

Astronomsko društvo Vega

Bela svetloba ponoči

Predstavitev za Repatice in komete

Gregor Vertačnik

Ljubljana, januar 2011

Kazalo

- Kaj je svetlobno onesnaženje?
- Širjenje svetlobnega onesnaženja
- Dnevni in nočni vid
- Sipanje svetlobe v ozračju
- Rayleighovo sipanje
- Umetna svetila in barvni spekter
- Negativni vpliv svetil na prometno varnost
- Vpliv svetil na melatonin in spanje
- Vpliv svetil na nočne živali
- Umetno povečanje sija neba
- Monitoring svetlobnega onesnaženja
- Nekaj primerov slabe prakse današnje civilizacije

Kaj je svetlobno onesnaženje?



- svetlobno onesnaževanje je dvig nivoja naravne osvetljenosti okolja, ki ga povzročajo umetni viri svetlobe
- človek spreminja noč v dan
- prvi na problem začeli opozarjati astronomi, nato biologi in zdravniki
- številne negativne posledice:
 - povečan nočni sij neba
 - moten ritem nočnih živali
 - moten bioritem pri človeku (spanje!)
 - bleščanje
 - vpliv na okolje in denarnico prek porabe električne energije

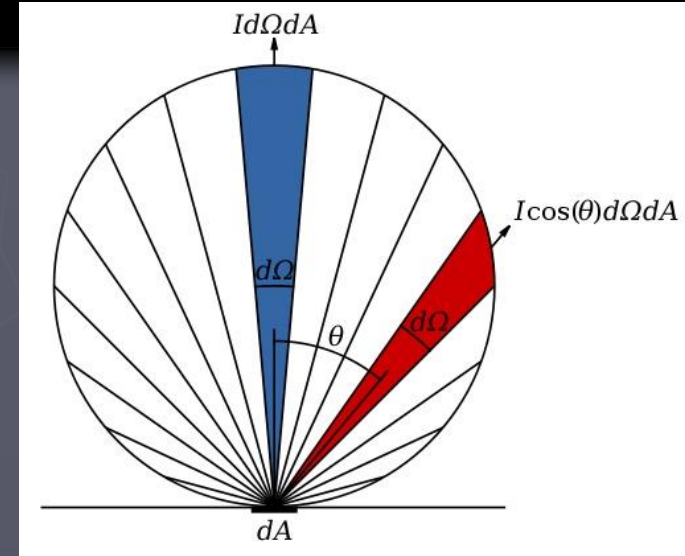


Neprimerno nameščena razsvetljava povzroča veliko svetlobno onesnaženje. Foto: Andrej Mohar

Širjenje svetlobnega onesnaženja



- dve vrsti onesnaženja glede na izvor:
 - odbita svetloba, svetenje navpično v nebo
 - svetlobni snop tik nad vodoravnico
- relativna pomembnost obeh vrst odvisna od:
 - tipa svetil
 - reliefa
 - albeda površja
 - lastnosti ozračja



Jakost odboja od tal po Lambertovem zakonu. Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Lambert%27s_cosine_law

Oblaki močno povečajo svetlobno onesnaženje.
Foto: Gregor Vertačnik



- svetlobni snop tik nad vodoravnico lahko prepotuje veliko razdaljo → najučinkovitejše širjenje svetlobnega onesnaženja
- 1° & 5 km visoko → 165 km stran od izvora
- 5° & 5 km visoko → 55 km stran od izvora



Shematski prikaz širjenja svetlobe tik nad vodoravnico.
Vir: <http://www.temnonebo.org/>

- Bari s svojo razsvetljavo vpliva na svetlost 180 km oddaljenega Lastova!
- 1 % svetlobe tik nad vodoravnico → do okoli 100 % večje svetlobno onesnaženje
- lombardijski tip zakona prepoveduje svetenje nad vodoravnico!

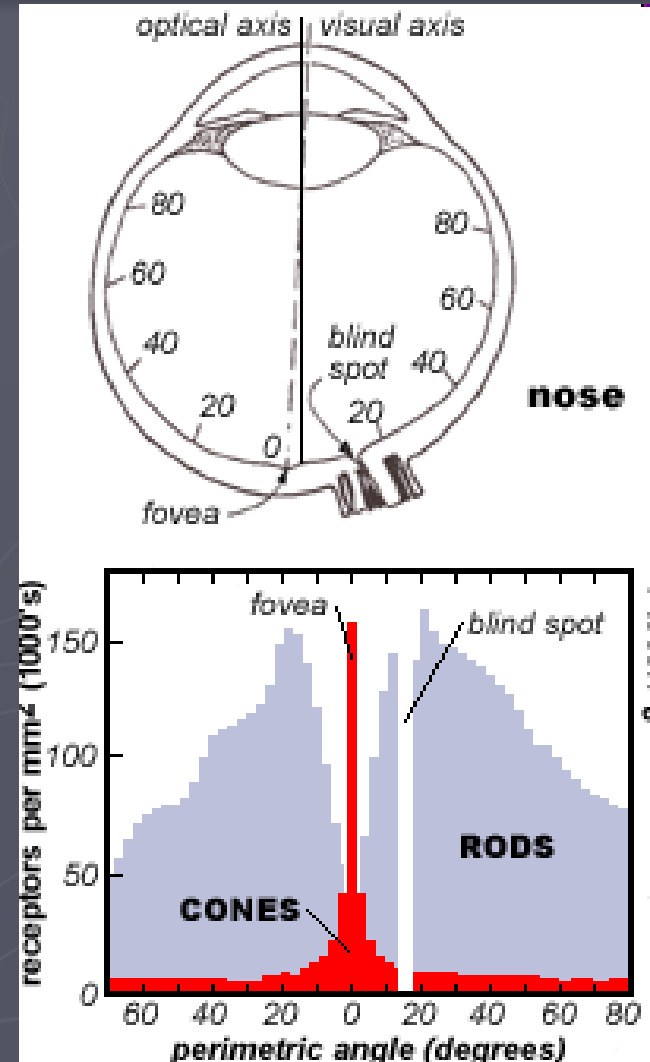


Rahlo osvetljeno južno obzorje na Lastovem. Foto: Gregor Vertačnik

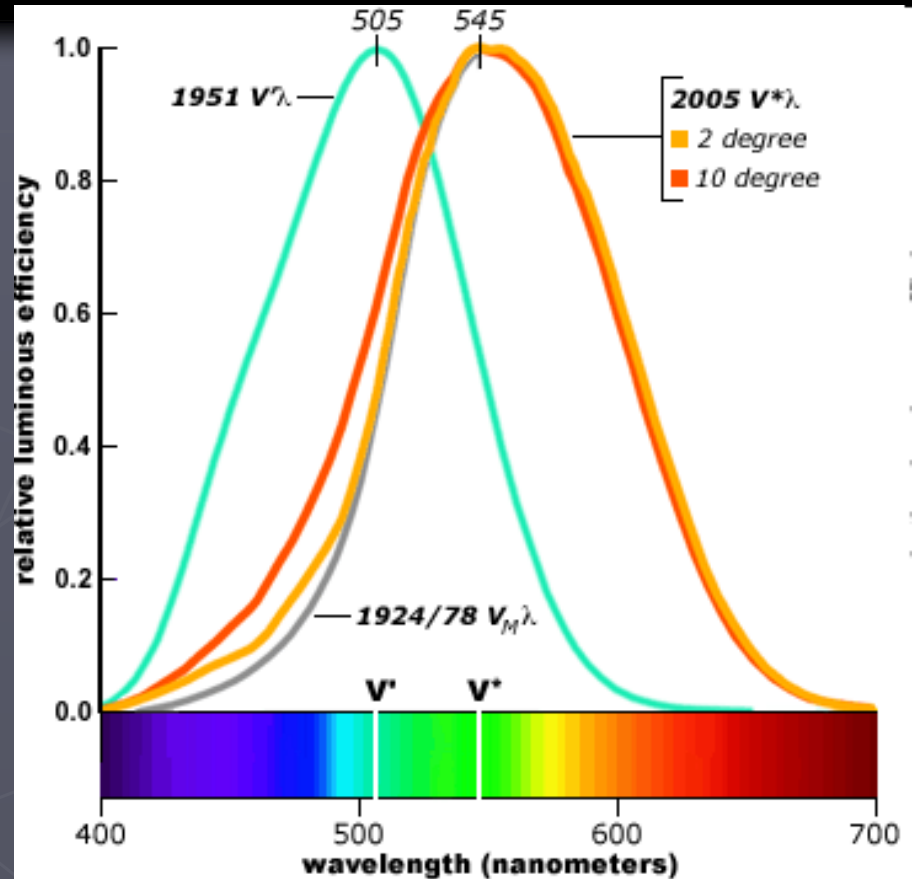
Dnevni in nočni vid

- fotopski (barvni) in skotopski ("v temi") način gledanja
- tri vrste čepkov, ena vrsta paličic
- 6 milijonov čepkov, 100 milijonov paličic
- nočni način z 20x slabšo maksimalno ločljivostjo
- posredno gledanje, $\sim 20^\circ$ iz osi

Porazdelitev fotoreceptorjev na mrežnici. Vir:
<http://www.handprint.com/HP/WCL/color1.html>



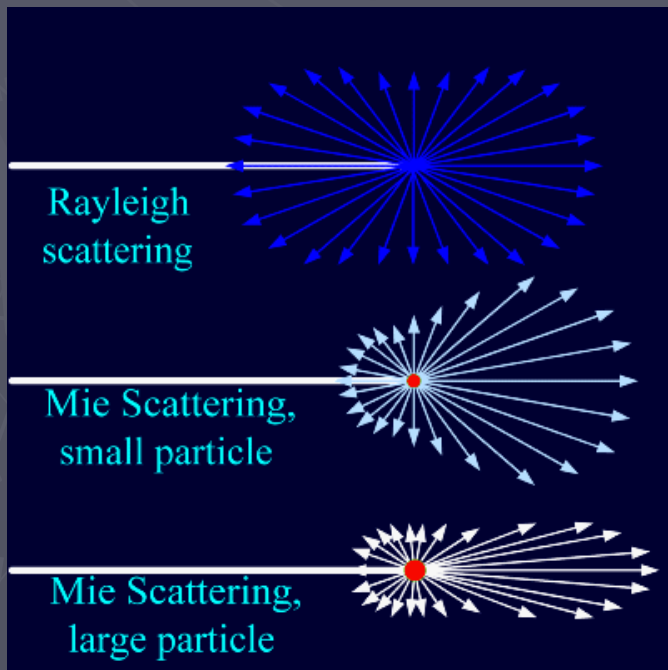
- nočni način pod $0,03 \text{ cd/m}^2$ (kvečjemu svetloba Luninega krajca)
- vrh občutljivosti v modrozelenem delu spektra (505 nm)
- paličice zelo slabo občutljive za rdečo svetlobo
- polna prilagoditev na temo traja ~ 30 minut
- astronomi, podmorničarji in nekateri piloti uporabljajo (ali so) rdeče luči:
 - dnevna ostrina
 - nočna občutljivost



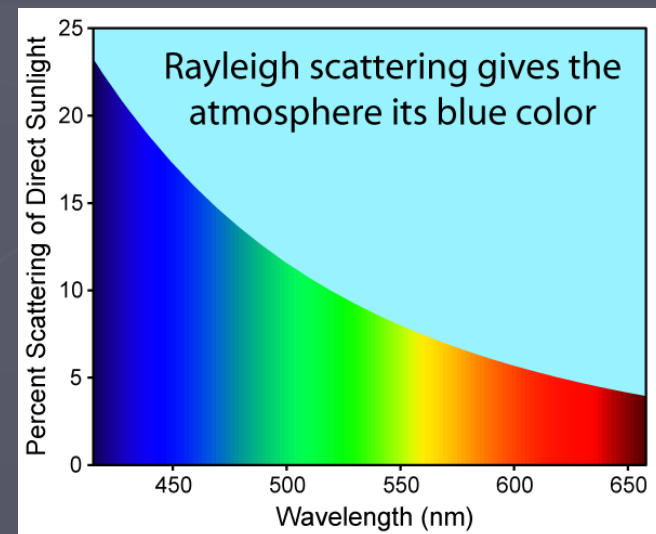
Fotopska in skotopska krivulja občutljivosti. Vir: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color1.html>

Sipanje svetlobe v ozračju

- svetloba se sipa na delcih v ozračju (skupki molekul) in aerosolih
- Rayleigh-jevo in Mie-jevo sipanje
- v jasnem ozračju mešanica obeh tipov sipanja



Miejevo sipanje kaže močno kotno odvisnost. Vir: <http://www.deepocean.net/deepocean/pictures/science/visibility/scatter01.gif>



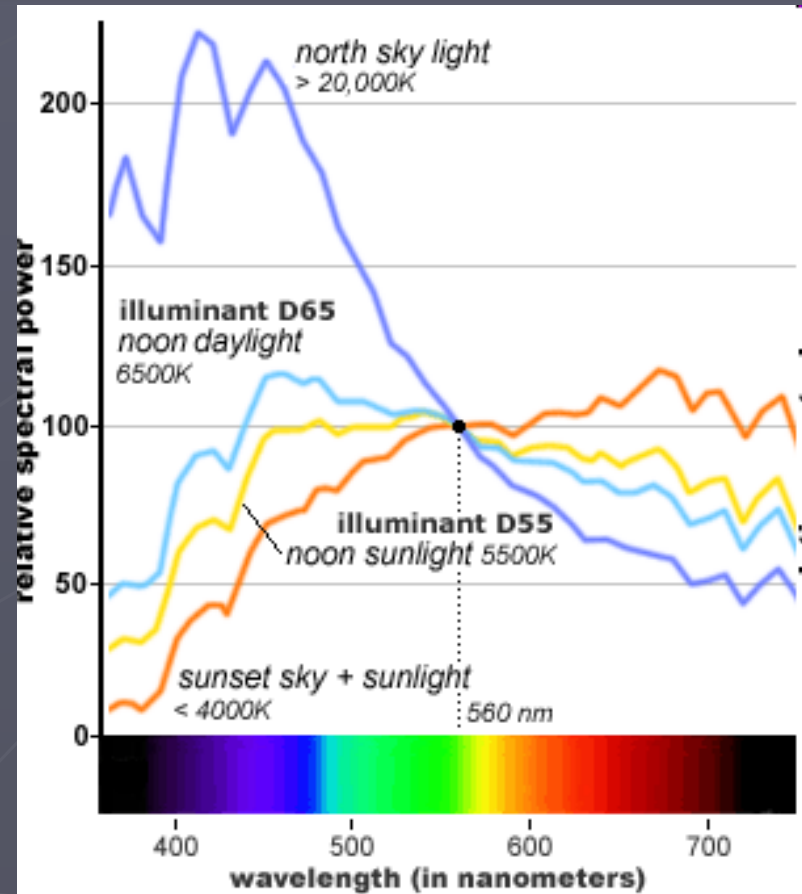
Glavna lastnost Rayleighovega sipanja – odvisnost od valovne dolžine. Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering

Rayleighovo sipanje

- valovna dolžina veliko večja od velikosti sipalnega delca

$$I = I_0 \frac{1 + \cos^2 \theta}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left(\frac{d}{2} \right)^6$$

- šibka kotna odvisnost
- sipanje sorazmerno četrti potenci frekvence svetlobe
- prevladuje v jasnem, modrem nebu
- rdeča zarja posledica filtiranja modrega dela spektra v ozračju



Nekaj normaliziranih naravnih spektrov. Vir: <http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/surfi ntens.gif>

Umetna svetila in barvni spekter



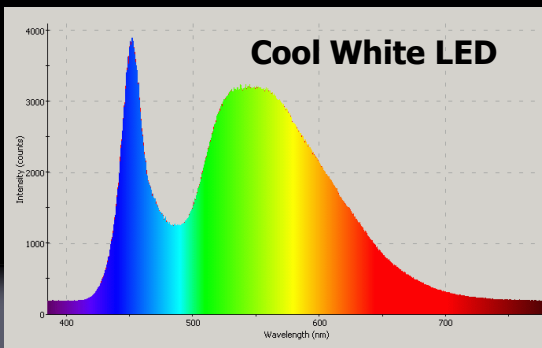
- natrijeve sijalke z rumenkasto svetlobo so še vedno oziroma so bile najpogostejši tip v zunanji javni razsvetljavi
- dandanes industrija razsvetljave oglašuje svetilke z belo svetlobo zaradi boljše barvne reprodukcije in domnevno boljšega svetlobnega izkoristka
- edina večja pomanjkljivost natrijevih sijalk je pomanjkljiva barvna reprodukcija
- spekter metalhalogenidnih in LED svetil je hladen, bogat v modri barvi



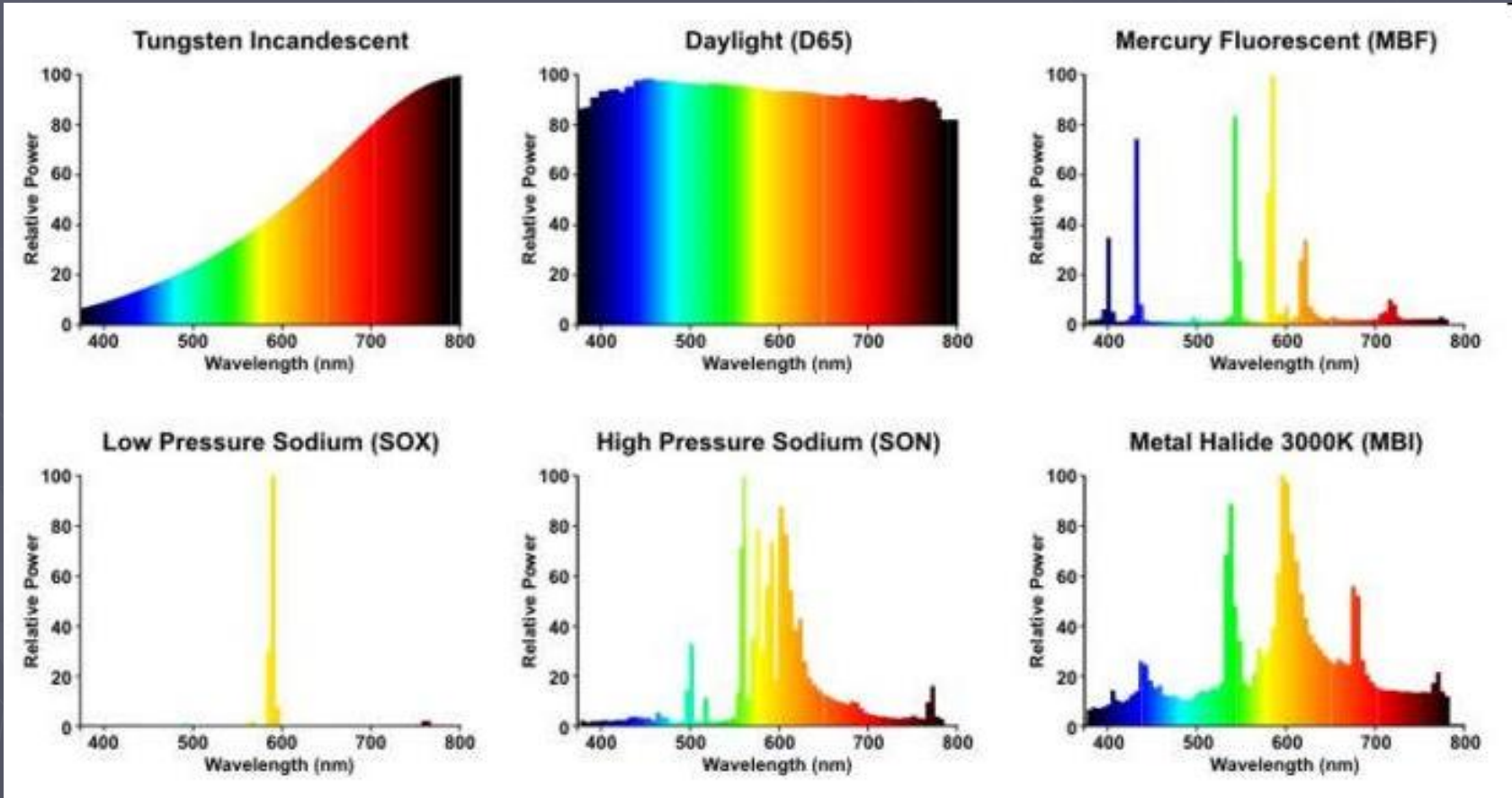
Bela svetloba LED svetila. Source: blog.yert.com



Visokotlačna natrijeva svetilka.
Foto: Gregor Vertačnik



Spekter "Cool White Cree LED" . Vir:
<http://www.candlepowerforums.com/vb/showthread.php?t=185217&page=2>

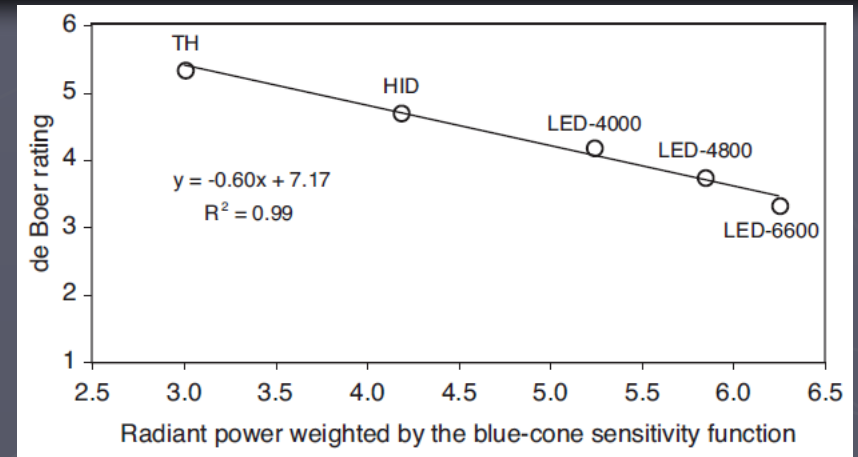


Spekter nekaterih svetil. Vir:
<http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO2%20Spectral.htm>

- slabosti belih svetil:
 - večinoma slabša fotopska učinkovitost (lum/W) od natrijevih svetil
 - več bleščanja (sipanje v očesu)
 - močnejši vpliv na nočno življenje živali
 - zdravstveni problemi (melatonin)
 - povečano Rayleighovo sipanje v ozračju
 - hitrejša prekinitev nočnega načina gledanja

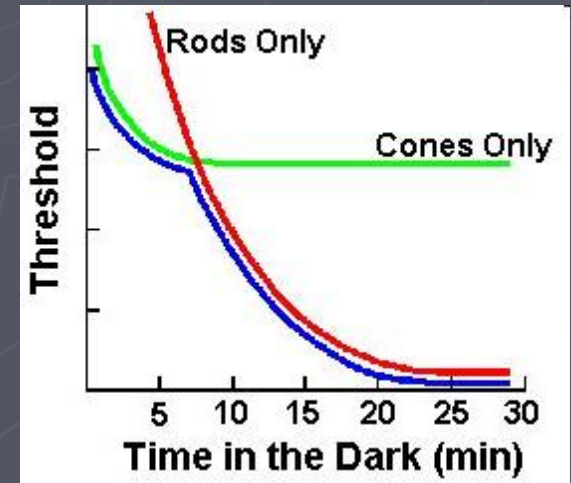
Negativni vpliv svetil na prometno varnost

- močnejše sipanje modre svetlobe v očesu
- manjši vir svetlobe → večje bleščanje (LED)
- zlasti pomembno za starejše, ker se bleščanje močno poveča
- razmeroma šibki izvori modre svetlobe deloma ali popolnoma odpravijo prilagoditev očesa na temo (zasičenje palčk)
- popolna prilagoditev na temo traja 30-45 minut



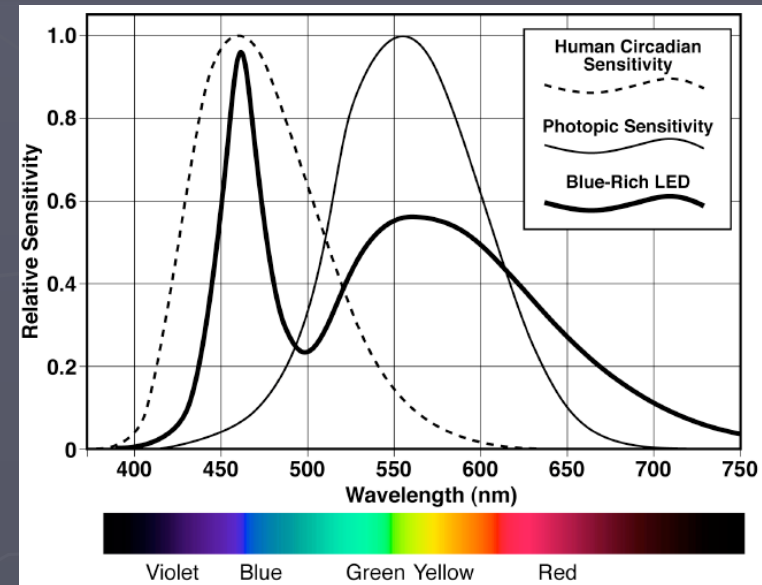
Odvisnost neprijetnosti bleščanja od "deleža" modre svetlobe v svetilu. Vir: Sivak in sod., 2005

Časovno prilagajanje vida v temi. Vir: <http://www.visualexpert.com/Resources/nightvision.html>



Vpliv svetil na melatonin in spanje

- antioksidant in hormon melatonin uravnava dnevni (cirkadialni) ritem, zaviralec raka na dojkah in nekaterih drugih vrst raka
- mejna vrednost svetlosti za znaten vpliv na nastajanje melatonina ni točno znana:
 - 0,4 fotopskih luksov modre svetlobe (Glickman, Levin and Brainard 2002)
 - < 1.5 lx modre svetlobe dovolj za budnost v običajnem času spanja (Lockley, Evans, Scheer in sod., 2006)
 - < 100 lx bele svetlobe (LRC, 2004)
 - močnejši vpliv bele ali modre svetlobe
- Mednarodna agencija za raziskave raka pri WHO: "... delo v izmenah, ki vključuje motnje cirkadialnega ritma, verjetno rakotvorno za ljudi"



Modri vrh v spektru LED sovpada z vrhom občutljivosti za cirkadialni ritem. Vir: IDA, 2010

Vpliv svetil na nočne živali

- nekatere nočne živali (ptice) se orientirajo po Luni → dovolj svetla luč posnema Luno, motene selitve
- žuželke se ujamejo v svetlobo luči → izčrpanost, moteno razmnoževanje, izpostavljenost plenilcem
- večča *Heliothis zea* občutljiva že na 0,05 lx (Frank, 2005)
- v splošnem najbolj problematična svetila z velikim deležem UV in tudi modre svetlobe (Hg, MH, fluorescentne, LED?)
- daljnosežni vpliv na razmerje plen-plenilec



Žuželke ujete v svetlobno past kroglaste svetilke.

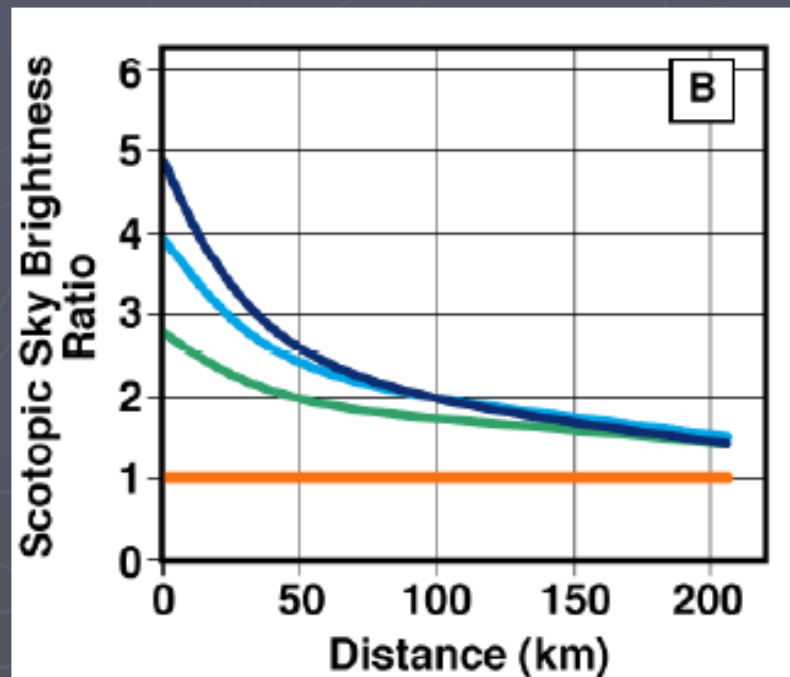
Umetno povečanje sija neba

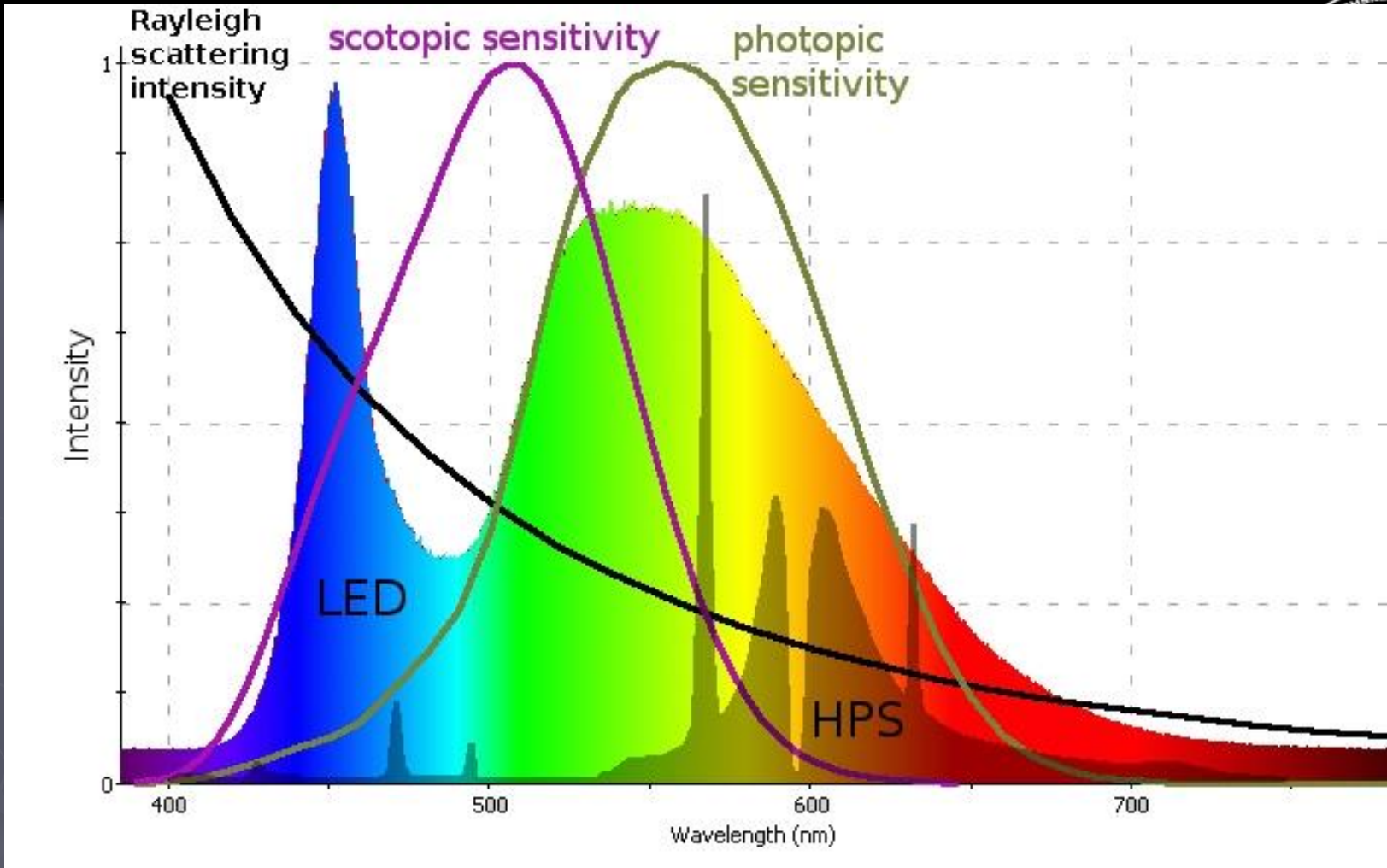
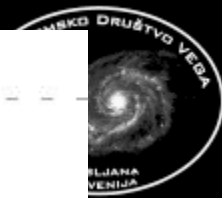
- ponoči ($< 0,01 \text{ cd/m}^2$ ali $0,1 \text{ lx}$) oko najbolj občutljivo v modrozelenem delu spektra
- Rayleighovo sipanje v modrem delu spektra bistveno močnejše ($\sim 1/\lambda^{4,2}$)
- modra svetloba povzroča večje svetlobno onesnaženje!

Skotopski sij neba svetil s 480, 500 in 520 nm glede na HPS. Vir: IDA, 2010



Razsvetljeno nočno nebo nad Golovcem, v noči s 1./2. september 2005. Foto: A. Mohar in H. Mikuž

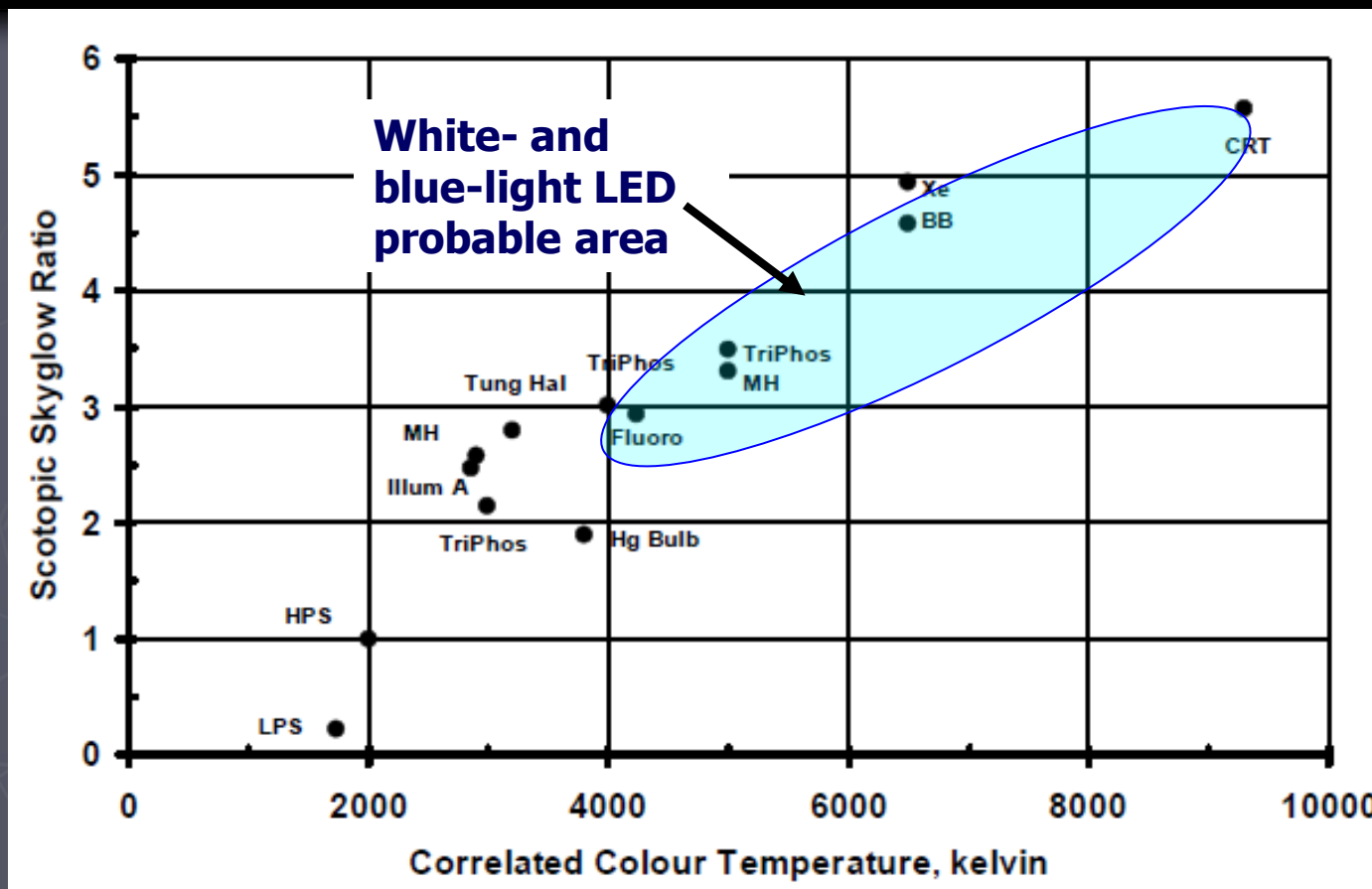




Spekter tipičnega LED svetila in visokotlačne natrijeve sijalke – primerjava glede na funkcijo občutljivosti očesa in stopnjo Rayleighovega sipanja. Spektra nista v enakem merilu. Slika temelji na:

- http://en.wikipedia.org/wiki/File:High_Pressure_Sodium_Lamp_Spectrum.jpg,
- <http://cvision.ucsd.edu/lumindex.htm>,
- <http://www.candlepowerforums.com/vb/showthread.php?t=185217&page=2>

Najvidnejša posledica splošne uvedbe belih, zlasti pa modrikastih svetil bo (bi bilo) **MOČNO POVEČANJE SVETLOBNEGA ONESNAŽENJA!!!**



Relativni skotopski sij neba za različne svetlobne vire glede na visokotlačno natrijevo svetilko. Vir: Clark, 2009 (str. 108), <http://www.asv.org.au/dmdocuments/lp181v251.pdf>

Monitoring svetlobnega onesnaženja



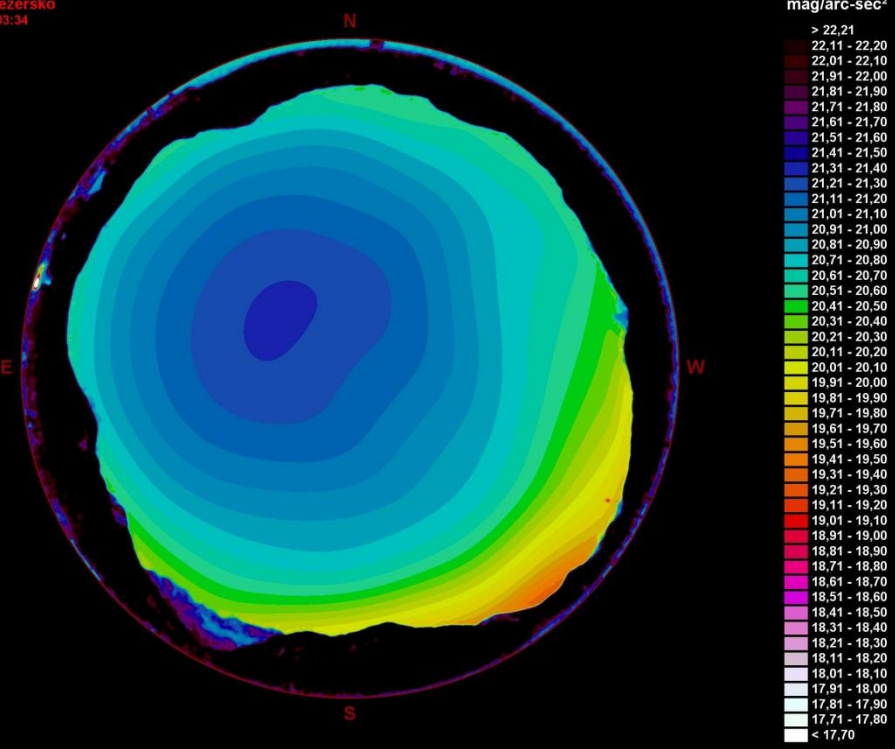
- astronomi merimo sij neba, tudi sistematično (observatorij Črni Vrh nad Idrijo)
- številni astronomi amaterji po svetu uporabljajo Sky Quality Meter ali Lightmeter
- svetlost neba se običajno meri v $\text{mag}/''^2$



Lightmeter – sončna celica. Vir: <http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Lightmeter>

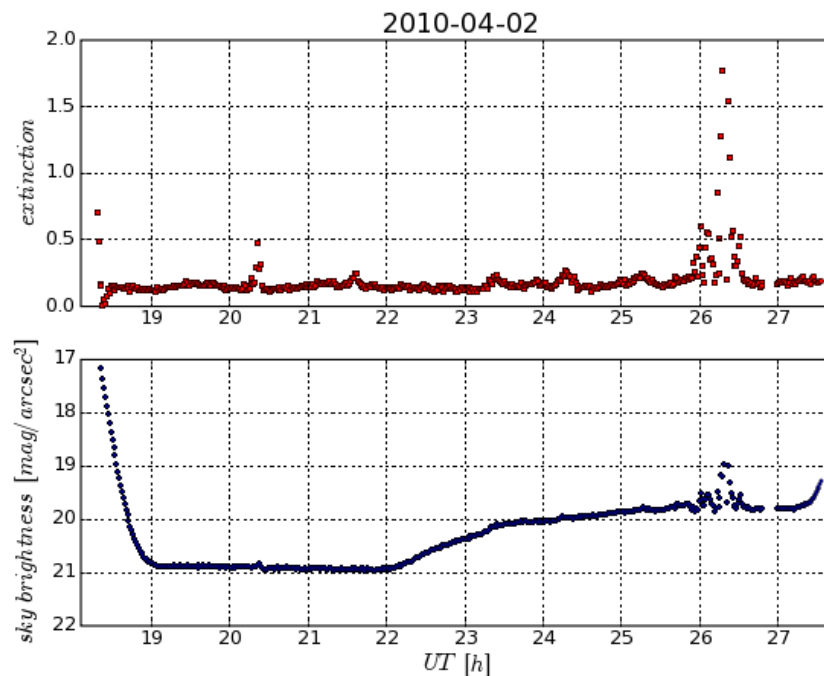


Sky Quality Meter. Vir: <http://www.unihedron.com/projects/darksky/sqmback.jpg>



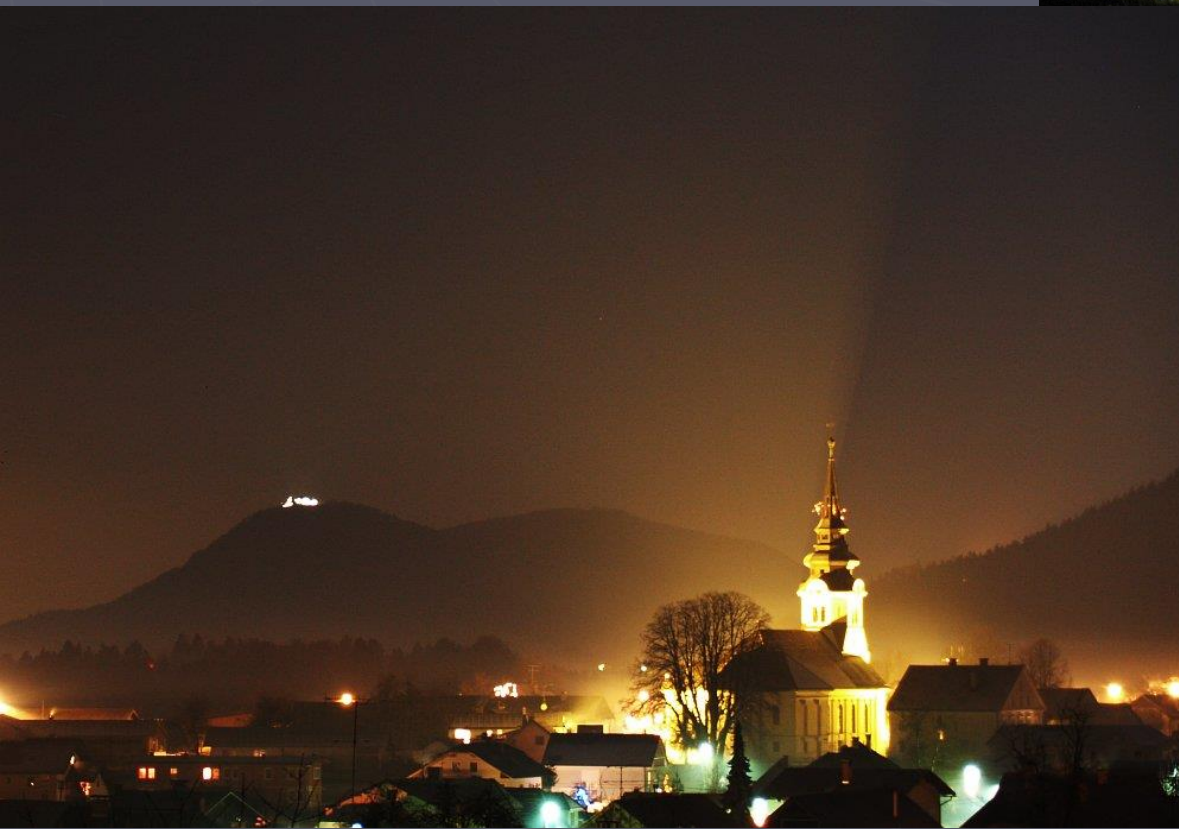
Svetlost neba nad Jezerskim, 21. 1. 2010, računalniško obdelana fotografija DSLR fotoaparata. Vir: Temno nebo Slovenije

Ekstinkcija in sij neba na observatoriju Črni Vrh nad Idrijo v noči z 2. na 3. april 2010. Vir: Observatorij Črni Vrh nad Idrijo



Nekaj primerov slabe prakse današnje civilizacije

1) nepotrebno in potratno osvetljevanje kulturnih spomenikov



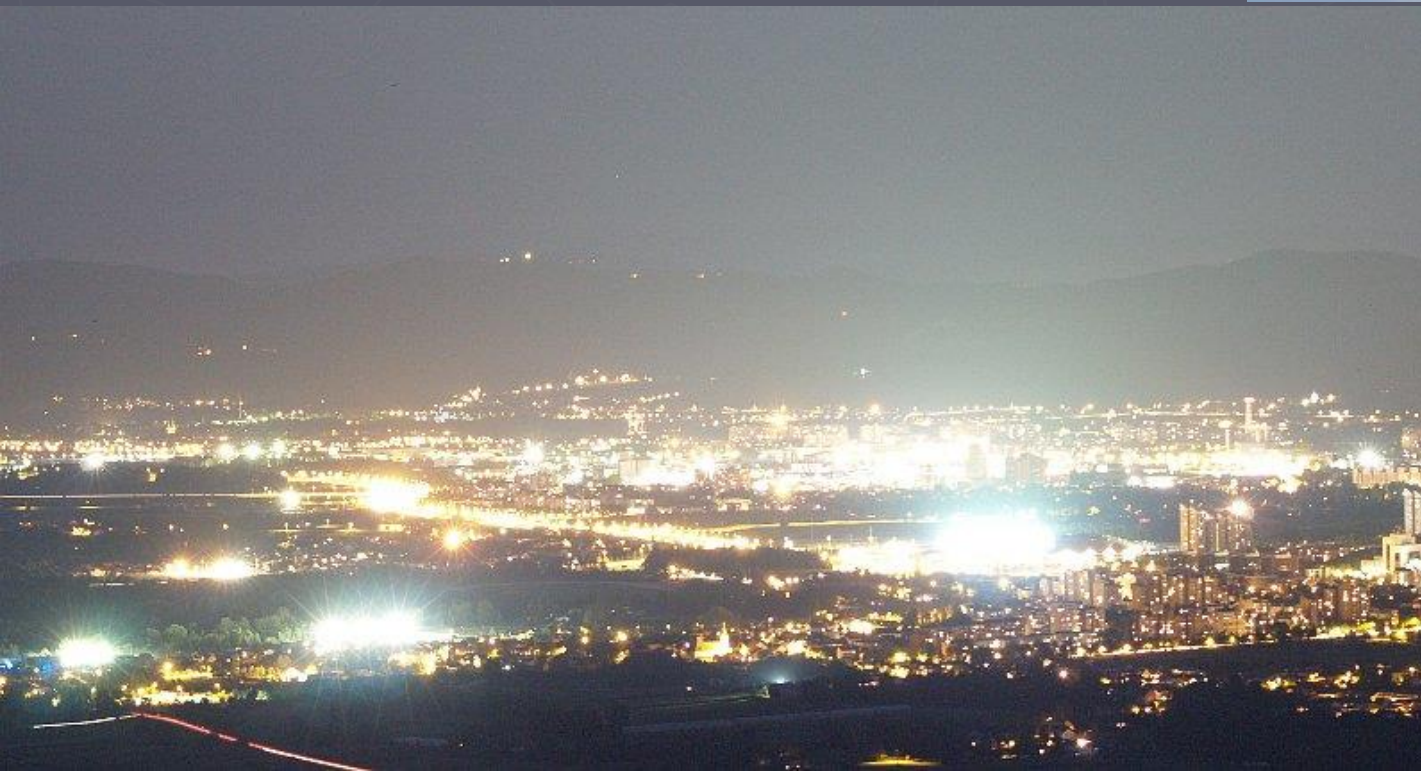
- poraba električne energije
- motnja za voznike
- moten življenjski ritem nočnih živali
- povečan sij neba

2) reklamni panoji postajajo vse večji problem



- vse večja številčnost
- premočna in neprimerna osvetljenost
- večinoma se ponoči ne ugašajo
- moteče za voznike

3) tudi osvetljena športna igrišča niso nezanimljiv problem ...



- racionalna osvetlitev
- zasenčene svetilke

Najlepša hvala za vašo pozornost!



... in upajmo na boljšo, ne "svetlejšo" prihodnost



Viri in literatura

- Dark-Sky Slovenia, <http://www.temnonebo.org/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering
- http://en.wikipedia.org/wiki/Scotopic_vision
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/vision/bright.html>
- <http://www.handprint.com/HP/WCL/color1.html>
- Clark, Barry A. J., 2009. A rationale for the mandatory limitation of outdoor lighting, 111 pp. Na spletu: <http://www.asv.org.au/dmdocuments/lp181v251.pdf>
- Temno nebo Slovenije, 2009. Svetlobno onesnaženje in energetska učinkovita zunanja razsvetljava. Priročnik za občine podjetja in ustanove. Ljubljana, 25 strani. Na spletu: <http://www.temnonebo.org/uploads/Gradivo/Prirocnik2009.pdf>
- <http://www.visualexpert.com/Resources/nightvision.html>
- International Dark-Sky Association, 2010. Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting. 23. str. Na spletu: http://docs.darksky.org/Reports/IDA_Blue-Rich_Light_White_Paper051710.pdf
- <http://www.pc.ibm.com/www/healthycomputing/vdt19d.html>
- Sivak, M., Schoettle, B., Takako, M., Flannagan, M.J., 2005. Blue content of LED headlamps and discomfort glare. The University of Michigan, Transportation Research Institute, 18. str. Na spletu: <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/57444/1/98625.pdf>
- Posch, T., Freyhoff, A., Uhlmann, T., 2009. Das Ende der Nacht. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 151 str.
- Dark-Sky Slovenia, <http://www.temnonebo.org/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering
- http://en.wikipedia.org/wiki/Scotopic_vision
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/vision/bright.html>
- <http://www.handprint.com/HP/WCL/color1.html>
- Clark, Barry A. J., 2009. A rationale for the mandatory limitation of outdoor lighting, 111 pp. Na spletu: <http://www.asv.org.au/dmdocuments/lp181v251.pdf>
- Temno nebo Slovenije, 2009. Svetlobno onesnaženje in energetska učinkovita zunanja razsvetljava. Priročnik za občine podjetja in ustanove. Ljubljana, 25 strani. Na spletu: <http://www.temnonebo.org/uploads/Gradivo/Prirocnik2009.pdf>
- <http://www.visualexpert.com/Resources/nightvision.html>
- International Dark-Sky Association, 2010. Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting. 23. str. Na spletu: http://docs.darksky.org/Reports/IDA_Blue-Rich_Light_White_Paper051710.pdf
- <http://www.pc.ibm.com/www/healthycomputing/vdt19d.html>
- Sivak, M., Schoettle, B., Takako, M., Flannagan, M.J., 2005. Blue content of LED headlamps and discomfort glare. The University of Michigan, Transportation Research Institute, 18. str. Na spletu: <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/57444/1/98625.pdf>
- Posch, T., Freyhoff, A., Uhlmann, T., 2009. Das Ende der Nacht. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 151 str.