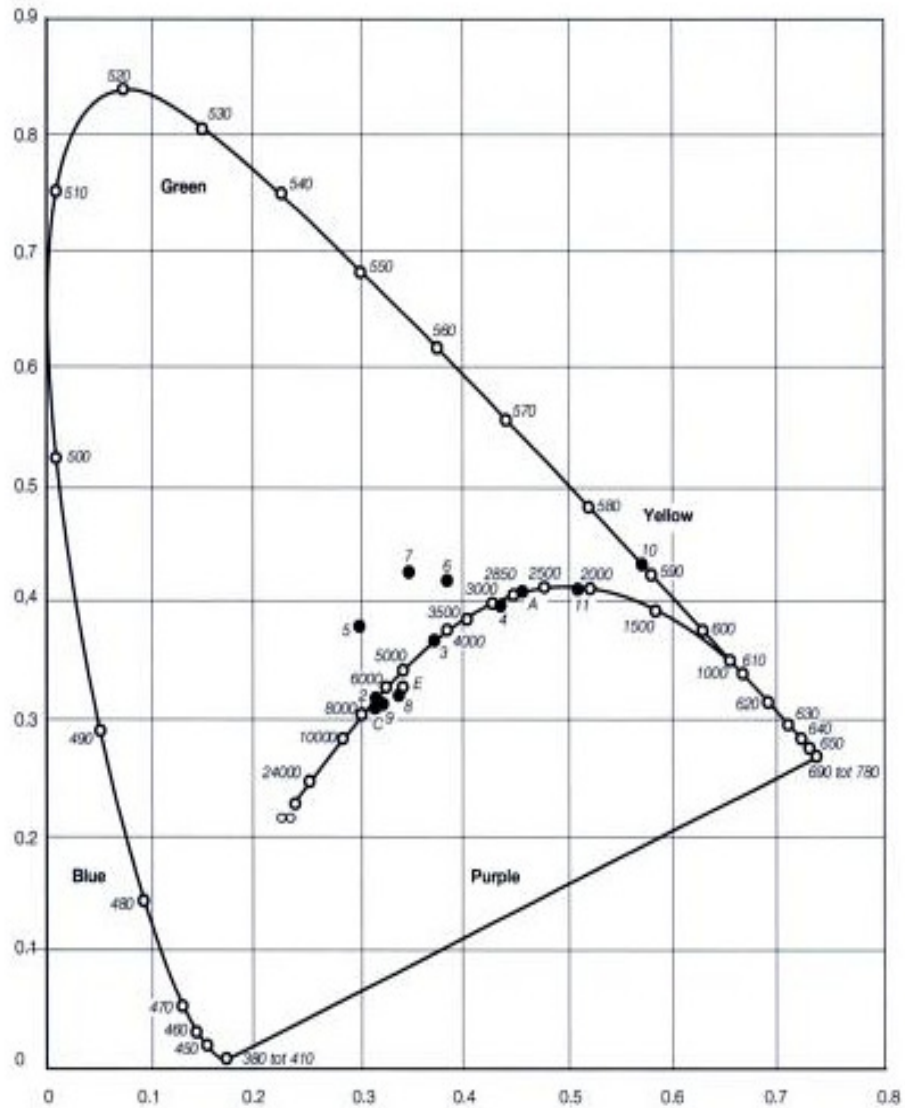
Doživljaj boje u svakodnevnom životu ne razlikuje je li dolazno svjetlo obojeno ili je samo reflektirano od obojene površine, dok se to kod ozbiljnijih mjerenja uzima u obzir. Bilo koja boja svjetla može se dobiti kombinacijom tri osnovne boje: crvene, zelene i plave. One ujedno predstavljaju osnovu CIE-inog sustava kolorimetrije koji se oslanja na postojanje tri vrste čunjića. Cilj takvog sustava je karakterizirati izvore svjetla za opće korištenje. Naglasak je na takvim vrijednostima boje svjetla koje trebaju biti što bliže bijeloj.

Prvi matematički definiran prostor boja bio je onaj definiran od strane CIE 1931. godine, prikazan na slici 4-6. CIE je ovime definirala standardnog promatrača u kontekstu kolorimetrije. Možemo govoriti o trokutu boja s primarnim bojama u vrhovima. Crvena se prikazuje donjom desnom točkom, plava lijevom, a zelena je u gornjem dijelu. Također, svaka boja unutar ravnine ima svoje ime. Bitno je istaknuti i postojanje tzv. bijele točke u središnjem dijelu trokuta. To je standardizirana zona u kojoj govorimo o izvorima svjetla bijele boje. Ta je zona u prošlosti definirana prema boji žarulja s žarnom niti čije se svjetlo smatra najsličnijim prirodnom svjetlu. Slika 4-7. prikazuje CIE standardni trokut s primjerima točka za različite izvore svjetla. A označava CIE standard za dnevno svjetlo, a C za lampe sa žarnom niti. Brojem 2 označena je fluorescentna lampa "boje dnevnog svjetla", 3 predstavlja istu vrstu, ali boje bijelog svjetla, 4 toplog bijelog svjetla. Živine lampe pod visokim tlakom označene su brojem 5. Brojevi 6 i 7 označavaju dvije vrste živinih lampi pod visokim tlakom. 8 i 9 su dvije vrste ksenon lampi pod visokim tlakom, a 10 i 11 natrijeve pod niskim i visokim tlakom.



Slika 4-6. CIE standardiziran dijagram (Kolb 2011)

Temperatura boje je pojam koji se odnosi na karakteristiku vidljivog svjetla. To je izmjerljiva vrijednost, izražava se u jedinicama temperature kelvinima (K), a određuje se u odnosu na temperaturu crnog tijela. Moguće je odrediti specifičnu točku boje za svaku temperaturu na crnom tijelu. Temperaturu bijele boje opisujemo dojmom "hladnog" i "toplog" svjetla.



Slika 4-7. Standardiziran trokut s točkama boje različitih izvora svjetla (Narisada i Schreuder 2004)

Idealnim svjetlom smatramo ono koje je najbližije dnevnom svjetlu. Dojam svjetla ovisi o nekoliko stvari:

- 1) razini adaptacije – ovisi o svim ranije spomenutim karakteristikama vidnog sustava;
- 2) boji svjetla izraženoj točkom boje;
- 3) temperaturi boje i
- 4) prikazu boja (engl. color rendering) - odnosi se na zahtjev da spektar svjetla bude što sličniji prirodnom svjetlu.

4.3. Negativni efekti svjetla

Glavni negativni efekt svjetla povezan sa svjetlosnim onečišćenjem je bliještanje (engl. glare). Razlikujemo više vrsta bliještanja:

- 1) apsolutno bliještanje;
- 2) zasljepljivanje i
- 3) neugodno bliještanje.

O apsolutnom bliještanju ili osljepljivanju govorimo kad je vidni sustav preopterećen tj. intenzitet svjetla (signala) je toliko jak da ga receptori zbog kemijskog zasićenja ne mogu obraditi te proces obrade informacije izostaje. U nekim je slučajevima čak moguće i trajno oštećenje oka. Općenito, efekt bliještanja povezan je s kutom bliještanja.

Apsolutno bliještanje vrlo je često u svakodnevnom životu, npr.:

- kad u tami, nadolazeći auto ne prijede na kratka svjetla;
- u trenutku izlaska iz tunela za vrijeme dana;
- u trenutku napuštanja kina za vrijeme dana;
- hodanje ili skijanje po snijegu za vrlo sunčanog vremena;
- vožnja na mokrom, sjajnom asfaltu za vrijeme jakog sunca, itd.

U slučaju apsolutnog bliještanja nema puno pomoći. U gore navedenim situacijama mogu pomoći sunčane naočale, no takvo rješenje nije primjenjivo u slučaju bliještanja proizašlog iz svjetlosnog onečišćenja. Zasljepljivanje se još naziva i fiziološko bliještanje. Događa se u situacijama u kojima u vidnom polju imamo jak izvor svjetla koji se nalazi na različitoj lokaciji od objekta koji promatramo. Izvor svjetla je pritom izvor zasljepljivanja, a svjetlo iz izvora rasprši se u samom oku. Pri tome nastaje svjetlosni veo koji se proteže preko cijelog vidnog polja. Neugodno bliještanje karakterizira izvor svjetlosti u vidom polju koji ne uzrokuje zasljepljivanje već smeta i stvara osjećaj neugode. Pritom ne dolazi do smanjenja vizualnih sposobnosti. Smatra se da je ova vrsta bliještanja najznačajnija i usko povezana sa zasljepljivanjem. Važno je naglasiti da je u praksi gotovo uvijek riječ o kombinaciji različitih vrsta bliještanja. Bilo koja od navedenih vrsta negativnih efekata svjetla vanjske rasvjete osim svoje praktične dimenzije u kontekstu vidnih sposobnosti ima i drugu sigurnosnu stranu koju svakako treba uzeti u obzir.

5. POSLJEDICE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

Dušik u našoj DNA, kalcij u našim zubima, željezo u našoj krvi, ugljik u našim pitama od jabuka nastali su od unutrašnjosti palih zvijezda. Izgrađeni smo od zvjezdane materije.

Carl Sagan

U prethodnim poglavljima definiran je pojam svjetlosnog onečišćenja, pojašnjeni su određeni aspekti rasvjete i rasvjetnih tijela te karakteristike ljudskog vida koje određuju uvjete u kojima se svjetlosno onečišćenje opaža. Svjetlosno onečišćenje povezano je s porastom emisija umjetnog svjetla u okoliš na što u najvećoj mjeri utječu porast naseljenosti, industrijalizacija, urbanizacija i ekonomski prosperitet te razvoj tehnologije osvjetljenja koji je rezultirao sa sve višim i jačim rasvjetnim tijelima (Eisenbeis 2009). Također, dio odgovornosti otpada na nemar i neadekvatnu upotrebu vanjske rasvjete. "Tamna" strana svjetla tj. negativne posljedice koje se opažaju nisu isključivo biološke već govorimo i o ekološko-sociološkom aspektu problema.

5.1. Biološki aspekt

Intenzitet svjetla, spektar, trajanje i/ili periodičnost izloženosti svjetlu utječu na biokemiju, fiziologiju i ponašanje organizama. Svjetlo ima značajnu ulogu u tempu i obrascima rasta kod biljaka, a velik broj mikroorganizama i životinja opaža svjetlo, u rasponu od osnovne percepcije svjetla do potpunog i složenog stvaranja slike. Složeni organizmi velik broj informacija primaju preko sustava fotoreceptora (Eisenbeis 2009). Organizmi različito reagiraju na promjenu intenziteta svjetla tijekom dana i noći (biološki sat) i na promjenu sezonskog ritma (biološki kalendar). Ovakve periodičke promjene u intenzitetu svjetla kontroliraju i utječu na različite procese kao npr. kretanje, parenje, migraciju, hibernaciju, itd. Napravljene su određene studije čiji rezultati upućuju na zaključak da svjetlosno onečišćenje zasigurno utječe na živi svijet, ali nužna su dodatna ispitivanja kako bi se pouzdano odredile moguće posljedice i njihova ozbiljnost.

5.1.1. Svjetlosno onečišćenje i biljke

Poznata je činjenica da je biljkama svjetlost neophodna za proces fotosinteze. Također, svjetlo utječe i na fiziološke aktivnosti povezane s cvjetanjem, reprodukcijom i rastom. Ovo se svojstvo koristi u uzgoju biljaka u staklenicama i predstavlja velik problem u kontekstu svjetlosnog onečišćenja, posebice u Nizozemskoj. Prema Teikariju (2007) na fiziologiju biljaka utječu biotski i abiotski signali iz okoliša. U biotske spadaju napadi kukaca i patogena te ispaša biljojeda. Abiotski signali uključuju promjene temperature, dostupnost vode, ograničenje nutrijenata te ostale promjene u samom okolišu.

U tkivu biljaka pronađene su četiri vrste fotoreceptorskih pigmenata preko kojih percipiraju svjetlo: fitokromi, kriptokromi, fototropin i fotoreceptor FKF1. Fitokromi imaju signalnu ulogu i izmjenjuju aktivne i neaktivne uloge ovisno o valnoj duljini svjetla. Kriptokromi reagiraju na intenzitet svjetla. Četiri vrste fototropina imaju ulogu poticanja fotosinteze pri slabom svjetlu i smanjenja štete fotosinteznog sustava u uvjetima prekomjernog svjetla. Fotoreceptor FKF1 povezan je s dnevnim ritmom biljaka.

Biljke su osjetljive na različit intenzitet i valne duljine svjetla. Crveno svjetlo utječe na velik broj faza u životnom ciklusu biljaka: klijanje, izbijanje i razvoj listova, itd. Sklonost biljaka da rastu prema svjetlu inducirana je plavim svjetlom. Postoje četiri vrste biljaka ovisno o trajanju izloženosti svjetlu: biljke koje cvjetaju u uvjetima kratkog dana, one koje cvjetaju samo za dugog dana, biljke koje vole srednje uvjete ni dugog ni kratkog dana i biljke koje cvjetaju neovisno o trajanju dana već u trenutku u kojem dosegnu određenu veličinu.

U svom radu Briggs (Rich 2006) iznosi podatke studije koja je ispitala reakcije biljaka na različite tipove izvora svjetla. Ispitan je utjecaj izvora svjetla jačine otprilike 10 luxa tijekom noći duge 16 sati. Korištene su različite vrste biljaka: one koje reagiraju na kratki i dugi dan, poznate i manje poznate hortikulturene biljke. Najjača reakcija biljaka zabilježena je u slučaju žarulje sa žarnom niti, zatim na HPS lampe, lampe s metalnim halidima i na kraju na one sa živinim parama.

Posljedice vanjske rasvjete na biljke razlikuju se od vrste do vrste, a mogu se odnositi na

cijelu biljku ili određene dijelove i ovise o blizini izvora svjetla. Posljedice uključuju: kasniji gubitak lišća, ubrzan rast grana, a u slučaju blizine ulične rasvjete i ponovni cvat u jesen (Narisada i Schreuder 2004).

U slučajevima drveća uz ceste, stabla i rasvjetni stupovi mogu jedni drugima smetati, a lampe se mogu nalaziti u krošnjama pri čemu dolazi do sljedećeg:

- 1) dio svjetla apsorbira drveće smanjujući učinkovitost rasvjete, a propusnost svjetla ovisi godišnjim dobima (npr. zimi nakon gubitka lišća);
- 2) svjetlosno onečišćenje će biti umanjeno istim procesom, no očito je da smanjenje onečišćenja ovim načinom nije dobra metoda;
- 3) svjetlo rasvjetnih tijela utječe na listove stabala, posebno ako imaju velik udio plavog svjetla (npr. HPS lampe).

Briggs (Rich 2006) također navodi studiju prema kojoj su stabla izložena svjetlu HPS lampi pokazala brzi kasni sezonski rast, nakon čega je uslijedilo propadanje zimi u odnosu na stabla koja su bila zaštićena od svjetla.

Zaključak je da umjetno svjetlo bez sumnje utječe na biljke. Je li riječ o kratkotrajnim ili dugotrajnim posljedicama za individualne biljke i vrste još nije poznato. Istraživanja ove problematike su tek u početku i predstavljaju prvi korak u ispitivanju noćne biologije biljaka.

5.1.2. Svjetlosno onečišćenje i životinje

Ispitivanja posljedica svjetlosnog onečišćenja na životinje polaze od opažanja karakteristika svjetla koje su najznačajnije za ljude. Budući da životinje drugačije percipiraju svjetlo kao i svjetlo valnih duljina koje nisu vidljive ljudima, studije bi trebale prilagoditi metode mjerenja kako bi se dobili mjerodavni rezultati i zaključci.

Općenito, posljedice na životinje dijele se na:

- 1) posljedice na orijentaciju, od poboljšane orijentacije do dezorijentacije;
- 2) privlačenje, fiksacija i odbojnost (prema svjetlu);

- 3) poremećaj biološkog ritma, dnevno-noćnog (biološkog sata) i sezonskog ritma (biološki kalendar) i
- 4) promjena kvalitete staništa (u ovom slučaju buka i svjetlost mogu djelovati zajedno).

Kukci

U Njemačkoj je napravljena studija kojom se ispitaio utjecaj svjetlosnog onečišćenja na insekte. Između ostalog dobiveni su i rezultati koji upućuju na određene karakteristike vidnog sustava insekata:

- 1) krivulje osjetljivosti znatno se razlikuju od vrste do vrste;
- 2) većina insekata osjetljiva je na UV- svjetlo i
- 3) u odnosu na ljudski vid maksimalna osjetljivost opažena je kod plave svjetlosti, a znatno manja kod žute ili crvene svjetlosti.

Eisenbeis (2009) navodi tri moguća scenarija ponašanja kukaca u blizini izvora svjetla:

- 1) doticaj s izvorom umjetnog svjetla kukcima skreće pažnju s normalnih aktivnosti. Unutar zone privlačenja postoji nekoliko mogućih reakcija: direktni let prema vrućem staklenom balonu i trenutna smrt; češće je dugotrajno kruženje oko izvora svjetlosti prije no što ih uhvate grabežljivci ili premoreni padnu na tlo gdje ih ulove predatori ili ugibaju. Neki kukci uspiju se othrvati privlačenju te potraže zaklon u sjeni gdje se odmaraju na tlu. Taj se efekt naziva zaslijepljenost (engl. *dazzle*). Zapaženo je da velik broj kukaca ostaju opčinjeni i imobilizirani tijekom približavanja izvoru svjetla. Eisenbeis (2009) navodi dva naziva za taj efekt: efekt fiksacije i efekt zatočeništva u smislu nemogućnosti kukaca da izbjegnu zonu svjetla. S druge strane neki znanstvenici smatraju da nije riječ o izrazito jakom privlačenju već da kukci ne mogu pobjeći zbog zaslijepljenosti svjetlom;

- 2) drugi scenarij opisuje situaciju u kojoj kukce na letovima na velike udaljenosti omete svjetlo na koje naiđu na putu. Za orijentaciju koriste prirodne oznake kao npr. zvijezde, drveće, Mjesec, profil horizonta, itd. Ukoliko naiđu na niz ulične rasvjete, nisu u mogućnosti nastaviti po uobičajenom putu te se ponavlja prvi scenarij. Ovaj je efekt poznat pod engleskim nazivom *crash barrier*;

- 3) treći scenarij poznat je pod nazivom "efekt usisivača". Ljeti izvori svjetla privlače velik

broj kukaca. Gotovo su "usisani" sa svojih staništa što može znatno umanjiti lokalnu populaciju vrsta.

Rezultati pokusa hvatanja kukaca, ranije navedene studije, pokazali su da su u Njemačkoj lampe sa živinim parama pod visokim tlakom kukcima najprivlačnije, u odnosu na fluorescentne cijevi i HPS lampe. U tablici 5-1. prikazane su vrijednosti dobivene u 73 pokusa hvatanja. Treba naglasiti da, iako u manjini, postoje određene vrste kukaca koje natrijeve lampe privlače više od živinih, npr. vodene kukce više privlači žuto svjetlo te se njegova upotreba kraj vodenih površina ne preporučuje (Eisenbeis 2009).

Tablica 5-1. Rezultati pokusa hvatanja kukaca (Narisada i Schreuder 2004)

VRSTA LAMPE	BROJ UHVAĆENIH KUKACA
lampe sa živinim parama pod visokim tlakom	8360
kompaktne fluorescentne cijevi	2800
natrijeve lampe pod visokim tlakom	1760

Ispitivanja entomologa u drugoj polovici 20. stoljeća pokazuju da je izrazito lako uloviti velik broj kukaca samo s jednom živinom lampom. Ispitivanje Robinsona iz 1949. godine rezultiralo je s 50000 uhvaćenih moljaca tijekom jedne noći u kolovozu pomoću jedne svjetlosne zamke.

U sličnim ispitivanjima zapaženo je da osim vrste izvora svjetlosti, na privlačenje kukaca utječe i raspodjela svjetlosti kod određenih tipova lampi. Lampe koje emitiraju svjetlo u svim smjerovima (sferne lampe) više privlače kukce od onih koje svjetlo emitiraju samo donjom hemisferom. Uočeno je i da *semi cut-off* rasvjeta privlači 1,5 puta više kukaca od *full cut-off* rasvjete, dok sferne lampe privlače 8 puta više kukaca od *semi cut-off* i 12 puta više od *full cut-off* rasvjete (Narisada i Schreuder 2004).

Preporučeno je da vanjska rasvjeta koristi samo lampe koji emitiraju svjetlo dugih valnih duljina tj. natrijeve lampe pod niskim tlakom, dok bi se fluorescentne cijevi i živine lampe trebale izbjegavati, ako je to moguće. Također, trebalo bi izbjegavati lampe koji emitiraju

svjetlo bočno i prema gore i koristiti *full cut-off* rasvjetu. Ulična rasvjeta treba bi biti prigušena ili ugašena u periodu od 23 sata do 5 ujutro, a sva rasvjeta povezana s oglašavanjem ne bi trebala biti dozvoljena.

Sve sugestije čiji je cilj zaštita kukaca su gotovo identične onima koje pogoduju i astronomima, kao i zajednici. Nepromišljeno osvjetljavanje može imati katastrofalne učinke. Navode se primjeri drastičnog smanjenja populacije leptira u Alpama što se direktno povezuje s organizacijom zimskih Olimpijskih igara u Innsbrucku 1964. godine. Eisenbeis (2009) zaključuje da postoji hitna potreba edukacije urbanista, arhitekata i javnosti kako bi se spriječilo prekomjerno korištenje loše rasvjete koja može imati niz negativnih učinaka ne samo na kukce, već i na biljke i životinje.

Vodozemci, ribe i reptili

Uočen je utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ponašanje žaba i žaba krastača. Žabe imaju mrežnicu velike površine s velikim brojem fotoreceptora što im omogućuje dobar vidu čak i u uvjetima vrlo slabog osvjetljenja (čak i 10^{-5} lux). Smatra se da žabe imaju vid u boji, no nije poznato je li on moguć u noćnim uvjetima slabog osvjetljenja. Većina proučavanih žaba ima trokromatski vid, kao i ljudi. Moguć je i tetrakromatski vid s velikom osjetljivošću u UV području. Žabe privlači plava svjetlost (manje od 500 nm). Primjer kretanja žaba prema svjetlu je i eksperiment iz 1901. godine gdje se petnaestak žaba popelo na malu splav na kojoj se nalazila jedna svijeća, prije no što se splav prevrнула (Teikari 2007).

Žabe se sve češće skupljaju u blizini izvora svjetla gdje hvataju kukce. Ovakvo udaljavanje od staništa tipični je primjer evolucijske zamke. Umjetno svjetlo utječe na biološki ritam žaba, iako točne posljedice još nisu poznate. Govori se o poremećaju stvaranja melatonina odgovornog za procese promjene boje, reprodukciju i razvoj spolnih žlijezda. Samo jedna minuta izloženosti svjetlu tijekom skotopske faze može znatno poremetiti sintezu melatonina što može rezultirati znatnim fiziološkim posljedicama. Česte promjene svjetline okoliša u kraćim vremenskim razmacima zahtijevaju znatnu adaptaciju žaba ili uzrokuju smanjenje vizualne sposobnosti. U slučaju prekomjernog svjetla koje upada u oči žaba adaptiranih na noćne uvjete dolazi do tzv. izbjeljivanja fotopigmenta u očima koji zatim ne

može reagirati na svjetlo dok se kemijska struktura pigmenta ne obnovi što može trajati satima pri čemu se različiti čunjići različito oporavljaju. Žabe koje žive u blizini vrlo prometnih ulica s čestom promjenom svjetline zbog čestog izbjeljivanja ponekad uopće ne razviju optimalnu adaptaciju na tamu te imaju poteškoća u hvatanju plijena.

Ispitivanja na salamanderima pokazala su da su nakon izloženosti jakom svjetlu tijekom 15 minuta dolazi do znatne promijene u navikama hranjenja, a poznat je i utjecaj na proizvodnju melatonina sa sličnim posljedicama kao kod žaba.

Velik broj stanovnika Zemlje živi u blizini oceana, mora, rijeka i jezera. Stalna rasvjeta koristi se za različite gospodarske i industrijske aktivnosti. Poznata je činjenica da čamci za ribolov koriste svjetla za lakši ulov ribe. Malo je pozornosti posvećeno načinu na koji svjetlosno onečišćenje remeti biološki sezonski ritam riba. Vodeni organizmi evolucijski su prilagođeni noćnom okolišu u kojem je prisutna svjetlost od Mjeseca, zvijezda, oblaka te bioluminiscencije, no svjetlosno onečišćenje uzrokuje povećanje intenziteta, spektra i trajanja noćnog svjetla koje dopire i prodire kroz površinu vode.

Ribe vide pomoću štapića i čunjića. Fitopigmenti kao i njihova prilagodljivost razlikuju se ovisno o vrsti, genetici i staništu. Reakcije riba na svjetlost razlikuju se ovisno o vrsti, uvjetima okoliša te karakteristikama svjetla (trajanje, intenzitet, spektar). U kontekstu trajanja izloženosti svjetlu opaženo je da ribama smeta svjetlo stroboskopa. U jednom od ispitivanja privlačenja riba ka svjetlu korištene su živine lampe na koje su ribe reagirale tek nakon prilagodbe. Drugo ispitivanje pokazalo je da živine lampe uzrokuju veću smetnju određenoj vrsti riba čak i od svjetla stroboskopa što samo potvrđuje potrebu za dodatnim ispitivanjima.

Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na reptile uglavnom se opaža na primjeru morskih kornjača. Svjetlosno onečišćenje poznat je uzročnik smrtnosti morskih kornjača i taj je fenomen prvi puta opisan 1963. godine. Morske kornjače obitavaju u tami na udaljenim plažama. Umjetno svjetlo mijenja njihovo normalno ponašanje i otežava orijentaciju ženki, tzv. seafinding.

Kornjače privlači svjetlo kraćih valnih duljina tj. ljubičasto do zeleno svjetlo. Vrlo slabo

reagiraju na svjetlo dužih valnih duljina koje neke vrste čak odbija. Problemu privlačenja obično se doskače korištenjem filtera. Na privlačenje kao i kod ostalih životinjskih vrsta utječe i intenzitet svjetla. Zaštiti kornjača osim korištenja filtera doprinosi i rasvjeta integrirana u kolnik, umjesto one na visokim stupovima te korištenje natrijevih lampi. Posljedice i utjecaj svjetlosnog onečišćenja na kornjače relativno su dobro poznati, u odnosu na druge životinjske vrste. Unatoč tome ostaje potreba za daljnjim istraživanjima.

Ptice

Velik broj vrsta ptica migrira noću. Umjetna svjetla privlače ptice jednako kao i ostale životinje, posebice u uvjetima oblačnog neba. Mehanizam privlačenja nije do kraja razjašnjen, no smatra se da kad ptice noću ulete u zonu utjecaja svjetlosti izgube vizualne tragove orijentacije prema horizontu te koriste umjetna svjetla što rezultira dezorijentacijom (Teikari 2007). Uočeno je da su mlade ptice selice podložnije negativnom utjecaju svjetlosnog onečišćenja od odraslih ptica.

Vidni sustav ptica ima sedam različitih vrsta fotoreceptora (čunjiće, duple čunjiće i četiri tipa štapića) i pet vrsta vidnih pigmenata. Dodatni štapići zaduženi su za valne duljine u ultraljubičastom dijelu spektra. Očito je da ptice vide potpuno drugačije od ljudi i može se samo nagađati kako točno svjetlosno onečišćenje utječe na ptice koje migriraju noću.

Osim vizualnih smetnji, određene valne duljine umjetnog svjetla utječu na magnetski kompas ptica selica. Ispitivanje je pokazalo da je orijentacija ptica bila normalna u uvjetima plavo-zelenog svjetla, a znatno poremećena u slučaju žutog i crvenog svjetla. Nije poznato koliko brzo žuto i crveno svjetlo ometaju unutarnji kompas ptica. Rana ispitivanja provedena su na svjetionicima i brodovima. Rezultati su pokazali da su ptice osjetljivije na stalna bijela svjetla, nego na promjenjiva svjetla u boji, no postoje i studije koje daju drugačije rezultate.

Smrtnost ptica određena je i uvjetima tehnološkog razvoja. Uvođenjem električne rasvjete, broj stradalih ptica smanjio se, no gotovo istovremeni trend gradnje vrlo visokih i vrlo osvijetljenih građevina nije donio poboljšanje. Izvješće organizacija *World Wildlife Canada* i *Fatal Light Awareness Program* iznosi podatak od milijun stradalih ptica (u sudaru s građevinama) godišnje na području Sjeverne Amerike (Teikari 2007). Sličnu prijetnju

predstavljaju plinske baklje te naftne i plinske platforme na moru, televizijski i radio tornjevi. Statistike američkih i nizozemskih svjetionika pokazuju da se većina nesreća događa u vrijeme mladog Mjeseca, a gotovo niti jedna za vrijeme punog Mjeseca. Utjecaj umjetnog svjetla na ponašanje ptica unatoč velikom broju studija još nije do kraja razjašnjen, no principi prevencije i zaštite u vidu smjernica za kvalitetniju rasvjetu isti su kao i za sve ostale životinjske vrste.

5.1.3. Svjetlosno onečišćenje i ljudsko zdravlje

Ranije spomenuto bliještanje i zasljepljivanje dio su posljedica svjetlosnog onečišćenja koje osjećaju ljudi. Opisane karakteristike ljudskog vidnog sustava omogućuju nam da opazimo samo dio utjecaja. Svjetlost nije samo vidljiv fenomen, već ima puno širi utjecaj na žive organizme. Dio čini svojstvo stvaranja slike (vid i vizualna percepcija), no tek nedavno se spominje i svojstvo koje nema veze sa stvaranjem slike (engl. NIF - non-image forming effect). Oba svojstva su povezana sa svjetlošću koja prolazi kroz oko i pada na mrežnicu, a ono što ih razlikuje je korištenje različitih neuroloških putova. Dok svojstvo stvaranja slike koristi optički živac, NIF svojstvo koristi živac koji povezuje mrežnicu s hipotalamusom u mozgu. Hipotalamus je dio mozga zadužen za cijeli niz procesa, npr. hormonalna ravnoteža te cirkadiurni ritam, no regulira čak i instinktivno ponašanje. Spektralna osjetljivost NIF svojstva razlikuje se od ranije spomenutih krivulja skotopskog i fotopskog vida.

Za regulaciju biološkog ritma zadužen je dio hipotalamusa do kojeg se signal prenosi živcem koji povezuje mrežnicu i hipotalamus i tamo se obrađuje. Taj dio hipotalamusa signal dalje šalje do pinealne žlijezde zadužene za proizvodnju melatonina, hormona poznatog pod nazivom "hormon sna". Osim melatonina, pinealna žlijezda proizvodi i kortizol – "hormon stresa". Melatonin igra značajnu ulogu u sezonskim promjenama i ponašanju. Dok melatonin potiče odmor, kortizol potiče akciju, a oba se proizvode pod utjecajem NIF tipa svjetlosti. U prirodnim uvjetima sinkronizirani su, iako ne nužno u fazi. Svojstvo sinkronizacije zovemo biološkim satom. Svjetlosno onečišćenje utječe na stvaranje melatonina te posredno na ritam spavanja i buđenja, ritam aktivnosti te aktivnost mozga.

Diurnalni ritmovi :

- uzorak spavanja;
- uzorak hranjenja;
- budnost (engl. vigilance);
- umor i pospanost, itd.

Postoji podatak prema kojem su pre-industrijska društva Europe i Amerike imala drugačiji obrazac spavanja no što ih ima moderno društvo. Dva segmenta sna bila su odvojena jednim satom spontane budnosti. Za "prvi san" nazvan još i "mrtvi san" smatra se da je odražavao napore prethodnog radnog dana. Spominje se u djelima Chaucera, Vergilija i Plutarha. "Drugi san" ili "jutarnji san" bio je odvojen od prvog intervalom mirovanja koje se uspoređuje s meditacijom ili kontemplacijom u samoći nakon odmornog sna. Škotski pisac Robert Louis Stevenson taj je fenomen nazvao "noćnim uskrsnućem". Ovakav obrazac spavanja ne smatra se neobičnim, već prirodnim. Ispitivanja američkog državnog instituta za mentalno zdravlje pokazala su da pojedinci izolirani od umjetnog svjetla vrlo brzo razvijaju obrazac spavanja koji je vrlo sličan ranije navedenom pred-industrijskom obrascu (Bogard 2008).

Moderan način života uzrokuje znatne poremećaje u biološkom ritmu čovjeka. Oko 15% stanovništva radi u smjenama, a posljedice takvog rada mogu biti ozbiljne. Smatra se da ljudi koji rade u noćnim smjenama u prosjeku žive pet do šest godina kraće od ostatka populacije. Osim biološkog ritma, umjetno svjetlo može poremetiti i biološki kalendar. Ispitivanja štakora u laboratoriju pokazala su da umjetno svjetlo utječe na neuro-endokrini sustav.

Također, studije su pokazale da izloženost čak i prigušenoj svjetlosti tijekom normalne skotopske faze može znatno poremetiti proizvodnju već spomenutog melatonina, ali i prolaktina kod žena što kao posljedicu može imati ubrzan rast tumora. Kod žena koje rade u smjenama ozbiljna neravnoteža hormona povezana je s porastom raka dojke. Christina Robertson u svom eseju naziva melatonin "hormonalnim izrazom tame" (Bogard 2008). Istraživanje fizioloških i patoloških utjecaja svjetla na ljude ukazuje na snažnu vezu između smanjenih razina melatonina u krvi i povećane sklonosti ka raku dojke i jajnika. Stanice raka u ispitivanju usađene su laboratorijskim štakorima koji su kasnije podijeljeni u

dvije skupine. Jedna skupina nije bila izložena svjetlu tijekom noći, dok je druga bila izložena svjetlu od 0,02 fc⁹ smještenom na tri stope od kaveza. Krvni testovi pokazali su da su štakori koji su držani u potpunom mraku imali normalne noćne peakove u razinama melatonina te su pokazali spor rast stanica raka. Kod štakora izloženih svjetlu, razine melatonina su pale pri čemu su stanice raka ubrzano rasle.

5.2. Ekološko-sociološki aspekt

Model održivog razvoja, tzv. model «babuške», kojeg je razvio Roger Levett definira ovisnost ekonomije o društvu i društva o okolišu (Šimleša 2010). Jednako tako ekološke posljedice svjetlosnog onečišćenja nisu odvojene od društva već ih osjećaju i društvo i ekonomija. Osim ekoloških posljedica, svjetlosno onečišćenje ima svoju društvenu dimenziju čije su posljedice mogu smanjiti istim mjerama koje vrijede za očuvanje okoliša.

5.2.1. Energetski aspekt

Globalno zatopljenje je pojam kojim se opisuje porast temperature Zemljine atmosfere i oceana prvi puta zabilježen sredinom 20. stoljeća. Porast temperature obično se opisuje "efektom staklenika". Efekt staklenika je prirodni mehanizam čiji je cilj osiguravanje adekvatnih uvjeta za život čovjeka i živog svijeta, iako na njega najviše utječu ljudske aktivnosti. Glavni dio emisije stakleničkih plinova koji pogoduju efektu staklenika čine prirodni izvori, no antropogena aktivnost predstavlja kap preko ruba čaše (Lay et al. 2007). Unatoč trudu i inicijativama na globalnom planu, trendovi u proizvodnji i potrošnji energije još uvijek nisu ni približno dovoljno održivi. U kontekstu održivosti važno je spomenuti i emisije koje nastaju kao rezultat proizvodnje i potrošnje električne energije. Dobivanje električne energije uglavnom je povezano s fosilnim gorivima i rezultira emisijama CO₂. Osvjetljavanje i vanjska rasvjeta nisu najveći potrošači električne energije, ali njihov utjecaj u ovom području nije zanemariv. Često korištena mjera za smanjenje svjetlosnog onečišćenja je upravo manje korištenje (loše) rasvjete. Pritom se osim smanjene potrošnje električne energije pa time i manjih emisija CO₂, smanjuju i troškovi.

9 Fc - engl. *foot candle* što je ne-SI jedinica za osvjetljenje koja se koristi u SAD-u, a iznosi 10,764 luxa.

Narisada i Schreuder (2004) u svom radu navodi podatke studije utroška električne energije za osvjetljenje, utjecaja na efekt staklenika i emisije u 38 zemalja sa 63% svjetskog stanovništva. Rezultati studije pokazali su da je oko 8% električne energije utrošeno na vanjsku rasvjetu i rasvjetu općenito. Također, Narisada i Schreuder (2004) smatraju da je vanjska rasvjeta dobar primjer mogućeg poboljšanja energetske učinkovitosti uz istovremeno smanjenje svjetlosnog onečišćenja, iako rasvjeta malim dijelom sudjeluje u potrošnji električne energije. U Nizozemskoj je procijenjeno da se 0,8% električne energije utroši na vanjsku rasvjetu.

Potrošnja energije usko je povezana s odabranom tehnologijom osvjetljenja te načinom primjene u kontekstu prostora i vremena. Utrošak energije povezuje se s demografskim podacima i ima svoju primjenu i u modeliranju svjetlosnog onečišćenja. Garstangov broj koristi se za procjenu obujma svjetlosnog onečišćenja u industrijaliziranim zemljama. Govorimo o vezi između broja stanovnika i broju ugrađenih izvora svjetla po glavi stanovnika (izraženo u lux). Garstangov model uzima vrijednost 1000 luxa po glavi stanovnika. Postoji i Walkerov broj prema Walkerovom zakonu, no o tome više riječi u sedmom poglavlju.

Unatoč činjenici da se mala količina energije troši na rasvjetu, svjetlosno onečišćenje tj. uzlazno svjetlo ipak predstavlja ogromne gubitke. U tablici 5-2. dane su vrijednosti za različite gradove iz 1997. godine dobivene iz podataka DMSP (Defense Meteorological Satellite Program):

Tablica 5-2. Emitirana energija po gradovima (Narisada i Schreuder 2004)

GRAD	EMITIRANA ENERGIJA (kWh/god/km²)
Istanbul	4850
Ankara	3880
London	11200
Belfast	1620
Pariz	10700
New York	15000
Beč	6600

5.2.2. Sociološki aspekt

Umjetna rasvjeta usko je povezana s problematikom sigurnosti na cestama i prevencijom nesreća te brojem zločina na ulicama. Također, rasvjeta se smatra i indikatorom društvenog razvoja. Veze između odabira rasvjete i broja prometnih nesreća te povezanost rasvjete sa kriminalom trebaju se razmatrati pri odabiru vrste i načina rasvjete. U studijama koje se bave ovom temom izražena je problematika u izboru metodologije i interesima zainteresiranih strana. Dok su građanske udruge i organi zaduženi za provedbu zakona poprilično neaktivni, prava borba se odvija između subjekata povezanih s rasvjetom i energetikom te astronomske zajednice. Osim sigurnosnog aspekta rasvjeta ima i funkciju uljepšavanja, no sigurnosni aspekt jednako je značajan za sve subjekte i sve lokacije te je stoga izraženiji.

Studije utjecaja rasvjete na broj prometnih nesreća oslanjaju se na statističke podatke, a pokazuju da kvalitetna rasvjeta poboljšava vizualne sposobnosti dok je broj nesreća, posebice noću, uglavnom povezan s lošim vizualnim sposobnostima sudionika u prometu. Naglašava se i važnost kvalitete, ne kvantitete rasvjete pri čemu je poboljšanje ulične rasvjete vrlo učinkovita metoda prevencije prometnih nesreća.

Narisada i Schreuder (2004) navodi dvije studije koje se smatraju najvažnijima po pitanju rasvjete i sigurnosti. Ograničenja tih studija povezana su s činjenicom da su obje vezane uz SAD i Veliku Britaniju te svjetlosno onečišćenje i rasvjeta nisu njihova primarna tema, ne razlikuju se vrste zločina niti uključuju *post-crime* aspekt. Prva studija je izvješće za Kongres Sjedinjenih Američkih Država i iznosi stav prema kojem nema konkretnih dokaza da poboljšana rasvjeta zbilja doprinosi smanjenju stope zločina, tj. njezin je utjecaj nepoznat. Ne podupire se niti teza da više svjetla doprinosi porastu broja zločina. Druga studija vezana je za Australiju i prema njoj rasvjeta noću ublažava strah od kriminala, ali nije specificirano o kojoj se vrsti zločina radi i u kakvim uvjetima.

Loša vanjska rasvjeta "pomaže" kriminalcima koji se nalaze u mraku da bolje uoče svoju žrtvu (pješaka) na slabo osvijetljenom kolniku zahvaljujući adaptaciji vida na slabije uvjete osvijetljenja. Isto vrijedi i za npr. policajca čije su oči prilagođene uvjetima vrlo dobre rasvjete koji slabije vidi kriminalca nego on njega.

Određene studije uključivale su teoretska ispitivanja, no vezana su uz konkretna specifična mjesta. Doneseno je "pet kriterija za socijalnu sigurnost":

- prisutnost socijalne kontrole - nadzor (engl. supervision and surveillance)
- odsustvo potencijalnih kriminalaca - izbjegavanje opasnih zona
- vidljivost - adekvatna rasvjeta u prikladnom okruženju (obratiti pozornost na drveće, grmlje i druge prepreke)
- jasna situacija - lako snalaženje i pronalaženje odredišta
- privlačno okruženje – čista i održavana okolina upućuje na prisutnost odgovornih osoba.

Po pitanju sigurnosti smatra se da rasvjeta više doprinosi smanjenju broja zločina na način da pomaže policiji u traganju za kriminalcima te pomaže svjedocima da daju vjerodostojne iskaze. S druge strane, vlade pojedinih država, trebale bi osigurati da se što manje resursa troši ugradnjom sigurnosne rasvjete ili općenito rasvjete gdje se ta ugradnja opravdava prevencijom kriminaliteta. Nacionalni standardi za rasvjetu ne bi smjeli implicirati da vanjska rasvjeta na bilo koji način može spriječiti kriminal (Narisada i Schreuder 2004).

Konkretni zaključak o vezi između rasvjete i broja zločina nije donesen. Dobra vanjska rasvjeta bitna je utoliko što omogućuje stanovnicima da se osjećaju sigurnije tj. mijenja njihovu percepciju. Biti stvarno siguran i osjećaj sigurnosti nisu ista stvar. Dva ili tri puta jača rasvjeta možda čini da se ljudi osjećaju sigurnije, no u stvarnosti nisu sigurniji. Moguće je čak da su i manje sigurni, ako se u obzir uzmu negativni vizualni efekti svjetlosti (Bogard 2008). Dobra rasvjeta ne znači nužno i više svjetla. Postoje slabe naznake da povećanje rasvjete doprinosi broju pljački automobila.

Nesreće u prometu treći su uzrok smrti (Narisada i Schreuder 2004). Najčešće se koristi statistički pristup koji ima dva glavna ograničenja:

- 1) statističke studije ne mogu dati podatke o uzrocima niti mogu ukazati na uzročne veze i
- 2) nužan je vrlo velik broj "događaja" prije no što se može doći do ikakvog statističkog zaključka.

Specifičnost problematike često dovodi do dugog čekanja u pristupanju analizama bilo koje vrste. Često se kao rezultat navodi da nije pronađena nikakva veza. Isti se rezultat

može vrlo lako iskriviti tako da podupire suprotnu tezu. Većina studija bazira se na principu "prije i poslije". Neke od studija imale su ozbiljne mane, dok neke nisu pokazale nikakve značajne rezultate. Dvije su pokazale da rasvjeta doprinosi broju prometnih nesreća. Dobar primjer je meta-analiza ekonomista sa Sveučilišta u Oslu. Rezultati su pokazali da:

- 1) dobra ulična rasvjeta noću doprinosi smanjenju žrtava u prometu od 30% i
- 2) povećanje intenziteta osvjetljenja smanjuje rizik od nesreća pri čemu dvostruko povećanje osvjetljenja dovodi do smanjenja nesreća noću od oko 13% (Narisada i Schreuder 2004).

Nešto pozitivniji društveni aspekt svjetlosnog onečišćenja, iako ne manje važan i zahtjevan, je edukacija. Dobar primjer dolazi iz Grčke. Grčki edukativni program "Svjetlosno onečišćenje" trajao je od 1997. do 1999. godine. Usmjeren je na edukaciju srednjoškolaca i studenata, a osim nekoliko gimnazija, uključivao je i zvezdarnice, sveučilišta i udruge. Organiziran je od strane grčkog Ministarstva obrazovanja i religije te financiran iz EPEAEK programa¹⁰. U programu je ukupno sudjelovalo 40 škola, 76 profesora i 720 studenata. Ciljevi programa bili su: upoznati sudionike s problemom svjetlosnog onečišćenja kroz astronomiju, fiziku i računalstvo; razmotriti socijalnu i kulturnu dimenziju problema i pomoći sudionicima da prepoznaju posljedice koje svjetlosno onečišćenje ima na okoliš (Metaxa 2001).

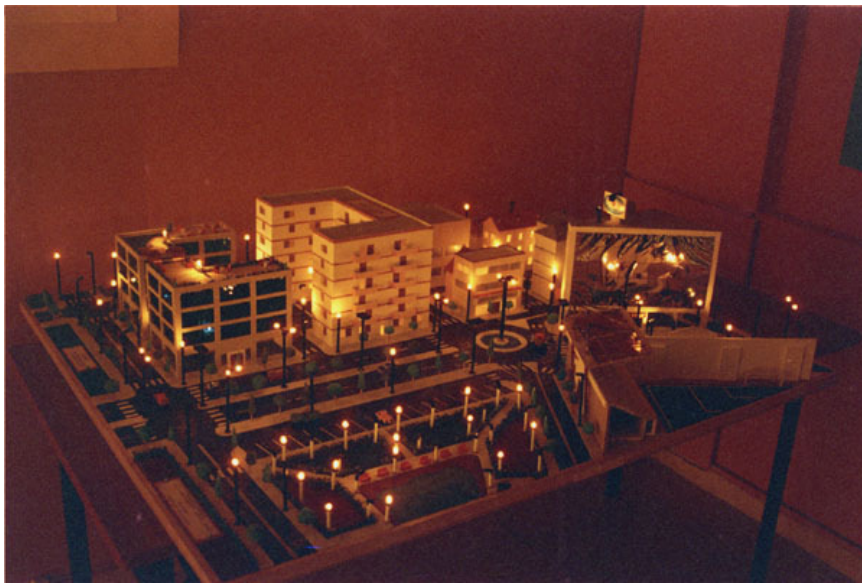
Sudionici su bili podijeljeni u četiri grupe: astronomska grupa, svjetlosna grupa, socijalna grupa, grupa za odnose s javnošću. Za provedbu programa diljem zemlje organizirano je 18 svjetlosnih centara koji su postupno provodili tri točke programa:

- 1) koordinacija i informiranje škola u okrugu o programu;
- 2) informiranje o problemu svjetlosnog onečišćenja i komunikacija s lokalnim vlastima, ekološkim udrugama i akademskom zajednicom i
- 3) informiranje lokalnih medija o problemu.

Također, program je imao svoj vizualni dio (opažanje noćnog neba) i fotografski dio (slikanje primjera dobre i loše rasvjete i noćnog neba). Rezultati su pokazali da velik broj

10 ΕΡΕΑΕΚ (Επιχειρησιακού Προγράμματος Εκπαίδευση και Αρχική Επαγγελματική Κατάρτιση) - Operational Programme for Education and Initial Vocational Training

profesora, studenata i učenika nije bio ni približno upoznat s temom svjetlosnog onečišćenja. Osim edukacije, određeni sudionici uspjeli su potaknuti lokalne vlasti na promjenu tehnologije rasvjete. Diorama (slika 5-1) koju su napravili studenti izložena je u Muzeju Goulandri u Ateni čime je postignuto da edukacija ne ostane isključivo u okvirima programa. Jedan od profesora sudionika navodi da je jedina dobra stvar u svjetlosnom onečišćenju sjajna prilika da se studenti upoznaju sa znanosti, tehnologijom i društvom (Metaxa 2001).



Slika 5-1. Diorama izrađena u okviru grčkog edukativnog programa (Pasachoff 1999)

5.3. Astronomija i svjetlosno onečišćenje

Kao što je ranije spomenuto, problem svjetlosnog onečišćenja prvi su uočili astronomi. Astronomska promatranja zapravo su promatranja kontrasta pri čemu prekomjerna svjetlina neba onemogućuje uočavanje i razabiranje objekata na noćnom nebu. Procjenjuje se da četvrtina svjetske populacije vidi samo sjajne zvijezde, ali ne i Mliječnu stazu. Unatoč nastojanju da ga se smanji, svjetlosno onečišćenje je u posljednjih nekoliko godina u stalnom porastu. Iako je teško procijeniti tempo rasta, smatra se da je porast oko 3% gotovo siguran (Narisada i Schreuder 2004).

Uspješnost promatranja ovisi o dva faktora: vrsti opreme i uvjetima u okolišu (Murdin 2001). Nažalost, razvoj tehnologije ima svoja ograničenja, a ni odabir sve udaljenijih

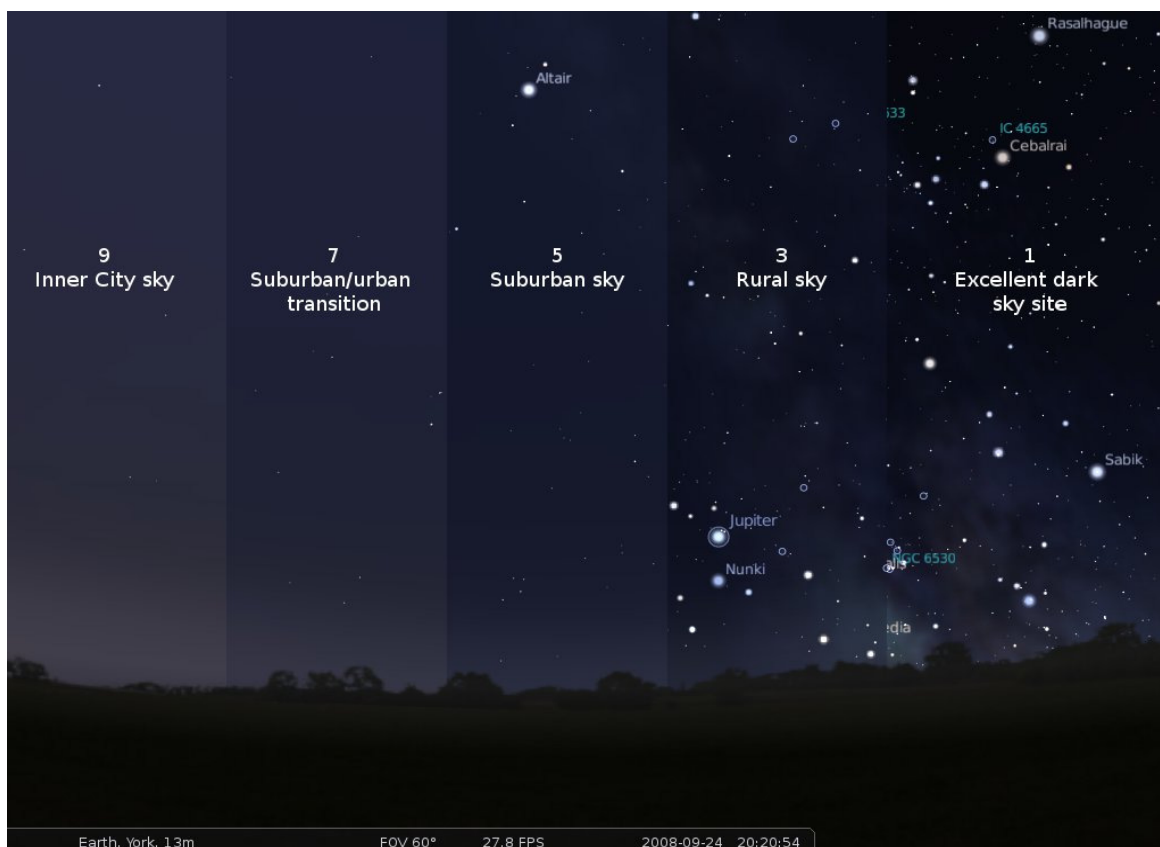
mjesta za promatranja ne može trajno riješiti problem. Svjetlina neba vrlo je promjenjiva i ovisi o veličini i svjetlini samih objekata na nebu te vremenskim uvjetima, količini prašine i plina u atmosferi, smjeru iz kojeg se vrši promatranje, itd.

Moguće je procjenjivanje svjetline neba prema magnitudi najsjajnije zvijezde vidljive golim okom, iako je to slab kriterij zbog ograničenosti oštine ljudskog vida. Metoda za objektivno određivanje svjetline neba je korištenje Bortle-ove skale. Bortle-ova skala je numerička skala kojom se mjeri svjetlina noćnog neba određene lokacije. Ona uključuje mogućnost promatranja astronomskih objekata i utjecaj svjetlosnog onečišćenja. Klasa 1 predstavlja najtamnije nebo na Zemlji, dok je klasa 9 rezervirana za nebo promatrano iz gradova (slika 5-2.)

Unatoč činjenici da je svjetlosno onečišćenje jedan od glavnih ograničavajućih faktora u astronomskim promatranjima, ne postoji velik broj studija o svjetlosnom onečišćenju. Postoji velik broj inicijativa u različitim državama čiji je cilj stvoriti svijest o postojanju problema, kvantificirati i nadzirati promjene u razmjerima svjetlosnog onečišćenja. Smatra se da je prvi korak uvijek stvaranje nacionalne kartografije umjetnog svjetla u uvjetima noćnog neba. Vrlo važan korak napravili su Cinzano i suradnici svojim "Prvim atlasom svjetline noćnog neba¹¹" (Narisada i Schreuder 2004). Atlas ipak ne može dati prognoze o razvoju svjetlosnog onečišćenja te se naglašava važnost izrade nacionalnih karta.

Za područje Engleske procijenjeno je da je od 1993. do 2000. godine svjetlosno onečišćenje poraslo za 17%, a tijekom istog razdoblja u ruralnim se područjima kvaliteta noćnog neba smanjila za 27% (Narisada i Schreuder 2004). Ti su rezultati doveli do stvaranja istražnog povjerenstva. Također, dvije zvjezdarnice u SAD-u bilježe porast svjetline noćnog neba od 10-20% u periodu od 10 godina (1988.-1998.). Ispitivanja u pet gradova u Japanu pokazala su porast od 10% tijekom jedne godine.

11 The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness



Slika 5-2. Bortle-ova skala svjetline noćnog neba (Stellarium 2011)

Ranije spomenuti Garstangov model koji se bazira na broju luxa po glavi stanovnika na primjeru zvjezdarnice u Los Angelesu pokazuje razmjere svjetlosnog onečišćenja. Tempo rasta obično je povezan s porastom broja stanovnika i gustoće naseljenosti te bogatstvom zemlje izraženom preko BDP-a.

6. HRVATSKO ZAKONODAVSTVO

Svjetlosno onečišćenje se prije donošenja Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja 2011. godine, uopće nije spominjalo u zakonima. Jedina veza nalazila se u Zakonu o sigurnosti u prometu (NN 67/08) i Zakonu o zaštiti prirode (NN 70/05) .

Zakon o sigurnosti prometa na cestama objedinjuje sigurnosni aspekt važnosti rasvjete o kojem je bilo riječi ranije. Govori se prvenstveno o prometnim svjetlima i svjetlosnim oznakama te prometnim pravilima za vozila (čl. 76 i 77). Definira se bijelo svjetlo, različite boje svjetla na znakovima, svjetlosni znaci upozorenja te općenita upotreba svjetla u prometu.

Cilj zakona o zaštiti prirode (NN 70/05) je očuvanje i zaštita prirode i njezinih vrijednosti. Spominje se nedopušteno korištenje svjetlećih naprava za hvatanje životinja, osim za ribolov na moru. Navodi se i nedopuštena upotreba svjetla koje bi moglo prouzročiti nestajanje i uznemiravanje životinja (čl. 95).

Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja stupio je na snagu 1. siječnja 2012. godine. Osnovne značajke zakona (NN 114/11) su definiranje ključnih pojmova svjetlosnog onečišćenja i načela zaštite, subjekata koji tu zaštitu provode te očuvanja resursa. Također, određene su i mjere zaštite od prekomjerne rasvijetljenosti, ograničenja i zabrane, planiranje gradnje, održavanja i rekonstrukcije rasvjete, itd.

U članku br. 2 definirani su ključni pojmovi. Svjetiljka je tako definirana kao električna naprava (fiksna ili prenosiva) koja ima ugrađen jedan ili više izvora svjetlosti, a namijenjena je usmjeravanju, filtriranju ili prijenosu svjetla.

Rasvijetljenost neba podrazumijeva rasvijetljenost noćnog neba koja nastaje zbog raspršenja vidljivog i nevidljivog svjetla (ultraljubičastog i infracrvenog svjetla) prirodnog ili umjetnog podrijetla na sastavnicama okoliša i atmosfere. Odredbe Zakona primjenjuju se na ocjenu i upravljanje svjetlom iz umjetnih izvora kojem su izloženi ljudi u prirodi, u naseljenim područjima i na prometnicama te kojem je izložen biljni i životinjski svijet u

prirodi. Uključena su i druga područja osjetljiva na rasvijetljenost, npr. speleološki objekti i druge zaštićene prirodne vrijednosti, noćno nebo i zvjezdarnice (čl. 3).

Utjecaj svjetlosnog onečišćenja obvezno se razmatra u postupcima strateške procjene i u postupcima procjene utjecaja zahvata na okoliš (čl. 5). Zaštita od svjetlosnog onečišćenja provodi se tijekom noći te danonoćno u prirodnim podzemnim objektima. Prema zakonu, zaštita okoliša od svjetlosnog onečišćenja ima cilj očuvati kakvoću okoliša te biološku i krajobraznu raznolikost i racionalno korištenje prirodnih dobara i energije (čl. 7).

Načela zaštite (čl. 8):

- 1) onečišćivač plaća – vlasnik, odnosno operater rasvjete snosi sve troškove preventivnih mjera i mjera otklanjanja štetnih utjecaja (onečišćenja) te je financijski odgovoran za provedbu preventivnih i sanacijskih mjera;
- 2) odgovornost proizvođača – proizvođač proizvoda namijenjenih rasvjeti odgovoran je za odabir najprihvatljivijeg rješenja za ljudsko zdravlje i okoliš te za trajanje proizvoda i uporabu najbolje dostupne tehnologije
- 3) osim proizvođača odgovorni su i investitor, odnosno operater i projektant projekta rasvjete.

Zakon propisuje korištenje načela energetske učinkovitosti, opravdanosti, optimalizacije i ograničenja. Provedbu zaštite od svjetlosnog onečišćenja osiguravaju Vlada Republike Hrvatske, ministarstva i druga tijela državne uprave, jedinice lokalne i regionalne samouprave te pravne osobe s javnim ovlastima (čl. 14).

Propisani su i obvezni načini rasvjetljavanja za rasvjetu: javnih površina i prometnica, željezničkih postaja, rasvjetu u sustavu zračnog prometa, poslovnih građevina i ustanova, spomenika kulture i športskih građevina, itd (čl. 16).

Mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja odgovaraju zdravstvenim, biološkim, ekonomskim, kulturološkim, pravnim, sigurnosnim, astronomskim i drugim standardima i propisanim normama (čl. 18). Određeni su detalji upravnog i inspekcijskog nadzora kao i kaznene odredbe. Bitno je naglasiti da operativni akti ovog zakona još nisu doneseni te njegov praktični kontekst tek treba biti definiran.

Izvješće britanske Kraljevske komisije o svjetlosnom onečišćenju (2009) i njegovom utjecaju na okoliš navodi: "Svjetlost je predugo bila tretirana kao manje značajna. Vlada treba prihvatiti činjenicu da svjetlost jednako kao buka ili kemikalije, u pogrešnoj količini i na krivom mjestu u krivo vrijeme može uzrokovati probleme te treba biti jasno definirana unutar zakona."

7. MJERENJE SVJETLINE NEBA

Fotometrija je izuzetno važna u astronomiji i inženjerstvu, posebice za razumijevanje problematike svjetlosnog onečišćenja. Ona omogućuje kvantifikaciju fenomena svjetla. Svjetlost se opisuje u okvirima elektromagnetskog vala pa njezina primjena ovisi o valnoj duljini. Ranije je objašnjena osjetljivost ljudskog oka na valne duljine svjetlosti od oko 400 nm do 800 nm.

7.1. Veličine i mjerne jedinice

Za kvantifikaciju svjetline neba koristimo se fotometrijskim veličinama jer se one odnose na vidljiv dio spektra. Razlikujemo objektivne (energetske) i subjektivne (vizualne) veličine (tablica 7-1.). Vizualne fotometrijske veličine odnose se na djelovanje svjetlosti na ljudsko oko. SI jedinica kao osnovnu mjernu jedinicu za fotometriju koristi candelu, dok astronomi i svjetlosne inženjere zapravo zanima broj emitiranih fotona u sekundi te je uobičajena veličina koja se koristi tok (fluks). Svjetlosni tok je fotometrijska veličina pomoću koje se kvantificira snaga zračenja koje emitira izvor svjetla. Izloženost svjetlu opisuje se kao osvjetljenje. Kod površinske gustoće toka razlikujemo svjetlinu koja se odnosi na plohu kao izvor svjetlosti i osvjetljenje ukoliko je ploha obasjana svjetlom nekog drugog izvora. Svi izvori svjetla emitiraju zračenje različitom brzinom i u različitim smjerovima. Intenzitet zračenja opisuje intenzitet svjetla koje emitira neki izvor svjetla.

Tablica 7-1. Radiometrijske i fotometrijske veličine i jedinice

Oznaka	Radiometrijske veličine	Jedinica	Fotometrijske veličine	Jedinica
Q	energija zračenja	J	energija svjetlosti	talbot=lms
Φ	fluks (tok) zračenja	W	svjetlosni tok	lm
M	gustoća toka tj.	W/m ²	svjetlina	lux= lm/m ²
B	gustoća toka tj.	W/m ²	osvjetljenje	lux
I	jakost svjetlosti	W/sr	jakost svjetlosti	cd=lm/sr

Astronomi svjetlinu neba obično mjere u jedinicama magnitude – (mag). Radi se o logaritamskoj skali gdje razlika u magnitudi iznosa 5 odgovara omjeru tokova od 100 (Narisada i Schreuder 2004). Magnituda iznosa 0 odgovara vrlo sjajnoj zvijezdi. U tablicama 7-2. i 7-3. dani su primjeri vrijednosti magnituda i svjetline određenih izvora svjetla.

7.2. Mjerenje svjetline noćnog neba

Mjerenje svjetline noćnog neba složeno je jer Zemljina atmosfera nikad nije u potpunosti tamna već postoji tzv. prirodno svjetlucanje. Govorimo o raspršenom svjetlu od zvijezda i galaksija te o tzv. air glow-u, efektu čestica na koje je djelovalo Sunčevo svjetlo tijekom dana, reakciji kisika i dušika s hidroksilnim ionima u atmosferi (kemilumiscencija) i kozmičkim zrakama u višim dijelovima atmosfere.

Razina svjetlosnog onečišćenja čak i na istoj lokaciji nije konstantna u vremenu već se mijenja ovisno o dobu dana i sezonski o solarnom ciklusu. Također, ovisi o meteorološkoj vidljivosti tj. promjenama sadržaja vodene pare u zraku. Mijenja se ovisno o nadmorskoj visini i azimutu te valnoj duljini svjetlosti. Postoji nekoliko različitih metoda i sistema mjerenja svjetlosnog onečišćenja, no trenutno niti jedan nije standardiziran (Narisada i Schreuder 2004).

Koriste se metode:

- 1) jednostavnih pregleda područja - engl. *area survey* (procjena granice vidljivosti zvijezda - limit star assessment, brojenje zvijezda – engl. *star counting*, fotografski pregledi, itd.);
- 2) kontinuiranih pregleda (monitoring);
- 3) odabira lokacije;
- 4) detaljna mjerenja na lokaciji (npr. standardna teleskopska fotometrija) i
- 5) globalna mjerenja (satelitske metode).

Tablica 7-2. Svjetlina izvora (Narisada i Schreuder 2004)

IZVOR	MAGNITUDA (mV)	SVJETLINA (lux)
Sunce	-26,7	$1,2 \cdot 10^5$
pun Mjesec	-12,7	$2,9 \cdot 10^{-1}$
Venera	-4,6	$1,6 \cdot 10^{-4}$
60 W lampa na 1 km	-3,6	$6,4 \cdot 10^{-5}$
granica osjetljivosti golog oka	6	$9 \cdot 10^{-9}$

Tablica 7-3. Svjetlina izvora svjetla (Narisada i Schreuder 2004)

IZVOR SVJETLA	(cd/m²)	(mag/arcs²)
površina Sunca	$1,6 \cdot 10^9$	
površina punog Mjeseca	2500	
uobičajeno dnevno nebo	3000	
oblačno dnevno nebo	300	
zenit za vrijeme zalaska Sunca	100	
uobičajeno nebo u velikom gradu	3	18,5
zenit za vrijeme civilnog sumraka*	0,3	20,2
uobičajeno nebo za vrijeme punog Mjeseca	0,03	16,8
nebo s Mjesecom starim 10 dana	$5 \cdot 10^{-3}$	18,5
zenit za vrijeme nautičkog sumraka**	$1 \cdot 10^{-3}$	20,2
horizont za tamno nebo	$8 \cdot 10^{-4}$	20,3
zenit u prosječnim uvjetima tamnog neba	$6 \cdot 10^{-4}$	20,7
zenit u dobrim uvjetima tamnog neba	$4 \cdot 10^{-4}$	21,1
najtamnije nebo ikad promatrano	$2 \cdot 10^{-4}$	22,0

*civilni sumrak definiran je položajem Sunca 6° ispod horizonta

** nautički sumrak definiran je položajem Sunca 12° ispod horizonta

Procjena granice vidljivosti zvijezda i brojenje zvijezda

Jednostavna metoda procjene svjetlosnog onečišćenja temelji se na pronalaženju vidljive zvijezde poznate magnitude. Najslabija zvijezda koja se još vidi određuje granicu vidljivosti. Metoda je djelomično subjektivna budući da ovisi o oštini vida promatrača. Metoda ima svoja ograničenja u korištenju u blizini gradova budući da svjetlina ovisi o velikom broju faktora. Preporučuje se korištenje samo za vedrih noći.

Brojenje zvijezda metoda je kojom se određuje broj zvijezda vidljivih golom oku u točno definiranom području nebeskog svoda (npr. zvijezde Malog medvjeda, Plejade, IMO trokuti, itd.). Temelji se na poznatim podacima o magnitudama zvijezda tog zviježđa prema čemu se onda određuje granična magnituda (NELM – naked eye limiting magnitude) tj. svjetlina neba. Za obje metode nužno je znati odnos između magnitude granične zvijezde i svjetline noćnog neba. U tablici 7-4. dani su podaci o broju vidljivih zvijezda u odnosu na magnitudu granične zvijezde.

Tablica 7-4. Broj vidljivih zvijezda i magnituda granične zvijezde (Narisada i Schreuder 2004)

GRANIČNA MAGNITUDA	BROJ VIDLJIVIH ZVIJEZDA
+7	oko 7000
+6	oko 2500
+5	oko 800
+4	ispod 400 (Mliječna staza nije vidljiva)
+3	ispod 50
+2	ispod 25

Fotografski pregledi

Temelje se na velikom broju slika dobivenih fotoaparatom u fiksnom položaju. Postoje određeni tehnički zahtjevi koje oprema treba zadovoljiti. Koriste se digitalne refleksne kamere, uglavnom sa širokokutnim ili *fish-eye* objektivima te postoji točno određeni postupak obrade takvih snimaka.

Kontinuirana mjerenja

Koriste se uređaji koji omogućuju monitoring svjetline noćnog neba kao fotometri, teleskopi opremljeni fotometrima, a navodi se i podatak o korištenju i *fish eye* fotoaparata. *Sky Quality Metari*, o kojem će više riječi biti kasnije jedan je od takvih uređaja i podaci korišteni u ovom radu dobiveni su na taj način.

Globalna mjerenja

Ranije je spomenut Prvi svjetski atlas umjetne svjetline noćnog neba napravljen od strane Cinzana i suradnika. Temelji se na kontinuiranim podacima o mjerenjima dobivenim od DMSP-a (Narisada i Schreuder 2004).

7.3. Instrumenti

Većina dostupnih instrumenata je nezgodna za rukovanje zbog veličine, transporta i poprilično je skupa. Ukupni flux izmjeren određenim mjernim instrumentom ovisi o spektralnoj distribuciji toka emitiranog iz izvora te o distribuciji spektralne osjetljivosti detektora, uključujući filtre.

Mjerenja je moguće raditi i običnim "ne-znanstvenim" digitalnim fotoaparatima. Primjer je ispitivanje osjetljivosti na plavi dio spektra u kontekstu NIF svojstva ljudskog vidnog sustava (Teikari 2007). Također, koriste se i prijenosni spektrometri kao na primjeru ispitivanja Cinzana (Teikari 2007). Spektrometar je odabran zbog sljedećih prednosti: pokrivenost spektralnih vrijednosti od 400 nm do 1000 nm, kompaktnost, lako i brzo postavljanje, velik raspon mjerenja za brzo vrijeme ekspozicije, mali troškovi, mogućnost automatskog kartiranja čitavog neba s cijelom serijom spektra uz automatsko očitavanje položaja, visine, datuma, vremena, koordinata azimuta, itd.

Za fotometrijsko mjerenje svjetline noćnog neba koristi se i Uniherdon-ov *Sky Quality Meter* (SQM) (slika 7-1.). Unatoč tome što nije profesionalan instrument, vrlo je popularan zbog jednostavnog rukovanja, praktičnih dimenzija i povoljne cijene. Omogućuje mjerenje svjetline neba na različitim lokacijama i u različitim uvjetima. Ima kutnu osjetljivost od

1,532 steradiana¹² te nije uređaj za mjerenje u samoj točki već registrira svjetlinu u području oblika stošca (okvirno 80° promjer na nebu). Danas se više češće koristi model SQML s ograničenim kutom gledanja od približno 22°. Mjeri svjetlinu neba u magnitudama u sekundi (mag/arcs²)- ekvivalent sjaja jedne kvadratne lučne sekunde neba bez zvijezda.



Slika 7-1. Sky Quality Metar (Unihedron 2013)

Veza s veličinom osvijetljenosti dana je izrazom:

$$K = 1,08 \cdot 10^5 \cdot 10^{(-0,4m)} \quad (7-1)$$

gdje su:

K - intenzitet svjetlosti u (cd/m²)

m - sjaj neba u (mag/arcs²) (Teikari 2007).

Studija Pierantonia Cinzana sa Sveučilišta u Padovi potvrdila je upotrebu SQM-a za mjerenje svjetline neba. Također, razrađen je sustav konverzije rezultata mjerenja kako bi se oni približili onima uobičajenih (profesionalnih) mjernih instrumenata.

12 Steradian - mjerna jedinica za prostorni kut, trodimenzionalni ekvivalet radijana

7.4. Modeliranje svjetlosnog onečišćenja

Razvijen je velik broj modela za procjenu svjetlosnog onečišćenja. Modeli pružaju uvid u način na koji se svjetlost iz nekog izvora raspršuje kroz atmosferu. Većina njih je izrazito složena, ali koriste iste fizikalne zakone i slične parametre samih izvora svjetlosti i specifičnosti svjetla (valna duljina, intenzitet, itd).

Ranije je spomenut Garstangov broj koji se oslanja na demografske podatke koje povezuje s brojem ugrađenih izvora svjetla na određenom području. Postoji i tzv. Walkerov broj prema Walker-ovom zakonu kojim se može izraziti svjetlina neba. Spada pod statističke modele i razvio ga je Merle Walker 1970-tih. Garstang je izrazio vezu između svjetline noćnog neba i udaljenosti grada koji je izvor svjetla:

$$I = C \cdot P \cdot d^{-2,5} \quad (7-2)$$

gdje su:

I - svjetlina neba izmjerena u smjeru izvora svjetla pod kutom od 45°;

d - udaljenost u (km);

P - naseljenost grada i

C - faktor koji ovisi o korištenim mjernim jedinicama, o svjetlosnom fluksu po stanovniku, itd.

Slično kao i Garstangov, Walker-ov zakon opisuje ovisnost svjetline neba pojedinog grada o broju stanovnika te udaljenosti grada. U samom gradu on više ne vrijedi. Empirijska formula glasi:

$$\text{dodatna svjetlina} = \text{const} \cdot R \cdot N \cdot D^{-2,5} \quad (7-3)$$

gdje su:

const i R - faktori koji opisuju "rastrošnost" grada (što je veća to je veće onečišćenje) pri čemu je R izražen u (lm/stan);

N – broj stanovnika i

D – udaljenost u (km).

8. REZULTATI I ANALIZA IZMJERENIH PODATAKA

Ranije je spomenut utjecaj atmosferskih čimbenika na svjetlosno onečišćenje. Cilj ovog rada bio je ispitati na koji način naoblaka kao atmosferski čimbenik utječe na distribuciju svjetla koje je emitirano sa Zemlje tj. svjetlosno onečišćenje i na koji način Mjesec doprinosi ukupno emitiranoj svjetlini.

Korišteni podaci dobiveni su kontinuiranim mjerenjima pomoću ranije spomenutog SQM uređaja. Uređaj je bio postavljen uz zgradu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, montiran uza zid na prvom katu. Sama lokacija nosi određena ograničenja: nasuprot uređaja nalazi se zid, a niže je postavljena lampa s nepoznatom dinamikom paljenja. Uređaj je mjerio svjetlinu neba u razmaku od deset minuta tijekom cijelog dana (svih 24 h). Podaci korišteni u radu obuhvaćaju osam mjeseci mjerenja od prosinca 2010. godine do prvog dijela srpnja 2011. Dobiveni podaci automatski su pohranjivani na računalu koje se nalazi na RGNF-u. Kasnije su eksportirani u obliku Excel tablica. Podaci o svjetlini dani su u MPSAS jedinicama¹³ i NELM vrijednostima.

Prvi korak u obradi podataka bio je ukloniti podatke koji se odnose na dnevni dio dana budući da nisu mjerodavni za problem svjetlosnog onečišćenja. To je učinjeno korištenjem podataka o izlasku i zalasku Sunca dobivenih pomoću programa Skychart (Cartes du Ciel)¹⁴. Skychart daje podatke ovisno o lokaciji (Zagreb 45°48" N, 16° E) i vremenskoj zoni (CET odnosno CEST). Za ovaj je set podataka izračunata prosječna vrijednost svjetline pojedinog mjeseca te pojedinog tjedna u mjesecu (prilog 1.). Ponekad određeni „tjedan uključuje“ više ili manje od 7 dana zbog kalendarske dinamike i smislenijeg grupiranja podataka. Na grafovima su ponegdje vidljivi skokovi i padovi u podacima koji nisu rezultat utjecaja naoblake i Mjeseca, već filtriranja podataka („rezanja“) ovisno o kretanju Sunca gdje dolazi do oštrog pada vrijednosti. Naime, noć je uvijek sastavljena od podataka dvaju dana (datumski prijelaz u ponoć) te sadrži popodneveni dio jednog dana i jutarnji dio drugog dana. Također, uočljive su i mikrooscilacije zbog šuma instrumenta.

¹³ MPSAS je kratica za jedinicu mag/arcs²

¹⁴ Skychart ili Cartes du Ciel je besplatan software koji omogućuje crtanje astronomskih karata, daje različite arhivske podatke o elementima Sunčevog sustava i sl.

Program Skychart je ujedno korišten i za određivanje utjecaja Mjeseca. Uključivanje podataka o izlascima i zalascima Mjeseca bilo je nešto zahtjevnije budući da podaci opisuju ponašanje Mjeseca drugačije od onog što bismo intuitivno očekivali. Dok Zemlja u danu napravi jedan okret, Mjesec se pomakne oko 12° što znači da će Mjesec izlaziti i zalaziti u vrlo različito vrijeme.

Filtriranje podataka ovisno o kretanju Sunca obuhvaća uglavnom dio noći (dio dana) koji se s manjim odstupanjima uvijek odnosio na segment od popodneva do ranojutarnjeg dijela dana. Na dobivenim se grafovima ponekad vide dijelovi u kojima se Mjesečev utjecaj proteže preko nekoliko noći ili ga uopće nema ili je njegov utjecaj vidljiv u jako malom dijelu pojedine noći. Razlog tome je činjenica da se točno vrijeme izlaska i zalaska Mjeseca ponekad ne nalaze u vremenskom rasponu podataka.

Utjecaj naoblake određen je pomoću snimaka kamere koja je nalazi u sklopu mreže kamera Hrvatske meteorske mreže¹⁵. Kamere daju crno-bijele snimke. Snimci su radi lakše analize pretvoreni u strip format pomoću Mosaic rutine (prilog 2.). Za uočavanje detalja snimaka korišten je i Skypatrol viewer (prilog 3.).

U tablici 8-1. prikazano je kretanje srednjih mjesečnih vrijednosti svjetline noćnog neba u gradu Zagrebu kroz osam mjeseci mjerenja. Sve se vrijednosti kreću u rasponu od 15 do skoro 17. Vidljiva je promjena srednje mjesečne vrijednosti u zimskim i proljetnim tj. ljetnim mjesecima u kojim je ona nešto viša. Za bolju sliku i razumijevanje vrijednosti izmjerenih SQM-om, u tablici 8-2. prikazane su zajedno vrijednosti granične magnitude (NELM), opisne vrijednosti te vrijednosti Bortle-ove skale. NELM vrijednosti dobivene su pomoću online konvertera na stranici proizvođača SQM uređaja (Unihedron 2013).

¹⁵ Hrvatska meteorska mreža (Croatian Meteor Network - CMN) s radom je započela 2007. godine. Mreža obuhvaća trideset kamera koje pokrivaju površinu Republike Hrvatske.

Tablica 8-1. Srednje vrijednosti mjesečnih mjerenja

MJESEC	SREDNJA VRIJEDNOST SVJETLINE NEBA (MPSAS)
prosinac 2010.	15,784
siječanj 2011.	15,546
veljača 2011.	15,782
ožujak 2011.	16,391
travanj 2011.	16,807
svibanj 2011.	16,948
lipanj 2011.	16,887
srpanj 2011.	16,869

Tablica 8-2. Usporedba vrijednosti svjetline noćnog neba

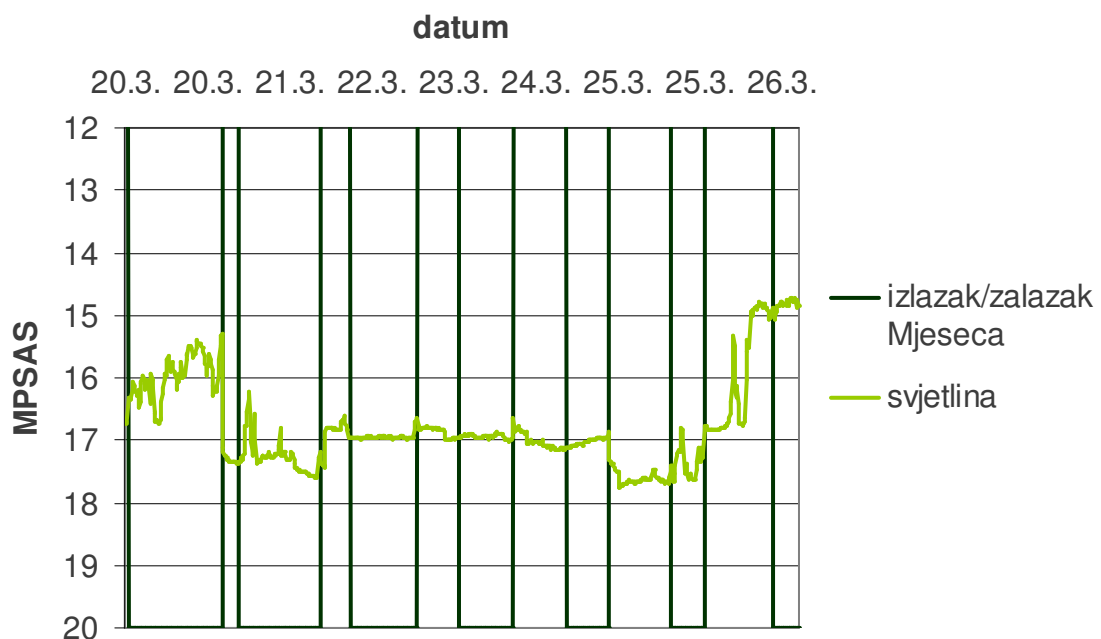
SVJETLINA NEBA (MPSAS)	GRANIČNA MAGNITUDA (NELM)	BORTLE-OVA SKALA (klasa)	OPISNA VRIJEDNOST
14	0,285	-	-
15	1,248	-	-
16	2,170	-	-
17	3,101	-	-
18	3,968	9*	nebo unutar grada, vrlo svijetlo, samo su najsjajnije zvijezde vidljive

*klasa 9 Bortle-ove skale odgovara vrijednostima granične magnitude manjima ili jednakima od 4 te je ujedno zadnja kategorija koju skala prepoznaje.

Što se naoblake tiče možemo reći da se oblačne noći lako mogu uočiti po velikom "šumu" vidljivom na grafovima. Izrazito "nazubljeno" ponašanje na grafu odgovara nestabilnoj promjenljivoj niskoj naoblaci, dok je visoka naoblaka nešto stabilnija.

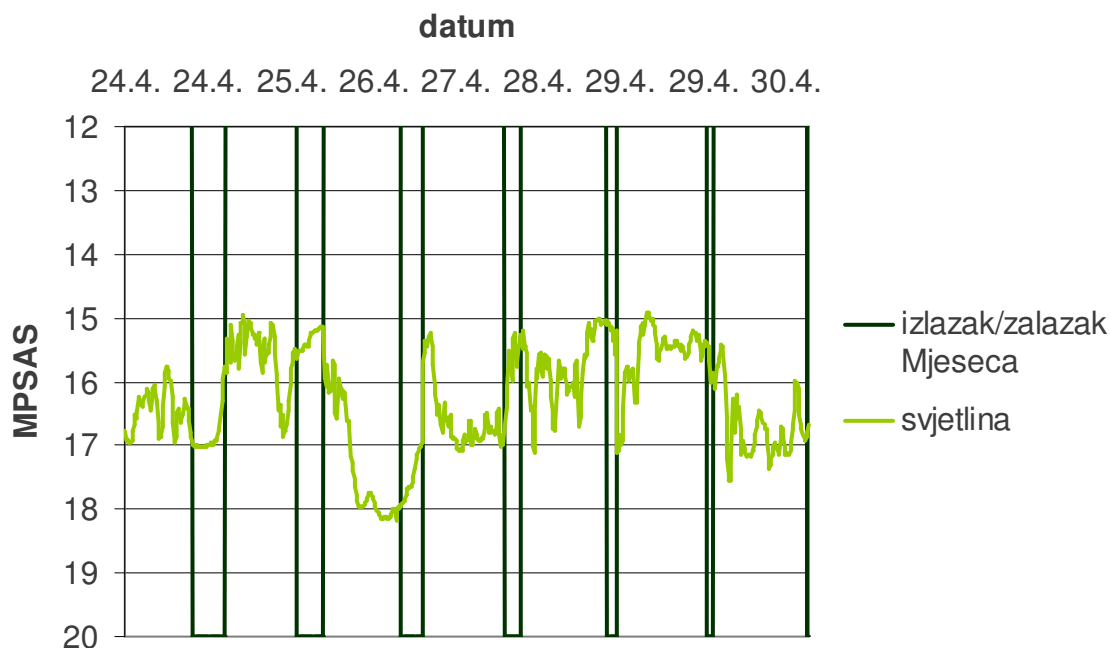
Iz obrađenih podataka izdvojena su četiri grafa koja ilustriraju karakteristično ponašanje svjetline kroz osam mjeseci (stabilno, nestabilno, izrazito mračan tjedan, „kaotičan“ tjedan).

Prvi graf (slika 8-1.) od četvrtog tjedna ožujka 2011. godine prikazuje relativno stabilno ponašanje koje se uočava i u sličnim atmosferskim uvjetima kroz set podataka svih osam mjeseci. U uvjetima vedrog neba, bez naoblake svjetlina je uvijek vezana uz magnitudu oko vrijednosti 17. U tjednu od 20. do 26.03. nebo je bilo vedro, no Mjesec je bio prisutan i u fazi opadanja (osvijetljenost njegove površine opadala je od vrijednosti 0,99 20.03. do 0,51 26.03.). Za usporedbu, u uvjetima jednako vedrog neba pri rastu Mjeseca od vrijednosti njegove osvijetljene površine 0,05 do 0,28 (prvi tjedan travnja 2011.), svjetlina noćnog neba raste do vrijednosti 18 mag. Općenito se može reći da u podacima o svih osam mjeseci iznos svjetline ne prelazi vrijednost 18,5 mag.

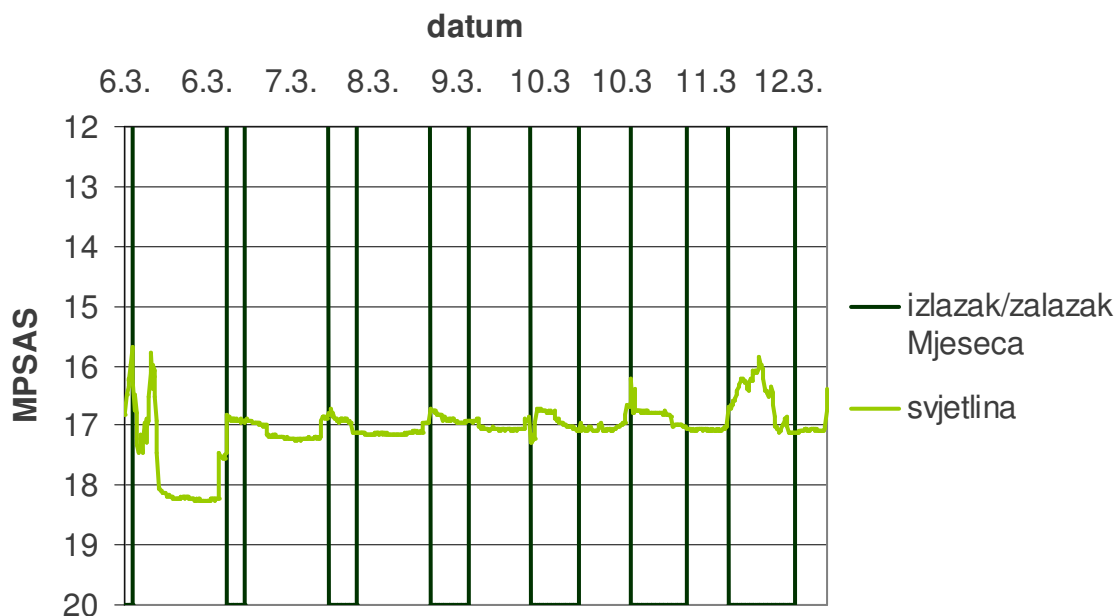


Slika 8-1. Graf vrijednosti svjetline neba u četvrtom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca

Drugi graf (slika 8-2.) ilustrira nestabilno ponašanje za period četvrtog tjedna travnja 2011. godine (24.04. do 30.04.). Tjedan karakteriziraju izrazito promjenjivi atmosferski uvjeti od lagane do teške naoblake (potpunog zasićenja vidljivog na kameri) s povremenim razvedravanjem i bez Mjeseca. Vrijednost svjetline kreće se od magnitude 15 do 17 mag s kratkim skokom do 18 mag u uvjetima razvedravanja.



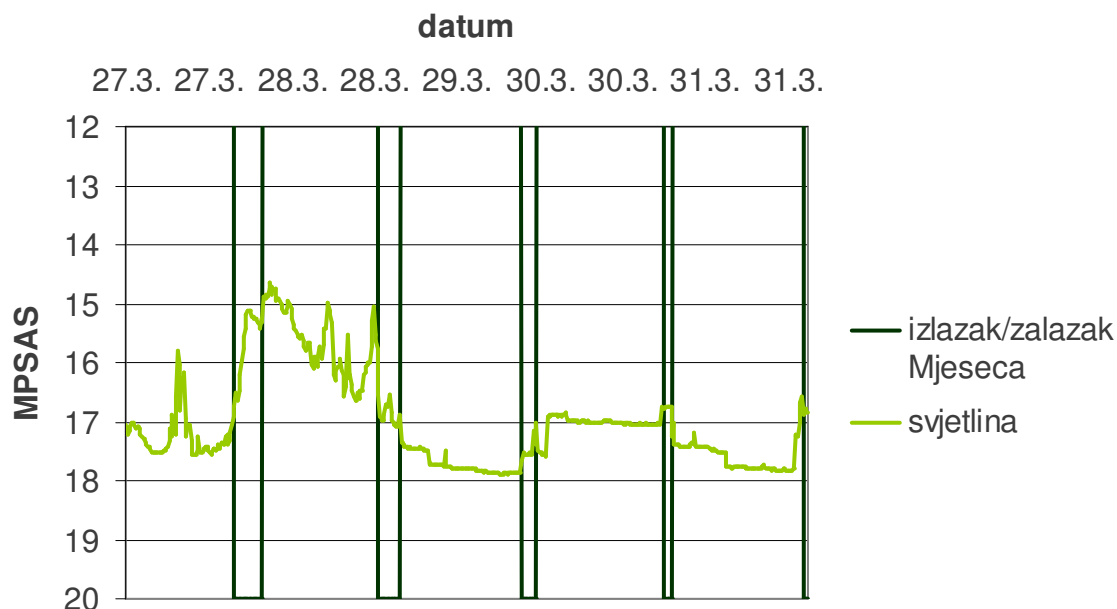
Slika 8-2. Graf vrijednosti svjetline neba u četvrtom tjednu travnja 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca



Slika 8-3. Graf vrijednosti svjetline neba u drugom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca

Primjer "mračnog tjedna" je drugi tjedan ožujka 2011. od 06.03. do 12.03. (slika 8-3.). Tjedan obilježavaju izrazito vedre noći bez naoblake s periodičnim izlascima i zalascima

Mjeseca. Noć sa 06.03. na 07.03. je noć bez Mjeseca pri se čemu vrijednost svjetline kreće oko vrijednosti 18 mag dok ostatak tjedna karakterizira ranije spomenuta očekivana vrijednost 17 mag. Primjer „kaotičnog“ tjedna prikazan je na slici 8-4. peti tjedan ožujka od 27.03. do 31.03.2011. U uvjetima lagane nestabilne i kasnije teške naoblake s dvije vedre noći vrijednosti osciliraju u rasponu od 15 do 18 mag.



Slika 8-4. Graf vrijednosti svjetline neba u petom tjednu ožujka 2011. s prikazom izlaska i zalaska Mjeseca

Promatranjem i analizom trideset i jednog grafa podataka od osam mjeseci mjerenja uz sva ograničenja, što zbog uvjeta mjerenja što zbog povremenih nedostataka u setovima podataka te njihovom preklapanju može se zaključiti da je zadana standardna vrijednost svjetline noćnog neba u gradu Zagrebu u proljeće tj. rano ljeto oko sedamnaeste magnituda s maksimalnom vrijednošću 18 u izrazito vedrim uvjetima. Zimi vedrom nebu doprinosi manje zadržavanje prašine u atmosferi zbog manje kondenzacije i isparavanja. Mogući utjecaj albeda snijega i ne doprinosi svjetlosnom onečišćenju budući da se većina svjetla ne zadrži. Također, zimi je Sunce gotovo uklonjeno s neba u popodnevni dijelovima dana. Ljeti prašina i izmaglica dovode do velikog raspršenja svjetlosti i crvenih zalazaka Sunca. U uvjetima oblačnog neba svjetlosno je onečišćenje veće (gotovo do tri magnituda) nego u usporedbi s vedrim nebom bez Mjeseca. Mjesec u ovim uvjetima doprinosi svjetlini s 1 mag.

9. ZAKLJUČAK

Problematika svjetlosnog onečišćenja sve je prisutnija i neovisno o našoj trenutnoj osviještenosti o veličini problema i svih aspekata koje obuhvaća, kao i kod ostalih vrsta onečišćenja, vrijeme reakcije i odgovora vrlo je važno.

Posljedice prekomjerne i nepravilne upotrebe svjetla obuhvaćaju mnogo više od znatnog smanjenja mogućnosti promatranja noćnog neba, iako bi taj aspekt problema trebao dobiti određenu količinu naše pozornosti budući da svjetlom doslovno umanjujemo ono što možemo vidjeti. Ekološke posljedice i goleme količine energije koje se nepovratno gube trebale bi nas ponukati da promislimo koliko svjetla zbilja trebamo, koliko smo zbilja sigurni okruženi s toliko svjetla i možemo li resurse kojima raspolažemo koristiti smislenije i odgovornije.

Podaci kontinuiranih mjerenja svjetline noćnog neba u gradu Zagrebu i njihova statistička analiza ukazali su na ponavljanje vrijednosti svjetline noćnog neba od 17 mag. Rezultati se mogu promatrati u kontekstu Bortle-ove skale u kojoj bi SQM vrijednost 21 mag i više odgovarala potpuno čistom i tamnom nebu prve kategorije, dok bi vrijednost 16 mag i niža bila karakteristična za svjetlosno onečišćeno nebo kao ono u gradovima (prilog 4.). Moguće je uočiti i utjecaj naoblake na količinu svjetlosnog onečišćenja na tlu, pri čemu govorimo o povećanju u rasponu od tri magnitude (15 do 18). Mjesečev doprinos svjetlini obično karakterizira vrijednost 1 mag. Budući da je riječ o analizi mjerenja dobivenih pomoću jednog uređaja i nedovoljnim atmosferskim podacima, teško je iznijeti jednoznačan zaključak, no rezultati govore da ima prostora za poboljšanje tehnologije osvjetljenja i načina na koji ju koristimo, kako bi se noćno nebo približilo stanovnicima Zagreba.

Svjetlosno onečišćenje od ostalih vrsta onečišćenja ne razlikuje samo činjenica da svjetlo pa time i onečišćenje obično smatramo bezopasnim, već i činjenica da ga je vrlo lako spriječiti i ukloniti. Dobar početak je usvajanje boljih navika i korištenje prikladnije tehnologije.

10. LITERATURA

BOGARD, P., 2008. Let there be night: testimony on behalf of the dark. Reno: University of Nevada Press.

CHENEY, I., 2011. The City Dark (a search for night on a planet that never sleeps).

URL: <http://www.pbs.org/pov/citydark/> (01.08.2013)

CRAWFORD, D. L., 2000. Light Pollution: An environmental problem for astronomy and for mankind. Tucson: International Dark-sky Association.

URL: <http://adsabs.harvard.edu/full/2000MmSAI..71...11C> (01.08.2013)

EISENBEIS, G., HÄNEL A., 2009. Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects. U: Ecology of Cities and Towns - A Comparative Approach. ur. McDonnell. M. J. Cambridge: Cambridge University Press, str. 243-264.

FOLEY, J. D., VAN DAM, A., FEINER, S. K., HUGHES, J.F., 1990. Computer Graphics Principles and Practice. Boston: Addison-Wesley Publishing Co.

IAC - Instituto de Astrofísica de Canarias. Light fixtures.

URL: <http://www.iac.es/servicios.php?op1=28&op2=69&op3=14&lang=en> (25.05.2013)

KOLB, H., NELSON, R., FERNANDEZ, E., JONES, B., 2011. Webvision. CIE Standardiziran dijagram. URL: <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/Kall5.jpeg> (01.08.2013)

LAY, V., KUFRIN, K., PUĐAK, J., 2007. Kap preko ruba čaše: klimatske promjene - svijet i Hrvatska. Zagreb: Hrvatski centar "Znanje za okoliš".

LRC- Lightning Research Center. Light Pollution.

URL: <http://www.lrc.rpi.edu/nlpip/publicationDetails.asp?id=884&type=2> (25.05.2013)

METAXA, M., 2001. The Light Pollution programme in Greece. IAU Symposium. Vol. 96.
URL: <http://adsabs.harvard.edu/full/2001IAUS..196..359M> (01.08.2013)

MIZON, B., 2002. Light Pollution: Responses and Remedies. London: Springer.

MURDIN, P., 2001. Environmental Challenges In Astronomy. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
URL: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C01/E6-119-28.pdf> (01.08.2013)

NARISADA, K., SCHREUDER, D., 2004. Light Pollution Handbook. Dordrecht: Springer.

NARODNE NOVINE, 2011. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja. Zagreb: NN, br. 114
URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_10_114_2221.html (25.05.2013)

NARODNE NOVINE, 2008. Zakon o sigurnosti prometa na cestama. Zagreb: NN, br. 67.
URL: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/339713.html>

NARODNE NOVINE, 2005. Zakon o zaštiti prirode. Zagreb: NN, br. 70.
URL: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/288893.html> (25.05.2013)

NEI - National Eye Institute. Eye Diagram.
URL: <http://www.nei.nih.gov/health/eyediagram/eyeimages2.asp> (25.05.2012)

PASACHOFF, J. M., 1999. Diorama.
URL: http://web.williams.edu/Astronomy/meetings_workshops/lightpollution/experiment1.jpg
(18.08.2013)

RICH, C., LONGCORE, T., 2006. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.

STELLARIUM. Bortle scale.

URL: <http://www.stellarium.org/img/screenshots/0.10-bortle.jpg> (25.05.2013)

ŠIMIĆ, A. B., 1920. Preobraženja. Zagreb.

ŠIMLEŠA, D., 2010. Ekološki otisak: kako je razvoj zgazio održivost. Zagreb: TIM press d.o.o., Institut društvenih znanosti Ivo Pilar.

TEIKARI, P., 2007. Light pollution: definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects . Magistarski rad. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

URL: http://www.petteri-teikari.com/pdf/Teikari_LightPollution.pdf (01.08.2013)

THE ROYAL COMMISSION, 2009. Artificial Light in the Environment. URL:

<http://www.official-documents.gov.uk/document/other/9780108508547/9780108508547.pdf> (25.05.2013)

UFL – University of Florida. Outdoor fixtures.

URL: <http://www.wec.ufl.edu/extension/gc/harmony/darksky.htm> (01.08.2013)

UNIHDRON. Conversion calculator.

URL: <http://www.unihedron.com/projects/darksky/NELM2BCalc.html> (20.08.2013)

UNIHDRON. Sky Quality Meter.

URL: <http://www.unihedron.com/projects/darksky/sqmback.jpg> (18.08.2013)

WADE, N. J., BROŽEK, J., HOSKOVEC, J., 2008. Purkinje's vision The Dawning of Neuroscience.

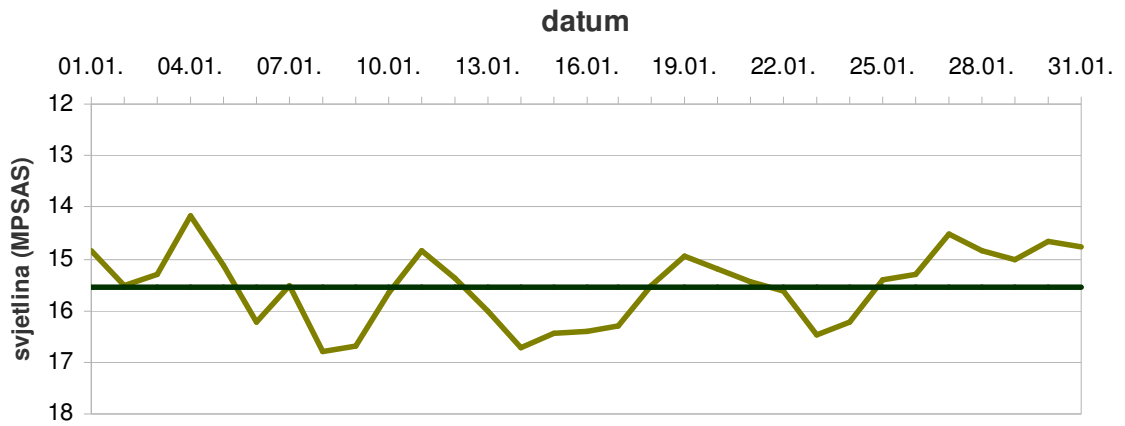
URL:

http://monoskop.org/images/6/6f/Wade_Nicholas_J_Brozek_Josef_Purkinjes_Vision_The_Dawning_of_Neuroscience.pdf (05.09.2013)

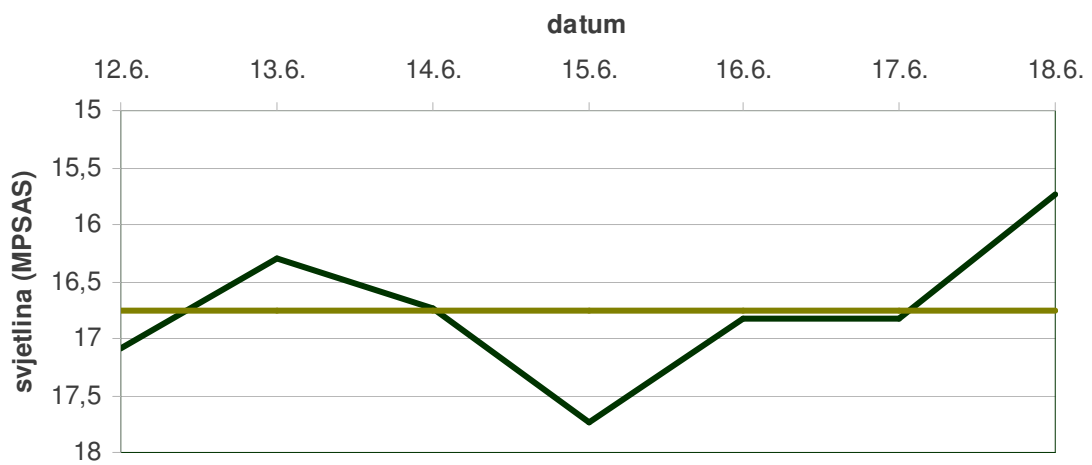
PRILOZI

Prilog 1. Primjer grafova srednjih vrijednosti svjetline noćnog neba

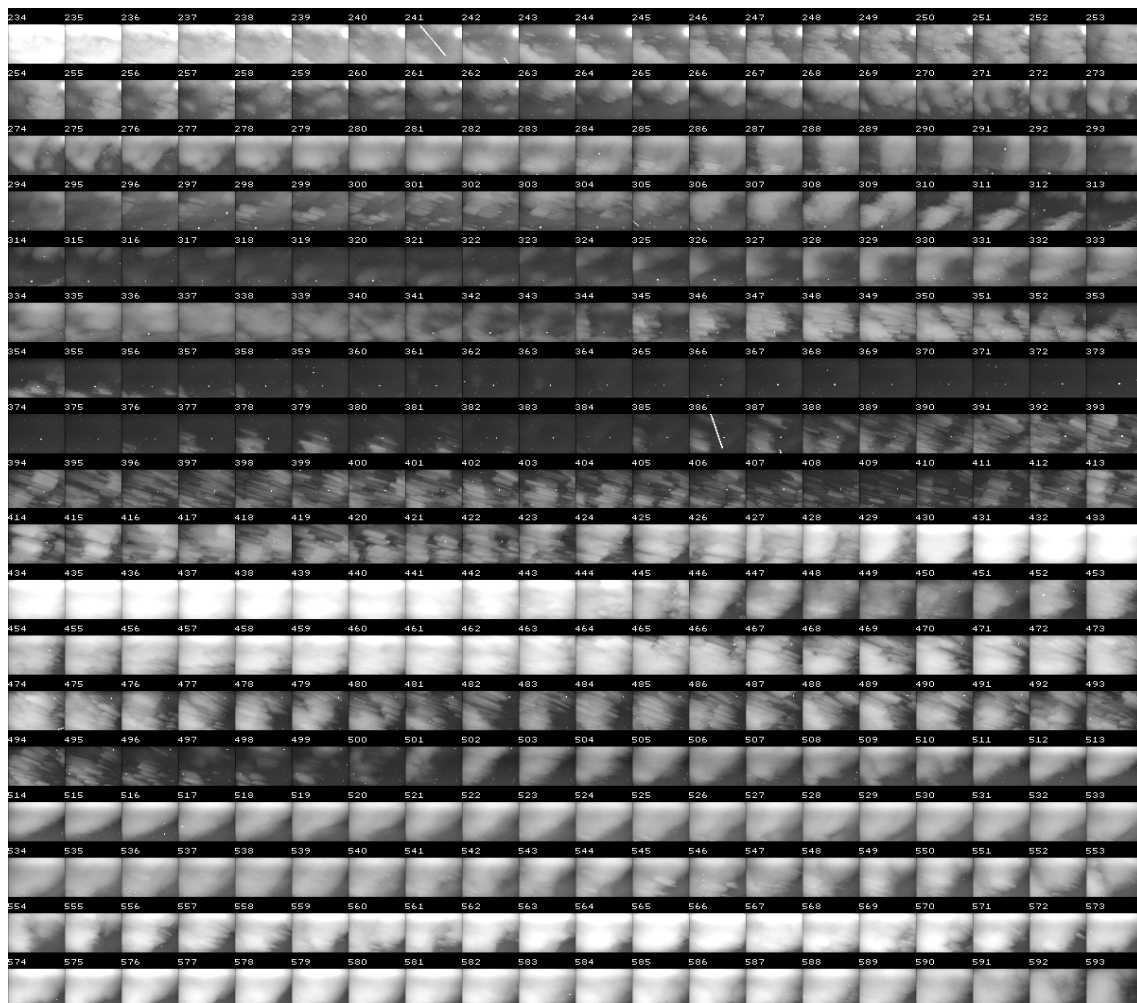
mjesečni graf siječanj 2011



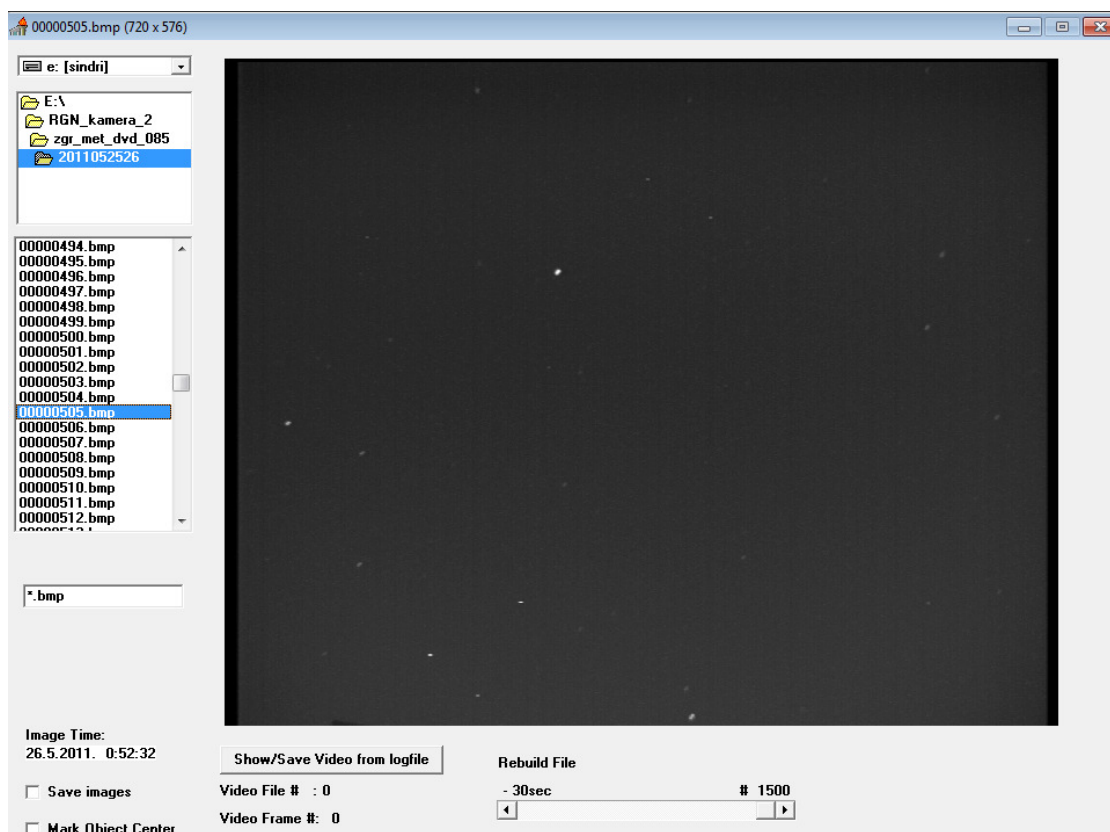
tjedni graf III lipanj 2011



Prilog 2. Primjer snimka s kamere, noć 13. travnja 2011.



Prilog 3. Primjer analize snimaka kamere pomoću Sky patrol-a, noć 25. svibnja 2011.



Prilog 4. Primjeri slika noćnog neba (zvijezde Labud snimljeno u području zenita, kolovoz 2013. oko 23 sata) (Sharma 2013)



Lokacija: mjesto Ugljan na otoku Ugljanu



Lokacija: Savski nasip, kod kompleksa Vodoprivrede u Prečkom, Zagreb