

# Středoškolská odborná činnost

32. ročník

Obor 2. Fyzika

## Měření světelného znečištění v Prostějově

Tomáš Lázna

Gymnázium Jiřího Wolкера, třída: sexta B  
Kollárova 3  
796 01 Prostějov  
Olomoucký kraj

Konzultant: RNDr. Jan Hollan

Prostějov 2010

Čestně prohlašuji, že jsem práci zpracoval samostatně, a veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.

Tomáš Lázna

Prostějov 28. 3. 2009

## Anotace

Práce je zaměřena na měření světelného znečištění v Prostějově. Čtenář je nejprve stručně seznámen s problematikou světelného znečištění. V této teoretické kapitole je popsáno, co to vlastně světelné znečištění je, co jej způsobuje, jaké má dopady, jak jej řeší česká legislativa a nakonec jsou uvedeny některé náměty pro řešení světelného znečištění, které by mohlo město využít.

Další kapitola se věnuje tomu, jak celé měření probíhalo. Pro měření byl použit luxmetr, Sky Quality Meter a lightmeter. Lightmeter byl umístěn na střechu, kde kontinuálně měří. Naměřené výsledky jsou vystavovány ve formě grafů na webových stránkách. Další výsledky pro srovnání byly získány z celosvětové databáze výsledků měření provedených lightmeterem. Bylo rovněž provedeno subjektivní pozorování hvězdné oblohy v centru Prostějova. Srovnávací měření bylo provedeno v blízkosti Prostějova nad úrovní městských lamp. V této kapitole je rovněž uvedeno, jak se výsledky zpracovávají. Je zakončena měřením běžných hodnot intenzity osvětlení, které slouží pro srovnání.

Následující kapitola se věnuje zpracování a vyhodnocení měření. To je shrnuto do tabulky, ve které je v poměrech porovnán na daných místech počet obyvatel, dále intenzita osvětlení (lightmeter) a jas (Sky Quality Meter). Rovněž je vyhodnoceno subjektivní pozorování.

V závěru jsou výsledky shrnuty a interpretovány slovně. Nejdůležitějším výsledkem je to, že v Prostějově je větší průměrná intenzita osvětlení než ve většině srovnávaných měst.

---

1	Úvod.....	5
2	Metodika .....	6
3	Světelné znečištění.....	7
3.1	Co je to světelné znečištění.....	7
3.2	Zdroje světelného znečištění.....	7
3.3	Dopady světelného znečištění.....	8
3.4	Světelné znečištění v legislativě .....	9
3.5	Náměty pro řešení světelného znečištění.....	9
4	Měření.....	10
4.1	Použitá technika.....	10
4.1.1	Luxmetr Voltcraft .....	10
4.1.2	Sky Quality Meter.....	10
4.1.3	Lightmeter.....	10
4.2	Měření lightmeterem.....	11
4.3	Měření dalšími způsoby.....	11
4.3.1	Měření mimo město .....	11
4.3.2	Subjektivní pozorování .....	12
4.3.3	Získání dalších výsledků.....	12
4.4	Jak zpracovat naměřená data .....	12
4.4.1	Luxmetr.....	12
4.4.2	Lightmeter.....	13
4.4.3	Sky Quality Meter.....	13
4.5	Měření běžných hodnot světelného znečištění .....	14
5	Zpracování a vyhodnocení naměřených dat .....	15
5.1	Lightmeter.....	15
5.2	Luxmetr a Sky Quality Meter .....	16
5.3	Databáze SQM.....	16
5.4	Vyhodnocení výsledků.....	17
6	Závěr .....	19
7	Informační zdroje.....	20
8	Přílohy.....	21

# 1 Úvod

Světelné znečištění je problémem všech vyspělých zemí. Každou civilizovanou oblast poznáte snadno podle nažloutle zabarvené oblohy. V některých zemích se se světelným znečištěním bojuje (Slovinsko, Lombardie), v jiných ne. U nás se touto problematikou zabývají téměř jenom astronomové, což je také důvod, proč je u nás světelné znečištění relativně vysoké.

Není však možné omezit světelné znečištění bez předchozího předložení důkazů o jeho existenci. Loňského ročníku SOČ jsem se účastnil s prací *Jak měřit světelné znečištění*, ve které jsem popsal, jak tento důkaz získat. Tato práce byla rovněž předstupeň pro mou letošní práci, ve které se zabývám zpracováním naměřených hodnot. Mým cílem bylo dokázat existenci světelného znečištění v Prostějově. Na začátek práce jsem opět zařadil kapitolu o tom, co to vlastně světelné znečištění je a jak jej lze omezit.

Obdobné měření nebylo v Prostějově ani v blízkém okolí dosud provedeno, což beru jako hlavní přínos mé práce. Chtěl jsem v ní také ukázat, jak měření vypadá v praxi, jak naměřená data zpracovat a jak je interpretovat. Práce však byla nepochybně přínosná také pro mě, protože jsem opět prohloubil své znalosti v tom, jak psát odborné práce a také jak provádět fyzikální měření.

## 2 Metodika

Hlavním zdrojem informací pro mě byla má loňská práce *Jak měřit světelné znečištění*. Dalšími zdroji byla *Zpráva o řešení projektu „Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí“* od profesora Karla Sokanského. Dále pak některé vybrané články v odborném časopisu Světlo. Podrobný přehled všech zdrojů naleznete v kapitole 7 Informační zdroje.

Na začátku jsem stanovil osnovu práce, která by měla vypadat asi takto:

- teoretický úvod ke světelnému znečištění,
- metodika měření,
- zpracování naměřených dat,
- interpretace naměřených dat,
- shrnutí interpretace v závěru.

Metodikou měření se zabývám podrobně v kapitole 3 Měření.

## 3 Světelné znečištění<sup>1</sup>

### 3.1 Co je to světelné znečištění

Aby se uskutečnil zrakový vjem, musí na sítnici lidského oka dopadat světelný tok určité intenzity. Chceme-li tedy dobře vidět i v noci, je nutné k přírodnímu světlu (světlo odražené na Zemi z ostatních planet, hvězd a dalších vesmírných objektů) přidat osvětlení umělé. Z tohoto důvodu jsou do interiérů, ale i do exteriérů instalována svítidla.

Uvažujme, že máme svítidlo, od něž se šíří světelný tok do všech stran. Část toku směřuje do dolního poloprostoru směrem od svítidla. Toto světlo by mělo v ideálním případě osvětlovat určitý prostor pod sebou, občas však svítí také přímo do očí lidí a vede ke vzniku oslnění. Světlo se částečně odrazí od povrchu a rozptýlí do prostoru. Existuje určitá nízká pravděpodobnost, že část světelného toku dopadne na naši sítnici a umožní nám zrakový vjem. Většina odraženého světla zůstává ve volném prostoru a dále se odráží a rozptyluje. Toto světlo zde musí být, a to hned ze dvou důvodů. První je ten, že nám umožňuje vidět i objekty, které nejsou přímo osvětlené. Tím druhým je potřeba, aby osvětlené místo bylo viditelné ze všech pozic a úhlů. Toto světlo tedy nelze považovat za rušivé, přestože se jeho část prostřednictvím odrazů dostane do prostoru, který vůbec nebylo zamýšleno osvětlit. Právě naopak, toto světlo je užitečné, protože nám umožňuje vidět celou oblast.

Za předpokladu, že by v atmosféře nebyly žádné částice, se kterými by se mohlo světlo vyzářované do horního poloprostoru dostat do kontaktu, světelný tok by volně unikal do vesmíru, kde by byl zcela neškodný (zároveň však i naprosto neúčinný). V atmosféře se však nachází mnoho mikročástic (např. vodní páry, prachové částice, atd.) Tyto částice odrážejí, pohlcují a propouštějí světlo, a tak se zvyšuje jas oblohy, který lze označit za rušivé světlo, tedy světelné znečištění.

Jako světelné znečištění lze označit více jevů. V této práci se budu zabývat měřením nadbytečného světla vyzářeného do atmosféry. Toto světlo se projevuje zvýšeným jasnem oblohy, který není způsoben pouhým používáním svítidel, ale jejich často nevhodným směřováním produkovaného světelného toku, a také např. znečištěním ovzduší, které přispívá k rozptylu světla.

### 3.2 Zdroje světelného znečištění

Mezi hlavní zdroje světelného znečištění patří nevhodné osvětlovací soustavy, osvětlené architektonické památky, billboardy a svítící reklamy. Přitom není složité vliv těchto zdrojů omezit.

Billboardy, které jsou osvětlené ze spodní strany, jsou naprosto nevhodné, protože valná většina světla je odražena na oblohu. Přitom by stejně dobře posloužila krytá a dobře směřovaná svítidla osvětlující shora. Stejně tak působí i architektonické dominanty (např. kostely), které jsou osvětlovány velmi silnými výbojkami, takže opět

---

<sup>1</sup> Při zpracování této kapitoly jsem čerpal především ze své loňské práce SOČ *Jak měřit světelné znečištění*, která je k dispozici na adrese <http://amper.ped.muni.cz/light/p/JakMeritSvZn.pdf> (funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)

velké množství světa uniká. Osvětlení těchto staveb je schopno znehodnotit tmou v okruhu několika desítek (!) kilometrů. Přitom by i tyto stavby bylo možné osvětlovat lépe. Pomohlo by, kdyby reflektory osvětlovaly pouze stěny budovy a nesvítily přímo na oblohu. Osvětlování architektonických památek lze pokládat za zbytečné, přesto je velice rozšířené. A nad svítící reklamní panely by taky neměl být problém umístit clonu, která by odrážela světlo do země.

Vhodně konstruovaná pouliční lampa by měla světlo směřovat co nejméně do horního poloprostoru a měla by mít co nejmenší oslňující efekt (toho dosáhneme použitím slabších výbojek a dobrých difuzorů). A rozhodně by neměla přímo svítit do oken domů. Lze toho dosáhnout vhodnou konstrukcí – umístěním clon a odrazných ploch, které světlo směřují do prostorů určených k osvětlení. Pouliční lampy u nás však často tato kritéria nesplňují. Dále by se také měla v určitém období v noci (řekněme od půlnoci do pěti hodin ráno, kdy není osvětlení tolik potřeba) omezit intenzita osvětlení produkovaného lampami. Je to období, kdy většina lidí spí a světlo je pouze vyrušuje. A pro ty zbývající jsou dostačující méně osvětlené venkovní prostory.

V dnešní době zatím není mnoho lidí, kteří jsou seznámeni s problematikou světelného znečištění. Při instalaci nových, resp. při rekonstrukci starých svítidel je málo kdy brán ohled na negativní efekt. Toto se samozřejmě týká i umístění reklam a dalších výše zmíněných objektů.

### **3.3 Dopady světelného znečištění**

Světelné znečištění má dopad především na astronomická pozorování a také na podmínky viditelnosti, jelikož nevhodná svítidla způsobují oslnění. V další řadě má vliv na zdraví lidí, a také na zvířata.

Hlavním důvodem, proč se řada lidí věnuje světelnému znečištění, je omezení pozorovatelnosti hvězd a dalších vesmírných objektů. Tento problém vadí především astronomům, kteří se tímto pozorováním zabývají vědecky. Zvýšený jas oblohy jim to však často znemožňuje.

Dalším neméně významným důvodem je již zmíněné oslnění. Jedná se o jev způsobený vysokým kontrastem jasů objektů v zorném poli. Přesněji řečeno takový kontrast, který překračuje adaptabilitu lidského zraku, který zvládá poměr jasů nejvýše asi 1 : 10. Dochází k významnému snížení viditelnosti objektů s nižším jasnem. To může mít dopad na bezpečnost, např. řidič auta oslněný nevhodnými svítidly může přehlédnout chodce přecházejícího přes silnici snadněji, než kdyby oslněn nebyl.

Nadbytečné světlo ovlivňuje také člověka. U většiny lidí způsobuje vyšší intenzita osvětlení v ložnici snížení kvality spánku. Spánek je pro zdraví člověka velice důležitý, proto nelze brát jeho narušování na lehkou váhu.

Světelné znečištění však způsobuje potíže i zvířatům. Ptáci jsou světlem v noci zmateni a to zhoršuje jejich orientaci. Nadbytečné světlo také narušuje přirozené období aktivity a spánku.



### 3.4 Světelné znečištění v legislativě

Světelnému znečištění se věnuje zákon o ochraně ovzduší<sup>2</sup> (zákon č. 86/2002 Sb.) Zákon světelné znečištění definuje takto: „Pro účely tohoto zákona v oblasti ochrany ovzduší se rozumí světelným znečištěním viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno.“ (§ 2, odst. 1). Zákon dále říká, že v pravomoci obce s rozšířenou působností je vydat vyhlášku, která přikazuje regulaci světelných reklam a efektů promítaných na oblohu (§ 50, odst. 3).

### 3.5 Náměty pro řešení světelného znečištění<sup>3</sup>

Existuje několik pravidel, jejichž dodržování by mohlo světelné znečištění omezit na přijatelnější úroveň.

Prvním pravidlem je použití světel s plochými difuzory na vhodných místech. Vhodná místa jsou taková, kde potřebujeme osvětlit pouze malou oblast, tedy např. zastávky MHD, vjezdy do objektů či přechody pro chodce. Pro osvětlení těchto ploch nepotřebujeme lampy s velkým vyzařovacím prostorem. Rozdíl bude ten, že lampy s plochým difuzorem narozdíl od klasických vyzařují minimum světla na oblohu. Na přechodech by navíc došlo k redukci oslnění řidičů.

Dalším pravidlem je regulování výkonu pouličních lamp. Tím se myslí to, že se např. polovinu noci bude svítit na poloviční výkon a tím se sníží množství vyzářeného světla, tedy i světla vyzářeného na oblohu. Dalším pozitivním efektem je úspora energie.

Dále by se mělo omezit vyzařování světla do nežádoucích směrů, tedy na oblohu a do oken domů. Lze toho docílit používáním jiných typů lamp a používáním vhodných clon.

Posledním pravidlem je zlepšit osvětlování památek, reklam, apod. Tím se rozumí, že pokud je to možné, měl by světlo směřovat k zemi. Pokud to není možné, pak by se alespoň mělo vybrat takové svítidlo, které bude svítit pouze na daný objekt a ne mimo něj (protože by svítilo přímo na oblohu).

---

<sup>2</sup> Můžete jej nalézt na adrese

[http://portal.gov.cz/wps/portal/\\_s.155/701?number1=86%2F2002&number2=&name=&text=](http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?number1=86%2F2002&number2=&name=&text=)  
(funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)

<sup>3</sup> Při zpracování této kapitoly jsem čerpal z článku *Rušivé světlo Část 5. – Cesty ekologie aneb patero jak na to* z časopisu Světlo (viz kapitola 7 Informační zdroje).

## 4 Měření

### 4.1 Použitá technika

#### 4.1.1 Luxmetr Voltcraft

Luxmetr je zařízení sloužící k měření intenzity osvětlení  $E$  (též osvětlivost), která je definována jako světelný tok dopadající na určitou plochu, jejíž jednotkou je lux. Pro účely práce byl použit multifunkční měřicí přístroj 4 v 1 (luxmetr, teploměr, vlhkoměr a hlukoměr) od firmy Voltcraft<sup>4</sup>, který byl zapůjčen Gymnáziem Jiřího Wolкера, Kolárova 3, Prostějov<sup>5</sup>. Přístroj disponuje externím čidlem, které je tvořeno křemíkovou fotodiodou s filtrem (měří pouze ve vlnových délkách 400 – 700 nm, tedy viditelné světlo). Rozsah měření je od 0,01 do 20 000 lux, s odchylkou 2 %. Přístroj je vhodný i k měření oblohy.

#### 4.1.2 Sky Quality Meter

Sky Quality Meter with Lens, neboli zkráceně SQM-L je přístroj od kanadské firmy Unihedron<sup>6</sup>, který slouží k měření jasu  $L$  oblohy. Jednotkou jasu je kandela na metr čtverečný, SQM-L ale udává hodnotu jasu v magnitudách na vteřinu čtverečnou. Pomocí této jednotky lze snadno vyhodnotit „kvalitu“ oblohy, přičemž platí, že menší hodnota znamená větší jas. Přístrojem se měří nejlépe v zenitu a velikost měřeného úhlu je 60°. Přístroj byl zapůjčen Hvězdárnou a planetáriem Mikuláše Koperníka v Brně<sup>7</sup>.

#### 4.1.3 Lightmeter

Lightmeter<sup>8</sup> je rakouský přístroj. Je to v podstatě luxmetr, který lze připojit k počítači a kontinuálně zapisovat z přístroje odečtené hodnoty. Jeho měřicí rozsah je od 0,0005 do 200 000 lux, s minimální odchylkou. Je vodotěsný, takže pro měření nepotřebuje žádnou speciální ochranu. U přístroje ale bylo nutné provést kalibraci – k tomuto účelu posloužil luxmetr. Lightmeter byl zapůjčen Gymnáziem Jiřího Wolкера, Kolárova 3, Prostějov<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> <http://www.voltcraft.de>

<sup>5</sup> <http://www.gjwprostejov.cz>

<sup>6</sup> <http://www.unihedron.com>

<sup>7</sup> <http://www.hvezdarna.cz>

<sup>8</sup> <http://lightmeter.astronomy2009.at>

(funkčnost odkazů ověřena 27. 3. 2010)

## 4.2 Měření lightmeterem

Lightmeter propojený s počítačem jsem se rozhodl použít jako hlavní měřicí aparát. Záměrem bylo umístit jej dlouhodobě na vybrané místo v Prostějově, aby nasbíral velké množství údajů, které budou jádrem celého měření.

Jako místo jsem zvolil Lidovou hvězdárnu v Prostějově, p. o.<sup>9</sup> Důvodem bylo to, že obdobné měření již probíhá na Hvězdárně a planetáriu Mikuláše Koperníka v Brně<sup>10</sup> a astronomové jsou významnou skupinou, na kterou má světelné znečištění dopad. Z technických důvodů však nebylo možné měření na hvězdárně realizovat. Po dlouhodobých neúspěšných pokusech problém vyřešit jsem vybral nové umístění – objekt firmy CUTTER Systems spol. s r. o.<sup>11</sup> Na tomto místě je pro měření dobré technické zázemí a je přibližně stejně vzdálené od centra jako hvězdárna. Měření zde bylo spuštěno dne 12. prosince 2009.

Průběh tohoto měření jsem se rozhodl zpřístupnit veřejnosti (nechal jsem se inspirovat měřením v Brně). Vytvořil jsem program (v programovacím jazyce C#), který je spuštěný na počítači, k němuž je připojen lightmeter. Zdrojový kód programu je k dispozici v elektronických přílohách. Tento program v pravidelných intervalech zpracovává nově naměřená data a odesílá je na webový server. Na tomto serveru je každou minutu spuštěný PHP skript, který ověří, zda přišla nová data, a pokud ano, tak je zapíše do MySQL databáze. Další PHP skript zajišťuje vykreslování grafu z dat v databázi za posledních 24 hodin. Graf je vystaven na webových stránkách<sup>12</sup>. Tato stránka je v provozu od 16. prosince 2009. K aktualizaci grafu dochází každých 10 minut. Od 25. dubna 2010 je k dispozici funkce, která dokáže vykreslit graf z požadovaného dne.

## 4.3 Měření dalšími způsoby

Aby mělo měření lightmeterem nějaký smysl, musí se provést i další měření na jiných místech, aby bylo s čím porovnávat. Pro měření je ideální bezoblačná noc, protože mraky výrazně zvyšují jas oblohy (světlo se rozptyluje v kapkách vody). Dále je nutné najít takové místo, kde nebudou čidla přístrojů přímo osvětlována nějakými svítidly. Z tohoto hlediska je dobrým místem střecha budovy, která je vyšší než okolní pouliční lampy. Dalším faktorem ovlivňujícím měření je fáze měsíce. Měsíc v úplňku, resp. fáze blízko úplňku může významně ovlivnit výsledky, proto je nejlepší měřit při novu. Při měření oblohy by mělo čidlo směřovat k zenitu.

### 4.3.1 Měření mimo město

Jedním z mnou provedených měření bylo měření na Držovickém kopci za okrajem Držovic (dříve Prostějova), jehož vrchol je nad úrovní městských lamp. Stalo se tak dne 22. března 2010, od 20:30 do 21:30. Oblačnost nebyla žádná, měsíc byl asi v polovině dorůstající fáze. Využit byl luxmetr a SQM-L, oba pevně umístěné a

<sup>9</sup> <http://www.hvezdarnapv.cz>

<sup>10</sup> <http://amper.ped.muni.cz/weather/>

<sup>11</sup> <http://www.cutter.cz>

<sup>12</sup> <http://osvetleni.gjwprostejov.cz>

(funkčnost odkazů ověřena 27. 3. 2010)

namířené k zenitu. K odečtení dat došlo pravidelně každých 5 minut. Držovický kopec je od umístění lightmetru vzdálen přibližně 3 km a není přímo ve městě, lze tedy předpokládat, že intenzita osvětlení zde bude menší. Hlavním cílem toho měření bylo stanovit, zda tomu tak opravdu je a jak velký je tento rozdíl. Dalším cílem bylo získat hodnotu, kterou lze srovnat s daty v databázi SQM měření (viz níže).

### 4.3.2 Subjektivní pozorování

V rámci projektu Globe at Night<sup>13</sup> se koná každý rok od roku 2006 na jaře pozorování hvězdné oblohy, konkrétně souhvězdí Orionu. Cílem je zaznamenat viditelnost hvězd v dané lokalitě. Do tohoto projektu jsem se dne 16. března 2010 zapojil i já a pozoroval jsem hvězdnou oblohu v centru Prostějova. Pozorování jsem provedl na střeše domu, tedy nad úroveň městských lamp. V minulých dvou letech proběhlo pozorování v blízkosti Plumlovské přehrady, se kterým lze mé pozorování porovnat.

### 4.3.3 Získání dalších výsledků

Pro určení nadbytečného světla vyzářeného na oblohu jsou potřeba měření z míst, která nejsou tolik zasažena rušivým světlem.

Jednou alternativou je dojednat s městskou samosprávou krátkodobé vypnutí osvětlení v celém městě. Obdobná akce proběhla v Libereckém kraji v září minulého roku. V Prostějově se jí však zatím nepodařilo domluvit. Další alternativou je měřit ve venkovských oblastech mimo civilizaci. Měření ovšem musí samozřejmě probíhat v noci, což může být v takových oblastech nebezpečné. Těmito směry je tedy složité získat potřebné hodnoty.

Je zde však i třetí alternativa. Nejsem totiž jediný člověk, který se věnuje měření světelného znečištění. Existuje velká komunita lidí, kteří se měřením zabývají krátkodobě i dlouhodobě. Od této komunity je možné získat mnoho použitelných výsledků měření. Jedním velkým zdrojem je databáze na webu firmy Unihedron<sup>14</sup>, kde lze nalézt měření provedená pomocí Sky Quality Meteru. Použitelné jsou především hodnoty z blízkého Německa a Rakouska. Nejvíce měření je ale pravděpodobně z Itálie. Další databázi lze nalézt na serveru autora lightmetru a jsou zde data naměřená pomocí lightmetru. Do této databáze odesílám také já každý den výsledky svých měření.

## 4.4 Jak zpracovat naměřená data

### 4.4.1 Luxmetr

Luxmetr udává přímo hodnotu intenzity osvětlení, kterou není nutné dále zpracovávat. Intenzitu osvětlení jsem zvolil jako veličinu pro srovnávání, protože výstup z lightmetru lze na tuto veličinu snadno převést.

---

<sup>13</sup> <http://www.globeatnight.org>

<sup>14</sup> <http://www.unihedron.com/projects/darksky/database/>  
(funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)

#### 4.4.2 Lightmeter

Software dodávaný k lightmeteru zapisuje naměřené hodnoty do CSV souboru přibližně každou sekundu. Výstup do souboru vypadá takto:

```
2010-02-20 00:25:49 5,0 99976 2 0,03
2010-02-20 00:25:50 5,1 99840 2 0,03
2010-02-20 00:25:52 5,0 100008 2 0,03
```

První sloupec ukazuje datum, druhý sloupec čas, třetí sloupec teplotu a čtvrtý sloupec hodnotu, která je úměrná intenzitě osvětlení. Se zbylými dvěma sloupci jsem nepracoval, jelikož u prvního z nich jsem nenašel v dokumentaci význam a druhý je špatně převedená hodnota intenzity osvětlení na luxy. Aby bylo možné převést hodnotu ve čtvrtém sloupci na hodnotu intenzity osvětlení, bylo potřeba provést kalibraci pomocí luxmetru. Platí, že do intenzity osvětlení o velikosti 1 lux narůstá hodnota čtvrtého sloupce lineárně vzhledem k intenzitě osvětlení. Od 1 luxu už narůstá exponenciálně.

Pro nízké hodnoty intenzity osvětlení (do 1 lx) je převodní vztah poskytován výrobcem. Hodnotu intenzity osvětlení získáme tak, že hodnotu 4. sloupce vynásobíme číslem  $2 \cdot 10^{-6}$ . Platnost byla ověřena luxmetrem. Tento vztah platí pro hodnoty 4. sloupce do 500 000.

Pro vysoké hodnoty intenzity osvětlení (nad 1 lx) existuje více převodních vztahů a pomocí luxmetru bylo potřeba zjistit, který je správný. Označíme-li hodnotu 4.

sloupce jako  $x$ , pak intenzitu osvětlení získáme jako  $2 \cdot 10^{-6} \cdot (x + e^{\frac{x}{87000}})$ .

Program, který je spuštěný na počítači s lightmeterem, vypočítá aritmetický průměr hodnot 4. sloupce v intervalu 5 minut a tento průměr dosadí do správného vztahu. Tato hodnota je potom společně s datem a časem odeslána na server, kde ji skript zapíše do databáze. To činí přibližně 8 500 zpracovaných a uložených hodnot intenzity osvětlení měsíčně.

#### 4.4.3 Sky Quality Meter

Pokud chceme na měřené hodnoty srovnávat s hodnotami naměřenými také pomocí SQM, tak nemusíme řešit problém s převodem.

Jestli ale máme pro srovnání např. z luxmetru nebo lightmeteru, musíme z jasu získat intenzitu osvětlení. V první řadě je potřeba převést hodnotu v magnitudách na vteřinu čtverečnou převést na hodnotu v základní jednotce jasu, tedy v kandelách na metr čtverečný. K tomuto účelu lze použít skript, který lze nalézt na webu<sup>15</sup>. Možné je taky převést hodnotu manuálně pomocí vztahu:  $L_C = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot L_M)}$ , kde  $L_C$  je jas v kandelách na metr čtverečný a  $L_M$  je jas v magnitudách na vteřinu čtverečnou. Zjednodušeně lze brát oblohu jako rovnoměrně osvětlenou rovinu. Za tohoto předpokladu získáme hodnotu intenzity osvětlení jako  $\pi \cdot L$ , kde  $L$  je jas v zenitu. Je to

<sup>15</sup> <http://amper.ped.muni.cz/jenik/astro/lum.php>  
(funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)

nepřesná metoda, ale pokud nejsou srovnávané hodnoty téměř stejné, tento převod je pro základní srovnání dostačující.

#### **4.5 Měření běžných hodnot světelného znečištění**

Účelem tohoto měření bylo zjistit, jaké jsou běžné denní hodnoty intenzity osvětlení v interiérech i exteriérech. K tomuto účelu byl použit luxmetr a měření bylo provedeno ráno (8:00), v poledne (12:00) a v podvečer (18:00). Během měření nebylo použito žádné umělé osvětlení. Vzhledem k tomu, že hodnoty intenzity osvětlení jsou velice různé, především v interiérech, rozhodl jsem se uvést pouze řád. Přehled výsledků můžete vidět v tabulce 1.

Místo	Poznámka	Intenzita osvětlení (řád)
exteriér	náměstí T. G. Masaryka, Prostějov	$10^4$ lx
místnost	během slunečného dne, velká okna	$10^3$ lx
místnost	většina obydlých interiérů	$10^2$ lx
místnost	před setměním	$10^1$ lx

Tabulka 1 – Běžné hodnoty intenzity osvětlení

## 5 Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

### 5.1 Lightmeter

Zpracovával jsem data z časového rozmezí od 16. prosince 2009 do 10. března 2010. Z těchto dní jsem vybral ty, kdy intenzita osvětlení v některém okamžiku klesla pod hodnotu 0,1 lx. Jmenovitě se jedná tyto dny:

- 1) prosinec – 16., 20., 25., 25., 27., 29.,
- 2) leden – 3., 7., 8., 10., 18., 20., 21., 22., 23., 24., 25., 26.,
- 3) únor – 16., 21., 22., 23.,
- 4) březen – 1., 9. 10.

Jelikož noc je vždy tvořena částmi dvou dní, bylo dále potřeba vytřídit takové dny, u nichž následující den spadá také do předchozího výběru. Z výše uvedených dní tuto podmínku splňovalo jedenáct, jmenovitě:

- 1) prosinec – 25., 26.,
- 2) leden – 7., 21., 22., 23., 24., 25.,
- 3) únor – 21., 22.,
- 4) březen – 9.

Zpracováno tedy bylo jedenáct nocí. Začátek noci jsem uvažoval dvě hodiny po západu Slunce a konec dvě hodiny před východem Slunce. Časy východů a západů Slunce lze nalézt na internetu<sup>16</sup>. Pracoval jsem s daty uloženými v MySQL databázi. Vypočítal jsem aritmetický průměr hodnot v určeném časovém rozsahu. Dále jsem určil střední kvadratickou chybu aritmetického měření. Výsledky můžete vidět v tabulce 2.

Začátek		Konec		Výsledek
Datum	Čas	Datum	Čas	
25. 12. 2009	18:05	26. 12. 2009	6:00	$E = (0,01 \pm 0,01) \text{ lx}$
26. 12. 2009	18:05	27. 12. 2009	6:00	$E = (0,02 \pm 0,01) \text{ lx}$
7. 1. 2010	18:15	8. 1. 2010	5:55	$E = (0,007 \pm 0,004) \text{ lx}$
21. 1. 2010	18:35	22. 1. 2010	5:45	$E = (0,02 \pm 0,02) \text{ lx}$
22. 1. 2010	18:40	23. 1. 2010	5:45	$E = (0,012 \pm 0,009) \text{ lx}$
23. 1. 2010	18:40	24. 1. 2010	5:45	$E = (0,013 \pm 0,004) \text{ lx}$
24. 1. 2010	18:40	25. 1. 2010	5:45	$E = (0,010 \pm 0,002) \text{ lx}$
25. 1. 2010	18:45	26. 1. 2010	5:40	$E = (0,016 \pm 0,004) \text{ lx}$
21. 2. 2010	19:30	22. 2. 2010	4:55	$E = (0,01 \pm 0,01) \text{ lx}$
22. 2. 2010	19:30	23. 2. 2010	4:55	$E = (0,02 \pm 0,01) \text{ lx}$
9. 3. 2010	19:55	10. 3. 2010	4:25	$E = (0,0055 \pm 0,0005) \text{ lx}$

Tabulka 2 – Průměrné hodnoty intenzity osvětlení během vybraných nocí a jejich odchylky

<sup>16</sup> <http://www.planetarium.cz/kalendar/index.htm>  
(funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)

## 5.2 Luxmetr a Sky Quality Meter

Během měření nebyla žádná oblačnost, a proto byla intenzita osvětlení nízká a luxmetr ji nedokázal přesně změřit. Měření pomocí SQM ovšem přineslo výsledky. Jejich souhrn můžete vidět v tabulce 3.

Čas odečtení	Hodnota jasu L odečtená z SQM $\left(\frac{\text{mags}}{\text{arcsec}^2}\right)$
20:30	19,32
20:35	19,24
20:40	19,27
20:45	19,25
20:50	19,25
20:55	19,21
21:00	19,38
21:05	19,44
21:10	19,47
21:15	19,27
21:20	19,36
21:25	19,56
21:30	19,54
průměr	(19,4 ± 0,1)

Tabulka 3 – Jas oblohy v průběhu měření

## 5.3 Databáze SQM<sup>17</sup>

Databázi obsahuje kolem 1 600 záznamů z různých míst po celém světě. Je volně k dispozici i ve formátu CSV, ve kterém se s ní dobře pracuje. V první fázi jsem převedl mezní hodnoty výše uvedených nejnižších hodnot intenzity osvětlení a hledal v databázi záznamy v tomto rozsahu. Z těchto záznamů jsem odfiltroval ty, které nebyly měřeny při minimální oblačnosti a ty, které nebyly měřeny v zenitu. Zbylo přibližně 200 záznamů, ze kterých jsem nechal pouze města nebo vesnice v Evropě, na kterých bylo provedeno alespoň 8 měření. U těchto vybraných míst jsem poté spočítal průměrnou hodnotu jasu oblohy a přibližnou hodnotu intenzity osvětlení. Přehled těchto míst a odpovídajících hodnot můžete vidět v tabulce 4. Alcalá del Río, Cuddington a Langhus jsou kvůli příliš velké odchylce nepoužitelná místa.

<sup>17</sup> <http://unihedron.com/projects/darksky/database/index.php>  
(funkčnost odkazu ověřena 27. 3. 2010)



Místo	Země	Počet měření	Průměrný jas	Přibližná intenzita osvětlení
Alcalá del Río	Španělsko	9	$L = (18 \pm 1) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,03 \pm 0,06) \text{ lx}$
Castano Primo	Itálie	17	$L = (18,9 \pm 0,2) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,010 \pm 0,002) \text{ lx}$
Cislago	Itálie	12	$L = (18,0 \pm 0,5) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,020 \pm 0,009) \text{ lx}$
Cuddington	Anglie	9	$L = (18 \pm 1) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,02 \pm 0,01) \text{ lx}$
Luzern	Švýcarsko	15	$L = (19,4 \pm 0,3) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,006 \pm 0,001) \text{ lx}$
Langhus	Norsko	9	$L = (17 \pm 2) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (1 \pm 2) \text{ lx}$
Padova	Itálie	18	$L = (18,6 \pm 0,8) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,015 \pm 0,006) \text{ lx}$
Tradate	Itálie	18	$L = (18,8 \pm 0,5) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,011 \pm 0,008) \text{ lx}$
Vestby	Norsko	64	$L = (19,7 \pm 0,8) \frac{\text{mags}}{\text{arc sec}^2}$	$E = (0,004 \pm 0,003) \text{ lx}$

Tabulka 4 – Přehled míst vybraných z SQM databáze a průměrný jas

## 5.4 Vyhodnocení výsledků

V první fázi lze porovnat přibližnou průměrnou hodnotu intenzity osvětlení z nejtemnějších nocí naměřených lightmeterem (viz tabulka 2) s přibližnými hodnotami intenzity osvětlení z jiných míst naměřených pomocí SQM (viz tabulka 3). Získáme tak nepřesné srovnání světelných podmínek v Prostějově v porovnání s jinými městy. Přibližnou průměrnou hodnotu intenzity osvětlení za nejtemnějších nocí získáme jako aritmetický průměr průměrných hodnot z jednotlivých dní. Výsledkem je  $\bar{E} = 0,013 \text{ lx}$ . Dále jsem srovnával průměrnou hodnotu jasu z místa a průměrnou hodnotu jasu u Prostějova. Jasy byly porovnávány až po převedení na kandely na metr čtverečný. Přehled porovnání můžete vidět v tabulce 5.

Místo	Poměr počtu obyvatel (Prostějov : místo)	Poměr intenzity osvětlení (Prostějov : místo)	Poměr jasu (Prostějov: místo)
Castano Primo	46 : 10	13 : 10	6 : 10
Cislago	51 : 10	7 : 10	3 : 10
Luzern	8 : 10	22 : 10	10 : 10
Padova	2 : 10	9 : 10	5 : 10
Tradate	29 : 10	12 : 10	6 : 10
Vestby	35 : 10	33 : 10	13 : 10

Tabulka 5 – Srovnání hodnot intenzity osvětlení v Prostějově a na zvolených místech

Nelze tedy říct, že čím je město větší (má více obyvatel), tím větší množství nadbytečného světla produkuje. Pokud porovnáváme průměrnou intenzitu osvětlení, pak z tabulky 4 plyne, že Prostějov produkuje relativně hodně nadbytečného světla. Tabulka

5 ovšem zároveň ukazuje, že jas oblohy je v Prostějově relativně nízký. Je to způsobeno tím, že měření bylo provedeno za vhodných podmínek.

Ve druhé fázi lze vyhodnotit výsledky měření provedeného na Držovickém kopci. Jako první jsem převedl průměrnou hodnotu jasu naměřeného pomocí SQM na přibližnou hodnotu intenzity osvětlení. Poté jsem určil průměrnou hodnotu intenzity osvětlení naměřenou lightmeterem ve stejném období.

Přibližná hodnota intenzity osvětlení určená z jasu:  $E_1 = 0,006 \text{ lx}$

Průměrná hodnota intenzity osvětlení (lightmeter):  $E_2 = 0,012 \text{ lx}$

Na okraji města a nad úrovní pouličních lamp je tedy intenzita osvětlení významně menší.

Ve třetí fázi lze vyhodnotit subjektivní pozorování hvězd. V centru města byla viditelnost souhvězdí Orion pozorována mnou s výsledkem 4 magnitudy. U Plumlovské přehrady byla viditelnost pozorována jiným účastníkem projektu s výsledkem 5 magnitud. Prostějovské lampy tedy pravděpodobně zhoršují viditelnost hvězd o 1 magnitudu.

## 6 Závěr

Z výsledků měření je vidět, že světelné znečištění je reálný problém. Výsledky práce bych shrnul do těchto bodů:

- v Prostějově je větší průměrná intenzita osvětlení než ve většině srovnávaných měst,
- v Prostějově byl naměřen nižší jas oblohy než na srovnávaných místech; je to pravděpodobně způsobeno velmi dobrými podmínkami pro měření v jeho průběhu,
- mimo Prostějov, nad úroveň jeho veřejného osvětlení, byla naměřena přibližně poloviční hodnota intenzity osvětlení než ve městě,
- v centru Prostějova byla viditelnost souhvězdí Orion o 1 magnitudu nižší než mimo Prostějov.

Měření ovšem neprobíhalo dostatečně dlouhou dobu a neměl jsem k dispozici dostatečné množství měření z jiných lokalit. Proto bych rád v této aktivitě pokračoval a sledoval, jestli se budou výsledky měnit. Z provedeného měření je ovšem patrné, že světelné znečištění v Prostějově je vyšší než např. v italské Lombardii, kde je světelné znečištění redukováno zákonem.

Světelné znečištění začíná být zcela běžnou věcí a neustále narůstá. Domnívám se, že by bylo dobré jej začít řešit, a byl bych rád, kdyby k tomu moje práce alespoň trochu napomohla.

## 7 Informační zdroje

### Literatura:

FUKA, J., HAVELKA, B.: *Optika (fyzikální kompendium)*, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961

KOFLER, M., ÖGGL, B.: *PHP 5 a MySQL 5: Průvodce webového programátora*, Brno: Computer Press, a.s., 2007, 1. vydání, ISBN 978-80-251-1813-9

SHARP, J.: *Microsoft Visual C# 2005 Krok za krokem*, Brno: Computer Press, a.s., 2006, 1. vydání, ISBN 80-251-1156-3

### Odborné práce a zprávy:

HOLLAN, J.: *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*, Brno 2004

Dostupné na adrese: [http://amper.ped.muni.cz/noc/zprava\\_noc.pdf](http://amper.ped.muni.cz/noc/zprava_noc.pdf)

LÁZNA, T.: *Jak měřit světelné znečištění*, Prostějov 2009

Dostupné na adrese: <http://amper.ped.muni.cz/light/p/JakMeritSvZn.pdf>

SOKANSKÝ, K.: *Zpráva o řešení projektu „Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí“*, Ostrava 2006

Dostupné na adrese: <http://www.mmr-vyzkum.cz/INFOBANKA/zaverecna-zprava-projektu-3402.aspx>

### Odborné časopisy:

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 1. – Názvosloví a legislativa*. Světlo, 5/2005

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 2. – „Ekologická“ svítidla*. Světlo, 6/2005

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 3. – Oslnění*. Světlo, 1/2006

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 4. – Země z kosmu*. Světlo, 2/2006

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 5. – Cesty ekologie aneb patero jak na to*. Světlo, 2/2007

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 6. – Cesty ekologie II aneb patero jak ne*. Světlo, 3/2007

MAIXNER, T.: *Rušivé světlo Část 7. – Měření rušivého světla*. Světlo, 5/2007

Dostupné na adrese:

<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?CenterContentExec=CenterCislaRok&param1=40208&param3=10037>

### Internetové zdroje:

HOLLAN, J.: *What is light pollution and how do we quantify it?* [online], Brno 2009

Dostupné na adrese: [http://amper.ped.muni.cz/light/lp\\_what\\_is.pdf](http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf)

Funkčnost všech odkazů byla ověřena 29. 4. 2010.

## 8 Přílohy



Obrázek 1 – Luxmetr



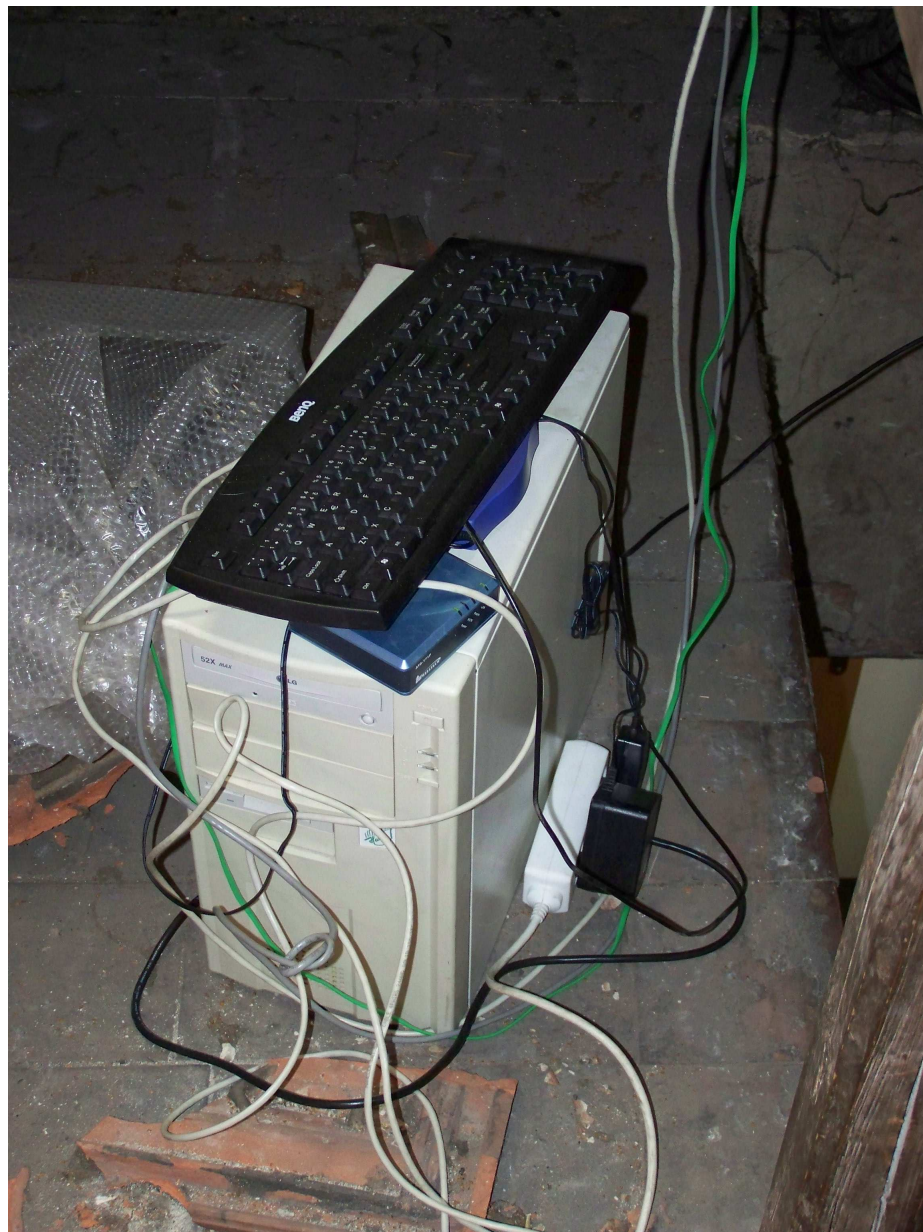
Obrázek 2 – Sky Quality Meter



Obrázek 3 – Lightmeter



Obrázek 4 – Lightmeter

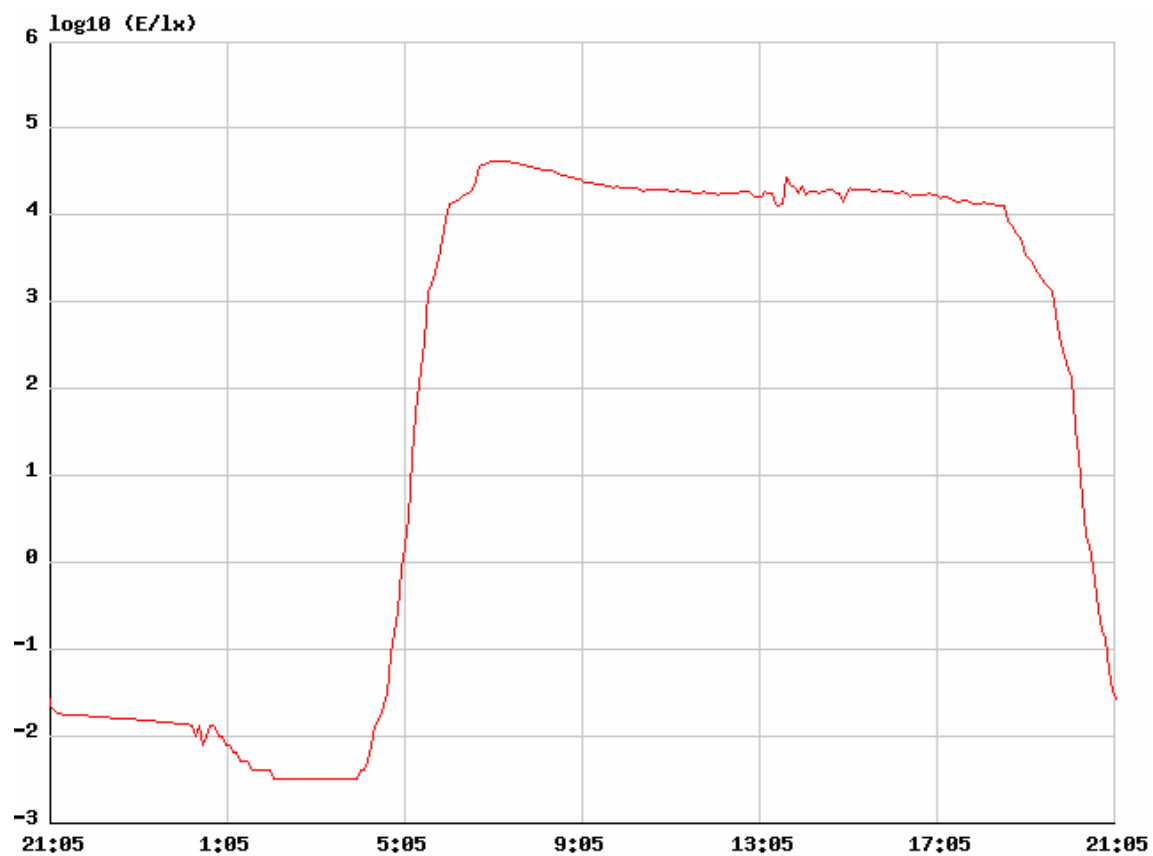


Obrázek 5 – Počítač připojený k lightmeteru



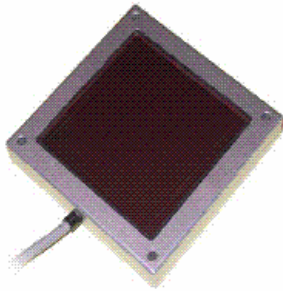


Obrázek 6 – Místo měření na Držovickém kopci



Obrázek 7 – Ukázka grafu intenzity osvětlení

## Light-meter: technical data



### General

Plug'n'Play – weather-proof and ready for outdoor mounting	
Voltage supply	5V DC (via USB)
Current	max 10mA
Housing	special glas, Aluminum anodised
Lenght x width x height	92 x 92 x 15 mm
Weight	370 g (270 g sensor + 100 g USB-cable)
Measurement range	500 mikro-Lux to 200 000 Lux
Noise	20 mikro-Lux at 1 mLux
Recording rate	adjustable from 1 per s to 1 per hour
Detection limit	50 – 100 mikro-Lux
Operating temperature	-25°C to 80°C
Storage temperature	-30°C to 110°C
Maintainance	maintainaince free

### Installation

The sensor is weather-proof;  
Four holes with 4.2mm diameter;  
Mount on isolating material (e.g. Wood);  
Computer within about 20m of sensor.

### System Requirements

1. Computer with operating system, one of:
  - Windows XP/NT/2000, or
  - Linux with Virtualbox2 + Windows virtual machine;
2. USB port;
3. 18 MB disk-space for lightmeter software.

### Typical data-rates

1.5 MB/month for 1 measurement per minute  
350 kB/week for 1 measurement per minute  
3 MB/day for 1 measurement per second

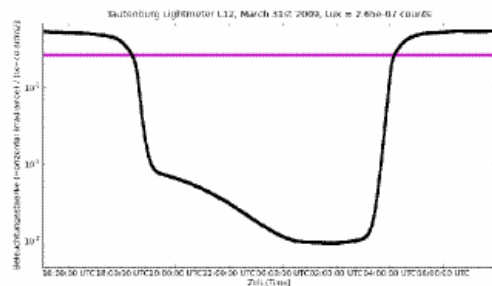
### Software-download and further information:

<http://lightmeter.astronomy2009.at>

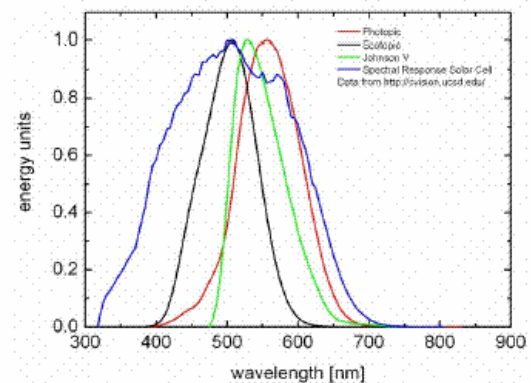
Login: Guest IYA2009

Requests: [lightmeter@astronomy2009.at](mailto:lightmeter@astronomy2009.at)

Technical changes may occur, version of May 18<sup>th</sup>, 2009



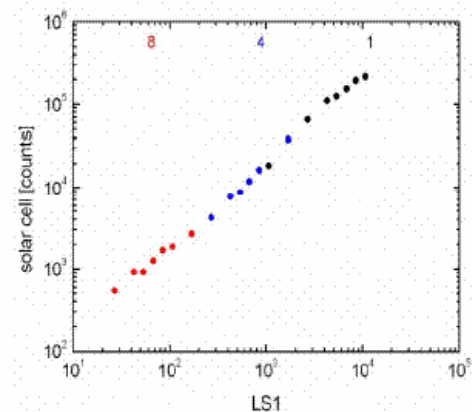
*Lightmeter at Tautenburg. Photometric night with half-moon before local midnight and decreasing to one mbx later. Note the nonlinear daylight part above the full-moon brightness (magenta horizontal line).*



*Spectral sensitivity and bands relevant to the human eye.*



*Lightmeter and USB-cable compared to 1 Euro coin.*



*Sensor linearity checked by calibrated and varied light source.*

Obrázek 8 – Technické specifikace lightmeteru