

# TEHNIČNI VIDIKI ZUNANJEGA OSVETLJEVANJA

## Technical aspects of outdoor lighting

dr. Tomaž Zwitter  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko  
e-mail: tomaz.zwitter@uni-lj.si

### **Povzetek**

*V prispevku najprej utemeljimo slabosti zunanjšega osvetljevanja z delno zasenčenimi lučmi, ki žal v večini osvetljujejo naše ceste, in poudarimo prednosti popolnoma zasenčene razsvetljave. Sklepe nato povežemo s primeri regulative po svetu. Posebej poudarimo prepoved osvetljevanja neba z usmerjenimi lučmi ("laserji"). Končno nanizamo še nekaj osebnih izkušenj s strokovno izvedenim zunanjim osvetljevanjem v okolici astronomskih observatorijev v ZDA in Čilu.*

### **Abstract**

*Partially shielded or unshielded fixtures cause substantial problems when used for outdoor lighting. On the other hand the completely shielded fixtures provide for better illumination, save energy, do not cause air-glow and have a much lower environmental impact. The advantages of shielded fixtures and the need to prevent any further use of collimated searchlights are emphasized. Some personal experiences on well designed outdoor lighting around astronomical observatories in USA and Chile are compared to partially shielded solutions frequently used in Slovenia.*

### **Uvod**

Osvetljevanje cest, komunalnih in industrijskih površin ponoči je potrebno zaradi varnostnih in bivanjskih razlogov. Sem sodi tudi osvetljevanje kulturno zgodovinskih spomenikov iz estetskih razlogov ter promocijska osvetlitev reklamnih panojev in površin. Žal vse te svetlobne instalacije lahko sevajo svetlobo tudi tja, kamor ni namenjena. To je v smeri horizontalne ravnine ali celo proti nebu. V tem primeru govorimo o svetlobnem onesnaženju. V tem prispevku bomo večino prostora namenili cestni razsvetljavi in njeni pravilni namestitvi, saj je ta glavni vir svetlobnega onesnaženja. Pokazali bomo, da so nezasenčene ali delno zasenčene svetilke, ki so praviloma v uporabi v Sloveniji, problematične, saj zmanjšujejo kontrast osvetlitve, motijo živa bitja vključno s človekom, ter neracionalno trošijo električno energijo. Rezultate bomo primerjali z izkušnjami in primeri predpisov po svetu.

### **Nezasenčene, delno zasenčene in popolnoma zasenčene svetilke**

Nezasenčena svetilka seva svetlobo v vse smeri. Primeri takih svetilk so svetlobne krogle in nezaslonjene svetlobne cevi. Ker sevajo znaten del svetlobe nad vodoravno ravnino in torej ne proti tlem, ki naj bi jih osvetljevale, je znaten del električne energije izgubljen. Svetloba nad vodoravnico moti živa bitja, vključno z ljudmi v bližnjih stanovanjskih soseskah, kar bi vam žal lahko potrdili številni prebivalci (novih) stanovanjskih sosesk v našem glavnem mestu.

Delno zasenčena svetilka ima emisijo nad vodoravno ravnino omejeno z zaslonom, ki navzgor usmerjeno svetlobo odbije proti tlam. Take svetilke v primerjavi z nezasenčenimi pri enaki osvetlitvi tal prihranijo pribl. 30% energije, saj z njimi ne osvetljujemo neba. To pomeni tudi znatne prihranke pri izdatkih za javno razsvetljavo. Kljub temu delno zasenčene svetilke sevajo tudi v smeri blizu vodoravne ravnine. Ta svetloba, kot bomo razložili spodaj, zmanjšuje kontrast osvetlitve in moti živa bitja.

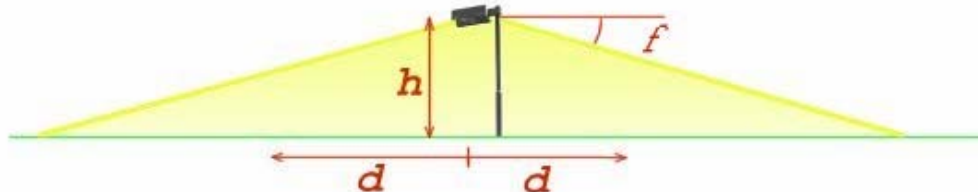
Zasenčena svetilka seva vso svetlobo pod vodoravno ravnino. Zaradi enostavnosti namestitve takih svetilk, je smiselno, da se svetlobni stožec ne približa vodoravni ravnini na manj kot 15 stopinj. Kot pri delno zasenčenih svetilkah je svetenje v vodoravni ravnini ali nad njo omejeno z odbojnim zaslonom, ki svetlobo usmerjeno v neželjeno smer odbije proti tlam in tako zmanjšuje porabo električne energije. Žal se iz strokovno nerazumljivih razlogov popolnoma zasenčene svetilke pri nas malo uporablja. Izjema so nekateri servisi Petrola in nekatera tuja podjetja (npr. center Interspar na Viču v Ljubljani), ki so svoje (naprednejše) osvetlitvene standarde prinesla tudi k nam.

### Primerjava osvetlitve cestnih površin z delno in popolnoma zasenčenimi svetilkami

Za razpoznavnost objektov ponoči je odločilna njihova primerna osvetljenost ter kontrast v primerjavi z drugimi svetlobnimi viri v zornem polju. Osvetljenost je sorazmerna z gostoto svetlobnega toka na površini objekta. Zaradi preprostosti in pomembnosti se bomo omejili na zgled osvetljevanja ravne cestne površine, ki jo osvetljujemo s svetilko na drogu višine  $h$ . Gostota svetlobnega toka  $j$  na cestni površini na razdalji  $d$  od droga je enaka:

$$j = (dP/d\Omega) / \{h^2 [1+(d/h)^2]^{1.5}\},$$

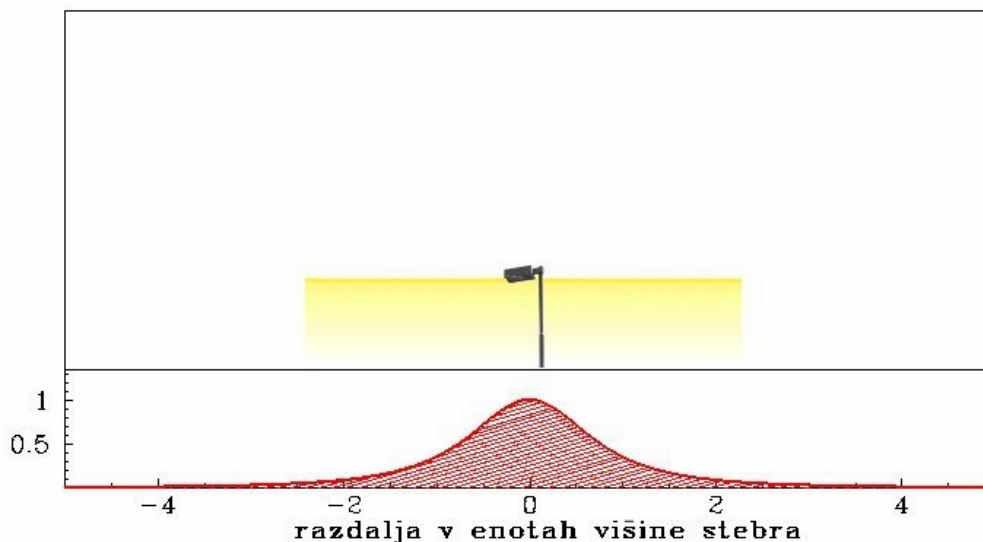
kjer je  $dP$  moč svetila, ki seva v prostorski kot  $d\Omega$ . Svetloba je zaslonjena z zaslonom, ki odbija svetlobo usmerjeno navzgor ali preveč postrani in jo usmerja proti tlem. Predpostavimo, da naša svetilka zato seva le svetlobo, ki je usmerjena vsaj za kot  $f$  pod vodoravno ravnino (glej sliko). Tedaj je  $\tan(f)=h/d$ .



Svetilka na stebru višine  $h$ , ki seva svetlobo v stožcu do kota  $f$  z vodoravno ravnino. Osvetlitev tal je odvisna od razdalje  $d$  od podnožja svetilke. Light source  $h$  meters above the road which radiates up to an angle  $f$  below the horizontal plane. Illumination of the road at a distance  $d$  is given by the formula above.

V primeru, da je kot  $f$  majhen ali celo negativen (svetilka deloma seva tudi navzgor), je svetilka deloma zasenčena. Pri dovolj velikem kotu  $f$ , v praksi to pomeni pri

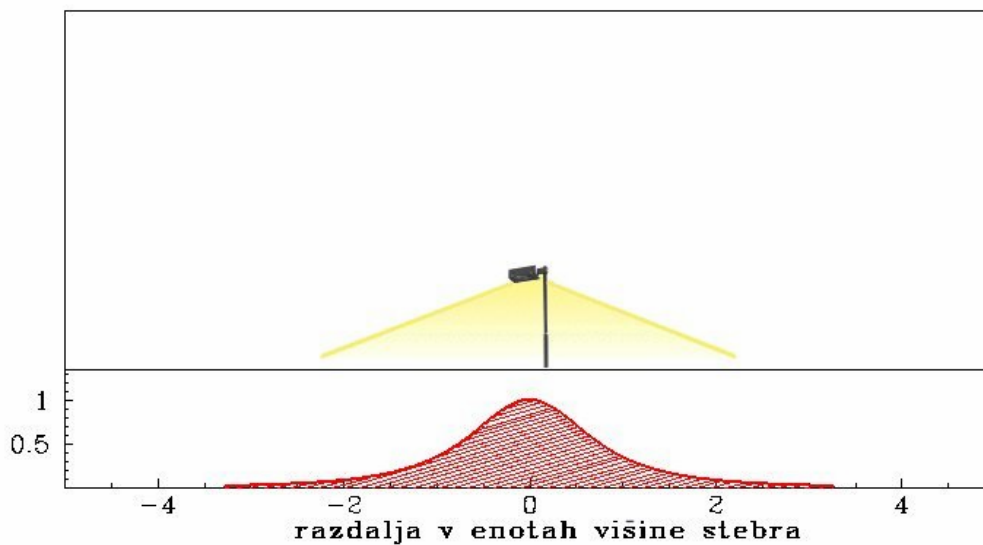
vrednostih  $f$  med 10 in 20 stopinjami, je svetilka popolnoma zasenčena. Taka svetilka ne sveti navzgor in na velikih razdaljah od svetila ni direktno vidna. To je zelo koristno, saj zaznavamo osvetljene objekte po **kontrastu** osvetlitve glede na okolico. Če je v našem vidnem polju poleg (relativno temnega) pešča tudi (relativno svetla) površina svetilke, je kontrast pešča glede na okolje manjši in možnost, da bo voznik pravočasno opazil pešča, manjša.



Delno zasenčena svetilka, ki seva vse do vodoravne ravnine ali celo nad njo. Spodnja krivulja podaja relativno osvetlitev tal. Razdalja od podnožja svetilke je podana v mnogokratnikih višine stebra.

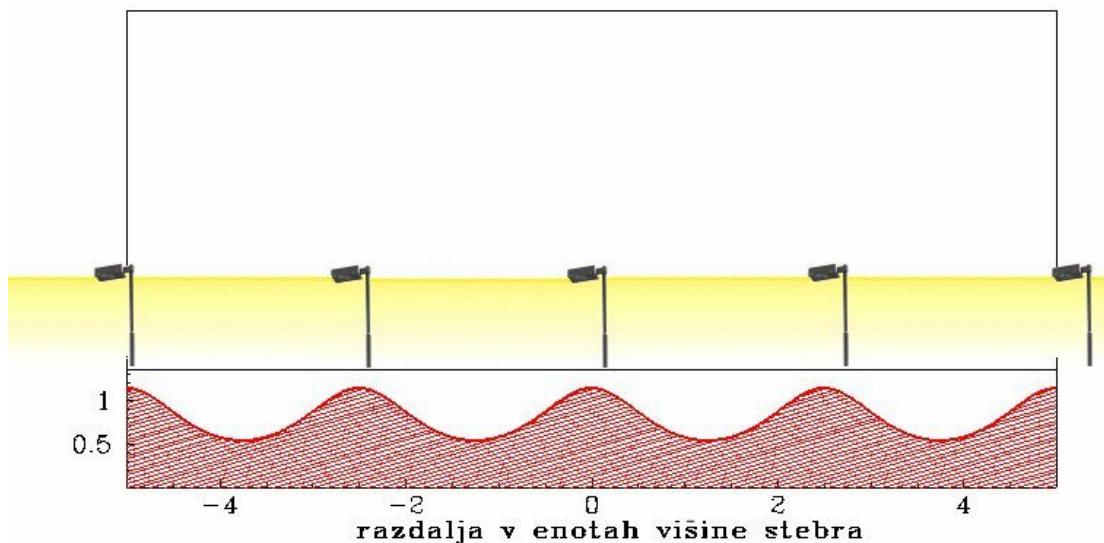
Partially shielded fixture radiates up to or even above the horizontal plane. The shaded curve gives the relative illumination of the ground for an isotropic light source. The distance is given in units of lamppost height.

V nadaljevanju bomo obravnavali dve vrsti svetilk. Prva je delno zasenčena. Njena svetloba se širi do vodoravne ravnine in celo nad njo. Druga je popolnoma zasenčena svetilka, ki seva le v smereh vsaj 17 stopinj pod vodoravno ravnino. Kot kažeta sliki je osvetljenost tal v obeh izvedbah praktično enaka. Vendar je delno zasenčena svetilka bistveno bolj moteča. Ker svetilo neposredno vidimo tudi iz velike razdalje, nam manjša kontrast in s tem zmanjša možnost, da bi opazili slabo razpoznavne objekte (npr. pešča ob robu ceste). Poleg tega je delno zasenčena svetilka moteča za insekte in druga živa bitja (glej prispevek prof. Legiše). In tudi ljudje ne maramo svetlenja tja, kamor ni namenjeno (glej prispevek H. Mikuža).



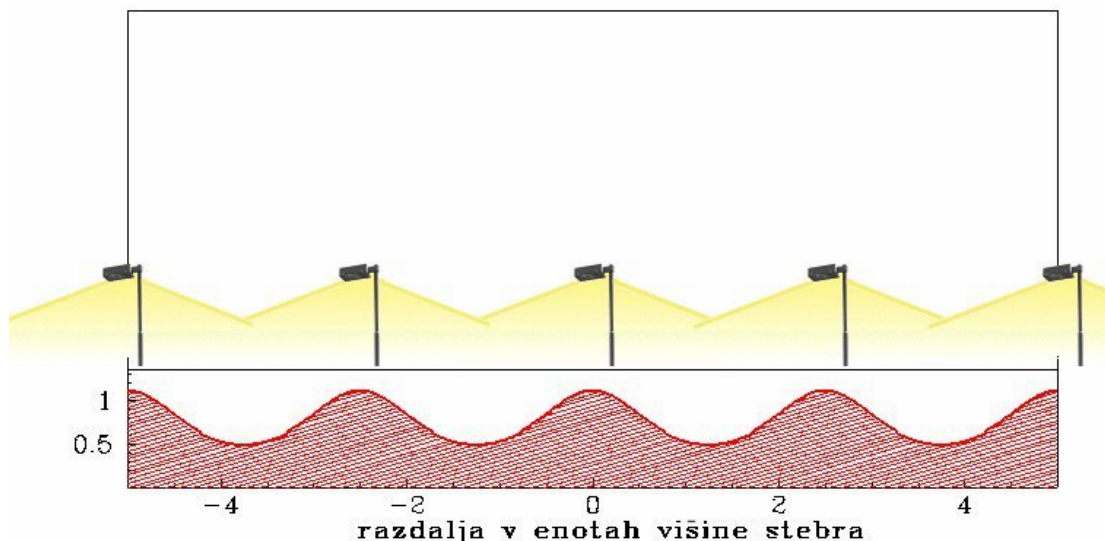
Popolnoma zasenčena svetilka, ki seva le v smereh, nagnjenih vsaj za 17 stopinj pod vodoravno ravnino. Spodnja krivulja podaja relativno osvetlitev tal. Razdalja od podnožja svetilke je podana v mnogokratnikih višine stebra. Med osvetlitvijo tal delno zasenčene in popolnoma zasenčene svetilke ni bistvene razlike. Razlikujeta se le v tem, da popolnoma zasenčena svetilka ne seva dlje od treh višin stebra. Vendar je relativna osvetlitev na taki razdalji že tako šibka, da praktično ni uporabna. Med svetilkama vseeno obstaja bistvena razlika: delno zasenčeno svetilko vidimo kilometre daleč, zato nam moti kontrast gledanja in bega živali. Popolnoma zasenčena svetilka takih vplivov nima, zaslon pa odbito svetlobo usmeri v tla in tako pri enaki osvetljenosti zmanjša porabo električne energije.

Fully shielded light source radiating only in a cone confined to 17 degrees below the horizontal plane. The shaded curve gives the road illumination. The distance is given in units of lamppost height. There is no appreciable difference in road illumination between a partially and a completely shielded light source. The fully shielded fixture is not illuminating the road more than 3 post-heights away, but the flux density there is so low that it is not useful any more. The fact that a partially shielded fixture can be seen from several kilometers away is harmful to animals and reduces light contrast to humans. The fully shielded fixture is nature-friendly. The shield reflects the light to the ground, where it is needed, so that less electrical energy could be spent.



Relativna osvetlitev tal pri nizu delno zasenčenih svetilk. Če je razdalja med svetili 2,5-krat večja od njihove višine, so tla osvetljena dovolj enakomerno. S takimi nizi je osvetljena večina slovenskih cest. Med vožnjo po njih žal vidimo ves niz svetilk pred nami, kar nam zmanjšuje kontrast in otežuje razpoznavanje nekontrastnih objektov (pešci). Svetila so vidna od daleč. Poleg energijskih izgub to pomeni oviro za živali in seveda ljudi (povečano sipanje svetlobe v oči starejših ljudi, svetenje proti stanovanjskim objektom).

Relative illumination from a row of partially shielded lamps. If the distance between lampposts equals 2,5-times their height, the road illumination is smooth enough. This kind of illumination is usually used for road lighting in Slovenia. Unfortunately a car driver on a road sees all the lights in front of him. This reduces contrast and objects (e.g. pedestrians) are hard to distinguish from a distance. Partially shielded lights waste energy, harm animals and make the life difficult also for people, for the elderly in particular (an increased scatter of unshielded light sources within eye which increases with age). In addition, such lights are often a source of unwanted illumination of residential buildings.



Osvetlitev tal pri enakem nizu svetilk, ki pa so popolnoma zasenčene. Te svetilke sevajo vso svetlobo vsaj 17 stopinj pod vodoravnico. Osvetlitev tal je praktično enaka kot pri delno zasenčenih svetilkah, vendar bo voznik sedaj pešca mnogo lažje opazil. V zornem polju ima le svetilo, pod katerim je, in prvo naslednje. Vsa ostala so skrita in zato ne motijo kontrasta pri pogledu naprej. Tudi motečega svetenja v okolje praktično ni. Ker imajo skoraj vse svetilke na slovenskih cestah pod lučjo montirano okroglo steklo, so le delno zasenčene. Tako po nepotrebnem svetimo tja, kamor nočemo in poleg tega brez razloga večamo stroške za električno energijo.

Road illumination with a set of identical lights, but this time of a fully shielded variety (radiating at least 17 degrees below the horizontal plane). The road illumination is virtually the same as with partially shielded fixtures. But the driver can appreciate the difference: only two lights are seen directly (the one directly above and the next one in a row), all the others are hidden from view. Contrast is enhanced and pedestrians on the road are spotted easily. The environmental impact of such lighting is acceptable. Virtually all lights on Slovene roads have a curved scattering surface that makes them only partially shielded. So we illuminate what we do not want to illuminate and increase the common electricity bills unnecessarily.

Za osvetlitev ceste potrebujemo niz svetilk. Želimo si karseda enakomerne osvetlitve tal. V praksi je koristno, če osvetlitev najbolj temnih delov ceste (na polovici razdalje med svetilkami) ni več kot dvakrat nižja od najbolj osvetljenih površin pod svetilkami. V praksi to pomeni, da sme biti razdalja med stebri približno dva-in-polkrat tolikšna kot višina stebrov. Pri stebrih visokih 12 metrov (tipična vrednost za slovenske avtoceste) to pomeni, da so drogovi po 30 metrov narazen. Osvetlitev tal za tak niz svetilk je izračunana na slikah. Zopet obravnavamo dva primera, delno zasenčene in popolnoma zasenčene svetilke.



Usmerjen reflektor (“laser”) nad prestolnico. Take usmerjene luči lahko osvetljujejo nebo tudi več deset kilometrov daleč. Ker smer snopa ni stalna, to pomeni, da en sam tak snop lahko povsem prepreči možnost kakršnihkoli opazovanj neba tudi v polovici države naenkrat. Samovoljna posameznika, ki si največkrat zgrešeno predstavlja, da tak reflektor večja obisk njegovega zabavišča, tu preprečuje željo večine po mirnem in naravnem okolju. Pripravljalna uredba se - tako kot vse uredbe o svetlobnem onesnaženju po svetu - taki samovolji postavlja po robu.

A searchlight above the capital of Ljubljana. Such focused light sources prevent all observation of the sky several tens of kilometers away. And because Slovenia is small this means a single disco owner can prevent a large part of the population from enjoying a peaceful and natural environment. The forthcoming ordinance justly limits such a reckless behaviour.

Zaključki so enaki kot pri eni sami svetilki. Osvetlitev tal pri uporabi delno in popolnoma zasenčenih svetilk je enaka. Vendar je pri popolnoma zasenčenih svetilkah kontrast bistveno boljši (vidimo le svetilo, pod katerim smo, in prvo naslednje). Ker ne vidimo celega niza svetil pred seboj, nas ta tudi ne motijo pri razpoznavanju slabo kontrastnih objektov (pešcev). Popolnoma zasenčena svetila, ki ne motijo ljudi, pa so prijazna tudi do živali in naše denarnice.

Samo od sebe se postavlja vprašanje, zakaj slovenskih cest ne osvetljujemo s popolnoma zasenčenimi svetilkami. Take svetilke seveda ni nič težje izdelati od delno zasenčenih. Elektrokovina je včasih celo izdelovala tako svetilko, še danes pa s tovrstnimi svetilkami Petrol in nekatere tuje firme osvetljujejo parkirišča okrog nekaterih svojih slovenskih prodajal (glej Sliko 3 v prispevku *Svetlobno onesnaženje v Sloveniji* H. Mikuža). Argument o razprševanju svetlobe z okroglimi delno prozornimi pokrovi ne zdrži strokovne presoje in je tehnološko zastarel. Zgodba je podobna, kot pri avtomobilih. Žarometi avtomobilov starejših letnikov imajo rebrasta razpršilna stekla. Novi avtomobili imajo vsi po vrsti gladka, prozorna stekla, svetlobo

pa mnogo bolje usmerjajo z odbojnimi površinami za žarnico. Verjetno je čas, da tudi na slovenske ceste začnemo nameščati popolnoma zasenčene svetilke, ki bolje osvetljujejo, ne motijo okolja in imajo nižje stroške obratovanja.

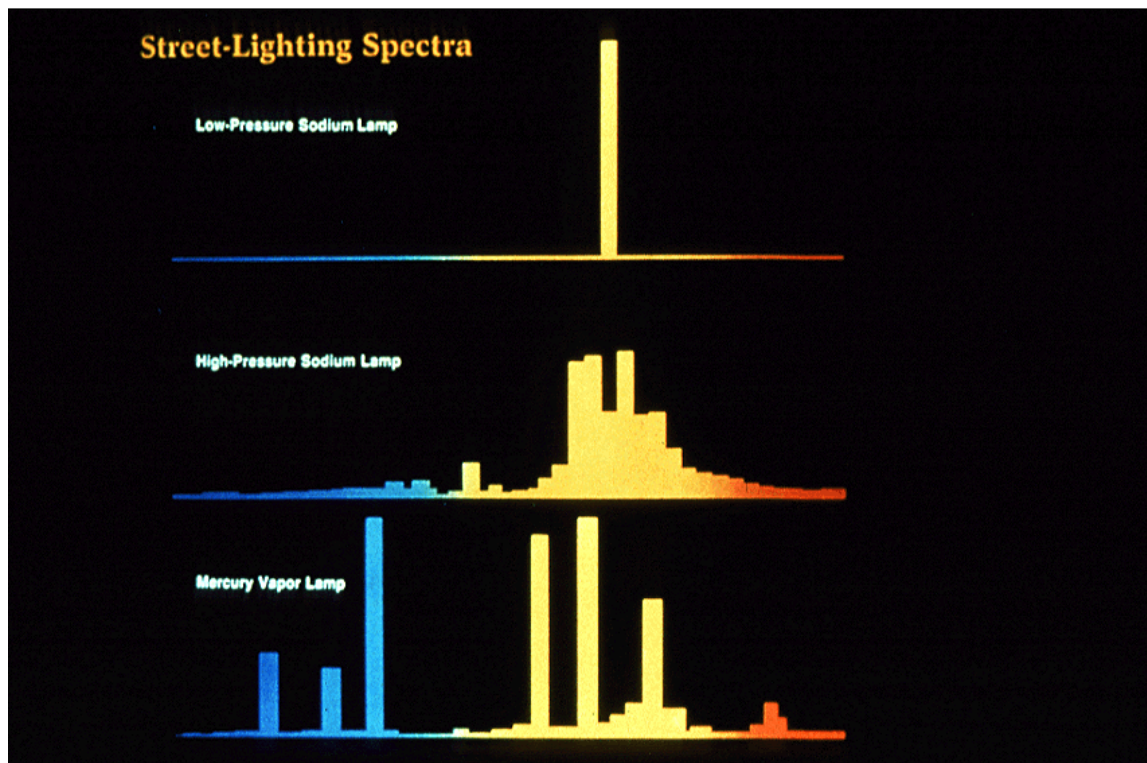
vrsta svetilke	nazivna moč (W)	skupna moč (W)	letna poraba (kWh)	letni stroški za 1 luč (SIT)	letni stroški za 100 luči (SIT)
živosrebrna	175	208	853	14.501	1.450.100
visokotlačna natrijeva	100	130	533	9.061	906.100

**Primerjalni obratovalni stroški za živosrebrno in za visokotlačno natrijevo svetilko:** Primerjamo 175W živosrebrno in 100W visokotlačno natrijevo svetilko. Obe imata približno enak skupni izsev 8000 lumnov. Gre za svetilki, ki se pogosto uporabljata za cestno razsvetljavo. Predpostavljamo 4100 obratovalnih ur letno in ceno 17 SIT/KWh. Pregled stroškov je podan v zgornji tabeli.

Comparison of running costs for a mercury and a high-pressure sodium lamp. The columns give the electrical power, year energy consumption and costs for a single fixture and for a row of 100 lights (illuminating a few kilometers of a road).

### Primerjava s situacijo po svetu

Uredbe o omejevanju svetjenja v nebo so sprejele že številne države. Tako je italijanski zavod za standardizacijo sestavil standard zunanje osvetlitve v smislu omejitve svetjenja navzgor (UNI 10819), v postopku v parlamentu pa je splošna uredba za vso državo. Uredba gradi, podobno kot predpis, ki ga pripravljamo v Sloveniji, na normativih CIE (Commission International de l'Eclairage). Ozemlje Italije razdeli v tri območja. Prvo je varovano območje neposredne okolice profesionalnih astronomskih observatorijev, drugo do 25 km veliko prehodno območje in tretje območje, v katerega sodi vsa preostala država. Za ilustracijo je zanimivo, da so v coni do 25 km v stalni uporabi dovoljena le svetila, katerih emisija nad vodoravnico ne presega 5 odstotkov celotne svetlobne moči. Tudi na vsem preostalem teritoriju predpisujejo svetila z največ 10 odstotki emisije nad vodoravnico. Taki predpisi v osnovi prepovedujejo svetenje navzgor z močnimi usmerjenimi curki svetlobe ("laserji"). Zelo podobne mejne vrednosti predpisuje tudi Mednarodna zveza za razsvetljavo (CIE 97-02-21). Tako ureditev priporočajo tudi Navodila za preprečevanje urbanega osvetljevanja neba, ki jih je sprejela Mednarodna astronomska unija (Cayrel et al. 1980, IAU/CIE No.1). Vsi omenjeni dokumenti tudi navajajo priporočila glede vrste uporabljenih svetilk.



**Spektralne karakteristike svetilk, ki se najpogosteje uporabljajo za javno razsvetljavo.** Od zgoraj navzdol so nanizani spektri nizkotlačne natrijeve svetilke, visokotlačne natrijeve in živosrebrne svetilke. Prva svetilka seva večino svetlobe pri 580nm, kar je z vidika astronomskih opazovanj zelo ugodno, saj lahko to emisijsko črto eliminiramo z uporabo ozkopasovnega filtra. Nekoliko bolj razpršeno emisijo imajo visokotlačne natrijeve svetilke, medtem ko imajo živosrebrne svetilke emisijske črte razporejene preko celega vidnega spektra in celo v ultravijoličnem in jih je praktično nemogoče filtrirati.

Spectral characteristics of low-pressure sodium, high-pressure sodium and mercury lamps. Ultra-violet emissions of mercury lamps are particularly harmful to the environment.

V splošnem so najbolj priporočene nizkotlačne natrijeve luči. Te sevajo le v ozkem delu spektra v rumeni svetlobi, kjer skoraj ne motijo astronomskih opazovanj (lahko uporabimo ustrezne filtre) in so relativno neprilčne za insekte. Po primernosti za okolje jim sledijo visokotlačne natrijeve žarnice, katerih spekter emisije je širši in zato bolj moteč. Vsi omenjeni dokumenti enoglasno odsvetujejo uporabo živosrebrnih in halogenskih svetil. Razlog je močna emisija v skrajno vijoličnem delu spektra, delno celo zunaj vidnega območja, kjer njihova svetloba ljudem ne koristi, je pa zelo moteča za žuželke. Poleg tega sevajo živosrebrne svetilke v številnih valovnih dolžinah in zato njihove svetlobe ni mogoče filtrirati, moti pa tudi kratka življenska doba in spreminjanje njihovih lastnosti s staranjem.

Tudi ZDA varujejo številna območja, zlasti v okolici nacionalnih parkov in astronomskih observatorijev. Tako so v Tucsonu v Arizoni v uporabi le popolnoma zasenčene luči, uporaba promocijskih panojev je časovno omejena na večerne ure. Z zasenčenimi lučmi opremljajo celo take metropole, kot je Los Angeles. Tudi v San Diegu bodo v nekaj letih zamenjali vse svetilke z zasenčenimi. Priporočila Mednarodne zveze za razsvetljavo in Mednarodne astronomske unije priporočajo

časovno omejeno delovanje promocijskih panojev in dekorativne razsvetljave stavb. Pri slednjem svetujejo uporabo več šibkejših, usmerjenih reflektorjev in uporabo preprostih rešetk, ki preprečujejo svetenje mimo objekta v nebo. Zaradi boljše niansiranega kontrasta je tako osvetljena stavba tudi lepša na pogled. Več podrobnosti o normativni ureditvi po svetu in priporočilih mednarodnih organizacij je na voljo na naših spletnih straneh na naslovu <http://www.fiz.uni-lj.si/astro/DSSi>

## **Namesto zaključka**

Osnovno vodilo je vseskozi enako. Naj bo dovolj svetlobe tam, kjer in kadar jo potrebujemo, neželjeno svetenje pa je treba omejiti. Preprosta uporaba popolnoma zasenčenih svetilk, prepoved direktnega svetenja v nebo z usmerjenimi svetili ter razumna uporaba dekorativne razsvetljave stavb in reklamnih panojev je vse, kar je potrebno narediti.

Včasih so rezultati tako dobri, da se vprašamo, zakaj k sanaciji nismo pristopili že prej. Primer domače uspešne sanacije opisujeta H. Mikuž in B. Arčon v tem zborniku. Okolju in ljudem prijazno osvetlitev najdemo tudi marsikod po svetu. Ko sem se pred leti vračal z astronomskih opazovanj na Evropskem južnem observatoriju v Čilu, sem se zvečer s taksijem peljal po ulicah mesta La Serena, obmorskega mesta velikosti našega Kranja. Ulice so bile lepo razsvetljene, promet živahen, izložbe trgovin so vabile pozne kupce v večernem hladu puščavske Atakame. Presenečenje je nastopilo uro kasneje, ko sem sedel v letalu, ki je višino za polet proti Santiagu nabiralo ravno nad mestom. Mesta skoraj nisem našel! Le medli kolobarji so govorili o popolnoma zasenčenih lučeh, ki so svetile na asfalt in travo pod njimi. Tedaj mi je postalo jasno, da astronomi nikogar ne želimo potisniti v temo. Pomembno je le pravilno osvetljevanje, pa se bomo vsi počutili bolje. In temu je tudi namenjena uredba, o kateri govori pričujoči zbornik.