

Přístroje pro dlouhodobé měření nízkých úrovní osvětleností a jasů

Ing. Tomáš Novák, Ph.D., a kol.^{*)}, VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Úvod

V článku jsou popsány měřicí přístroje, které jsou vhodné pro dlouhodobé vyhodnocování stavu rušivého světla v nočních hodinách. Kromě vyhodnocování rušivého světla jako celku je také cílem získat informace o jeho jednotlivých zdrojích. Především jde o vliv veřejného osvětlení. Nicméně nejen tento zdroj ovlivňuje jas noční oblohy. Je nutné brát v potaz i vliv ostatních zdrojů světla, jako jsou např. okna, světelné reklamy, obchodní a průmyslová centra atd.

Vývoj digitálního luxmetru pro široký rozsah osvětleností

Při navrhování koncepce uvedeného zařízení byly brány v úvahu tyto požadavky:

- široký rozsah měření, od 10^{-3} do 10^5 lx,
- možnost kalibrace nuly,
- možnost dlouhodobého provozu bez obsluhy,
- napájení z baterie i ze sítě,
- automatické přepínání rozsahů,

- možnost odesílat naměřené hodnoty do počítače,
- možnost ukládat naměřené hodnoty do vnitřní paměti a později je stáhnout do počítače.



Obr. 2. Digitální zrcadlový EOS 350D

Při dnešní úrovni elektroniky je každý z těchto požadavků poměrně snadno splnitelný, ale všechny dohromady tvoří již dosti složitý úkol. Nejsložitějším problémem je měření malých úrovní osvětleností.

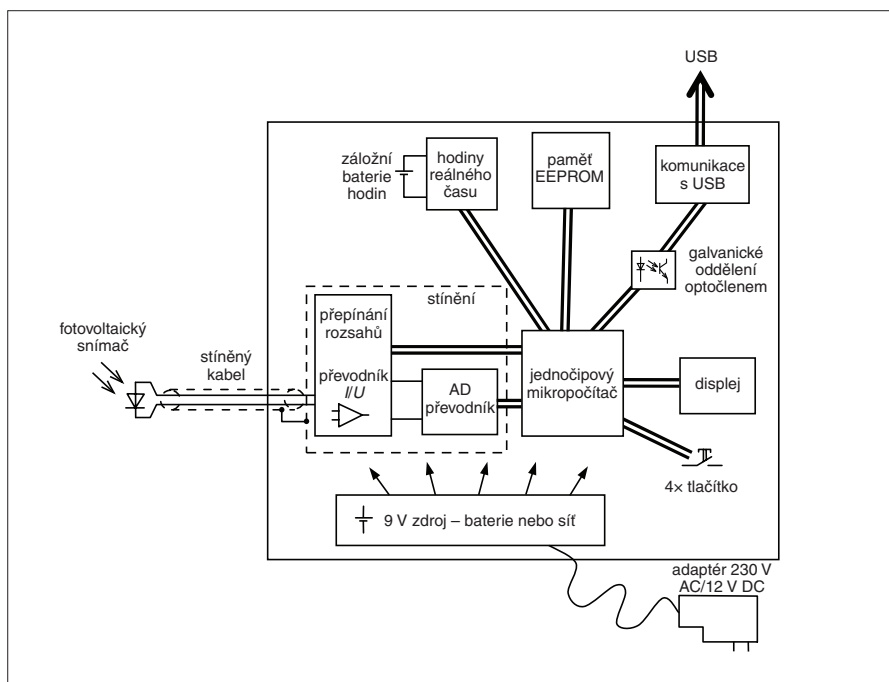
Základem pro luxmetr s vysokou citlivostí (schopnost vyhodnocovat i osvětlenosti řádově 10^{-3} lx) je kvalitní čidlo přizpůsobené svou spektrální citlivostí křivce citlivosti lidského oka. Pokud není čidlo dostatečně kvalitní, není možné sebestlepším elektronickým obvodem osvětlenost objektivně vyhodnotit.

Pro zajištění lineárního převodu osvětlenosti na elektrickou veličinu již od velmi malých hodnot osvětleností se vyhodnocuje proud na výstupu čidla. K tomu lze použít převodník proud-napětí s operačním zesilovačem. Proud, se kterými převodník pracuje při osvětlenos-

tech do 1 lx, jsou ale velmi malé, řádově nanoampéry. Operační zesilovač pro práci s takovými proudy musí být schopen vyhodnocovat velmi malé vstupní proudy, nejlépe o několik řádů menší než pracovní proud. Zmíněné požadavky splňují operační zesilovače s FET vstupem. Zároveň je třeba, aby měl operační zesilovač co nejmenší šum a drift a mohl pracovat s nízkým napájecím napětím (požadavek na napájení z baterie).

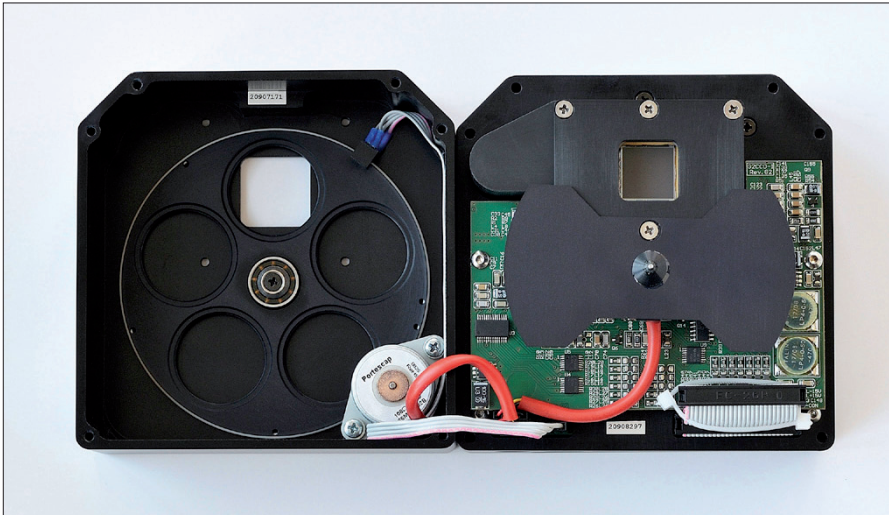
Popis analyzátoru jasu

K měření jasů se na VŠB využívá digitální jednooká zrcadlovka Canon EOS 350D (kalibrována firmou LMK), která zaznamenává reálnou scénu v digitální podobě na paměťové médium pomocí CMOS snímače. U digitálního fotoaparátu je možné měnit různé objektivy tak, aby snímek zachycoval vyhodnocovanou situaci co nejvěrohodněji. Přístroj je nutné po celou dobu měření obsluhovat ručně. Proto je vhodný pouze na krátkodobá měření jasů noční oblohy.



Obr. 1. Blokové schéma zapojení luxmetru

^{*)} prof. Karel Sokanský, CSc., Ing. Petr Závada, Ing. Václav Kolář, Ph.D., Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.



Obr. 3. Vnitřek CCD kamery s filtrovým kolem pro pět filtrů

Programové vybavení

Ke zpracování naměřených snímků je určen software LMK 2000. Jako podklad k vyhodnocení jsou použita data ve formátu CR2, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě tzv. RAW snímku, jenž obsahuje „surová data“, tzn. že zaznamenaná informace je uložena v původní podobě, bez dodatečných korekcí, jak je tomu u jiných formátů (JPEG, BMP apod.).



Obr. 4. Umístění ventilátoru pro chlazení Peltierových článků

Při měření je možné rozšířit rozsah analyzátoru jasu a nastavit úroveň expozice např. na ± 2 , čímž se scéna zaznamená na tři samostatné snímky s úrovněmi $-2,00$ EV, $0,00$ EV, $+2,00$ EV.

Z naměřených a složených snímků se pak vytvoří jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel. Tento makropixel obsahuje 4 pixely (R, G1, B, G2), ve kterých je uložena hodnota zaznamenaná CMOS snímačem fotoaparátu. K přizpůsobení k relativní spektrální citlivosti křivky citlivosti lidského oka V_λ se používá nume-

rická matice. Informace uložené v jasovém kanálu je dále možné zpracovávat a vyhodnocovat.

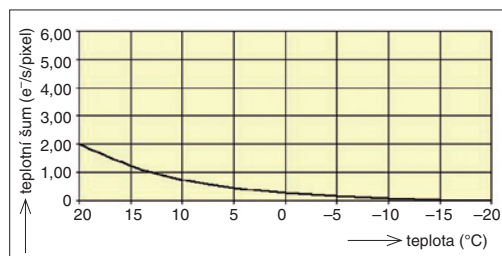
Využití analyzátoru jasu

Ovládání měřicího zařízení je uživatelsky jednoduché a zařízení je možné využít v rámci terénního zjišťování jasů objektů.

Analyzátor se využívá k vyhodnocování jasových poměrů na komunikacích, přechodech pro chodce, chodnících, v tunelech, na površích ve vnitřních prostorech atd. Rovněž se používá k posuzování rušivého světla.

Popis CCD kamery G2-4000 využití jako vysoce citlivý analyzátor jasu

Tato kamera se používá k měření nízkých úrovní jasů z několika důvodů. Prvním důvodem je její vysoká citlivost, které je dosaženo chlazeným CCD čipem. Druhým, velmi důležitým důvodem je možnost vklá-



Obr. 5. Temný proud CCD čipů Kodak KAI 4022

dat různé optické filtry před černobílý CCD snímač, což umožňuje optické přizpůsobení křivky citlivosti lidského oka V_λ pro fotopické vidění, ale také (při použití jiných filtrů) přizpůsobení mezopickému a skotopickému vidění. Třetím důvodem volby je možnost měnit optiku a zejména použít „rybí oko“ ke snímání jasů celého horního poloprostoru. Posledním dů-

vodem využití tohoto typu snímače k vyhodnocování jasů je možnost automaticky ovládat a vkládat údaje do vyhodnocovacího softwaru. Pro vlastní měření jasů je nutné kameru připojit k počítači a použít spolu s optickým zařízením (objektiv, dalekohled, mikroskop a filtr).

K měření jasů noční oblohy je kamera vybavena bajonetem pro objektivy Canon a filtrovým kotoučem pro pět filtrů. Do filtrového kotouče lze umístit pět různých optických filtrů (např. V_λ pro fotopické vidění a V'_λ pro skotopické vidění).

Parametry CCD kamery

Model G2-4000 používá čtyřmegapixelový čtvercový čip CCD Kodak KAI-4022. Rozlišení čipu je $2\,056 \times 2\,062$ obrazových bodů (pixelů). Rozměry jednoho pixelu jsou $7,4 \times 7,4$ μm a jeho obrazová plocha činí $15,2 \times 15,2$ mm. Plná kapacita pixelu je přibližně 40 000 elektronů a plná kapacita výstupu asi 100 000 elektronů.

Po kalibraci CCD kamery lze předpokládat rozsah měřených jasů od 10^{-4} cd/m² do 10^3 cd/m². Maximální měřená hodnota jasu je omezena rychlostí uzávěrky.

Chlazení CCD čipu

Regulované dvoustupňové termoelektrické chlazení dokáže ochladit CCD čip až o 50 °C pod okolní teplotu. Horká strana Peltierových článků je chlazená ventilátorem.

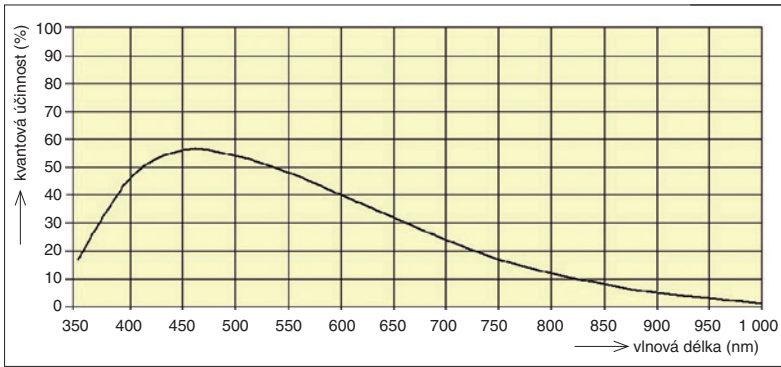
Teplota CCD čipu je regulována s přesností $\pm 0,1$ °C. Účinné chlazení minimalizuje vlastní temný proud CCD čipu a přesná regulace teploty dovoluje správně kalibrovat pořízené snímky. Hlava kamery obsahuje dva senzory teploty – první měří přímo teplotu CCD čipu, druhý měří teplotu vzduchu chladicího horkou stranu Peltierových článků.

Programové vybavení

Šestnáctibitový A/D převodník s korelovaným dvojitým vzorkováním zajišťuje vysoký dynamický rozsah a čtecí šum na úrovni samotného CCD čipu. Rychlé rozhraní USB dovoluje stáhnout snímek během několika sekund. Maximální délka kabelu USB je 5 m. Tato délka může být prodloužena na 10 m použitím rozbočovače USB nebo aktivního prodlužovacího kabelu USB.

Využití měřicího zařízení

Pro dlouhodobý výzkum rušivého světla byla zakoupena černobílá CCD kamera s možností přidat různé filtry. Dále byl zakoupen filtr speciálně přizpůsoben-



Obr. 6. Kvantová účinnost (citlivost) CCD detektoru KAI 4022

ný křivce V_λ pro fotopické (denní) vidění. Kamera využívá čip chlazený Peltierovými články, aby bylo možné zachytit nízké jasy (až 10^{-4} cd/m²).

Snímky pořízené CCD kamerou lze vyhodnocovat pomocí programu LUMIDISP.

Stanice pro dlouhodobé měření jasů noční oblohy bude dodatečně nainstalována k již existujícím měřicím přístrojům na budově Nová knihovna VŠB-TU Ostrava.

Měřicí přístroj SQM-LE

SQM (Sky Quality Meter) je zařízení k měření jasů oblohy ve viditelné části spektra v astronomických jednotkách. Měření zobrazené na displeji udává výsledek v mag/arcsec², výsledek lze převést na hodnotu jasů v cd/m² podle tohoto vzorce

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot \text{mags})} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (1)$$

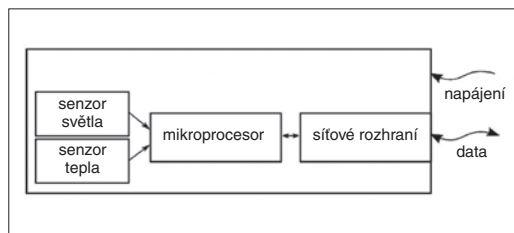
Přístrojem SQM-LE a za použití programu SQM Reader se dlouhodobě měří nastavením časových intervalů, ve kterých se budou naměřené hodnoty zaznamenávat. Takto nastavené měření může probíhat během celé noci a zaznamenávat hodnoty v mag/arcsec². Naměřené hodnoty lze podle vzorce (1) přepočítat na hodnoty jasů.

Popis měřicího přístroje

Přístroj k měření noční oblohy SQL-LE udává hodnoty z měření v jednotkách mag/arcsec². Senzor světla TLS237 vyhodnocuje údaje o noční obloze a senzor teploty je určen ke korekci naměřených hodnot podle teploty okolí. Údaje z obou senzorů jsou posílány do mikroprocesoru SQM-LE, následně přes ethernetový kabel do počítače a zaznamenávají se do příslušného souboru. Prostřednictvím počítače se ovládá nastavení měření (doba měření, počet měření, frekvence).



Obr. 7. Přístroj SQM-LE



Obr. 8. Blokové schéma SQM-LE

Závěr

Zde popsanými měřicími přístroji a za použití jejich příslušenství je možné měřit a vyhodnocovat různé světelnotechnické parametry noční oblohy. Naměřené hodnoty lze přepočítat na poměrné hodnoty, a porovnávat tak výsledky z různých typů přístrojů, v rozdílných měřicích oblastech a při proměnlivých meteorologických podmínkách.

Při vhodném rozmístění přístrojů je možné pozorovat vliv měřeného místa na výsledky (např. město) z několika stanovišť a zjistit tak velikost rušivého vlivu místa na dané oblasti.

Literatura:

[1] NOVÁK, T. – ZÁVADA, P. – DOSTÁL, F. – SOKANSKÝ, K.: *Rušivé světlo v podmínkách Slovenské a České republiky*. In: EEE 2009, 27.–29. 5. 2009, Bratislava, STU v Bratislavě, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009, 978-80-89402-08-3.

[2] DOSTÁL, F. – SOKANSKÝ, K. – NOVÁK, T.: *Long-term measurement of obtrusive light in campus VŠB-TUO*. In: Sborník EPE 2009, Ostrava, VŠB-TUO, 2009, 3, Skupina ČEZ, Dalkia Česká republika, a. s., Československá sekce IEEE, Ministerstvo průmyslu a obchodu, ISBN 978-80-248-1947-1.

[3] DOSTÁL, F. – NOVÁK, T. – SOKANSKÝ, K.: *Měření rušivého světla v areálu VŠB-TUO*. In: Sborník EEE 2009, 27.–29. 5. 2009. Ed. František Janíček, Daniela Reváková, Ivan Daruľa, Juraj Kubica, Igor Šulc, Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava, 2009, 8, ISBN 978-80-89402-08-3.

[4] DOSTÁL, F. – NOVÁK, T. – SOKANSKÝ, K.: *Město a jeho vliv na hodnoty osvětlení v nočních hodinách*. In: Sborník Kurz osvětlovací techniky XXVII, Ostrava, VŠB-TUO, 2009, 30–36, ISBN 978-80-248-2087-3.

[5] DOSTÁL, F. – NOVÁK, T. – SOKANSKÝ, K.: *Vliv městské aglomerace na hodnoty osvětlení v nočních hodinách*. In: Sborník SVĚTLO 2009. Ed. Emre Erkin, Bratislava, 2009, 8 s., ISBN 978-80-969403-7-0.

[6] NOVÁK, T. – SOKANSKÝ, K. – ZÁVADA, P. – DOSTÁL, F.: *Měření rušivého osvětlení*. In: XLI. sešit katedry elektrotechniky, 17. 6. 2009, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 2009, 113–116, 160, 978-80-248-2020-0.

[7] NOVÁK, T. – ZÁVADA P. – DOSTÁL, F. – SOKANSKÝ, K.: *Rušivé světlo v podmínkách Slovenské a České republiky*. In: EEE 2009, 27.–29. 5. 2009, Bratislava, STU v Bratislavě, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009, 978-80-89402-08-3.

[8] ZÁVADA, P. – SOKANSKÝ, K. – NOVÁK, T. – ŽWAK, Z.: *Měření jasů noční oblohy ve Frýdku-Místku*. In: Sborník Kurz osvětlovací techniky XXVII, Ostrava, VŠB-TUO, 2009, Ostrava, Sep/2009, ISBN 978-80-248-2087-3.

[9] ZÁVADA, P. – SOKANSKÝ, K. – NOVÁK, T.: *Metering of light pollution* In: Sborník WOFEX, VSB-TU Ostrava, 2009, 124-129, ISBN 978-80-248-2028-6.

[10] ZÁVADA, P. – SOKANSKÝ, K. – NOVÁK, T.: *Modelování rušivého světla*. In: Sborník Světlo 2009. Ed. Erme Erkin, Jasná, 2009, ISBN 978-80-969403-7-0.

Recenze: Ing. Tomáš Maixner