

Zkrácená zpráva o měření jasů noční oblohy

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.,

Ing. Tomáš Novák, Ph.D., Ing. Petr Závada, Ing. František Dostál, Ing. Daniel Diviš

VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba 708 33,
karel.sokansky@vsb.cz, tomas.novak1@vsb.cz, petr.zavada@vsb.cz, frantisek.dostal@vsb.cz, daniel.divis@vsb.cz

Měření dne 16.září 2009 Jablonec nad Nisou



Stanoviště 1

Horní Náměstí - střed města

Přístrojové vybavení měřícího stanoviště

- jasový analyzátor LMK s objektivem rybí oko – měření celého horního poloprostoru
- jasový analyzátor LMK s originálním objektivem – měření jasů v oblastech okolo horizontu (viz Obrázek 2)
- luxmetr Minilux – měření osvětlenosti způsobené odraženým světelným tokem z horního poloprostoru
- sky quality meter SQM – měření jasnosti oblohy v magnitudách

Naměřená data – jsou na samostatném CD

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- průběhy zenitních jasů ($\pm 30^\circ$ od zenitu) a osvětleností spolu korespondují a průběh magnitud je inverzní, což odpovídá předpokladům. Průběhy těchto veličin v čase ukazují na fakt, že naměřená data byla vyhodnocována korektně ve stejných časech daných intervaly změn venkovního osvětlení v Jablonci nad Nisou.
- kromě změn světelného toku jdoucího z města má výrazný vliv na naměřené veličiny oblačnost (rozptylové podmínky).
- z naměřených dat lze usuzovat, že největší vliv na jasy horního poloprostoru při nízké proměnlivé oblačnosti má fotbalový stadion, který díky své konstrukci (tribuny) ovlivňuje zejména zenitní jasy.
- z vyhodnocování ovlivňování horního poloprostoru lze konstatovat, že pokud není horní poloprostor zaplněn oblačností dochází k ovlivnění jasů oblohy do cca 30° nad horizontem.
- pokud je kompletně zatažená obloha, zvyšuje se jas celého horního poloprostoru.
- hodnocení vlivu VO, oken a venkovního osvětlení (reklamy, průmyslové podniky, ..) nebylo možné provést, protože docházelo ke značným změnám oblačnosti. Například zvýšení vlivu oblačnosti je patrné při regulaci VO po 23 hodině, kdy se zároveň snižoval i vliv ostatních zdrojů světla, a přesto došlo ke zvýšení jasů oblohy ve všech měřených směrech i v zenitu.
- pokud bychom zanedbali změny oblačnosti během měření, lze odhadnout, že jas oblohy nad městem Jablonec nad Nisou může být ovlivněn veřejným osvětlením až ze 70%.

Stanoviště 2

Dobrá Voda , sjezdovka

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- Kalibrovaný fotoaparát Panasonic 12
- SQM

Popis měření

Na měřicím stanovišti v Dobré Vodě na sjezdovce v nadmořské výšce 674 m bylo hlavním cílem měření a následného vyhodnocení hodnota průměrného jasu ohraničeného města (oblast 1) a jasu oblohy nad městem (oblast 2) při jednotlivých situacích a zvláště při zapnutém a vypnutém umělém osvětlení na městském stadionu.

Naměřená data – jsou na samostatném CD

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- porovnáním jasů nad městem (odražená složka světelného toku od nízké oblačnosti) a přímé složky (světelné zdroje) s odraženou složkou od země (průměrný jas města) dojdeme k závěru, že tyto složky mají logicky podobné průběhy. Nicméně je nutné brát v úvahu to, že pokud jsou v zorném poli i přímé světelné zdroje, pak jasy těchto jsou výrazně větší. Námi naměřené rozdíly pro nízkou oblačnost (vysoká odraznost oblohy) jsou v rozdílu řádu. Při nízkých oblačnostech se tento rozdíl ještě zvětší.
- průběhy změn odpovídají změnám naměřených ze stanoviště z centra města.

Stanoviště 3

Rozhledna Proseč - ohoz rozhledny

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- kalibrovaný fotoaparát Nikon s rybím okem, kalibrovaný fotoaparát Nikon s originálním objektivem
- luxmetr minilux
- sky quality meter SQM

Naměřená data – jsou na samostatném CD

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- z měření pomocí luxmetru a SQM metru vyplývá, že hodnoty snímané z horizontu jsou ovlivněné stavem atmosféry pouze minimálně a téměř se nemění, zatímco hodnoty snímané pod úhly blížícími se k zenitu už jsou značně ovlivněny touto proměnnou.
- změny jasů města a nad městem korespondují svými změnami opět v rozmezí jednoho řádu
- vlivem velkého jasu věžnice, který je vůči ostatním světelným zdrojům dominantní nedochází v naměřených hodnotách ke skokovým změnám naměřených hodnot vlivem odpínání VO
- vzhledem k tomu, že velký fotbalový stadion není v zorném poli jasového analyzátoru, tak ani tento nemá na naměřené jasy vliv.

➤ **Stanoviště 4**

➤ **Rozhledna Královka - ochoz rozhledny**

➤ **Přístrojové vybavení měřicího stanoviště**

- jasový analyzátor ROLLEI s originálním objektivem na Jablonec a do zenitu
- luxmetr Minilux
- jasová kamera Minolta LS100

➤ **Naměřená data – jsou na samostatném CD**

➤ **Dílčí vyhodnocení**

- Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:
- z naměřených hodnot jasů města a nad městem nelze vyvodit téměř žádné závěry, protože vyhodnocovaná oblast (viz obrázek 13) neohraničuje pouze zdroje rušivého světla, ale i široké okolí.
- jas města je příliš nízký zejména z důvodu, že do vyhodnocované oblasti jsou zahrnuty i lesy.
- skokové změny jasů oblohy nejsou zachyceny protože do vyhodnocované oblasti je zahrnuta celá oblast vyhodnocovaného snímku. Část snímku zachycuje oblohu nad tmavými horskými oblastmi.

Celkové vyhodnocení měření v Jablonci nad Nisou

V Jablonci nad Nisou bylo provedeno první ze dvou rozsáhlých měření vlivu veřejného osvětlení (VO) na noční prostředí.

Z naměřených dat lze vyvozovat následující závěry:

- Průběhy zenitních jasů ($\pm 30^\circ$ od zenitu) a osvětleností měřených v popsanych stanovištích spolu korespondují, průběh magnitud je inverzní, což odpovídá předpokladům. Průběhy těchto veličin v čase ukazují na fakt, že naměřená data byla vyhodnocována korektně ve stejných časech intervalů změn venkovního osvětlení v Jablonci nad Nisou.
- Kromě změn světelného toku vyzářeného z města ovlivňuje naměřené veličiny rozhodující způsobem oblačnost, resp. rozptylové podmínky.
- Při nízké oblačnosti nejvíce ovlivní jasy v horním poloprostoru osvětlení fotbalového stadionu. Vlivem odstínění bočního světla (tribuny) ovlivňuje tato osvětlovací soustava zejména jasy v okolí zenitu.
- V místech velkých zdrojů světla (např. osvětlení věznice) nedochází ke skokovým změnám měřených veličin při vypínání VO.
- V případě malé oblačnosti dochází k ovlivnění jasů oblohy přibližně do 30° nad horizontem.
- Při velké oblačnosti se zvyšuje jas celého horního poloprostoru.
- Vyhodnocení vlivu VO, světla z oken a ostatního venkovního osvětlení (reklamy, průmyslové podniky) nebylo možné provést, protože měření bylo značně ovlivněno změnami oblačnosti. Například, když se po 23. hodině došlo ke zvýšení jasů v celém horním poloprostoru, přestože se v té době regulovalo VO a rovněž klesala úroveň ostatních zdrojů rušivého světla (zhasínala okna apod.).
- Z porovnání jasů nad městem (odražená složka světelného toku od nízké oblačnosti) a přímé složky (světelné zdroje) s odraženou složkou od země (průměrný jas města) vyplývá, že tyto složky mají časově blízké průběhy. To bylo samozřejmě očekáváno.
- Měření značně ovlivňují jasné zdroje světla, které se nacházejí přímo v měřeném poli použitých přístrojů. Oproti měření v případech, kdy jasné zdroje nejsou v měřeném poli, se hodnota celkového jasů liší v řádu, při nízké oblačnosti jsou rozdíly ještě vyšší.
- z měření pomocí luxmetru a SQM metru vyplývá, že hodnoty snímané z horizontu jsou ovlivněné stavem atmosféry pouze minimálně a téměř se nemění, zatímco hodnoty snímané pod úhly blízcími se k zenitu jsou značně ovlivněny.

Provedená měření splnila svůj účel. Byly ověřeny všechny měřicí aparatury, které byly použity při měření. Jelikož byla během měření nízká oblačnost, která ovlivňovala odraženou složku, nebylo možno jednoznačně vyhodnotit podíl vlivu veřejného osvětlení. Naopak se potvrdil očekávaný významný vliv oblačnosti na jas oblohy, resp. na noční prostředí.

Pokud by se eliminoval vliv oblačnosti, tak lze s určitou mírou nejistoty z naměřených dat vyvodit, že se vliv venkovního osvětlení (včetně veřejného) na velikost rušivého světla blíží k 70%. Zbývajících nežádoucích účinky světla jsou způsobeny okny domácností, světlem z průmyslových závodů, obchodních center, architektonického osvětlení objektů či reklam.

Na základě experimentu nelze prohlásit, zda je veřejné osvětlení dominantním zdrojem rušivého světla. Důvodem jsou nejen nepříznivé atmosférické podmínky, ale i to, že se v měřené oblasti nacházejí i jiné zdroje světla (např. osvětlení věžeňského areálu, průmyslových a obchodních zón, reklamních ploch, okna domácností). V těchto oblastech zůstávají hodnoty rušivého světla nezměněny i po vypnutí VO.

Výsledky měření vlivu veřejného osvětlení Libereckého kraje dne 17.září 2009



Stanoviště 1

Rozhledna Královka - ohoz rozhledny

Přístrojové vybavení měřícího stanoviště:

- jasový analyzátor ROLLEI s originálním objektivem na všechny strany a do zenitu,
- kalibrovaný digitální zrcadlový fotoaparát Olympus 520,

Naměřená data – jsou na samostatném CD

Dílčí vyhodnocení

Z grafů a obrázků je patrné, že jas oblohy nad městy Jablonec nad Nisou a Liberec se po vypnutí VO výrazně zmenšily. Změna se pohybuje mezi 70% (u jasů oblohy nad městem Liberec) až 90% (jas oblohy nad městem Jablonec nad Nisou). Na dalším grafu na obrázku je vyhodnocován průměrný jas města (znázornění vyhodnocovacích oblastí je na dalším obrázku) a oblohy nad městem Jablonec nad Nisou. Průměrný jas města nedosahuje takových rozdílů, jako u průměrného jasů oblohy nad městem. Důvod tohoto je v určení vyhodnocovací oblasti, kde u oblasti, která zahrnuje průměrný jas města je i zahrnuta tmavá oblast lesa.

Stanoviště 2

Výšková budova Krajského úřadu v Liberci – střecha budovy

Přístrojové vybavení měřícího stanoviště

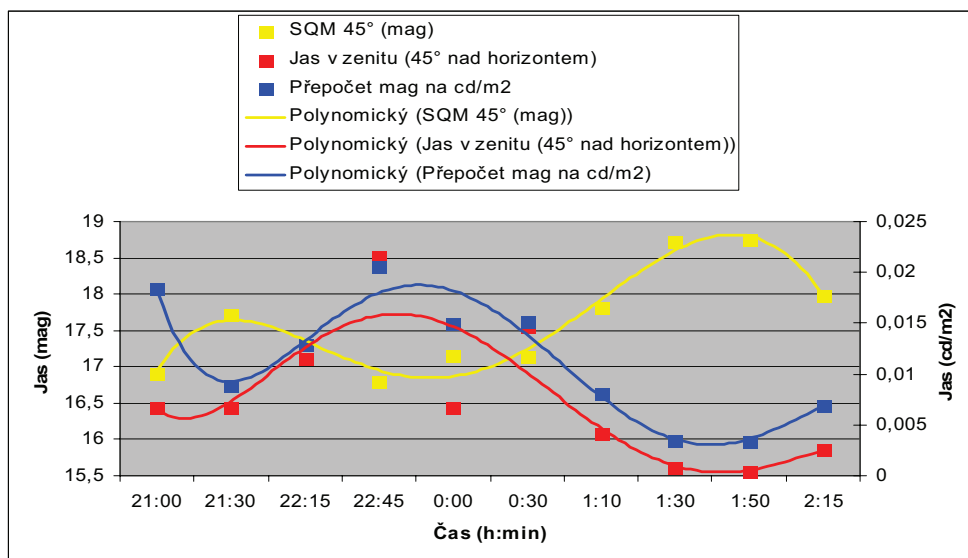
- Nikon s FE, Nikon s originálním objektivem do zenitu a nad Jablonec,
- Panasonic 10,
- Minilux,
- SQL,
- Digitální zrcadlový fotoaparát, kompas.

Poznámky:

- měření miniluxem před zhasnutím – 0,069 lux
- měření miniluxem po zhasnutí – 0,035 lux

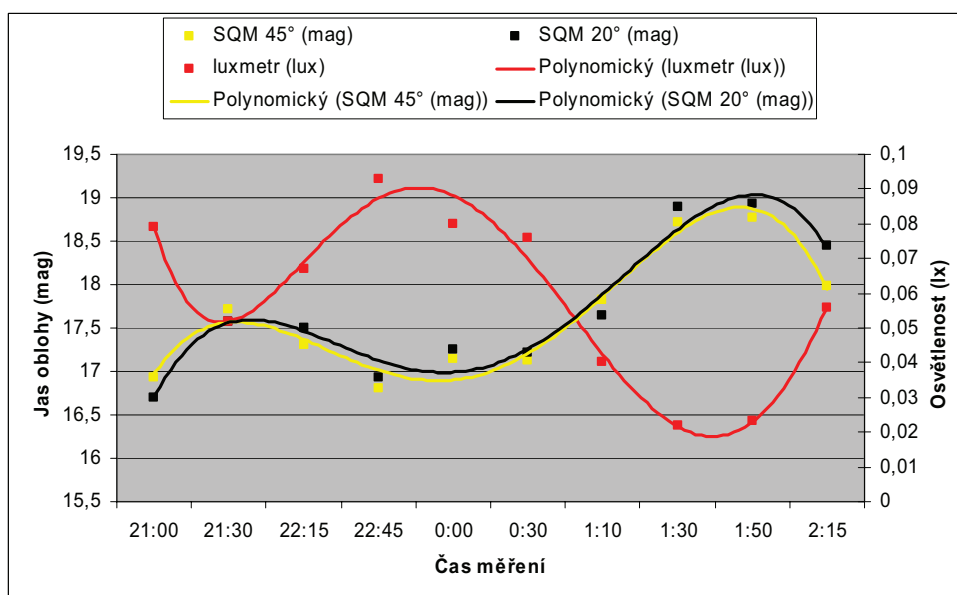
Naměřená data – jsou na samostatném CD

Na obrázku 2 jsou vyneseny grafy s hodnotami z měření pomocí přístroje SQM, který měří s pozorovacím úhlem 45° (žlutá křivka) a jas v zenitu naměřený pomocí kalibrovaného digitálního fotoaparátu Nikon s objektivem rybí oko opět s pozorovacím úhlem 45° (pozorovací úhel je dán vyznačenou oblastí, červená křivka). Modrá křivka znázorňuje hodnoty jasů přepočtené z magnitud. Naměřené hodnoty jsou proloženy polynomickou spojnicí trendu pátého stupně.



• obrázek 11 Graf s naměřenými hodnotami osvětlenosti na budově Krajského úřadu v Liberci

V dalším grafu na obrázku 3 jsou vyneseny naměřené hodnoty osvětlenosti a dvou měřících přístrojů SQM, jeden s pozorovacím úhlem 45° a druhý s pozorovacím úhlem 20°. Tyto hodnoty jsou opět proloženy polynomickou spojnici trendu pátého stupně.



• obrázek 12 Graf naměřených hodnot jasů v zenitu

Dílčí vyhodnocení

Měřené oblasti průměrných jasů oblohy nad obchodním centrem GLOBUS, nad městem Jablonec nad Nisou se zhruba do času 0:30 výrazně nemění (obrázek 3), zvláště pak nad obchodním centrem GLOBUS minimálně. Ostatní oblasti (jas v zenitu a hlavní nádraží) vykazují větší změny průměrných jasů oblohy. V čase, kdy už bylo VO částečně vypnuté, průměrné jasy oblohy klesly. V oblasti nad obchodním centrem NISA jsou změny průměrných jasů nejnižší, i po vypnutí VO nijak razantní.

Stanoviště 3

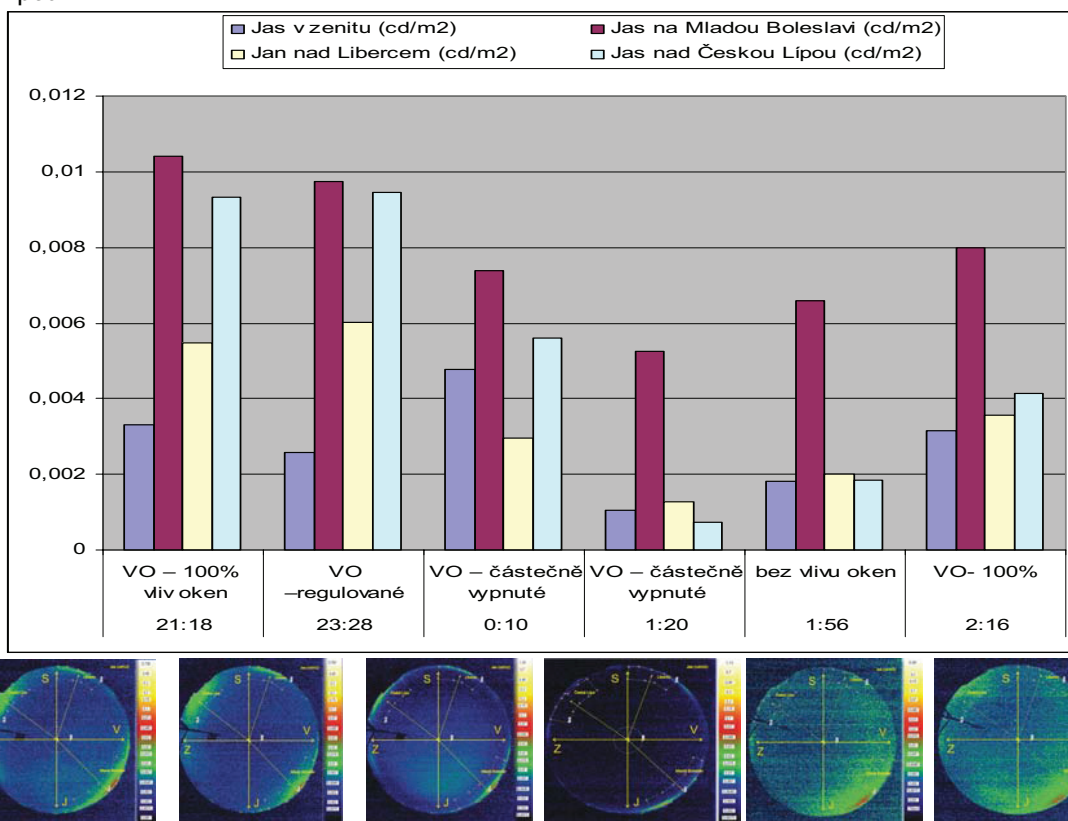
Hradní věž hradu Bezděz

Přístrojové vybavení měřícího stanoviště

- LMK s FE,
- LMK s originálním objektivem do zenitu a po 45-ti stupních

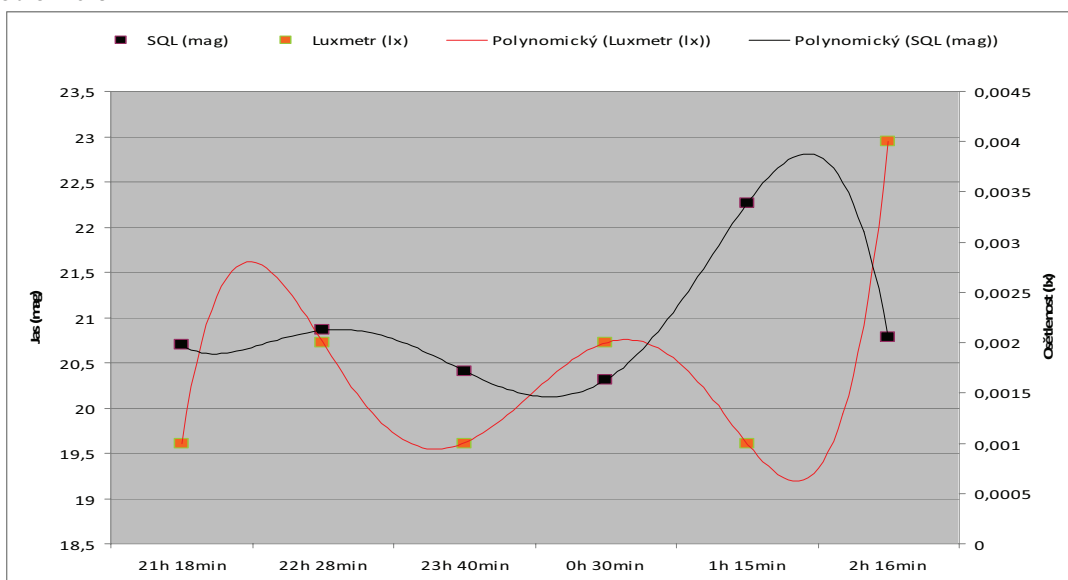
Naměřená data – jsou na samostatném CD

Ze snímků pořízených objektivem rybím okem jsou vyhodnoceny průměrné jasy nad městy. Tyto hodnoty jsou pak vyneseny v grafu na obrázku 4. První oblast určuje jas v zenitu, druhá oblast je obloha nad městem Mladá Boleslav, město Liberec je zhruba od severu (0°) směrem na východ (oblast 3) a čtvrtá oblast je obloha nad Českou Lípou.



• obrázek 13 Graf s naměřenými hodnotami průměrných jasů nad městy

Hodnoty měřené luxmetrem se pohybují na dolní hranici citlivosti měřícího přístroje a můžou být zkresleny, jak je vidět na obrázku 5.



• obrázek 14 Grafické znázornění naměřených hodnot pomocí luxmetru a SQM

Dílčí vyhodnocení

Na sloupcovém grafu na obrázku 4 jsou vyhodnoceny jasy oblohy nad městy Liberec a Česká Lípa, ve kterých se VO vypínalo a jas oblohy nad městem Mladou Boleslaví, kde se VO nevypínalo. V grafu je vidět, že změny

průměrných jasů byly i nad ve vypínaném městě. Tyto změny se dají přisoudit atmosférickým podmínkám, které byly na měřicím stanovišti velmi proměnlivé. V porovnání velikosti změn u jednotlivých oblastí, kde se VO vypínalo a s oblastí nad Mladou Boleslaví je vidět, že vypínání VO má vliv na průměrný jas oblohy nad těmito oblastmi. Na obrázku 5 jsou vyneseny hodnoty osvětlenosti (pravá svislá osa) a hodnoty naměřené pomocí přístroje SQM v magnitudách (levá svislá osa) proloženy polynomickou spojnicí trendu pátého stupně. Opět je zde vidět, že čím je hodnota magnitud větší, tím je osvětlenost pod horním polooprostorem menší.

Stanoviště 4

Rozhledna Kozákov – hláska PVOS VÚ 3255

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- Digitální zrcadlový fotoaparát Panasonic 12,
- SQL s optikou,

Kompletní vyhodnocení včetně obrazových příloh je z důvodu velkého obsahu dat a fotografií na samostatném CD, kde je podrobně popsáno celkové měření na jednotlivých stanovištích.

Celkové vyhodnocení Liberecký kraj

Předchozí měření v Jablonci nad Nisou ověřilo použité měřicí přístroje, které byly použity při měření celého Libereckého kraje. Jelikož se jednalo o přístroje pracující na odlišných principech, má celkové hodnocení vyšší vypovídací hodnotu. Díky různým měřicím stanovištím lze posoudit naměřené hodnoty jak z pohledu z města ven (měřicí stanoviště na budově KULK), tak i z pohledu na města a obce územního celku LK (stanoviště Kozákov, Bezděz a Královka).

Při měření ze středu města činí rozdíly jasů noční oblohy na začátku noci při zapnutém a vypnutém VO uprostřed noci, kdy už nejsou v provozu téměř žádné jiné potenciálně rušivé zdroje cca 70%. V extrémních případech až 90% a naopak mohou být 10% a to v oblastech, ve kterých jsou jasy noční oblohy výrazně ovlivněny obchodními a průmyslovými centry.

Ze zjištěných údajů nelze jednoznačně stanovit, že veřejné osvětlení je dominantním zdrojem rušivého světla. Z naměřených hodnot jasů i ostatních veličin lze usuzovat, že vliv VO na začátku noci, kdy jsou v provozu všechny potenciálně rušivé zdroje světla je v Liberci pouze cca 30%. V měřené oblasti se nacházejí i jiné světelné zdroje (např. osvětlení průmyslových a obchodních zón, reklamních ploch). Dalším zdrojem jsou městské části panelové výstavby (okna domácností). V těchto oblastech i po vypnutí VO zůstávají naměřené hodnoty nezměněny.

Při plošném měření jednotlivých částí kraje ze stanovišť Kozákov, Bezděz a Královka jsou rozdíly jasů noční oblohy mezi zapnutým a vypnutým VO menší, než 30%.

Rozdíly naměřených hodnot z městských center a vzdálených stanovišť lze odůvodnit členitým územím libereckého kraje, kde je 43% území zalesněno a města a obce se nacházejí uvnitř tohoto území.

Výsledky zpracované v této části opět ukazují na fakt, že proměnlivá oblačnost je hlavním faktorem ovlivňujícím jas noční oblohy vyvolaným veškerým venkovním osvětlením.

Z hlediska srovnání rušivých vlivů velkých a malých městských aglomerací lze konstatovat, že dominantní vliv veřejného osvětlení se projevuje více u malých obcí. U velkých měst je podíl veřejného osvětlení na rušivém osvětlení menší. Ve větších městech (nad 5000 obyvatel) je výrazně vyšší podíl jiných zdrojů světla (okna, reklamní plochy, obchodní centra) než je v malých obcích.

Čas vypnutí soustavy VO na území libereckého kraje byl sledován na rozvodně ČEPS Bezděčín, ze které je ze 70% zásobován elektrickou energií Liberecký kraj.

Z časových průběhů výkonů dle sdělení pracovníků rozvodny nelze jednoznačně stanovit, zda pokles na T401 je způsoben přímo vypínáním osvětlení nebo vypínáním jiné zátěže ovládané přes HDO. Nicméně porovnáním průběhu s předešlými pracovními dny (okolo 1hod. ranní) můžeme s opatrností konstatovat, že se jedná o pokles výkonu cca 5 MW. Z odhadnutého celkového příkonu soustavy VO na území LK (cca 9 MW) je poznat snížení v čase vypínání o 5 MW, což odpovídá 70% napájení území LK.

Závěr

Z výše uvedených měření lze konstatovat, že veřejné osvětlení měst a obcí může být významným zdrojem rušivého světla, nikoliv však jediným. Čím větší město, tím je menší podíl vlivu na rušivém světle z VO menší. Z měření vyplývá, že na rušivém světle se podílí i jiné zdroje světla.

Tento projekt byl jednoznačně největší ve své oblasti v České Republice i na celém světě a to v řízeném vypnutí soustav veřejného osvětlení o výkonu cca 9 MW. Projekt přináší řadu nových poznatků a postřehů jak pro řešitelský tým tak i pro odbornou i neobornou veřejnost.

Vzhledem k množství pořízených dat a jejich různorodosti nejsou zatím vyčerpány všechny možnosti vyhodnocení a je nutné dále pokračovat jak ve vyhodnocování, tak i v pořizování dalších nových dat.

Použité měřicí přístroje

1.1. Jasový analyzátor LMK mobile advanced

Pomocí tohoto jasového analyzátoru lze sejmout jasovou mapu v požadovaném prostorovém úhlu. Měřený prostorový úhel lze měnit pomocí různých typů objektivů. Pro sejmání jasové mapy celého horního poloprostoru (noční oblohy) lze s výhodou použít tzv. rybí oko s prostorovým úhlem 2π steradiánů. Součástí jasového analyzátoru je digitální jednoboká zrcadlovka Canon a software LMK 2000, který z naměřeného snímku vytvoří jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel.

1.2. Jasová kamera Konica Minolta LS-100

Měření je prováděno pomocí optiky s měřicím úhlem 1° . Konstrukce optického systému zajišťuje, že nedojde k rušení mezi měřenou oblastí uvnitř hledáčku a okolní oblastí vně hledáčku. Přístroj umožňuje nastavit okamžité měření jasu, měření poměru jasů nebo měření nejvyšší hodnoty jasu či nejvyššího poměru jasů. Měřené hodnoty mohou být přenášeny po datovém kanálu a zpracovány v počítači. Měřicí rozsah je od 0,001 cd/m², přičemž přesnost udávaná výrobcem pro malé hodnoty jasů (0,001 až 0,999 cd/m²) činí +/- 2% +/- 2 číslice zobrazené hodnoty. Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o bodové měření.

1.3. Luxmetr MX-Elektronik MINILUX

Jak již z názvu vyplývá je přístroj Minilux konstruován pro měření nízkých hodnot osvětleností. Rozsah měření udávaný výrobcem je 0,001 lx – 199,9 klx. Čidlo luxmetru je opatřeno kosinovým nástavcem a citlivost čidla odpovídá spektrální citlivosti lidského oka podle křivky V_λ.

1.4. Unihedron – Sky Quality Meter (SQM)

Jedná se o malé přenosné zařízení, které volně přeloženo určuje „kvalitu oblohy“ z hlediska rušivého světla. Zařízení má filtr, který umožní vyhodnocení pouze záření ve viditelném spektru. Filtr odstraní spektrum blízké infračervenému a tím potlačí teplotní vliv na měřicí senzor. Měření se provádí zaměřením přístroje na zenit a trvá maximálně 60 sekund. Měří se kužel o vrcholovém úhlu 40° , tedy 20° od osy měření. Měřená hodnota je zobrazena v mag/arcsec².

LMK Mobile Advanced

1.5. Nikon E4500 s FE

Další fotoaparát s objektivem Fish Eye pro snímání jasů celého horního poloprostoru. Pořízené snímky se pak převádějí na jasové mapy pomocí programu LumiDISP, kde je vytvořena kalibrační funkce pro tento měřicí přístroj. Tento fotoaparát má rozlišení 4 megapixely, což zajišťuje dostatečné rozlišení pro zpracování jasové analýzy. Je zde rovněž možnost manuálního nastavení doby expozice potřebné pro zachycení nízkých úrovní jasů noční oblohy.

Další použité měřicí přístroje pracují na obdobných principech, jako výše uvedené. Při obou měřeních byly obsazeny čtyři stanoviště a každé z nich mělo vsoje specifické vybavení. Použité přístroje jsou pak uvedeny u zpracování výsledků jednotlivých stanovišť.