

Meritve svetlobnega onesnaženja na Astronomskem observatoriju Črni Vrh

Measurements of sky pollution at the Črni Vrh Observatory

Jure Skvarč
Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana
Astronomski observatorij Črni Vrh, Predgriže 29A, 5274 Črni Vrh nad Idrijo
jure.skvarc@ijs.si

Povzetek

Opisan je vpliv svetlobnega onesnaževanja na astronomske meritve, ki jih izvajamo na observatoriju Črni Vrh. Za ugotovitev smeri, v katerih je sij neba največji, smo izvedli meritve pri azimutih 60 do 300 stopinj v višini 30 stopinj nad obzorjem. Z analizo posnetih slik smo izmerili prispevek k siju neba posameznih večjih mest. Največ k svetlobnemu onesnaževanju prispeva Ljubljana, močno pa je zaznaven vpliv Trsta, Nove Gorice, Gorice in Črnega Vrha. Ugotovili smo, da se pri opremi, ki je bila uporabljena pri meritvah, mejni sij zvezd v smeri Ljubljane zmanjša do 0.15 magnitude, kar pomeni približno 10 odstotno zmanjšanje števila zaznanih zvezd.

Abstract

We describe the influence of light pollution on astronomical measurements performed at the Črni Vrh observatory. To identify directions of the highest sky glow we scanned the sky at the azimuthal angles between 60 and 300 degrees at the altitude of 30 degrees above the horizon. With the analysis of the sky images we could measure the contribution of some larger cities to the sky glow. The largest source of the light pollution is the city of Ljubljana, but Trst, Nova Gorica, Gorica and Črni Vrh also contribute significantly. We found out that with the equipment used in the experiment the limiting magnitude drops by 0.15 what implies a 10 percent drop of the number of detected stars.

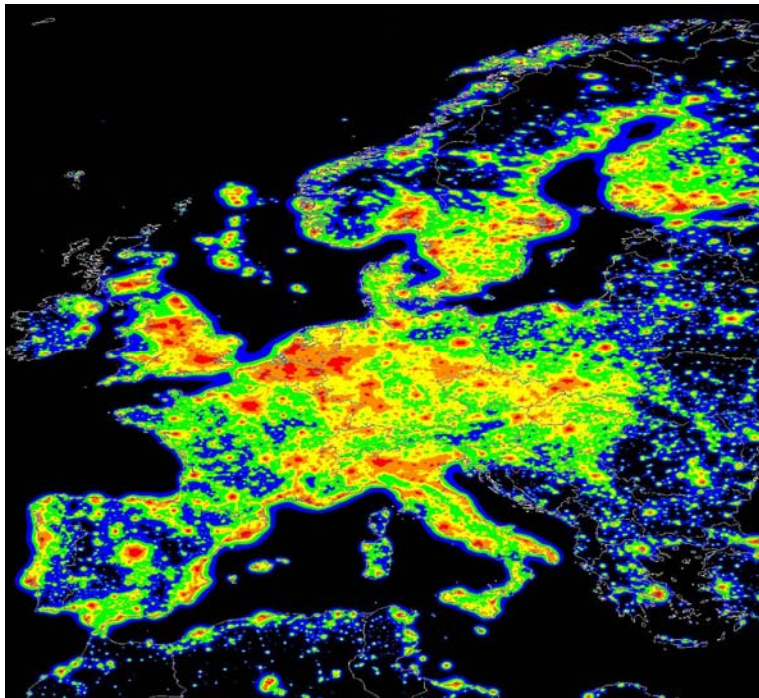
Uvod

Observatorij Črni Vrh je največja astronomska opazovalnica v Sloveniji z rednim opazovalnim programom. Opazovanja se opravljajo v okviru programa iskanja asteroidov in kometov ter v okviru raziskovalnih projektov na ljubljanski Fakulteti za matematiko in fiziko. Vsako jasno noč, razen v času polne lune, potekajo celonočna snemanja. V zadnjih treh letih smo imeli 230 opazovalnih noči in z dvema robotskima teleskopoma posneli več kot 100000 slik, opravili več kot 22000 meritev položajev asteroidov in kometov in določili več tisoč sivev spremenljivih zvezd.

Kljub razmeroma odročni legi, po 40 km od Ljubljane in od Trsta, pa vse bolj opažamo vpliv svetlobnega onesnaženja na meritve, ki jih opravljamo. V splošnem velja, da so glavni svetlobni onesnaževalci velika mesta, svoje pa prispevajo tudi bližnji posamezni viri, kot so osvetljene bencinske in cestninske postaje ter večje stavbe. Tudi vpliv

posamezne bližnje nezasenčene luči je lahko viden in moteč. Glavni problem pri svetlobnem onesnaženju je odtekanje svetlobne energije v nebo. Večinoma je to posledica razsvetljave, ki nima svetlobnega snopa dovolj dobro usmerjenega v predmet osvetlitve. Zaradi sipanja na molekulah zraka in prašnih delcih se svetloba iz ozračja spet vrača na tla, kar zaznamo kot svetlobno onesnaženje.

Z razvojem potrošniške družbe se problem svetlobnega onesnaževanja pogloblja, saj se v preobilici poceni električne energije malokdo zmeni za varčevalne ukrepe. To je svetovni problem, ki se je začel resno zajedati tudi v kakovost znanstvenih astronomskih opazovanj, saj je vse težje najti prostor, primeren za astronomsko dejavnost. Za ilustracijo je podan satelitski posnetek nočne Evrope (slika 1), kjer vidimo, da v gosto naseljenih področjih severne Evrope skoraj ni mogoče uiti svetlobnemu vplivu velikih mest. Velja, da je količina svetlobnega onesnaženja sorazmerna s številom prebivalstva na nekem področju. Pri nas je položaj nekoliko boljši, vendar se slabša, ker se povečuje število luči, ki so prižgane vso noč brez kakšne resne potrebe.



Slika 1: Satelitski posnetek svetlobnega onesnaženja nad Evropo (vir: P. Cinzano in dr., Mon. Not. R. Astron. Soc. 318, 641-657 (2000)).

Figure 1: Satellite image of the light pollution over Europe (source: P. Cinzano et al., Mon. Not. R. Astron. Soc. 318, 641-657 (2000)).

Poleg astronomskih opazovanj pa nočna umetna svetloba moti tudi življenjske cikle nekaterih živalskih vrst, predvsem žuželk in ptic, seveda pa tudi človeka samega, le da se tega v poplavi drugih onesnaženj, resničnih in namišljenih, in strahov, ki so ustvarjeni s površnim poročanjem medijev, podkrepljeni pa z neznanjem o naravnih pojavih, tega niti še ne zaveda. Nobenega dvoma pa ni, da bo izguba pogleda na zvezdno nočno nebo povzročila podobne negativne učinke kot druge vrste onesnaženja in kazanja narave, če

napredovanja svetlobnega onesnaženja ne bomo ustavili. To se, k sreči, da storiti že zdaj, brez kakršnega koli spremembe varnosti ali gospodarskih interesov ljudi. Še več, z izbiro pravilne razsvetljave lahko hkrati zmanjšamo svetlobno onesnaženje in prihranimo električno energijo, ne da bi zmanjšali osvetljenost objektov, kjer je to potrebno.

Meritve svetlobnega onesnaženja

Celo astronomi-začetniki pri opazovanja nočnega neba hitro ugotovijo, da je opazovanje v smeri velikih mest ali v bližini neposrednega vira svetlobe oteženo. Ta problem postane še bolj izrazit pri meritvah zelo šibkih objektov. Sij neba zaradi umetnih svetil zlahka izmerimo, kar pomeni, da vpliv svetlobnega onesnaženja pomembno vpliva na zmanjšanje učinkovitosti naših inštrumentov.

Sij neba smo na Črnem Vrhu izmerili v dveh februarjskih (15. in 16.) in eni marčevski (23.) noči. Prvi dve noči je bil zrak suh (relativna vlaga okoli 50%), zadnjo noč pa zelo vlažen z relativno vlago blizu 100%. Uporabili smo 19-cm, računalniško krmiljeni teleskop, ki smo ga sprogramirali, da posname ozek trak neba na višini 30 stopinj nad obzorjem. Pred kamero je bil nameščen V filter. S posnetki smo pokrili del kroga od -120 do 120 stopinj od južne smeri, vodoravni razmik med zaporednimi smermi snemanja pa je bil 3 stopinje. Snemanje je potekalo v času, ko je bila Luna globoko pod obzorjem. V preostalem, severnem delu kroga snemanje z danim teleskopom ni bilo mogoče tako nizko nad obzorjem.

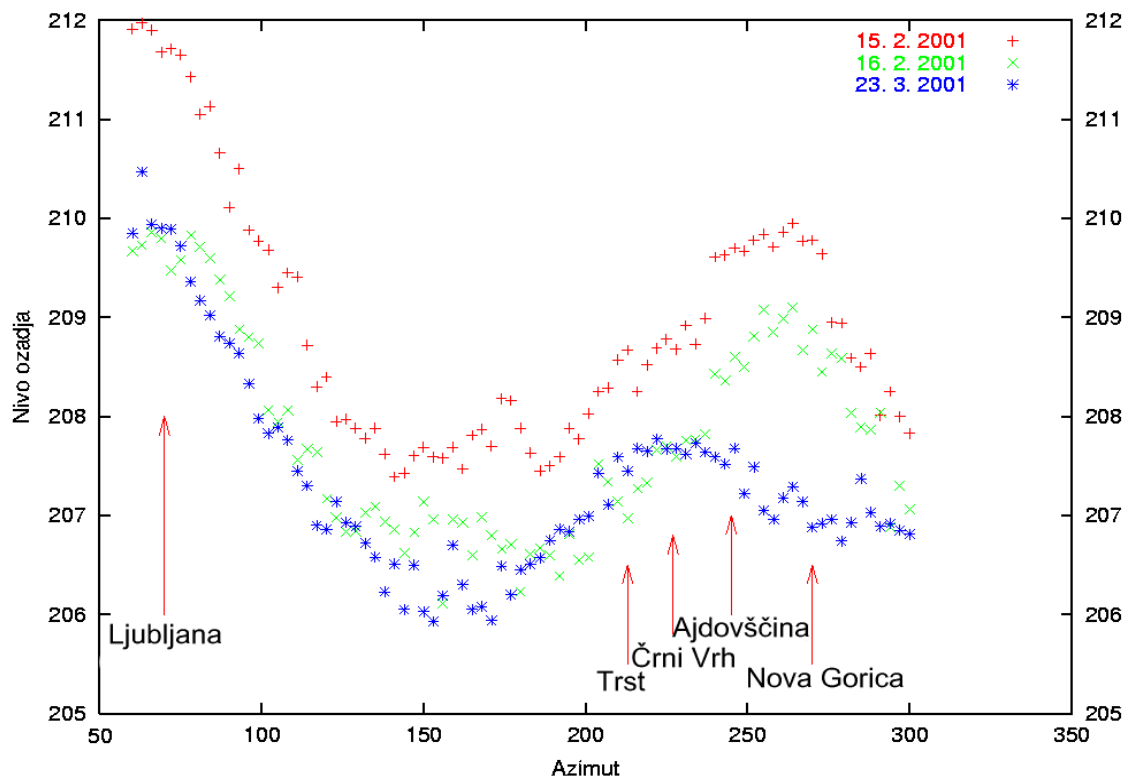
Diagram sija neba je podan na sliki 2. Da bi razumeli pomen krivulje, je treba razložiti nekaj pojmov, ki jih bomo uporabili.

Magnituda ali **sij** zvezde ali drugega nebesnega telesa je mera za količino svetlobe, ki jo seva telo. Velja, da zvezda z magnitudo 5 sije 100-krat šibkeje kot zvezda z magnitudo 0. Zvezda, ki ima magnitudo za 1 večjo od neke druge zvezde, ima sij približno 2.5-krat manjši.

Ločna sekunda je enota za merjenje kotov. Ena ločna sekunda je enaka $1/3600$ ločne stopinje.

Astronomska CCD kamera je posebna elektronska kamera, narejena za astronomska opazovanja. Sliko, sestavljeno iz množice slikovnih elementov, nam da v digitalni obliki neposredno v računalnik. Od običajnih elektronskih kamer se razlikuje po zmožnosti za zelo dolge čase osvetlitve, do 30 minut in več.

Filter je optični element, ki prepušča le točno določeni del svetlobnega spektra. Večino znanstvenih opazovanj naredijo z različnimi filtri. CCD kamera v kombinaciji z V filtrom (vrh prepustnosti pri valovni dolžini približno 550 nm), ki je bil uporabljen pri naši meritvi, ima podoben odziv na različne valovne dolžine svetlobe kot človeško oko.



Slika 2: Kotna odvisnost sija neba okoli Observatorija Črni Vrh, posneta v treh različnih nočeh (posnetki in obdelava: Observatorij Črni Vrh).

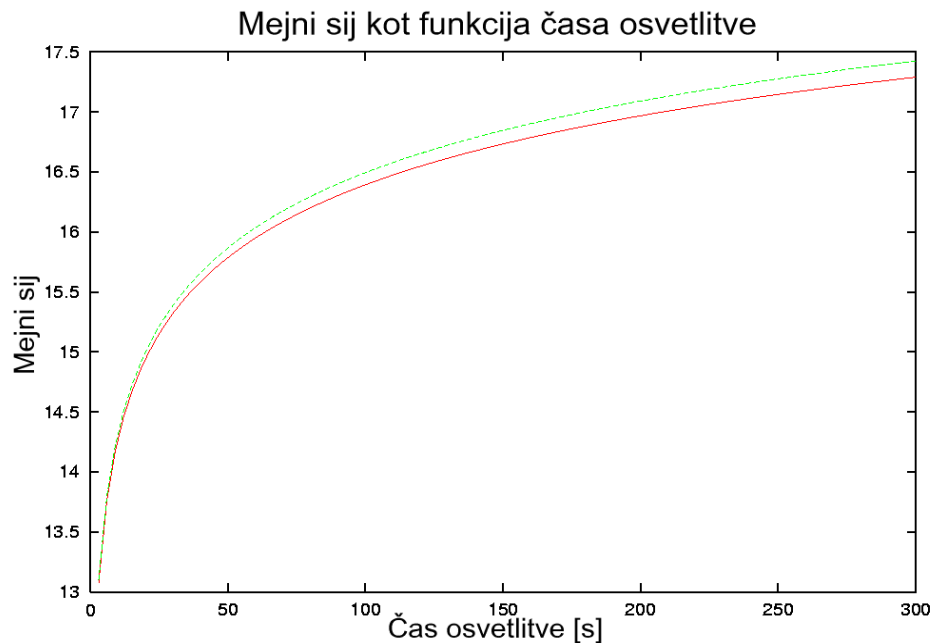
Figure 2: Angular dependence of the sky glow around the Črni Vrh Observatory, measured in three different nights (imaging and analysis: Črni Vrh Observatory).

Posamezni izmerki na sliki 2 ustrezajo povprečnim vrednostim sija neba na enem slikovnem elementu - točki na digitalni sliki, ki jo dobimo iz CCD kamere. Vsak slikovni element pokriva košček neba, velik 2.4 x 2.4 kvadratne ločne sekunde. Za lažjo predstavo, Luna bi bila na taki sliki široka 750 slikovnih elementov. Ničelna vrednost signala je nastavljena na 200 enot. To pomeni, da bi imeli slikovni elementi brez signala vrednost 200. Signal zaradi sija neba ali zvezd narašča sorazmerno s časom. Pri računanju povprečnega sija neba nismo upoštevali signala, ki ga prispevajo zvezde. Če tega ne bi storili, bi imeli krivulji, posneti februarja, največjo vrednost prav na mestu, kjer je sij neba v resnici najmanjši.

Izmerjeni največji sij neba se jasno ujema s smermi večjih mest, ki so označene na diagramu. Izrazito se vidi vpliv Ljubljane, pa tudi Trsta. Zanimivo je primerjati oba poteka sija, posneta februarja, z marčevskim. Vidimo, da je povečan sij na zahodu, v smeri Ajdovščine in Nove Gorice, izginil. To je verjetno posledica nekoliko meglenega vremena, zaradi česar svetloba ni mogla prodreti iz sosednje doline do observatorija.

Oglejmo si še, kako vpliva svetlejša nebo na mejni sij zvezd, ki jih lahko še opazimo z enim od naših teleskopov. Če bi naraščal samo sij neba, to samo po sebi ne bi bil problem, saj bi svetloba, ki prihaja od zvezd, prištel k svetlobi neba, ki bi jo lahko potem

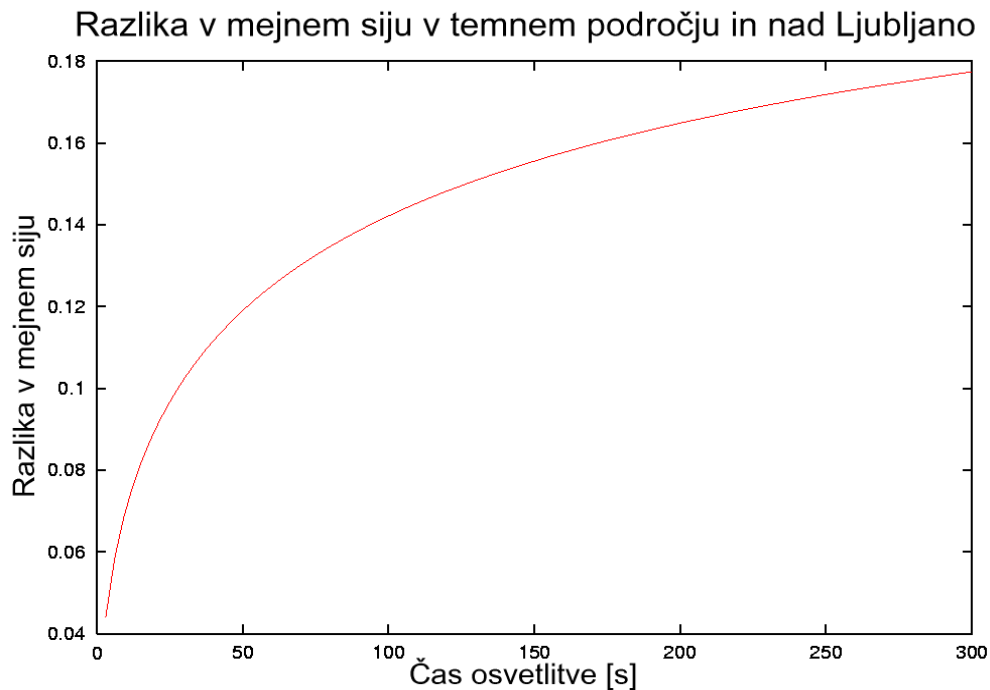
preprosto odšteli. Žal pa hkrati s signalom neba narašča tudi šum, ki zakrije sij šibkih objektov, saj njihovega signala ne moremo več ločiti od naključnih sprememb v siju neba.



Slika 3: Izračunana mejna sija kot funkcija časa osvetlitve za področji z najmanjšim in največjim signalom ozadja za 19-cm teleskop ACIT, ki je v uporabi na Observatoriju Črni Vrh.

Figure 3: Calculated limiting magnitude as a function of exposure time in the regions of the smallest and largest sky signal. The calculation is for the 19-cm ACIT telescope used at the Črni Vrh Observatory.

Iz izmerjene krivulje sija neba in iz že prej znanih lastnosti kamere je mogoče izračunati zmanjšanje mejnega sija. Podrobnega računa tu ne predstavljamo, oglejmo si le rezultat. Na sliki 3 sta prikazana izračunana mejna sija kot funkcija časa osvetlitve, na sliki 4 pa razlika obeh krivulj. Razlika, do katere pride pri daljših časih osvetlitve, je do 0.15 magnitude, kar pomeni, da zaznamo do 10 % manj zvezd samo zaradi vpliva svetlobnega onesnaženja, ki ga povzroča mesto Ljubljana. Pri tem je treba povedati, da so bili posnetki narejeni ob dokaj dobrih pogojih, ko se svetloba ni dodatno odbijala od oblakov nad Ljubljano.



Slika 4: Izračunana razlika med mejnim sijem zvezd, ki jih lahko zaznamo v področju z najmanjšim in največjim sijem neba, prikazanim na sliki 2.

Figure 4: Calculated difference between the limiting magnitudes in the regions of the largest and smallest sky glow, as shown in fig. 2.

Sklep

Z meritvijo smo pokazali, da je svetlobno onesnaženje postalo občuten problem tudi na področju Observatorija Črni Vrh, kljub relativno veliki razdalji ob večjih mest. Kot glavne povzročitelje svetlobnega onesnaženja smo prepoznali Ljubljano, Trst, Črni Vrh in Novo Gorico. Zaradi približnega ujemanja smeri Logatca in Vrhnike s smerjo Ljubljane iz Observatorija Črni Vrh ni mogoče ločiti prispevka teh mest k svetlobnemu onesnaženju, čeprav nedvomno obstaja.

Ugotovimo lahko, da sedanje stanje v primerjavi s področji, ki so bližje velikim mestom, še ni katastrofalno, zelo zaskrbljujoče pa je vsesplošno naraščanje nočnega osvetljevanja, ki ga lahko tako jasno izmerimo. To usmeritev je treba zaustaviti, predvsem s spodbujanjem uporabe svetlobnih naprav, ki ne oddajajo svetlobe v nebo. Koristno bi bilo tudi zmanjšati število prižganih luči, kjer to ne zmanjšuje varnosti prometa in bivanja nasploh, na primer pri osvetljevanju reklamnih sporočil, stavb in spomenikov.

Zavedati pa se je treba, da astronomska dejavnost v Sloveniji ni omejena le na opazovalnico v Črnem Vrhu, zato bi morali ukrepe uveljaviti na področju cele države.

Nočno nebo je zanimivo na več nivojih: v zadnjih nekaj letih je bilo ustanovljenih mnogo astronomskih društev in postavljenih več stalnih amaterskih astronomskih

opazovalnic. Ta živahna naravoslovna dejavnost je zaradi napredujočega svetlobnega onesnaženja močno ogrožena, saj so se ljubiteljski astronomi prisiljeni zatekati v vse manjša področja, ki niso obremenjena z umetnimi svetlobnimi viri. To pa zaradi težav, ki pri tem nastanejo, na primer dolgotrajne vožnje do opazovalnice, lahko zmanjša zanimanje za astronomijo. Ker je astronomski krožek tudi mesto, kjer bodoči tehniki in naravoslovci nabirajo prva znanja, predvsem pa pridobijo navdušenje nad opazovanjem narave, lahko trdimo, da bi oteževanje astronomske dejavnosti dolgoročno povzročilo tudi negativne posledice za stanje tehnične in naravoslovne kulture v Sloveniji.

Tudi mnogim ljudem, ki se z astronomijo sicer ne ukvarjajo aktivno, pogled na zvezdno nočno nebo veliko pomeni. Izguba nočnega neba, polnega zvezd, je podobno opustošenju gozdov ali drugih naravnih lepot, vse to zaradi domnevnih gospodarskih ali prestižnih koristi, ki pa se navadno izkažejo za kratkotrajne. Ko je škoda narejena, pa jo je zagotovo težje in dražje popraviti, kot pa bi jo bilo preprečiti.

In končno, s stališča države bi moral obstajati še en motiv za zmanjšanje svetlobnega onesnaževanja: preprečiti nesmiselno odtekanje energije v nebo in s tem vsesplošno zapravljanje denarja brez kanca koristi. Zaradi vseh naštetih razlogov zato verjamemo, da bo sprejetje uredbe glede uporabe primernejših svetil in omejevanja osvetlitve v kar najširšem interesu prebivalstva, ne le astronomov.