

# Zvuk a světlo

jako závažné polutanty

*Jan Hollan*

CzechGlobe –

Ústav výzkumu globální změny

AV ČR, v.v.i

a

Ústav ochrany a podpory zdraví  
Masarykova Univerzita, Brno



# Co je to znečištění?

- před staletími: jen náboženský pojem
- 60. léta: **toxické přídavky do prostředí**
- nyní: změna oproti přirozenému stavu
- – jestli škodlivá pro nás nebo jiné organismy, to může být těžké zjistit

# Hluk kdysi a dnes

- jak se dostat zpět k neškodným úrovním?

# Co je to hluk?



# Hluk – různé významy

- silný zvuk
- zvuk bez rozlišitelných tónů, bez melodie
- jakýkoliv zvuk, který nechceme slyšet
- protiklad ticha
- Noise – tíž kořen jako Nausea

# Hluk / Zvuk = Sound

- Sound pollution?
- (sound: OK, good, healthy, reasonable...)
- proto se v angličtině užívá jen
  - Noise pollution
- nebo
  - Acoustic pollution, akustické znečištění

# Hluku přibývá

- Jaké jsou jeho zdroje?
- pozadí: přírodní jevy
- starobylé antropogenní zdroje
- industriální zdroje v 19. století a dále
- ... a ve 21.

# Nedostatek ticha

a jev, kdy na něj mají lidé návyk



# Fyzika zvuku

- kolísání tlaku
- tok energie: druhá mocnina amplitudy tlaku

# Weberův-Fechnerův zákon

- to, co vnímáme je poměr podnětů
- - a tedy přírůstek
  - logaritmu
    - podnětu

# Kvantifikace

- $L_p = 10 \text{ dB} \cdot \log(p^2/p_0^2)$ 
  - $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$
- $L_I = 10 \text{ dB} \cdot \log(I/I_0)$ 
  - $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
- To je pro 1000 Hz...

# Co to je 1000 Hz?

- a jaké spektrální složení mají reálné zvuky,
- jako lidská řeč?
- ...**from Voice type** na Wikipedii:



# Co to je 1000 Hz?



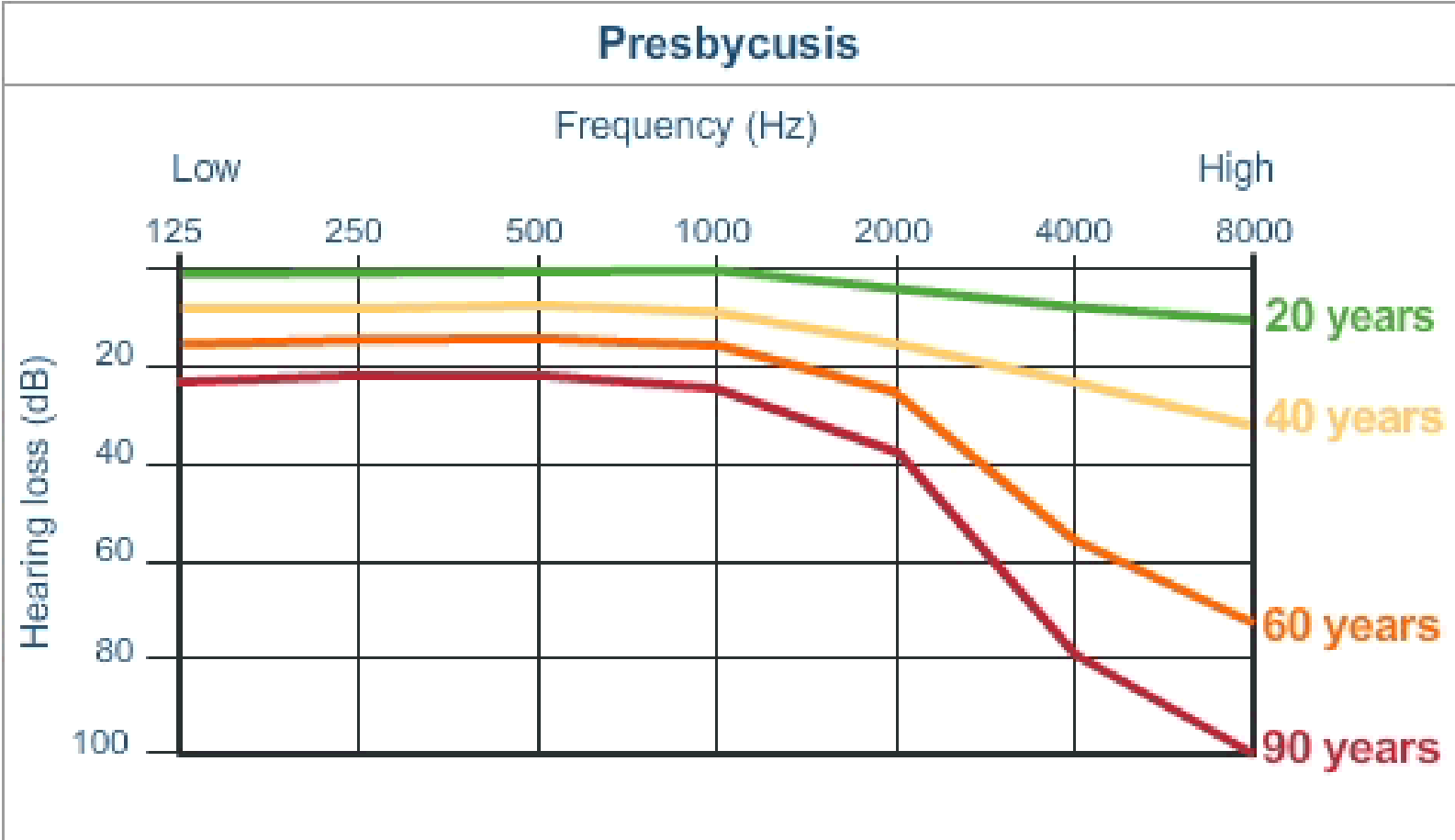
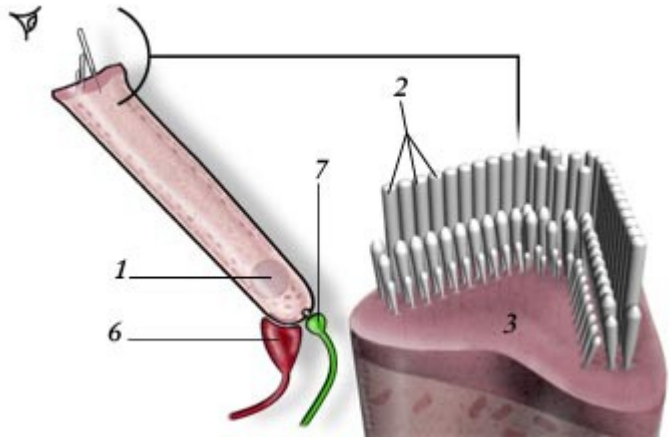
z <http://onlinetonegenerator.com>



# Poškození vláskových buněk

- čili systému zesílení až  $10^5$  x (50 dB), zejména vysokých frekvencí:
- <http://www.cochlea.org/en/noise>
- <http://www.cochlea.eu/en/pathology/presbycusis>
- (o oněch buňkách:  
<http://www.cochlea.eu/en/hair-cells> )

# Presbyakuze



# Některé hladiny hlasitosti

- sbíječka 1 metr daleko 115
- ruční cirkulárka 1 metr daleko 115
- sekačka trávy 1 metr daleko 92
- náklad'ák při 50 km/h, 20 m daleko 85
- osobní auto 60 km/h, 20 m daleko 65
- rozhovor 1 metr daleko 55
- tichý pokoj 40
- ... a jak to je s nižšími hladinami?



# Desetkrát, dvakrát, třikrát...

- Kolika decibelům to odpovídá?

# o 5 dB více, to je nějaký poměr hustot toků energie

- a dalších 5 dB ten stejný poměr,
- dohromady je to 10 dB, čili 10x více,
- 5 dB je tedy odmocnina z toho, čili zhruba
- poměr 3:1:
- 5 dB znamená (jen o trochu více než)
- 3x více
- 
- a 3 dB, 6 dB, 9 dB?

# o 5 dB více, to je nějaký poměr hustot toků energie

- a dalších 5 dB ten stejný poměr,
- dohromady je to 10 dB, čili 10x více,
- 5 dB je tedy odmocnina z toho, čili zhruba
- poměr 3:1:
- 5 dB znamená (jen o trochu více než)
- 3x více
- 
- a 3 dB, 6 dB, 9 dB?
- **2x, 4x, 8x**
- (ted' umíte interpolovat mezi 1 a 10 na logaritmické ose...)

# Zdravotní důsledky

- [en.wikipedia.org/wiki/Noise\\_health\\_effects](https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_health_effects)
- zhoršení sluchu – oproti hodnotám odpovídajícím věku
  - (nejvíce ovlivněny jsou vysoké kmitočty, ztráta schopnosti porozumět řeči)
- tinnitus
- hypertenze
- kardiovaskulární
- nepohodlí, hněv
- poruchy spánku

# Dobře spát?

- To vyžaduje tmu a ticho!

# Technická opatření proti hluku

- bariéry proti jeho šíření
  - a co už nezvládnou a kdy vadí
- snížení emisí
  - někdy stačí dobrá vůle
- tolerance není na místě

# Světlo jako polutant

- Light pollution – no heavy issue?
- Světelné znečištění:
- každé světlo z umělých zdrojů přidané do venkovního prostředí
- (to je z definice: změna stavu oproti přírodnímu...)
- v interiéru: až takové jeho množství, které by mohlo škodit zdraví

# Tma: základní atribut noci

- Co je to tma?
- Méně světla než před chvílí
  - nebo kousek vedle.
- Je běžná i ve dne...
- Venku je v přírodě světlo i v noci,
  - méně pod střechou nebo v lese.
- Bez světla: jen zcela uzavřené prostory.



# Tma nežádoucí

- a symbol ošklivosti
  - zdroj úzkosti a strachu
  - ...ale žádné skutečné nebezpečí
  - jen nutnost se pohybovat opatrněji
- 
- v noci vidíme: noc není černá, jen šedá

# Tma žádoucí

- pro odpočinek
- rozjímání nebo modlitbu
- vyprávění příběhů
- soukromí
- a ovšem pro přírodu

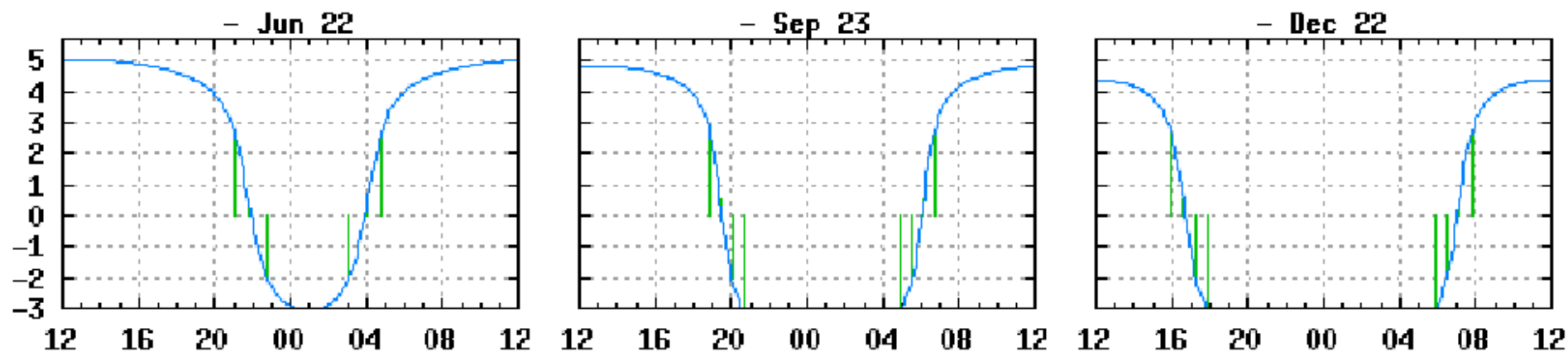
# Světelná témata

- [http://amper.ped.muni.cz/noc/vyber\\_textu/](http://amper.ped.muni.cz/noc/vyber_textu/)
- *diskuse: máte dost tmy na spánek? Jak se chráníte před světlem, které vám vadí?*
- ***Kolik hodin kdy spáváte? (odpovědi na lístečky)***
- Proč je spánek tak důležitý, i pro studium...
- měření světla pod stolem, u zdi, u okna, venku, do očí
- vliv žlutých brýlí

# Střídání dne a noci: základní rytmus našeho světa

- slunný den 30 tisíc až 100 tisíc luxů
- 1/1000 lx v noci
- zataženo: 3x až 30x méně
- den/noc: 3 milióny až 1 miliarda
- úplněk – 1/10 lx  
(poměr den/noc klesá 100x)

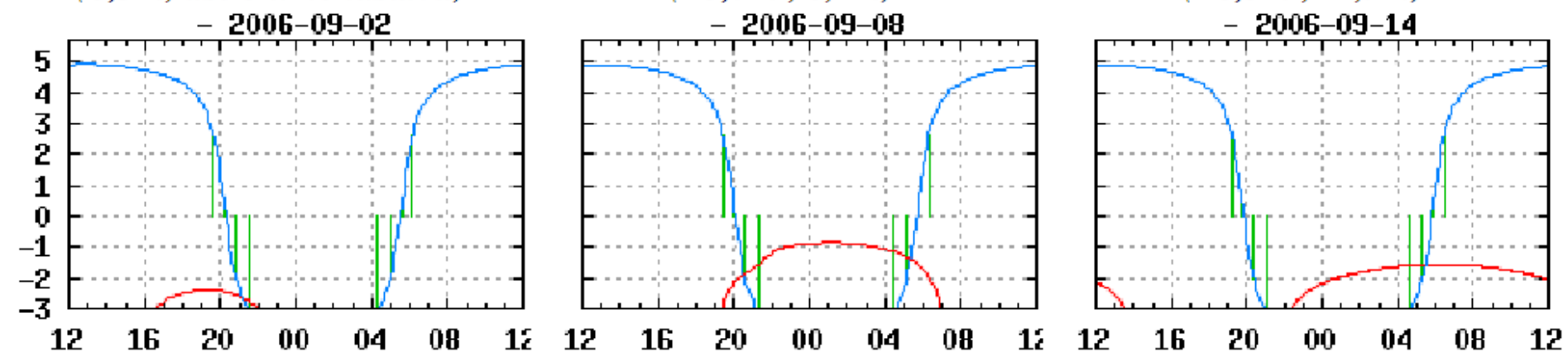
# log (horizontální osvětlenost / 1 lx) jasné nebe, bez Měsíce či s ním



*letní slunovrat  
(6,3 h, astron. nenastává)*

*rovnodennost  
(10,7 h, 8,2 h)*

*zimní slunovrat  
(14,5 h, 11,9 h)*



*půl dne po první čtvrti  
(max. 0.004 lx, ve dne...)*

*úplněk  
(téměř 0,2 lx)*

*0,5 d před poslední čtvrtí  
(až 0,03 lx)*

# A co v interiéru?

- Řádově méně světla než venku – původně
- Nyní jsou to v noci desítky až stovky luxů
- Často více než přes den...

# Umělé osvětlování

- kdysi jen plameny (dřevo, tuk),  
nijak snadné a ne všudypřítomné
- pak vylepšené plameny
- pak elektřina, všude, celou noc
- 24 / 7 ...

# Jeho přednosti

- lidé odcizení přírodě nemají rádi tmu, ani dospělí
- tma je plná přízraků a zlých duchů
- dnes duchové už nejsou, nahradili je: vrazi, lupiči...
- vidět dobře na cestu je při chůzi nebo jízdě příjemné
- ale kriminalitu svícení nesnižuje, právě naopak...



# a neblahé důsledky

- ztráta přírodního prostředí (mizí druhy, ekosystémy, kultura, kvalita života)
- lidé již neznají noční prostředí
- oslňování zhoršuje viditelnost a orientaci
- ztráta kontaktu s vesmírem
- ohromné výdaje
- a emise skleníkových plynů
- a... zhoršení zdraví vinou nedostatku tmy

# První povědomí, že je zde nějaký problém – 60. léta

pár hvězdářů

- ještě než začaly být žárovky nahrazovány výbojkami a než se pověra, že *vše má být osvětleno* stala běžnou

ale:

Squires WA, Hanson HE. 1918. The destruction of birds at the lighthouses on the coast of California. *Condor* 20: 6–10.

# Dopady umělého osvětlování Česko, 2003, tisíc osob >15 let

5 % populace udává světlo pronikající do ložnice jako jeden ze dvou hlavních důvodů, proč špatně spí

nežádoucí, nedostatečně potlačené světlo do ložnic udává dalších 10 % dotazovaných

dalších 20 % si ložnice zatemňuje a považuje to za uspokojivé

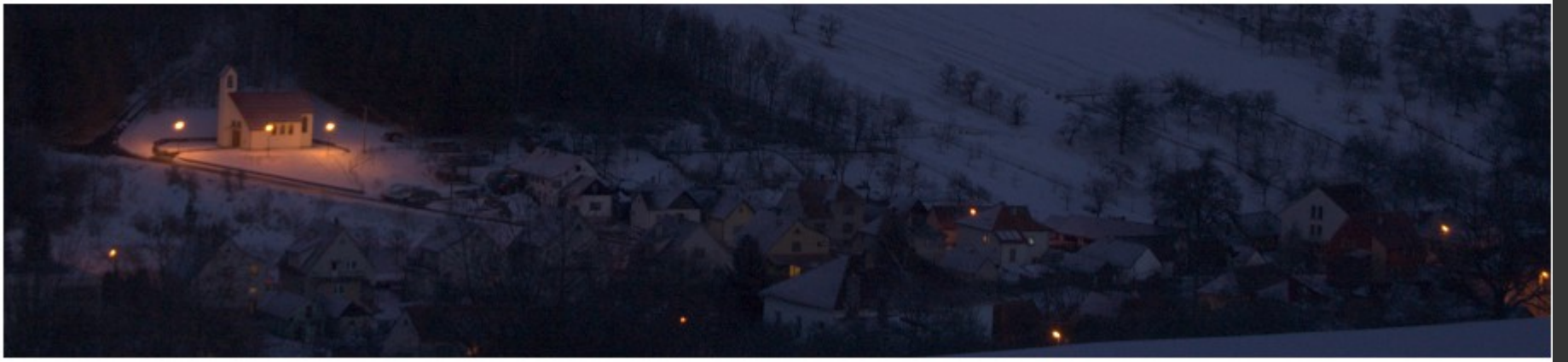
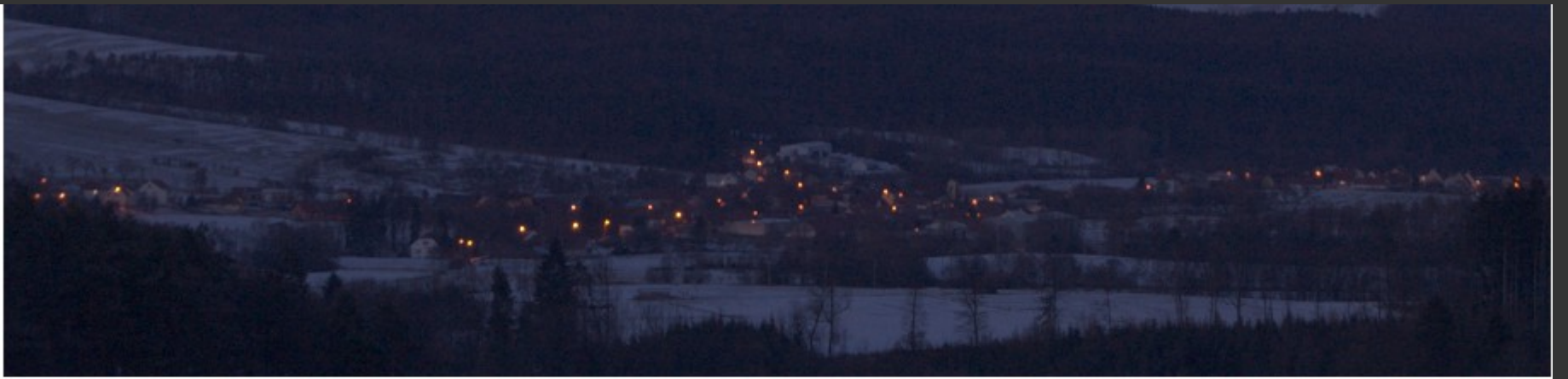
oslňování umělými zdroji světla vnímají jako problém desítky procent

náhrada skutečné noční krajiny samotnými lampami vadí téměř polovině populace,

stejně tak snížená viditelnost hvězd vinou oslňování

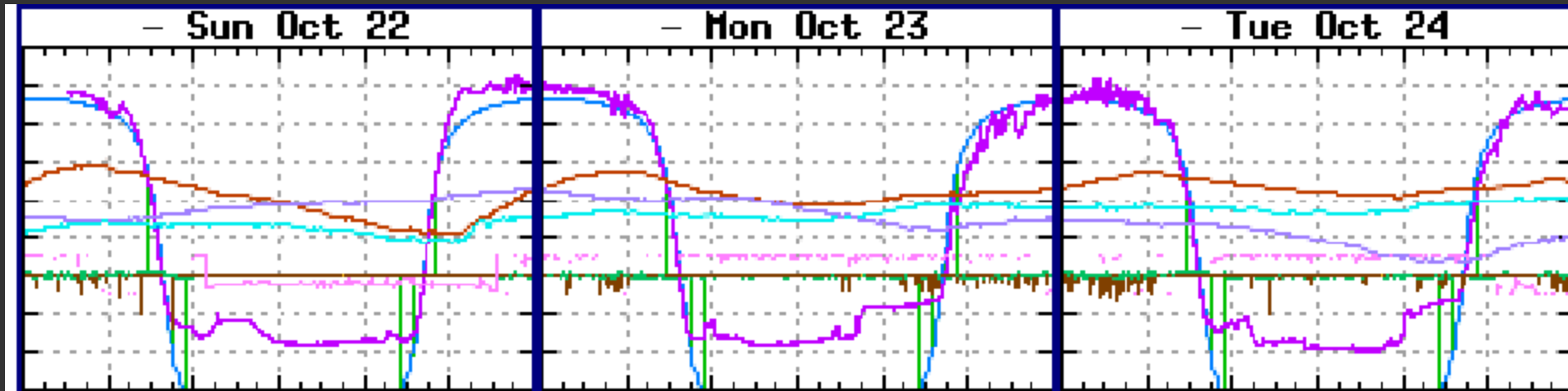
čtvrtina populace si stěžuje na příliš světlou oblohu i tam, kde žádné oslnivá světla v dohledu nejsou.

... ztráta nádhery nebe může být vážnější než bychom odhadovali...



# Brno, Kraví hora

- Jasno: 1 až 2 centiluxy místo 1 mililuxu
- Zataženo: deciluxy



# Světlo v přírodě

- většina živočichů je nejaktivnější v noci
  - tma je jejich základní ochranou
  -
- narušení světelných podmínek je pro ně osudné
  -
- body či plochy extrémně vysokého jas
  - jsou ty nejhorší,
  - ale
- i pouhá absence přirozené tmy je problém

# Některé dopady

- želvy táhnoucí od moře místo k němu
- zmatení, zranění, mrtví ptáci
- eutrofizované sladkovodní systémy
- decimované populace hmyzu, s dopady na celé ekosystémy (jepice před 100 lety a dnes...)
- stres pro korálové útesy (navíc ke zvýšené teplotě, aciditě, chemickému znečištění)
- kdepak jsou světlušky?



# Světlo je velmi závažný polutant

- **Photopollution:**
  - degradation of photic habitat
    - by artificial light
    - (Verheijen, 1985)
- Tma je biologický imperativ
  - **Skotobiologie**

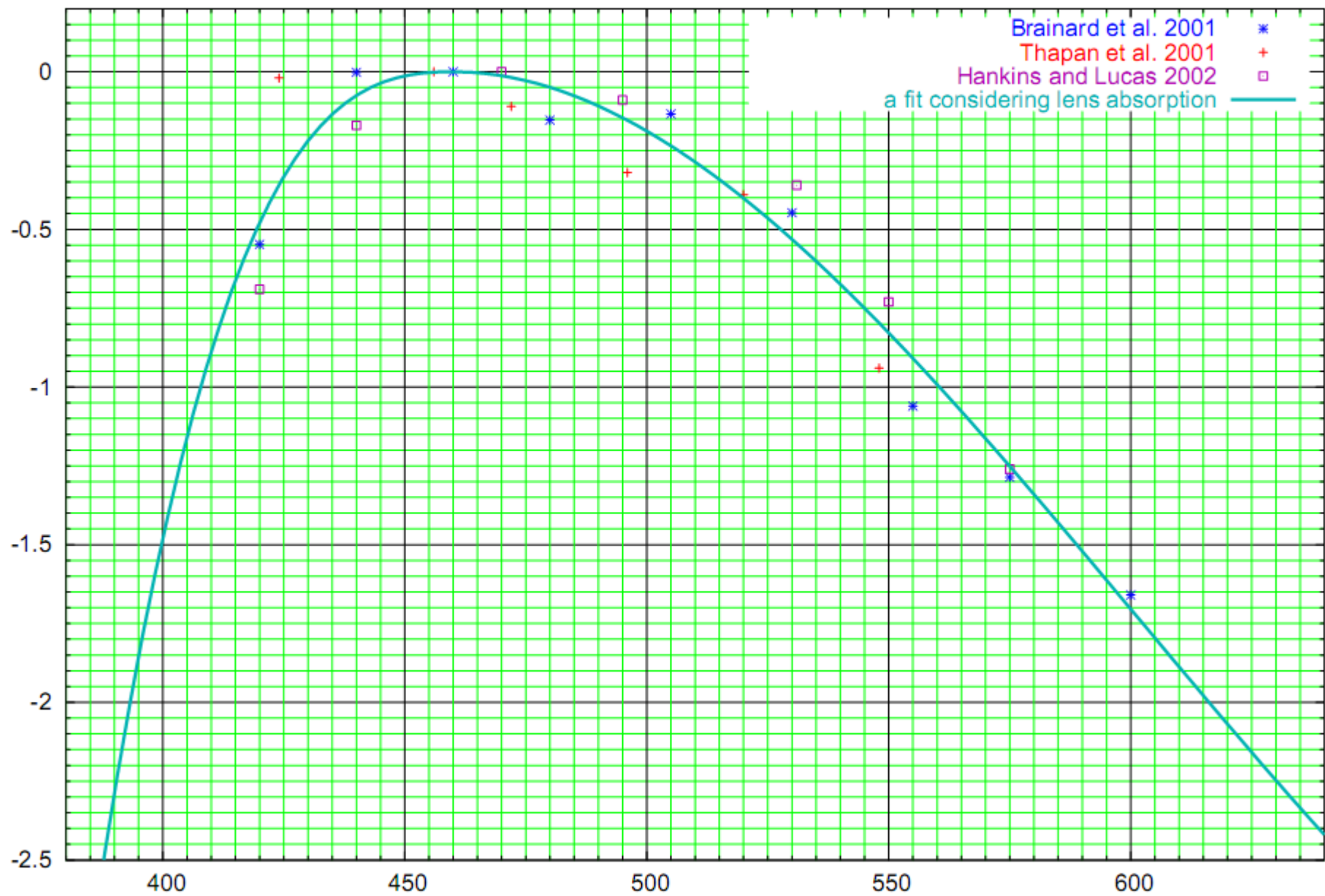
# Cirkadiální rytmus, melatonin

- přírodní noc a produkce melatoninu trvá průměrně 11 h (více v zimě, méně v létě)

naše elektrická kultura je zkrátila na dobu spánku

- rakovina prsu a prostaty, obezita, diabetes

# Action spectrum of melanonin suppression by light"



Stevens, R.G. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. *Am. J. Epidemiol.* **125**, 556 (1987).

Stevens, R.G. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *International Journal of Epidemiology* **38**, 963 -970 (2009):

**Background** Breast cancer incidence is increasing globally for largely unknown reasons. The possibility that a portion of the breast cancer burden might be explained by the introduction and increasing use of electricity to light the night was suggested >20 years ago.

**Methods** The theory is based on nocturnal light-induced disruption of circadian rhythms, notably reduction of melatonin synthesis. It has formed the basis for a series of predictions including that non-day shift work would increase risk, blind women would be at lower risk, long sleep duration would lower risk and community nighttime light level would co-distribute with breast cancer incidence on the population level.

**Results** Accumulation of epidemiological evidence has accelerated in recent years, reflected in an International Agency for Research on Cancer (IARC) classification of shift work as a probable human carcinogen (2A). There is also a strong rodent model in support of the light-at-night (LAN) idea.

# Conclusion

If a consensus eventually emerges that LAN does increase risk, then the mechanisms for the effect are important to elucidate for intervention and mitigation. The basic understanding of phototransduction for the circadian system, and of the molecular genetics of circadian rhythm generation are both advancing rapidly, and will provide for the development of lighting technologies at home and at work that minimize circadian disruption, while maintaining visual efficiency and aesthetics. In the interim, there are strategies now available to reduce the potential for circadian disruption, which include

- extending the daily dark period,
- appreciate nocturnal awakening in the dark,
- using dim red light for nighttime necessities,
- and unless recommended by a physician, not taking melatonin tablets.

# Epidemiologické doklady

Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G., Barchana, M. & Portnov, B.A.

**Light at Night Co-distributes with Incident Breast but not Lung Cancer in the Female Population of Israel.**

*Chronobiology International* **25**, 65-81 (2008).

Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G. & Portnov, B.A.

**Global Co-Distribution of Light at Night (LAN) and Cancers of Prostate, Colon, and Lung in Men.**

*Chronobiology International* **26**, 108-125 (2009).

Kloog, I., Portnov, B.A., Rennert, H.S. & Haim, A.

**Does the Modern Urbanized Sleeping Habitat Pose a Breast Cancer Risk?** (viz též [citace v Google Scholar](#) tohoto článku)

*Chronobiol Int* **28**, 76-80 (2011):

(abstrakt článku:)

Due to its disruptive effects on circadian rhythms and sleep deprivation at night, shiftworking is currently recognized as a risk factor for breast cancer (BC). As revealed by the present analysis based on a comparative case-control study of 1679 women, exposure to light-at-night (LAN) in the “sleeping habitat” is significantly associated with BC risk (odds ratio [OR]=1.220, 95% confidence interval [CI]=1.118–1.311;  $p < .001$ ), controlling for education, ethnicity, fertility, and alcohol consumption. The novelty of the present research is that, to the best of the authors' knowledge, it is the first study to have identified an unequivocal positive association between bedroom-light intensity and BC risk. Thus, according to the results of the present study, not only should artificial light exposure in the working environment be considered as a potential risk factor for BC, but also LAN in the “sleeping habitat.”

**Gooley, J.J. et al. Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans. *J Clin Endocrinol Metab* (2010). [doi:10.1210/jc.2010-2098](https://doi.org/10.1210/jc.2010-2098)**

Millions of individuals habitually expose themselves to room light in the hours before bedtime, yet the effects of this behavior on melatonin signaling are not well recognized. Objective: We tested the hypothesis that exposure to room light in the late evening suppresses the onset of melatonin synthesis and shortens the duration of melatonin production. Design: In a retrospective analysis, we compared daily melatonin profiles in individuals living in room light (<200 lux) vs. dim light (<3 lux). Patients: Healthy volunteers (n = 116, 18-30 yr) were recruited from the general population to participate in one of two studies. Setting: Participants lived in a General Clinical Research Center for at least five consecutive days. Intervention: Individuals were exposed to room light or dim light in the 8 h preceding bedtime. Outcome Measures: Melatonin duration, onset and offset, suppression, and phase angle of entrainment were determined. Results: Compared with dim light, exposure to room light before bedtime suppressed melatonin, resulting in a later melatonin onset in 99.0% of individuals and shortening melatonin duration by about 90 min. Also, exposure to room light during the usual hours of sleep suppressed melatonin by greater than 50% in most (85%) trials. **Conclusions:** These findings indicate that room light exerts a profound suppressive effect on melatonin levels and shortens the body's internal representation of night duration. Hence, chronically exposing oneself to electrical lighting in the late evening disrupts melatonin signaling and could therefore potentially impact sleep, thermoregulation, blood pressure, and glucose homeostasis.



**PARK HOURS**  
OPEN FROM:  
SUNRISE UNTIL  
1/2 HOUR AFTER  
SUNSET

**NO  
TRESPASSING  
AT OTHER  
TIMES**



# Znečišťování prostředí uměle vyráběným světlem

stále roste, rychle

Růst by měl být zastaven a obrácen  
v pokles, abychom se dostali na  
udržitelnou cestu

Je to podobné emisím fosilního  
uhlíku

Oba polutanty byly před 40 lety pokládány za  
neškodné,

oba jsou velmi škodlivé.

Řešení:

neplýtvejme tolik, budme opatrní

# Základní pravidla pro venkovní osvětlování (jako ve Slovinsku a většině Itálie)

**Žádné emise vodorovně a vzhůru**

Užívat jen tolik světla, kolik je pro daný úkol nezbytné, ne více než  $1 \text{ cd/m}^2$  či  $10 \text{ lx}$

Nápisy s max. 10 x vyšším jasem než má okolí (stačí 3 x)



















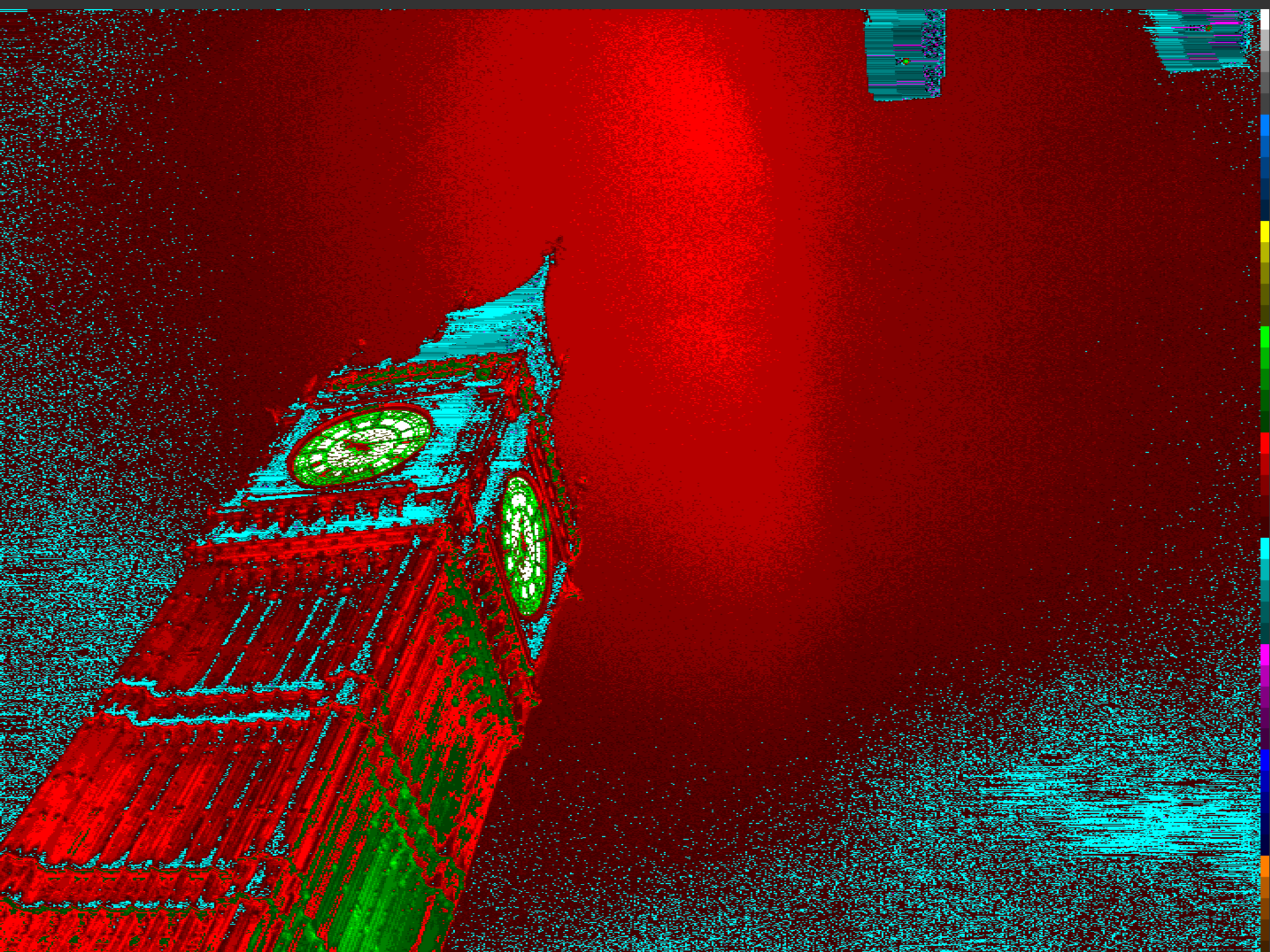












**Žluté**, slabé světlo

pro noční práci (kdo protestuje?)

a jen centilux/mililux

pro pohyb během doby, kdy lidé  
spí

by se měly stát normou

# Technická opatření

- náhrada starých světel novými, slabšími, lépe směřovanými
- tlumení,
- filtrování,
- clonění
- ...

# Kazí se oči slabým světlem?

- Slyšeli jste někdy „rozsvit’ si, zkazíš si oči“?
- Jaký fyziologický mechanismus by k tomu mohl vést?
- Má celá příroda, až na lidstvo těšící se elektríně, oči pokažené?
- Slabé světlo nezúží zorničky, je potřeba mít zrak zaostřený – lidé nad 50 let k tomu musí užívat různé brýle, stačí levné, ale ne jen jedny
- Velmi slabé světlo znamená jen větší námahu pro mozek, jdeme pak dříve spát – to je OK...

Světlo je dobrý sluha, ale zlý pán!

[http://amper.ped.muni.cz/noc/vyber\\_textu](http://amper.ped.muni.cz/noc/vyber_textu)