

## Svjetlosno onečišćenje grada Zagreba u periodu prosinac 2010. - srpanj 2011.

The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin  
UDC: 551.593  
DOI: 10.17794/rgn.2015.1.3

original scientific paper



## Light Pollution in the City of Zagreb, December 2010 Through July 2011

\*Indramani Sharma, Ana Mostečak, Željko Andreić

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000, Zagreb

### Sažetak

Svjetlosno onečišćenje povećanje je prirodne vrijednosti osvjetljenja okoliša kao posljedica ljudskog djelovanja. U uvodu članka dajemo pregled uzroka i posljedica svjetlosnog onečišćenja te opisujemo tri osnovne metode mjerenja utjecaja umjetnog osvjetljenja na okolinu. Istraživačka grupa s RGN fakulteta odabrala je jednu od tih metoda kako bi razradila metodologiju mjerenja i obrade rezultata, korisnost mjerenja i stekla uvid u očekivane rezultate budućih mjerenja. Iznosimo opis i rezultat preliminarnog mjerenja osvjetljenja noćnog neba tokom osmomjesečnog perioda, napravljenog instrumentom postavljenim na zgradi Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

### Ključne riječi

svjetlosno onečišćenje, Zagreb, Hrvatska

### 1. Uvod

Gotovo svaku upotrebu uređaja koji proizvode elektromagnetsko zračenje prati i neka vrsta suvišnog, neželjenog ili nekontroliranog odljeva tog zračenja. Analogno terminologiji upotrijebljenoj kad se govori o ispuštanju neželjenih ili opasnih tvari u okoliš, neželjene elektromagnetske emisije nastale umjetnim putem se, također, nazivaju onečišćenjem. Neki dijelovi elektromagnetskog spektra, koji su primjenu našli u širokom području ljudske djelatnosti, rano su pokriveni kontrolnim mehanizmima, ili barem legislativom koja je ograničila i regulirala upotrebu elektromagnetskog zračenja u tim spektralnim područjima.

Svjetlo, odnosno vidljivi dio elektromagnetskog spektra, iako čovjeku, uz toplinsko, najbitnija vrsta zračenja, do nedavno nije bilo tretirano kao nešto što može utjecati na okoliš, a kamoli onečistiti ga. Utjecaj umjetnog svjetla na okoliš među prvima su uočili astronomi, pribjegavajući sve većem udaljavanju od gradova, čija rasvjeta je, osvijetljavajući i atmosferu, drastično smanjila kontrast između prirodnog crnila međuzvezdanog prostora i slabog svjetla dalekih astronomskih objekata (McNally, 1994). Ipak, proučavanju te pojave pristupili su prvenstveno biolozi, pa je na pr. F. J. Verheijen krajem pedesetih godina prošlog stoljeća spomenuo tzv. svjetlosne "zamke" (Verheijen, 1959), a dvadesetak godina kasnije je upotrijebio i (engleski) termin *photopollution* (Verheijen, 1985) kojeg danas, uglavnom, zamjenjuje termin *light pollution*, a kojeg mi prevodimo kao "svjetlosno onečišćenje".

Svjetlosno se onečišćenje definira kao svaka promjena prirodne razine svjetlosti u noćnim uvjetima, nastala kao rezultat antropogenog djelovanja. Intenzitet onečišćenja ocjenjuje se svjetlinom noćnog neba izazvanom umjetnim izvorima svjetla. Ta je svjetlina uzrokovana neusmjerenim raspršenjem svjetla na česticama u atmosferi. Pri tome se česticama u atmosferi smatraju: molekule zraka, prašina te vodena para u atmosferi, što uključuje različite stupnjeve kondenzacije (izmaglica, magla, oblaci...). Značajni dio prašine u atmosferi mogu činiti aerosoli nastali antropogenom aktivnošću.

Efekt, iako lokalnih izvora, sam nije lokaliziran već se opaža desetcima i stotinama kilometara daleko. Jedan od ciljeva Međunarodne astronomske unije (*International Astronomical Union - IAU*) je svesti antropogeni doprinos svjetlini neba

\*Corresponding author: Indramani Sharma  
isharma@rgn.hr

na najviše 10 % prirodne svjetline neba. Ta se vrijednost smatra poprilično strogom i teško izvedivom bez konkretnih globalnih smjernica, vezanih za postavljenje adekvatne vanjske rasvjete (**Narisada i Schreuder, 2004**).

Budući da je svjetlosno onečišćenje izravna posljedica korištenja umjetne javne rasvjete i općenito rasvjete u eksterijeru, očito je da intenzitet onečišćenja ovisi o broju, vrsti, geometriji, lokaciji i usmjerenosti upotrijebljenih rasvjetnih tijela. 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 energetskim gubicima.

Svjetlosno onečišćenje kao posljedica tehnološkog i civilizacijskog razvoja počela je intenzivnije zanimati energetičare, ekološke i ekonomiste početkom 2000-tih godina, kad se pojavljuju i opsežnije studije utjecaja svjetlosnog onečišćenja na okoliš kao i studije koje se tiču energetske učinkovitosti i ekonomske isplativosti u području javne rasvjete. To je s jedne strane dovelo do razrade metodologije i mjernih uređaja koja je trebala kvantificirati količinu lokalnog svjetlosnog onečišćenja i pomoći u fizikalnom modeliranju rasprostiranja onečišćenja na regionalnim državnim, pa čak i kontinentalnim razinama.

S druge strane ukazala se potreba da se modelima predvidi i kratko- i srednjeročni porast tog onečišćenja s promjenom trendova u populacijskoj dinamici, socio-ekonomskoj situaciji, ili pak, tehnologiji. Posljedice svjetlosnog onečišćenja mogu biti biološke, energetske, ekonomske, socijalne, a na koncu i estetske, no to nije predmet niti našeg istraživanja niti ovog članka.

## 2. Cilj istraživanja

Problemu svjetlosnog onečišćenja želimo pristupiti prvenstveno s fizikalne i matematičke strane. Cilj nam je, mjerenjima, (koja će trajati i nekoliko godina)

- utvrditi maksimalne i prosječne vrijednosti svjetline neba,
- utvrditi njenu ovisnost o atmosferskim uvjetima,
- uočiti moguću kvazi-periodičnost ili trendove
- iskoristiti prethodno navedene vrijednosti i zaključke u stvaranju ili poboljšavanju fizikalnih modela distribucije svjetlosnog onečišćenja
- izraditi numeričke modele na temelju fizikalnih.

U ovom članku, naglasak stavljamo na mjerenje i metodologiju obrade dobivenih rezultata mjerenja.

## 3. Mjerenja i instrumentacija

Mjerenje svjetline noćnog neba složeno je, jer Zemljina atmosfera nikad nije u potpunosti tamna već postoji tzv. prirodno svjetlucanje. To prirodno pozadinsko svjetlo kumulativ je raspršenog svjetla od zvijezda, međuzvjezdanog plina i galaksija te tzv. "air glow" efekta. Atmosfera proizvodi luminiscenciju zbog čestica na koje je djelovalo Sunčevo svjetlo tijekom dana, a koje noću re-emitiraju fotone, zatim zbog reakcije kisika i dušika s hidroksilnim ionima u atmosferi (kemiluminiscencija) te zbog kozmičkih zraka koje pobudom atoma u višim dijelovima atmosfere izazivaju emisiju fotona i u vidljivom dijelu spektra.

Uz to, količina vodene pare i aerosola u atmosferi se kontinuirano mijenja, što izravno utječe na jačinu rezultirajućeg svjetlosnog onečišćenja. Stoga se rezultati mjerenja moraju svoditi na standardne atmosferske uvjete, što ni izdaleka nije jednostavno i jednoznačno, nego ovisi o mnoštvu parametara, od kojih mnogi nisu poznati sa dovoljnom točnošću.

Razina svjetlosnog onečišćenja, čak i na istoj lokaciji nije konstantna u vremenu, već se mijenja i ovisno o dobu dana i sezonski. Također, ovisi o meteorološkoj vidljivosti tj. promjenama sadržaja vodene pare u zraku. Mijenja se i ovisno o nadmorskoj visini, kutnoj visini i azimutu mjerenja te valnoj duljini svjetlosti koja se raspršuje na česticama u atmosferi. Postoji nekoliko različitih metoda i sustava mjerenja svjetlosnog onečišćenja, no trenutno niti jedan nije standardiziran (**Narisada i Schreuder, 2004**). S obzirom na to, točnije bi bilo govoriti o procjeni svjetlosnog onečišćenja na temelju izmjerenih vrijednosti intenziteta svjetla koja dolazi na mjerni instrument.

Tri su osnovne vrste mjerenja, koje se međusobno razlikuju po načinu mjerenja, prostornoj skali i korištenim mjernim uređajima. Metode mjerenja karakterizirati ćemo s obzirom na odnos mjernog instrumenta i izvora svjetla. Svjetlo iz izvora može:

1. Izravno pasti na podlogu na Zemlji,
2. Biti emitirano ili reflektirano kroz atmosferu u svemir,
3. Biti raspršeno i potom reflektirano od atmosferskih čestica natrag prema Zemlji.

Prva je metoda neposrednog mjerenja osvijetljenosti površine. Radi se o lokalnom mjerenju izravnog osvjetljenja (navedeno iznad pod rednim brojem 1) u neposrednoj blizini rasvjetnih tijela na površinama koje su obasjane (u ovom slučaju nepotrebno), kao npr. zelene površine u blizini prometnica, fasade zgrada osvjetljenih uličnom rasvjetom namijenjenom osvjetljavanju pješačkih i kolničkih površina i slično. Instrument kojim se takvo mjerenje obavlja je lux-metar, budući da je primjeren u slučajevima mjerenja relativno visokog intenziteta svjetla. Prostorna rezolucija takvog mjerenja je u rasponu od nekoliko desetaka centimetara do nekoliko desetaka metara. S obzirom na izrazito lokalni karakter mjerenja, prikladna je pri lokalnim intervencijama u svrhu smanjenja svjetlosnog onečišćenja (korekcija usmjerenosti ili rekonstrukcija pojedinih rasvjetnih tijela).

Druga metoda procjene svjetlosnog onečišćenja, na suprotnom je kraju prostorne skale. Radi se o "remote-sensing" metodi koja koristi satelitske i aerografske snimke noćnog dijela Zemljine površine. Snimke registriraju primarnu emisiju (izravno iz izvora svjetla) i primarnu refleksiju (svjetlo koje je reflektirano s osvjetljenih površina vertikalno u svemir - navedeno iznad pod rednim brojem 2). Prostorna rezolucija metode u rasponu je od nekoliko stotina metara do nekoliko tisuća kilometara, obuhvaćajući regije, države pa i kontinente.

Snimke dobivene na taj način koriste se kao polazni skup podataka u modelima distribucije svjetlosnog onečišćenja, na temelju kojih se izvodi procjena svjetlosnog onečišćenja za neko područje zemljine površine (Cinzano i Elvidge, 2004).

Primjer upotrebe takvih modela su karte svjetlosnog onečišćenja koje je izradila grupa talijanskog instituta ISIL (Cinzano et al. 2001), a koje su objavljene i na web stranicama <http://www.lightpollution.it>.

Treća metoda je u izvjesnom smislu između dviju opisanih. Lokalnog je karaktera budući da se mjerenja obavljaju sa Zemlje na proizvoljno odabranim lokacijama. U tom pogledu slična je prvoj metodi mjerenja neposrednog osvjetljenja koje predstavlja primarno svjetlosno onečišćenje. Međutim, nasuprot njoj, ovdje se mjeri sekundarno onečišćenje koje izaziva povratno vidljivo zračenje, odnosno disperzivno svjetlo koje natrag, do Zemljine površine, dolazi iz atmosfere (navedeno iznad pod rednim brojem 3). Ta umjetna osvijetljenost atmosfere nastaje kao posljedica svjetla koje je iz rasvjetnih tijela emitirano, ili pak reflektirano od podloge, te odaslano prema horizontu i iznad njega. Zbog naravi disperzije svjetla u atmosferi, iako je mjerenje lokalno, doseg mjerenja je velik, budući da mjerenoj svjetlosti doprinose izvori udaljeni i više desetaka kilometara. Metoda je, dakle, primjerena praktički izravnom mjerenju svjetlosnog onečišćenja na danom području, budući da atmosfera na neki način integrira doprinose svih izvora svjetla u relativno velikom radiusu oko lokusa mjerenja. Upravo je ovu metodu odabrala naša istraživačka grupa na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

U slučaju svjetlosnog onečišćenja riječ je o svjetlosnom zračenju niskog intenziteta, pa instrumenti koji to zračenje mjere, trebaju imati visokoosjetljive foto-senzore. Jedan od instrumenata koji je konstruiran upravo u svrhu mjerenja svjetline neba je Sky Quality Meter (u daljnjem tekstu SQM) tvrtke Unihedron, koji se pojavljuje u nekoliko varijacija. Naša grupa raspolaže sa nekoliko SQM-L uređaja koji su ručni mjerni instrumenti, te po jednim SQM-LE i SQM-LU uređajem. Slovo "L" u nazivu označava optički element (leću) postavljen ispred senzora, dok slova "E", odnosno "U" označavaju način povezivanja uređaja s računalom: "E" - putem Ethernet, odnosno "U" - putem USB veze.

Senzor SQM-a je TLS237 poluvodički sklop koji pretvara intenzitet svjetlosti (iradianciju) u frekvenciju izmjeničnog napona pravokutnog oblika. Taj signal, potom, elektronički sklop temeljen na mikrokontroleru, preračunava u MPSAS / NELM vrijednosti. Engleska kratica MPSAS za magnitude per squared arc second predstavlja magnitudu po kvadratnoj lučnoj sekundi, mag/arc<sup>2</sup>, što je standardna jedinica za mjerenje svjetline noćnoga neba. Engleska kratica NELM, (od *naked-eye limiting magnitude*) predstavlja graničnu magnitudu vidljivosti zvijezda, koja se također koristi u analizama jakosti svjetlosnog onečišćenja.

Karakteristike senzora su (AMS AG, 2008) :

Odziv . . . 2.3 kHz/(W/cm<sup>2</sup>) pri  $\lambda_p = 524$  nm

Frekvencija pri nultom signalu . . . < 2 Hz pri 50°C

Termička stabilnost . . . ±200 ppm/°C

Nelinearnost . . . ±1% pune skale u frekventnom rasponu 0 - 10 kHz.

Optički element postavljen ispred senzora osigurava relativno usko vidno polje od 20° FWHM (Full Width - Half Maximum), što učinkovito smanjuje mogućnost kontaminacije mjerenja izravnom registracijom svjetla iz bliskih izvora ili pak registracijom reflektiranog svjetla od bliskih površina. Preduvjet je za to, naravno, da je instrument korektno usmjeren.

SQM-LE uređaj bio je postavljen na fasadu zgrade RGNF-a, okrenutu prema istoku, u visini prvog kata. Montiran je u kućište koje ga štiti od atmosferskih utjecaja i dijelom blokira parazitsko svjetlo koje bi moglo doprijeti do senzora. Treba napomenuti da je lokacija uređaja daleko od idealne, budući da i u relativnoj i neposrednoj blizini uređaja postoje plohe koje su posredno ili izravno osvijetljene javnom rasvjetom. Pored SQM-LE uređaja, postavljena je i kamera Hrvatske Meteorske Mreže (HMM). Iako joj je primarna svrha 24-satno snimanje neba iznad Zagreba u potrazi za meteorskim tragovima, ona ima i važnu ulogu u proučavanju svjetlosnog onečišćenja. Sa snimki kamere HMM, naime, može se izravno očitati meteorološka situacija u svakom trenutku tokom noći, što je bilo iznimno važno u interpretaciji rezultata dobivenih mjerenjem svjetline neba SQM uređajem.

Napominjemo i to da je svrha ovog mjerenja u prvom redu bila ispitivanje postupka mjerenja i razrada metodologije obrade rezultata. Ipak, zaključci koje donosimo, imaju temelj u konzistentnosti i broju mjerenja, budući da je pokus trajao 8 mjeseci i pokrio različite vremenske i astronomske uvjete te nekoliko godišnjih doba.

SQM-LE instrument pod kontrolom računala, pomoću programa SQM Reader Pro, periodički mjeri i računalu vraća rezultat mjerenja u mag/arcs<sup>2</sup> i NELM.

Odnos između tih dviju jedinica dan je relacijama (**Carlin, 1998**):

$$\text{MPSAS} = 21.58 - 5 \log(10^{(1.586 - \text{NELM}/5)} - 1)$$

$$\text{NELM} = 7.93 - 5 \log(10^{(4.316 - (\text{mpsas}/5))} + 1)$$

Veza s veličinom osvijetljenosti dana je izrazom (**Teikari, 2007**):

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

gdje su:

$K$  - intenzitet svjetlosti u (cd/m<sup>2</sup>)

$m$  - sjaj neba u (mag/arcs<sup>2</sup>)

Studija Pierantonio Cinzana sa Sveučilišta u Padovi potvrdila je prikladnost SQM-a za mjerenje svjetline neba (**Cinzano, 2005**).

#### 4. Metodologija obrade

SQM-LE uređaj, pod kontrolom SQM Readera, obavljao je mjerenje svakih 5 ili 10 minuta, 24 sata dnevno, svaki dan, kroz cijeli period trajanja eksperimenta. Očito je da je u tom slučaju veći dio podataka beskorisan jer pri dnevnom svjetlu ne možemo govoriti o svjetlosnom onečišćenju. Stoga je bilo potrebno ograničiti podatke na smislenu domenu, točnije, na noćni dio dana. Takva restrikcija zahtijevala je dvije stvari: Prvo, bilo je potrebno odrediti trenutke u kojima počinje odnosno prestaje znatniji utjecaj svjetlosnog onečišćenja u odnosu na prirodno svjetlo koje emitira Sunce. Drugo, bilo je nužno zamijeniti datumski ciklus iz zapisa, "prirodnim" ciklusom izmjene dana i noći, pri čemu treba voditi računa o tome da noć pokriva dva datuma.

Izbor rubnih točaka koje određuju segmente domene dopustivih podataka do određene je mjere proizvoljan. Sunce, naime, i nakon što njegov gornji rub zađe pod horizont i dalje znatno osvjetljava atmosferu. Razdoblje u kojem je takvo djelovanje Sunca vidljivo nazivamo sumrakom. Analogno tome, razdoblje vidljivog efekta Sunčeve svjetlosti prije izlaska Sunca nazivamo zorom. Ukoliko, dakle, postoji trenutak u kojem Sunčevo svjetlo nakon zalaska više ne utječe na svjetlinu atmosfere, te trenutak u kojem Sunce počinje osvjetljavati atmosferu prije svitanja, onda bi za potrebe našeg mjerenja bilo pogodno bilo koje razdoblje između tih dvaju događaja. Ipak, kako bismo obuhvatili veći vremenski raspon tokom svake noći, početak i kraj mjernog raspona su postavljeni kao varijabilni parametri. Naime, za početni trenutak smo uzimali početak nautičkog sumraka a za krajnji trenutak, kraj nautičke zore, pri čemu su oba pojma

definirana kao trenutak kad je centar Sunčevog diska  $12^\circ$  ispod horizonta. Varijabilnost tih podataka posljedica je promjene duljina trajanja dana i noći tokom izmjene godišnjih doba.

Filtracija izmjerenih podataka napravljena je odbacivanjem svih podataka izvan raspona nautičke noći. Nad preostalim skupom podataka napravljeni su dnevni, tjedni i mjesečni grafovi kao i graf kompletnog mjernog razdoblja. Grafički prikaz podataka omogućio nam je da vidimo koji sve faktori imaju utjecaj na mjerenja. Najočitiiji efekt ima naoblaka. Kondenzirana vodena para u atmosferi ima relativno visoke koeficijente optičke refleksije i disperzije. Iako intuitivno i očigledno, nužnu korelaciju uspostavili smo usporedbom mjerenja sa video snimkama istog dijela neba koje pokriva i SQM-LE uređaj. Snimke koje smo koristili dolaze s kamere Hrvatske Meteorske Mreže koja je bila postavljena tik do SQM uređaja na RGNF-u. Visoke vrijednosti izmjerene SQM uređajem vremenski se poklapaju s pojavom oblaka u kadrovima video snimki kamere, no budući da je senzor kamere u svojoj osnovi instrument koji mjeri intenzitet svjetla, to se i povećanje svjetline kadra poklapa s povećanjem vrijednosti mjerenih na SQMu.

Jedan od faktora čiji utjecaj nije tako izražen, no koji nipošto nije zanemariv je mjesečina. Puni Mjesec reflektira oko 12 % Sunčeve svjetlosti i time obasjava Zemljinu atmosferu. O tome koliki utjecaj to može imati na mjerenje dovoljno govori i činjenica da pri mjesečini možemo čitati! Stvarni efekt mjesečine, međutim, nije jednostavno uračunati u sustav: iluminacija Mjesečeve površine mijenja se s vremenom, izlasci i zalasci Mjeseca nisu u fazi s izlascima i zalascima Sunca (netrivijalna korelacija) prividna putanja Mjeseca po nebeskom svodu varira s vremenom a time i prividna visina Mjeseca i sa njom tome svi parametri koji utječu na osvijetljenje atmosfere mjesečinom. Zbog toga smo u ovom, preliminarnom ciklusu mjerenja odlučili samo uvesti indikatore izlaska i zalaska Mjeseca koji nam omogućavaju grubu procjenu moguće smetnje u mjerenjima izazvane mjesečinom.

## 5. Zaključci i daljnja istraživanja

Analiza podataka dala nam je opći uvid u dinamiku promjene te naznake granica i tipičnih vrijednosti sekundarnog svjetlosnog onečišćenja. Podatke smo grupirali u tzv. "tjedne" ponešto promjenjive duljine. Naime, kalendarski tjedan nije idealni period za grupiranje podataka, budući da su datumski prijelazi u ponoć smješteni otprilike u sredinu nama zanimljivog mjernog razdoblja. Zbog toga, budući da smo izolirali noć (koja se proteže preko dvaju datuma) kao mjereno razdoblje svakog dana, kalendarska dinamika je ponekad "tjedan" učinila duljim a nekad kraćim od standardnih 7 mjernih dana, posebno na početku odn. kraju kalendarskog mjeseca. To međutim, ne utječe na ishod mjerenja, budući da se statistika obrade nije oslanjala na duljinu "tjedna".

Analiza naših podataka ukazuje na nekoliko bitnih činjenica. Kao prvo, mjerene vrijednosti se pojavljuju u rasponu od 14 do 18.5 mag/arcs<sup>2</sup>. Iako preliminaran, to je dosta bitan rezultat. On naime govori o dvama ekstremima - najvećem i najmanjem intenzitetu svjetlosnog onečišćenja.

Drugo, uočili smo da grafički prikaz, a time i dinamiku mjerenih vrijednosti, možemo klasificirati u tri skupine: noći i "tjedne" velikog dinamičkog raspona, zatim one malog dinamičkog raspona i mješovite. Veliki odnosno mali dinamički raspon karakteriziran je relativno velikom odnosno malom standardnom devijacijom podataka. Mješoviti period sastavljen je od vremenskih segmenata s malim i segmenata s velikim dinamičkim rasponom.

Za mjerodavne zaključke o tipičnim vrijednostima izdvojili smo samo skupine podataka s relativno niskom dinamikom (slike 1 do 4), dok su raspon podataka odredili minimum i maksimum uzeti preko svih mjerenih vrijednosti. Iz navedenog se može zaključiti sljedeće:

Vrijednosti variraju u izravnoj ovisnosti o zasićenju atmosfere vodenom parom i aerosolima. Posebno, najveći utjecaj na povrat svjetlosti prema Zemlji imaju karakter i količina naoblake.

Visoka naoblaka reflektira manje svjetlosti prema Zemlji nego niska. Općenito, što je naoblaka niža, sekundarno onečišćenje je izraženije.

Utjecaj promjenjive naoblake vidljiv je na grafikonima kao izrazito dinamičan graf: mjerene vrijednosti se mijenjaju s visokom frekvencijom i amplitudom.

Vrijednosti mjerene u vedrim noćima mogu se međusobno razlikovati bez obzira na izostanak naoblake. Ovdje na raspršenje i refleksiju svjetla utječe količina aerosola u atmosferi, na što pak utječu zračna strujanja, temperatura i vlažnost zraka, kondenzacija i slično.

Tipične vrijednosti osvijetljenosti atmosfere dobivene iz srednjih noćnih i tjednih vrijednosti u periodima s niskim dinamičkim rasponom mjerenja, su:

- za vedrih noći u proljetnom periodu 17 mag/arcs<sup>2</sup>,

- za vedrih noći u zimskom periodu između 18 i 17 mag/arcs<sup>2</sup>,
- za oblačnih noći između 16 i 15 mag/arcs<sup>2</sup>, ovisno o visini naoblake.

Svi zaključci izvedeni su usporedbom izmjerenih vrijednosti sa snimkama kamere Hrvatske Meteorske Mreže u svrhu karakterizacije stanja atmosfere u mjernim periodima.

**Daljnja istraživanja** - svjesni da je lokacija SQM uređaja u ovom ciklusu mjerenja bila relativno neadekvatna, premjestili smo instrument na krovnu platformu RGNFa, na visinu od oko 30 metara iznad ravnine kolnika. Time smo posve uklonili mogućnost da, bilo izravno, bilo reflektirano svjetlo javne i unutarnje rasvjete, dopre do senzora SQMa i time utječe na mjerenje. Preliminarni ciklus je ujedno pokazao, da je za procjenu sezonske ovisnosti sekundarnog svjetlosnog onečišćenja te za uočavanje eventualnih trendova, potrebno obavljati mjerenje tokom više godina. Naime, budući da je za uočavanje uzoraka i trendova potrebna velika količina podataka te da meteorološke prilike (u prvom redu promjenjivost naoblake) dramatično smanjuju količinu upotrebljivih informacija, višegodišnje snimanje osvijetljenosti atmosfere omogućiti će restrikciju i filtriranje podataka bez većeg gubitka integriteta skupa izmjerenih vrijednosti.

Očekujemo da će tada biti moguće dati i odgovore na pitanja kojima se u ovom ciklusu još nismo bavili (postojanje uzoraka i trendova, utjecaj Mjesečeve svjetlosti na mjerenja) kao i točnije ekstremne i tipične vrijednosti osvijetljenosti atmosfere. Dodatno, detaljna mjerenja mogla bi poslužiti pri razradi i provjeri matematičkog modela raspodjele svjetlosnog onečišćenja, kao i pri donošenju odluka o efikasnom načinu smanjenja svjetlosnog onečišćenja u gradu Zagrebu odnosno na području cijele Hrvatske.

## 6. Literatura

### 6.1. Objavljeni radovi

- AMS AG, (2008): TSL237 High-sensitivity light-to-frequency converter Technical specifications TAOS052J – SEPTEMBER 2008, AMS AG
- Carlin N. O., (1998): Some information on how to calculate visual limiting star magnitudes based on a paper by Bradley E Schaefer, world wide web page
- Cinzano P., Falchi F., Elvidge C. D. (2001): The first world atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, 689-707
- Cinzano P. and Elvidge C.D. (2004): Night sky brightness at sites from DMSP-OLS satellite measurements, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 353, 1107-1116
- Cinzano P., (2005): Night Sky Photometry with Sky Quality Meter fist draft, ISTIL Internal Report n. 9, v.1.4
- McNally, D. (ed.) (1994): The Vanishing Universe, Adverse environmental impacts on astronomy, Proc. UNESCO conf., Cambridge University Press, Cambridge.
- Narisada K. and Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Series: Astrophysics and Space Science Library, Vol. 322, Springer
- Teikari, P., 2007. Light pollution: definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Verheijen F. J. (1959): The Mechanisms of the Trapping Effect of Artificial Light Sources Upon Animals, Archives Néerlandaises de Zoologie 12/1959; 13(1):1-107.
- Verheijen, F. J. (1985): Photopollution: Artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causation, remedies, Experimental biology 44

### 6.2. Internetske poveznice

1. <http://w1.411.telia.com/~u41105032/visual/Schaefer.htm>
2. URL: [http://www.petteri-teikari.com/pdf/Teikari\\_LightPollution.pdf](http://www.petteri-teikari.com/pdf/Teikari_LightPollution.pdf) (1. 8. 2013.)

## LIGHT POLLUTION IN THE CITY OF ZAGREB, DECEMBER 2010 THROUGH JULY 2011

**Extended English abstract:** Light pollution can be defined as an increase in the amount of the light levels in the environment caused by the human activity. Although a part of the electromagnetic spectrum just as e.g. microwaves or UV radiation, visible light has been, until recently, treated as completely harmless and without any significant impact on the environment.

From early 1960s onward, both science and society slowly begun to acknowledge the fact that light influences a large number of living organisms: plants, animals, and humans alike, in rather unsuspecting ways. It has been noticed as well, that poorly constructed outdoor light fittings allow the light to escape into the environment, outside of the target area. The term "light pollution" has been coined to describe the effect, that influences both ecology and economy of a region. Various methods of measurement can be used in order to assess the magnitude of light pollution effect, e.g. measuring direct illumination in the vicinity of the sources, remote sensing via satellite imagery, measuring the amount of light escaping the Earth's surface and measuring the sky brightness as observed from the Earth's surface. The research group at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, chose the third method, making use of the Unihedron's Sky Quality Meter (SQM-LE). The goal of this first measurement period was to test the equipment, to obtain the preliminary data and to define the data processing methods. Measurements were collected at night during eight months. Following conclusions can be drawn from this experiment:

1. Measured values vary, strongly depending on atmospheric conditions. Main contribution to this variability comes from the water vapour and/or aerosol content in the atmosphere in the absence of clouds, or from the characteristics of the cloud layer above the SQM instrument in case of cloudy weather, water vapour being a rather efficient at reflecting and dispersing visible light. (The atmospheric conditions were assessed from the recordings obtained from the Croatian Meteor Network's camera mounted next to the SQM-LE instrument. This camera records the night sky in search of the meteor trails. Since all recorded frames and events are time-stamped, matching these with SQM-LE readings was straightforward.)

2. Measured values fall into the interval  $[14, 18.5]$  mag/arcsec<sup>2</sup>

3. Values can be expected to converge to:

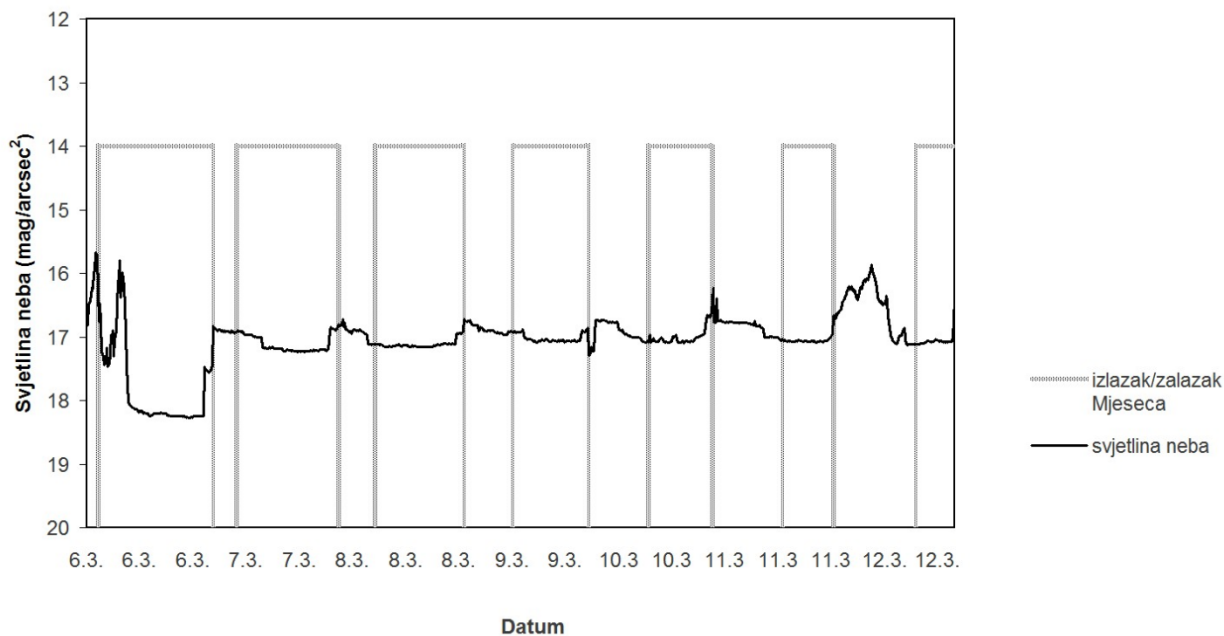
i) 17 mag/arcsec<sup>2</sup> on average during springtime (on clear nights)

ii) between 18 and 17 mag/arcsec<sup>2</sup> on average, during winter (on clear nights)

iii) between 16 and 15 mag/arcsec<sup>2</sup>, on average, during cloudy nights, regardless of season, depending on the height of the bottom of the cloud layer and the cloud density

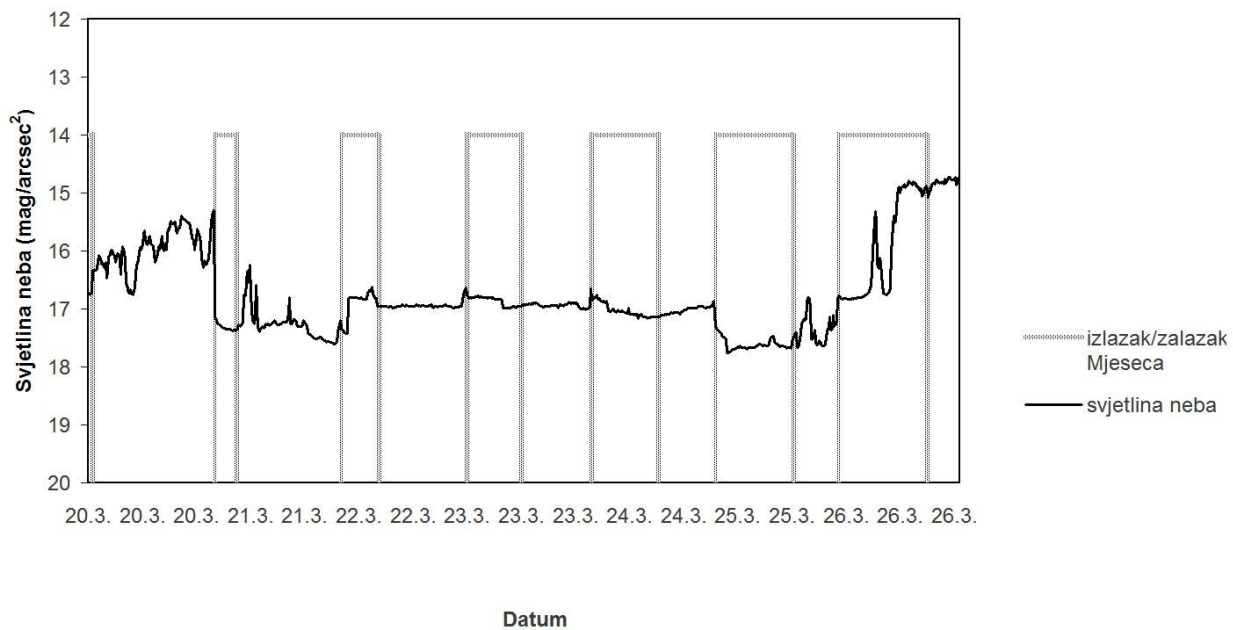
Further measurements are needed to get more accurate results as well as to extract any patterns or trends from the data. Also, the values obtained by measurements need to be input into models if the magnitude and the extent of light pollution in Zagreb area is to be monitored.

Tjedni graf 2. tjedan ožujka 2011.



Slika 1: Svjetlina neba iznad RGNF-a u drugom tjednu ožujka 2011.

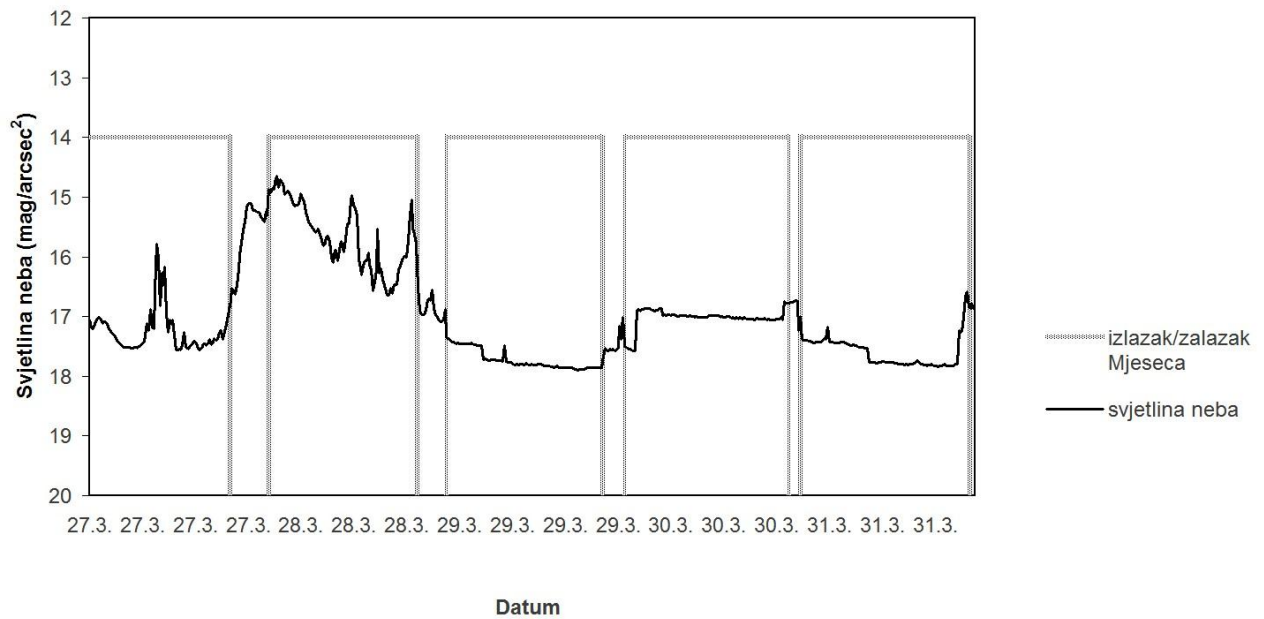
Tjedni graf 4. tjedan ožujka 2011.



Slika 2: Svjetlina neba iznad RGNF-a u četvrtom tjednu ožujka 2011.

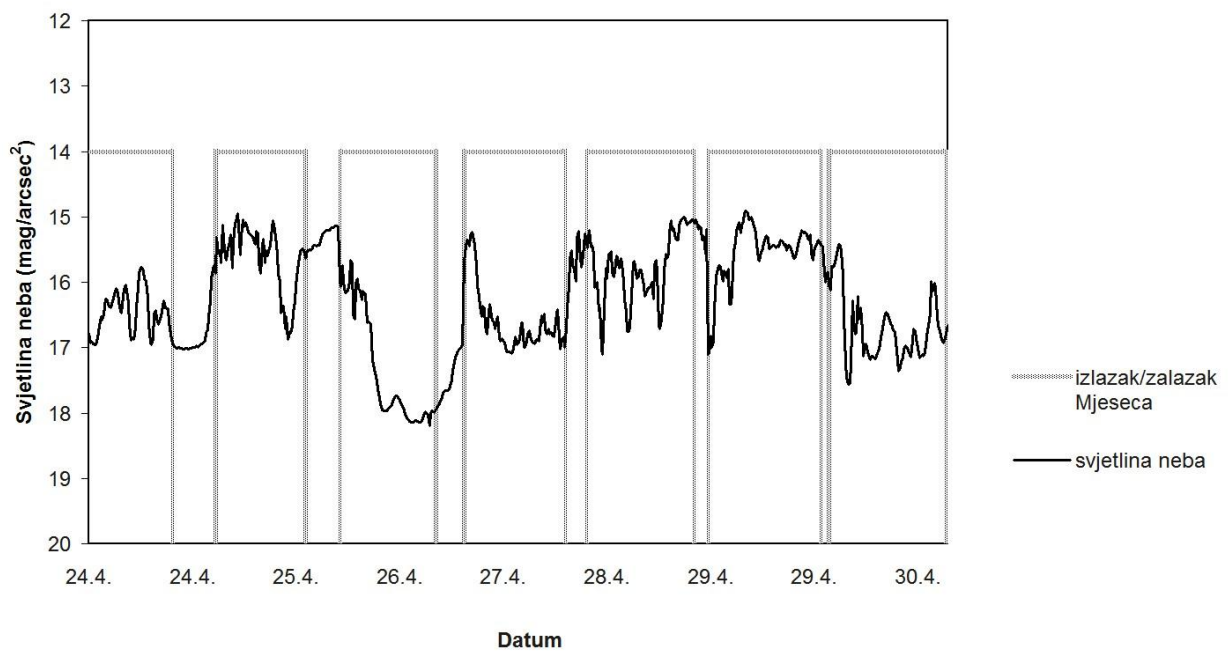


Tjedni graf 5. tjedan ožujka 2011.



Slika 3: Svjetlina neba iznad RGNF-a u petom tjednu ožujka 2011.

Tjedni graf 4. tjedan travnja 2011.



Slika 4: Svjetlina neba iznad RGNF-a u četvrtom tjednu travnja 2011.

