# Univerzita Karlova v Praze

# Přírodovědecká fakulta

katedra fyzické geografie a geoekologie


studijní program: Geografie
studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie

Bc. David Kocourek


# Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov

## Light pollution in the vicinity of the Ondřejov observatory

Diplomová práce

Praha 2017

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Matějček, Ph.D.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, na základě použité literatury uvedené ve zdrojích a dat z vlastnoručně provedeného měření. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu či osvědčení.

V Praze dne 9. 8. 2017

…….

Bc. David Kocourek

**Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli RNDr. Tomáši Matějčkovi, Ph.D. za cenné rady a svědomité vedení mé diplomové práce. Panu Pavlu Suchanovi za možnost propojit můj akademický zájem s praktickou a užitečnou činností – změřit konkrétní hodnoty světelného znečištění v blízkém okolí Ondřejovské hvězdárny Astronomického ústavu AV. Mému otci, Ing. Jaroslavu Kocourkovi, za půjčení odpovídající fotografické techniky a poskytnutí metodických rad při pořizování snímků noční oblohy. V neposlední řadě pak ostatním členům mé rodiny a přátelům, kteří mi poskytli morální podporu a klidné zázemí, bez kterého by tato práce nevznikla.

## Zadání diplomové práce

## Název práce:

Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov

## Cíle práce:

Cílem diplomové práce je zjistit aktuální stav jasu noční oblohy v okolí hvězdárny Ondřejov AÚ AV. Ze získaných dat bude výsledným produktem mapa světelného znečištění zájmového území. Součástí práce bude také interpretace naměřených hodnot.

## Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

- Rešerše odborné literatury k tématu na danou problematiku
- Zájmové území v okolí hvězdárny Ondřejov, jehož hranice prochází po hřebenech, které při pohledu z hvězdárny tvoří nejbližší obzor
- Vlastní sběr dat pomocí jasoměru SQM-L od firmy Unihedron
- Zhodnocení výsledků a vytvoření přehledné mapy hodnot SZ v zájmové oblasti
- Návrh možných opatření k redukci emisí rušivého světla

14. 6. 2017

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

**Abstrakt**

Světelné znečištěné je v současnosti jedním z environmentálních problémů lidské společnosti. S technologickým rozvojem a nárůstem lidské populace na planetě Zemi dochází během noci ke stále se zvyšujícím emisím rušivého světla do okolního prostoru. Největším producentem světelného znečištění jsou městské a příměstské regiony, ze kterých se světlo šíří až na několik desítek kilometrů daleko a zvyšuje tak jas oblohy i v krajině venkovské či přírodě blízké. Expozice rušivým světlem má prokazatelně neblahý vliv na zdraví člověka, živočichy a rostliny i na rovnováhu celých ekosystémů. V této práci se zaměřuji na zjištění a zhodnocení stavu jasu oblohy v zájmové zóně hvězdárny Astronomického ústavu AV u Ondřejova. Na základě vlastních dat měřených v terénu při devíti nočních výjezdech jsem v programu ArcMap 10.2 vytvořil interpolovanou mapu území a podle směrových měření interpretoval hlavní znečišťovatele v této oblasti. Výsledky jasně ukazují zřetelný trend snižování jasu oblohy ze severozápadu k východu. Z měření dále vyplývá, že lokální zdroje rušivého světla poblíž Ondřejova mají na celkový zenitní jas oblohy v porovnání s přítomností Prahy vzdálené několik desítek kilometrů spíše nepatrný vliv.

*Klíčová slova: světelné znečištění, rušivé světlo, jas oblohy, SQM, Ondřejovská hvězdárna*

**Abstract**

Light pollution is currently one of the environmental problems of human society. With the technological development and the increase of the human population on the planet, the landscape is constantly increasing the emission of disturbing light into the surrounding area during the night. The largest producer of light pollution is the urban and suburban regions where light spreads to several decades away, increasing the brightness of the sky, as well as rural or nature-close landscapes. Exposure to disturbing light has a demonstrably unfavorable effect on human, animal and plant health as well as on the balance of whole ecosystems. In this work I focus on finding and assessing the state of sky brightness in the interest zone of the observatory of Astronomical Institute AV at Ondřejov. Based on my own data measured in the field during nine night excursions, I created an interpolated map of ArcMap 10.2 and, according to directional measurements, interpreted the main polluters in this area. The results clearly show a clear trend to reduce the sky's brightness from the northwest to the east. The measurements also show that the local sources of obstrusive light near Ondřejov have a slight influence on the overall zenith brightness of the sky compared to the presence of Prague, several miles away.

*Keywords: light pollution, obstrusive light, sky brightness, SQM, Ondřejov observatory*

# Obsah

Seznam obrázků…… 6

Seznam tabulek…….. 8

Seznam zkratek……..…… 8

**1. Úvod…… 9**

**2. Cíle práce……..…… 11**

**3. Shrnutí dosavadních poznatků o problematice světelného znečištění…… 12**

3.1 Světelné znečištění……..…….… 12

3.2 Příčiny světelného znečištění……..…..…. 15

3.3 Stav světelného znečištění…….…….…… 21

3.4 Možnosti řešení problému světelného znečištění……...…….…. 26

3.5 Světlo……...…….…. 28

*3.5.1 Základní fotometrické veličiny*……..…..... 28

3.6 Zdroje světla……...……..… 30

3.7 Rozptyl světla……...……..… 31

3.8 Technické světelné zdroje……...……..… 33

3.9 Negativní vliv světelného znečištění……...……..… 38

*3.9.1 Vliv na lidské zdraví*…….……...…. 38

*3.9.2 Vliv na živočichy*…….…… 39

*3.9.3 Vliv na rostliny*…….…. 41

3.10 Ochrana tmavé oblohy……..……..… 42

*3.10.1 Oblasti tmavé oblohy v Česku*…….……..… 43

3.11 Světelné znečištění v legislativě…… 45

*3.11.1 Česko*…….…… 45

*3.11.2 Vybrané státy*…… 46

**4. Způsoby měření jasu oblohy (světelného znečištění)…….…….…… 48**

4.1 Pozemní měření…….…….……...…… 48

4.2 Dálkový průzkum Země…….…….……....… 49

**5. Charakteristika zájmové oblasti……...…… 51**

**6. Metodika…… 53**

6.1 Metodika terénního průzkumu znečišťovatelů v okolí Ondřejovské hvězdárny……..…. 53

6.2 Měřící přístroj SQM-L……..... 53

6.3 Metodika získávání dat jasu noční oblohy……..……..... 54

6.4 Metodika tvorby mapy jasu noční oblohy…….…….. 56

6.5 Metodika statistického zpracování…… …….. 57

6.6 Metodika doplňující fotografické dokumentace…….…… 57

**7. Výsledky…… 59**

7.1 Terénní průzkum lokálních znečišťovatelů v okolí Ondřejovské hvězdárny…… 59

7.2 Tabulka se zprůměrovanými naměřenými hodnotami jasu oblohy…… 64

7.3 Grafy směrového měření a fotografická dokumentace …….. 64

7.4 Shrnutí získaných výsledků směrových měření…….. 81

7.5 Mapa jasu noční oblohy……...…… 81

7.6 Výsledky statistické analýzy…… 83

7.7 Návrh opatření k redukci světelného znečištění v zájmové oblasti……. 85

**8. Diskuze…….. 87**

**9. Závěr…… 90**

**10. Zdroje…… 92**

Seznam příloh……..…… 98

**Seznam obrázků**

Obr. 1: Sky glow (světelný smog) viditelný nad nočním městem ..... 13
Obr. 2: Grafické znázornění užitečného, neužitečného a rušivého světla ..... 14
Obr. 3: Původní vysokotlaké sodíkové výbojky v porovnání s nově instalovanými LED světly… 16
Obr. 4: Neúčelně osvětlené interiéry kancelářských budov v noci ..... 16
Obr. 5: Celonočně osvětlené parkoviště u obchodního centra..... 17
Obr. 6: Klasické lampy typu „koule“, které neúčelně září kolmo vzhůru..... 17
Obr. 7: Dva příklady špatného nasvícení památky..... 18
Obr. 8: Příklad světelné reklamy..... 19
Obr. 9: Fotbalový stadion při nočním zápase..... 19
Obr. 10: Příklady nevhodného osvětlení billboardů..... 19
Obr. 11: Noční osvětlení v okolí sjezdovky Javor u Pece pod Sněžkou..... 20
Obr. 12: Intenzivně zářící skleníky u polského města Bogatynia..... 20
Obr. 13: Noční jas oblohy nad světem (výřez mapy jasu oblohy) ..... 21
Obr. 14: Noční jas oblohy nad Evropou..... 22
Obr. 15: Noční jas oblohy nad Českem..... 23
Obr. 16: Země skupiny G20 seřazené podle podílu obyvatel, které jsou vystaveni světelnému znečištěním (jas oblohy v [μcd/m$^2$]) ..... 25
Obr. 17: Země skupiny G20 seřazené podle plochy území, která je vystavená světelnému znečištění (jas oblohy v [μcd/m$^2$]) ..... 25
Obr. 18: a) Příklad obvyklého nesměrového světla b) směrového (např. LED osvětlení)..... 26
Obr. 19: Ukázka špatného a správného (směrového) osvětlení silnice..... 27
Obr. 20: Dobře cloněné drážní svítidlo..... 27
Obr. 21: Cloněná světla na letišti Václava Havla – Praha..... 27
Obr. 22: Spektrum elektromagnetického záření..... 28
Obr. 23: Diagram svítivosti..... 29
Obr. 24: Osvětlenost - schéma..... 29
Obr. 25: Hodnoty osvětlenosti z různých druhů světelných zdrojů. ..... 29
Obr. 26: Rozptyl slunečního záření na molekule vzduchu (Rayleighův rozptyl) ..... 31
Obr. 27: Mieův rozptyl slunečního záření na větších kapalných a pevných molekulách..... 32
Obr. 28: Rozptyl světla v atmosféře..... 32
Obr. 29: Graf. znázornění klasifikace světelných zdrojů dle fyzikálního principu vzniku světla... 33
Obr. 30: Žárovka a příklad jejího spektra ..... 34
Obr. 31: Rtuťová výbojka a příklad jejího spektra..... 35
Obr. 32: Nízkotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra..... 35

Obr. 33: Vysokotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra…… 36
Obr. 34: Halogenová výbojka a příklad jejího spektra…… 36
Obr. 35: Bílá LED dioda a typická spektra LED s fosforovým luminoforem……..… 37
Obr. 36: Mapa průměrné zenitové záře nad Jizerskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS…… 44
Obr. 37: Mapa průměrné zenitové záře nad Beskydskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS…… 44
Obr. 38: Mapa průměrné zenitové záře nad Manětínskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS….. 45
Obr. 39: Vymezení zóny zájmové zóny kolem hvězdárny Ondřejov……..… 52
Obr. 40: Jasoměr Sky Quality Meter……..……. 54
Obr. 41: Gradační úprava snímku…… 58
Obr. 42: Objektiv se zorným úhlem 185°…… 58
Obr. 43: Hostinec v Ondřejově s osvětlenou čelní stranou ve večerních hodinách……..… 60
Obr. 44: Soukromý objekt s lampami typu „koule“ u Komorního Hrádku…….……. 60
Obr. 45: Náměstí v Mnichovicích s osvětleným kostelem.……. 60
Obr. 46: Náměstí v Choceradech s osvětleným kostelem.…… 60
Obr. 47: Přesvětlené nádraží v Čerčanech..……. 61
Obr. 48: Husté osvětlení silnice mimo zástavbu u Stříbrné Skalice. ……..… 61
Obr. 49: Průmyslový areál firmy JUNKER v obci Čtyřkoly s oslňujícími reflektory……..… 62
Obr. 50: Zámek Komorní Hrádek nasvícený intenzivními reflektory…….. 62
Obr. 51: Lokalizace světelných znečišťovatelů, zjištěných během průzkumu v oblasti s popisem a odkazem na obrázek. ……..…..…….…… 63
Obr. 52: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti A – Černé Voděrady…….…… 65
Obr. 53: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti B – Čtyřkoly…..…… 66
Obr. 54: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti C – Dojetřice…….…… 67
Obr. 55: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti D – Dubsko.…….…….…… 68
Obr. 56: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti E – Hradové Střimelice …… 69
Obr. 57: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti F – Chocerady……..……. 70
Obr. 58: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti G – Klokočná ……..…… 71
Obr. 59: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti H – Kostelní Střimelice ...…… 72
Obr. 60: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti I – Mnichovice…….……. 73
Obr. 61: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti J – Ondřejov…….…… 74
Obr. 62: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti K – Oplany……..…… 75
Obr. 63: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti L – Senohraby……..……. 76
Obr. 64: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti M – Turkovice……..…… 77
Obr. 65: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti N – Vodslivy……. 78
Obr. 66: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti O – Vranov……...…… 79
Obr. 67: Směrový graf jasu oblohy a její fotografie na stanovišti P – Zvánovice……...…… 80
Obr. 68: Mapa jasu oblohy v okolí hvězdárny Ondřejov……...……....…..…….. 82

Obr. 69: Grafické znázornění korelace vzdálenosti od Prahy a jasu oblohy za obce (ZSJ) …..... 83
Obr. 70: Korelace hustoty zalidnění a jasu oblohy za obce (ZSJ) …...……..…… 84
Obr. 71: Korelace počtu obyvatel a jasu oblohy za obce (ZSJ) ……..…… 84

**Seznam tabulek:**

Tab. 1: Převod jednotek [mag/arcsec$^2$] na [cd/m$^2$]……...…… 54
Tab. 2: Názvy měřících míst se souřadnicemi a průměrný jasem oblohy…….…….. 56
Tab. 3: Prům. hodnoty jasu oblohy [mag/arcsec$^2$] v zenitu a v osmi světových stranách pod 60°.. 64
Tab. 4: Korelační koeficient a p hodnota vypočtená v programu SPSS……...…… 83

**Seznam zkratek:**

AV – Akademie věd
BOTO – Beskydská oblast tmavé oblohy
cd – candela
IDA – International Dark-Sky Association (mezinárodní organizace pro ochranu tmavé oblohy)
DMSP – Defense Meteorological Satellite Programme (satelitní meteorologický program ministerstva obrany USA)
DNB – Day-Night Band (filtr umožňující snímání denní i noční záře ve spektru 0,5–0,9 μm)
JOTO – Jizerská oblast tmavé oblohy
LED – Light Emitting Diode (světlo emitující dioda)
lm – lumen
lx – lux
MOTO – Manětínská oblast tmavé oblohy
MSA – magnituda na úhlovou čtvereční vteřinu
OLS – Operational Linescan System (přístroj, který dokáže zachytit i velmi slabé optické signály)
SQM – Sky Quality Meter (jasoměr od firmy Unihedron)
VIIRS – Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (vylepšený přístroj OLS pro detekci slabého optického signálu)
ZSJ – základní sídelní jednotka

# 1. Úvod

V době 21. století člověk ovlivňuje prakticky všechny složky životního prostředí, ve většině případů značně negativně. Kácí se deštné pralesy, kvůli globálnímu oteplování tají mohutné ledovce a zvyšuje se hladina světového oceánu, mnoho živočichů se ocitlo na pokraji vyhubení. Člověk ovšem ohrozil i do začátku 20. století naprosto samozřejmé střídání světlého dne a temné noci. Nyní se zdá, že i taková obyčejná skutečnost, jako je temná obloha s hvězdami může být v brzké budoucnosti minulostí. I proto možná UNESCO považuje hvězdné nebe za součást světového dědictví (online cit. UNESCO [1]).

Na počátku 21. století přišel Cinzano et al. (2001) s odvážným tvrzením, že zhruba 2/3 světové populace a 99 % obyvatel Spojených států Amerických a Evropské Unie žije pod nočním nebem, které je negativně ovlivněné antropogenními zdroji světla a ztrácí svoji ryzí tmu. Ve městech již není vidět Mléčná dráha, zvířetníkové světlo či mnoho méně jasných hvězd (Bortle 2001). Dnes, po více než patnácti letech je velmi pravděpodobné, že se situace spíše zhoršila než naopak, jak předestírá Falchi et al. (2016) v Novém atlase umělého jasu noční oblohy.

Naneštěstí ovšem není nemožnost vidět hvězdné nebe v celé své kráse zdaleka jediným špatným důsledkem mnohdy zbytečného svícení, ať už se jedná o intenzivní nízkotlaké sodíkové výbojky na veřejných komunikacích v Beneluxu, nebo o zbytečné osvětlení výkladních skříní v nočních hodinách v Pařížské ulici v Praze.

Mnohé studie (např. Baker et al. 2006, Gaston 2013, Gutman & Daiant 2005, Heiling 1999, Holker et al. 2010, Kempanears et al. 2010, Salmon 2003, Troy et al. 2013) varují před negativním vlivem světelného znečištění na změnu chování zvířat či zvýšení rizika úhynu jedinců druhů náchylných na změnu světelných podmínek. Zvýšení jasu během noci může zcela narušit evolucí vytvořené ekologické vazby mezi celými populacemi zvířecích druhů a tím přispět k nestabilitě celých ekosystémů (Ring & Langcore 2006). Negativní dopad přílišného vystavení rušivému světlu během noci má prokazatelně vliv také na člověka, neboť nepřirozené světlo narušuje náš cirkadiánní rytmus (Wandell 1995), omezuje sekreci spánkového hormonu melatoninu (např. Zeitzer et al. 2000, Wright et al. 2001), který působí jako prevence proti rakovinnému bujení (Navara & Nelson 2007, Glickman et al. 2002) a jiným chorobám našeho těla (Reiter et al. 2000, Skeene & Swaab 2001, Tan et al. 2006).

Světelné znečištění není marginálním problémem rozvinutého a rozvíjejícího se světa. Jedná se o globální problém, který se neustále zvětšuje, a přitom jeho řešení není zdaleka tak utopické, jak by se mohlo zdát. Jen je potřeba si při konstrukci nových a rekonstrukci stávajících světelných zdrojů uvědomit, co chceme osvětlovat, proč a jaká intenzita je pro naše účely dostatečná a přiměřená.

Pevně věřím, že se postupem času tento environmentální problém dostane více do povědomí lidí. O to se snaží některé nadnárodní nestátní organizace (např. IDA) (online cit. IDA [2]) nebo v Česku oblasti tmavé oblohy, které vznikají jako noční pozorovatelny astronomických úkazů a rozšiřují povědomí o tom, co vlastně světelné znečištění je (online cit. JOTO [3]). Dobrou praxí je implementování termínu světelné znečištění do národních legislativ a stanovení efektivních limitů, které vedou k celkovému snížení, nebo alespoň k nezvyšování jasu oblohy – dobrý příklad například v Itálii či Slovinsku.

Nezbývá než doufat, že lidé nezačnou vnímat převážně urbanizovanou noční krajinu v hustě zalidněném rozvinutém světě s mnoha světelnými zdroji jako něco přirozeného, lidem vlastního a v podstatě žádoucího. Pokud se spokojíme se skutečností, že místo tisíců hvězd, Mléčné dráhy a zodiakálního světla spatříme v noci nad městem jen pár desítek těch nejjasnějších hvězd, ztratíme nevyčíslitelné přírodní bohatství, které si možná ani neuvědomujeme.

# 2. Cíle práce

Cílem mé diplomové práce bylo v teoretické části komplexně popsat problematiku světelného znečištění ve všech jeho aspektech. Mnohé dílčí informace již byly popsány v mé bakalářské práci (Kocourek 2010); v této práci se snažím o jejich rozšíření a doplnění.

Cílem praktické části diplomové práce bylo zmapovat stav světelného znečištění v zájmové zóně hvězdárny Astronomického ústavu AV na vrcholu Pecný u obce Ondřejov a z vlastnoručně nasbíraných dat jasu oblohy (přístrojem SQM) v zenitu vytvořit interpolovanou mapu jasu oblohy zmíněného území. Dále z dat získaných doplňkovým měřením jasu oblohy v osmi světových stranách vytvořit směrové grafy jasu oblohy a interpretovat hlavní světelné znečišťovatele každého měřicího místa, pomocí statistické korelace vyhodnotit, zda existuje vzájemný vztah mezi:

a) jasem oblohy a vzdáleností od Prahy,

b) jasem oblohy a počtem obyvatel/hustotou zalidnění v obcích nacházející se ve zkoumaném území.

Dalším výstupem byl praktický návrh redukce světelného znečištění v okolí hvězdárny vycházející z interpretace naměřených dat.

# 3. Shrnutí dosavadních poznatků o problematice světelného znečištění

## 3.1 Světelné znečištění

Na objektivní realitě, že s rozvojem společnosti je v noci více rušivého světla než bylo před sto lety, se shodne většina veřejnosti, nicméně složitější je přesně stanovit definici, co vlastně světelné znečištění je a jaký má vztah k pojmu rušivé světlo. V této kapitole se tedy zaměřím na definici termínu světelného znečištění a příbuzných pojmů, které se k této problematice váží. Dle Morgana-Taylora (in Meier 2015) je světelné znečištění obecně antropogenní světlo emitované do svého okolí ze světelných zdrojů, které:

1. Osvětlují neúčelně prostor kolem sebe (např. osvětlení parkoviště po jeho uzavření, nebo osvětlování velkých překladních ploch v průmyslových areálech v noci).
2. Osvětlují prostory, kde světlo přímo nevyžadujeme, případně je pro nás dokonce škodlivé (lampa na chodníku před domem, která svítí v noci oknem do ložnice).
3. Používají takové spektrální typy světla, které působí škodlivě na zvířata, případně narušují cirkadiánní rytmus člověka.

Abychom ovšem mohli s pojmem efektivně nakládat v rámci legislativy a světelné znečištění zákony omezovat nebo účinně regulovat, definice uvedená výše nestačí. Evropská unie se ve svých zákonech o světelném znečištění zmiňuje a operuje se dvěma termíny: (1) **světelné znečištění** (light pollution) a (2) **rušivé světlo** (obtrusive light). Tyto dva pojmy se někdy používají zvlášť, někdy jako synonyma (Meier 2015). Dalšími důležitými termíny, které je vhodné zde zmínit jsou: **sky glow** – světelná záře nad městy viditelná v noci (jinak též světelný smog), **glare** (oslnění), **light intrusion** (světelné emise) a **over-brightness** (přesvětlení).

Směrnice Evropské unie No 245/2009, Annex II 3(e) a (f) definuje tyto pojmy:

*„**Světelné znečištění** zahrnuje všechny nepříznivé dopady umělého světla na životní prostředí, včetně negativního působení rušivého světla.“*

*„**Rušivé světlo** představuje tu část světla z umělého osvětlení, které neslouží k osvětlení prostoru, ke kterému bylo svítidlo navrženo.“*

Svoji definici světelného znečištění má také Mezinárodní organizace pro tmavou oblohu (IDA), která ho popisuje jako *„Jakýkoli nepříznivý účinek umělého světla, včetně světelné záře nad městy (sky*

*glow), oslnění (glare), světelný přesah (light tresspas), neúčelné světlo (light clutter), snížení viditelnosti během noci a plýtvání energií* (online cit. IDA 2014) [2].

Z českého prostředí uvedu definici Astronomického ústavu AV, který světelné znečištění popisuje jako *„důsledek nehospodárného nakládání se světlem, které ruší přirozenou noční tmu a biorytmy všech živých organismů, včetně člověka, které tmu potřebují k efektivnímu spánku. Osvětluje oblohu na desítky kilometrů daleko a je tudíž svízelným problémem i pro všechny profesionální i laické pozorovatele noční oblohy"* (online cit. AÚ AV ČR, v.v.i.) [4].

Pojmem **sky glow** obyčejně rozumíme přesvětlené nebe nad městy, přes které nejsou vidět hvězdy. Nebe má tedy jasně nažloutlou barvu. Někdy se používá pro sky glow označení světelný smog.

*Obr. 1: Sky glow (světelný smog) viditelný nad nočním městem*
*Zdroj: www.nwnewsnetwork.org/post/light-pollution-fight-advances-one-city-and-park-time*

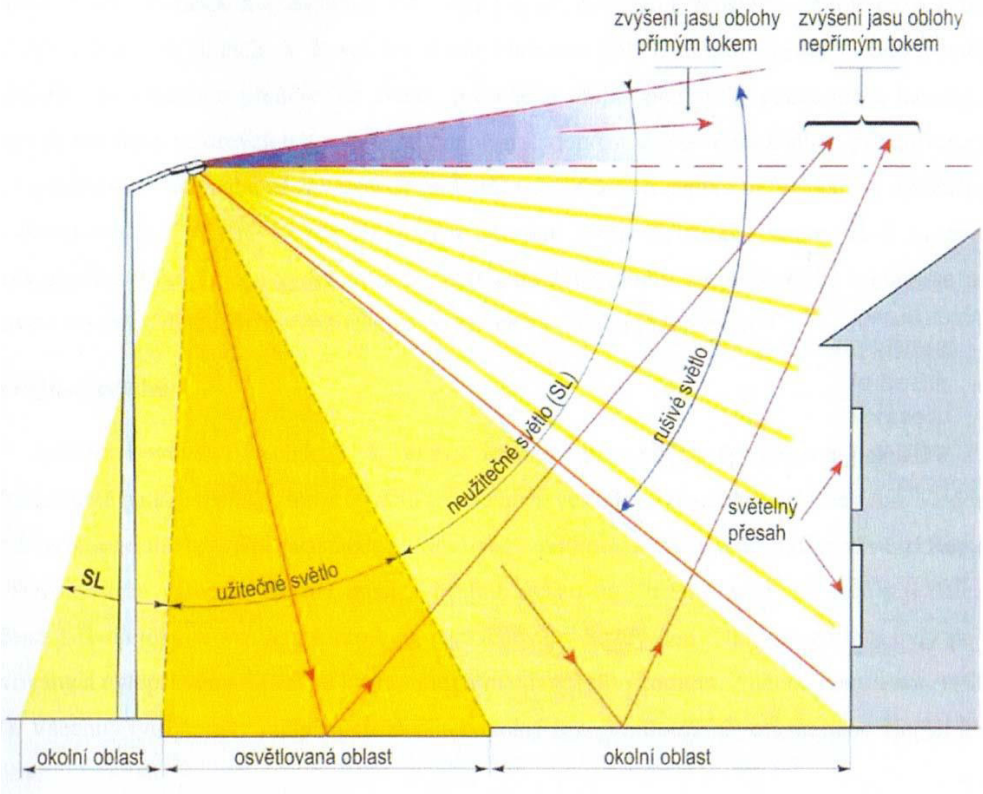
Směrnice Evropské unie No 245/2009, Annex II 3(e) a (f) definuje termín sky glow následovně:

„***Sky glow*** *je zesvětlení noční oblohy kvůli přímému i nepřímému odrazu záření (viditelného i neviditelného), které je rozptýlené jednotlivými složkami atmosféry (molekul plynů, aerosolů a dalších částic) ve směru pozorování*".

**Rušivé světlo** (obstrusive light) je jakékoli neúčelně emitované záření z antropogenních světelných zdrojů. Existuje mnoho lamp a svítidel, která nejsou cíleně nasměrovaná (svítí mimo místa, která mají osvětlovat), případně mohou být nepřiměřeně intenzivní (např. oslňují řidiče na pozemních komunikacích).

Problémem správného a účelného svícení se zabývá vědecký obor světelná technika. Z pohledu účelnosti svícení můžeme dle CIE (International commission on illumination) rozdělit světelné zdroje do tří kategorií (Habel 2013).

1. *Užitečné světlo (useful light)* – Takto označujeme světelné záření správně směrované do prostoru, který má osvětlovat. Světlo, které je z hlediska člověka v noci žádoucí a nezbytné (např. pouliční osvětlení).
2. *Neužitečné světlo (spill light)* – Světlo, které neosvětluje požadovanou plochu. Neužitečné světlo není zamýšleným důsledkem konstrukce lampy. Vzniká nedostatečným cloněním výbojky nebo jejím špatným nasměrováním. Lidé z neužitečného světla nemají užitek, nicméně, pokud nepůsobí rušivě, lidi neobtěžuje.
3. *Rušivé světlo (obstrusive light)* – Jedná se o světlo, které je vysloveně nepříjemné a lidé se ho snaží eliminovat (např. záclonami/žaluziemi v bytě). Klasickým příkladem je lampa svítící ze silnice do okna ložnice. Toto světlo může mít na zdraví člověka patologický vliv.




*Obr. 2: Grafické znázornění užitečného, neužitečného a rušivého světla*
*Zdroj: Habel (2013)*

V této diplomové práci je termín světelné znečištění chápán jako nadřazený termínu rušivé světlo, přičemž tento pojem je chápán nikoli jako přesvětlená obloha, ale jako jakékoli světlo, jehož expozici je vystaven člověk, živočich či rostlina. Tato expozice na něj může mít negativní vliv, je nechtěná nebo omezující (například pokud světlo z veřejného osvětlení proniká okny do ložnice).

## 3.2 Příčiny světelného znečištění

Příčinou světelného znečištění je velké množství antropogenních zdrojů světla, které uměle zvyšují jas oblohy. S tím souvisí problematika intenzity a typu světelného zdroje (jeho spektrální složení), jeho umístění v rámci svítidla (orientace, clonění), množství aerosolů, polétavého prachu a jiných nečistot v okolí, hustoty a výšky zástavby nebo šířky ulic. Z přírodních faktorů pak množství zeleně a plošný rozsah sněhové pokrývky (Bujalský 2010) výška a typ oblaků (Kyba et al. 2011a). Při kvantifikaci světelného znečištění hraje stěžejní roli hustota zalidnění, neboť zcela logicky, kde se lidé nevyskytují, tam nejsou umělé zdroje světla a není zde potřeba v noci svítit. V zásadě můžeme hlavní příčiny světelného znečištění shrnout do tří stěžejních bodů (Meier 2015):

- Nasvícení prostoru kolem světelného zdroje, který není předmětem zájmu svícení.
- Svícení v době, kdy není potřeba.
- Užívání světelných zdrojů, které emitují světlo v nežádoucím barevném spektru.

Každý člověk se přirozeně bojí neznámého, a pokud se pohybuje ve tmě, má poněkud sníženou schopnost orientace v okolním prostředí. Z toto pramení mylné přesvědčení, že silné osvětlením veřejného prostoru může hrát svou roli jako prevence vůči kriminálním činům (Peña-García et al. 2015). Obsáhlou rešerši literatury týkající se osvětlení veřejného prostoru a trestných činů zpracovali Clark et al. (2002). Výsledkem této rozsáhlé studie je, že se pravděpodobně jedná pouze o psychický subjektivní lidský pocit bezpečí, neboť v praxi nebylo prokázáno, že by snížení intenzity osvětlení, či úplné zhasnutí světel vedlo k plošnému nárůstu kriminality (Steinbach et al. 2015).

Považuji za velmi utopickou představu, že by všechna města v noci zhasla. Samozřejmě to není ani možné, ani racionální, nicméně ve většině případů by bylo na místě se zamyslet nad účelností svícení/osvětlení, a nad jeho nezbytností. Případně zvážit, zda konkrétní světelný zdroj není zbytečně silný nebo zda nesvítí v nežádoucí spektrální barvě, která může působit rušivě na lidi i zvířata. V neposlední řadě je důležité uvážit, zda není možné nahradit zastaralou konstrukci lampy lepším, tj. více cloněným a směrovým modelem.

**Veřejným osvětlením** rozumíme všechny světelné zdroje, lampy a osvětlení na veřejně přístupných prostranstvích, jakými jsou například náměstí, silnice, parkoviště, cesty pro pěší a pěší třídy, příbřežní promenády, náplavky, městské parky, nádražní budovy apod. Jedná se o otevřený prostor, ze kterého se vyzářené světlo dostává do okolního prostředí, kde se odráží a rozptyluje. V současnosti jsou v Česku stále nejvíce používaným světelným zdrojem pro veřejná osvětlení vysokotlaké sodíkové výbojky (Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení v roce 2012). Tento světelný zdroj se zdá být poměrně šetrný vzhledem k lidskému zdraví, neboť biorytmy lidí jsou daleko více citlivé na světlo kratších vlnových délek (Brainard et al. 2001). Další výhodou je také menší intenzita rozptylu na částicích vzduchu, než je tomu u modrého světla.

*Obr. 3: Původní vysokotlaké sodíkové výbojky v porovnání s nově instalovanými LED světly*
*Zdroj: www.fotonmag.cz/vyrobci-led/pardubice-spustily-pilotni-projekt-verejneho-osvetleni-vyuzivajici-moderni--led*

Kromě veřejných prostranství jsou samozřejmě osvětlovány také soukromé prostory, či prostranství v majetku soukromých firem a institucí, jakými jsou například venkovní sportovní areály, průmyslové areály, překladiště, komerční prostory apod. Velkým nebezpečím je **celonoční interiérové svícení v prosklených stavbách**, většinou kancelářských budovách či nákupních centrech, které se přes noc nezhasínají, ačkoli se uvnitř již žádní zaměstnanci nevyskytují; nezřídka se nechává rozsvíceno i ve výkladních výlohách obchodů. Všechno toto světlo se dostává skrze sklo do venkovního prostoru.

*Obr. 4: Neúčelně osvětlené interiéry kancelářských budov v noci*
*Zdroj: www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-office-building-night-image8342106, www.molon.de/galleries/India/Karnataka/Bangalore/Night/images01/05%20Illuminated%20office%20building%20at%20night.jpg*

*Obr. 5: Celonočně osvětlené parkoviště u obchodního centra*
*Foto: autor*

Na intenzitu světelného znečištění má rovněž velký vliv **konstrukce světla.** Jas oblohy nejvíce zvyšují svítidla, která emitují světlo pod malými úhly nad rovinu horizontu. Další typy problematických lamp jsou ty, které ozařují prostor přímo vertikálně nahoru, kde světlo přirozeně není nutné a jeho působením může naopak docházet k tzv. light tresspas, při kterém světlo svítí do oken a může působit na obyvatele velmi rušivě. Takovým typem jsou (esteticky působící) druhy lamp, které se používají převážně k osvětlení parků, zahrad nebo rezidenčních čtvrtí s rodinnými domky a mají charakteristický tvar koule se světelným zdrojem směrovaným vertikálně vzhůru. Některé z nich sice mají alespoň na vrchu kryt, nicméně převážně starší typy často nejsou cloněné vůbec (viz obr. 6).

*Obr. 6: Klasické lampy typu „koule“, které neúčelně září kolmo vzhůru.*
*Zdroj: autor, www.znojemsky.denik.cz/galerie/znojmo-zacne-s-vymenou-verejneho-osvetleni-za-samostmivaci--led-lampy.html, http://www.honor.eu/jermad-prenosne.php*

Ke světelnému znečištění notnou měrou přispívá touha lidí po estetičnosti nočního prostředí a s ní související poměrně časté **okrasné nasvícení památek** (kostelů, zámků, hradů, památníků). Reflektory používané pro tyto účely jsou nezřídka kdy špatně směrované (svítí nahoru) a nevhodně cloněné, takže neosvětlují pouze objekt zájmu, ale svítí také do volného prostoru v okolí (viz obr. 7).

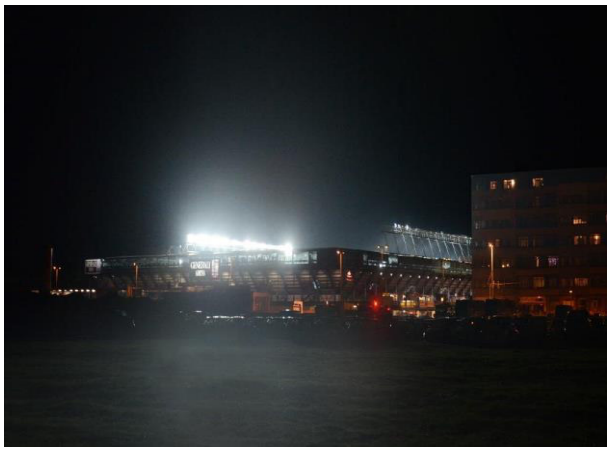
*Obr: 7: Dva příklady špatného nasvícení památky*
*Zdroj: http://www.svetelneznecisteni.cz/img-content/4.jpg, autor*

Relativně nejnebezpečnější je rušivé světlo v okolí silnic, neboť pokud lampy řidiče doslova oslepí, zvyšuje se pravděpodobnost dopravní nehody (Steinbach et al. 2015). Velkým zlozvykem jsou **billboardy** a reklamy u silnic, jejichž reflektory svítí neúměrně velkou intenzitou a většinou ve směru zezdola nahoru. Takové provedení přispívá ke světelnému znečištění mnohem více, než pokud směřují seshora dolů. Dalším nežádoucím světlem na silnicích je osvětlení **benzinových pump** a rušných křižovatek, které také nezřídka není přiměřené (Suchan 2004).

Zajímavým, ale již méně obvyklým zdrojem znečištění jsou **laserové a světelné reklamy**, které se promítají na oblohu, a které v současné době nejsou nijak omezované zákonem, i když jejich negativní dopad nejen na světelné znečištění, ale i na psychiku obyvatel, je značný. V neposlední řadě tento světelný zdroj velmi znesnadňuje pozorování noční oblohy, pokud je v blízkosti astronomické observatoře (Suchan 2004).

Krátkodobým zdrojem znečištění, ale zato velmi intenzivním, jsou nezakryté **sportovní stadiony**, které v době večerních a nočních utkání používají velmi silné reflektory pro dokonalé nasvícení celé plochy hřiště.

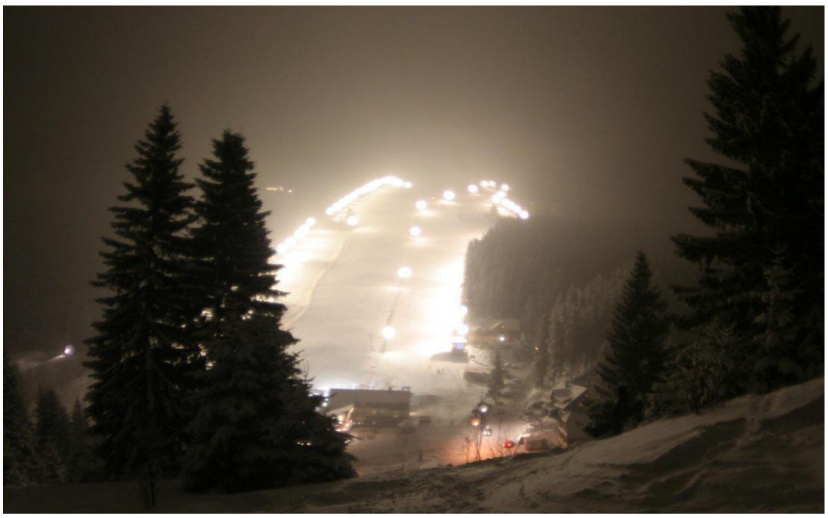
*Obr. 8: Příklad světelné reklamy*
*Zdroj:*
*www.asu.cas.cz/~borovic/Prilohy_soubory/image003.jpg*



*Obr. 9: Fotbalový stadion při nočním zápase*
*Foto: autor*

*Obr.10: Příklady nevhodného osvětlení billboardů*
*Foto: autor*

Se světelným znečištěním se můžeme setkat i na místech, kde se lidé vyskytují jen sezónně. Jedná se o osvětlení sjezdovek v lyžařských střediscích. V Česku se tomuto tématu věnuje Bujalský (2010). Výsledky této studie naznačují, že pro zachování stávajícího přírodního charakteru Krkonošského národního parku by bylo vhodné osvětlení sjezdovek mnohonásobně zmírnit. V této oblasti je také poměrně velké riziko negativního vlivu světelného znečištění na relativně zachovalý ekosystém. V Krkonoších je v současnosti světelným znečištěním ovlivněno zhruba 4 % území národního parku.



*Obr. 11: Noční osvětlení v okolí sjezdovky Javor u Pece pod Sněžkou*
*Zdroj: Bujalský (2010)*

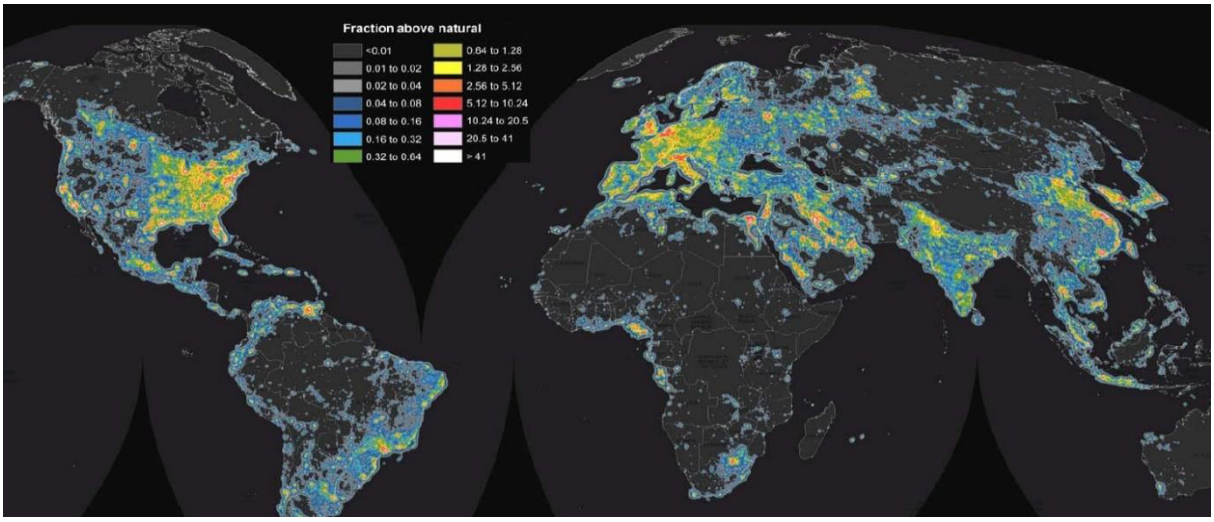
Obrovským světelným znečišťovatelem mohou být skleníky, určené pro pěstování zeleniny. V roce 2016 zprovoznila soukromá firma obří skleníky na rajčata u polského města Bogatynie, které jsou vytápěné odpadním teplem z nedaleké elektrárny. Světelný smog byl vidět ze širokého okolí – z Liberce a z obcí ve Frýdlantském výběžku (online cit. Jablonecký deník [5]). Díky rychlé intervenci ministerstev životního prostředí Česka a Německa došlo zhruba po půl roce k instalaci speciálních rolet, které dokáží pohltit až 97 % emitovaného světla (online cit. Idnes.cz [6]).

*Obr. 12: Intenzivně zářící skleníky u polského města Bogatynia*
*Zdroj: https://media.novinky.cz/979/569792-top_foto1-e9ou1.jpg?1501063202*

## 3.3 Stav světelného znečištění

Světelné znečištění je problémem převážně ve vyspělých a rozvíjejících se zemích. Na počátku nového tisíciletí dle Cinzana et al. (2001) žilo více než 2/3 obyvatel Země v oblastech, kde je jas noční oblohy ovlivněn antropogenními emisemi světla. Dle Nového atlasu jasu noční oblohy (Falchi et al. 2016) je to již 80 % obyvatel země, kteří žijí pod světelně znečištěným nebem (jas noční oblohy je větší než 14 μcd/m$^2$). V USA a EU je to celých 99 % obyvatel. Mléčnou dráhu při pohledu na noční oblohu dnes již nevidí více než 1/3 obyvatel světa, z toho 60 % Evropanů a téměř 80 % obyvatel Severní Ameriky.

Obecně je světelného znečištění více v hustě zalidněných oblastech (Benelux, Porúří, východní pobřeží USA, východní Čína, Japonsko aj.) a městských aglomeracích (Londýn, Paříž, Moskva, Káhira, São Paulo). Dále je závislé na lidské aktivitě v dané oblasti. Na mapách jasu noční oblohy jsou také dobře patrné těžební ropné plošiny v Severním moři, pohyblivými lokálními zdroji světla ovšem mohou být i velké rybářské flotily (Cinzano et al. 2001).



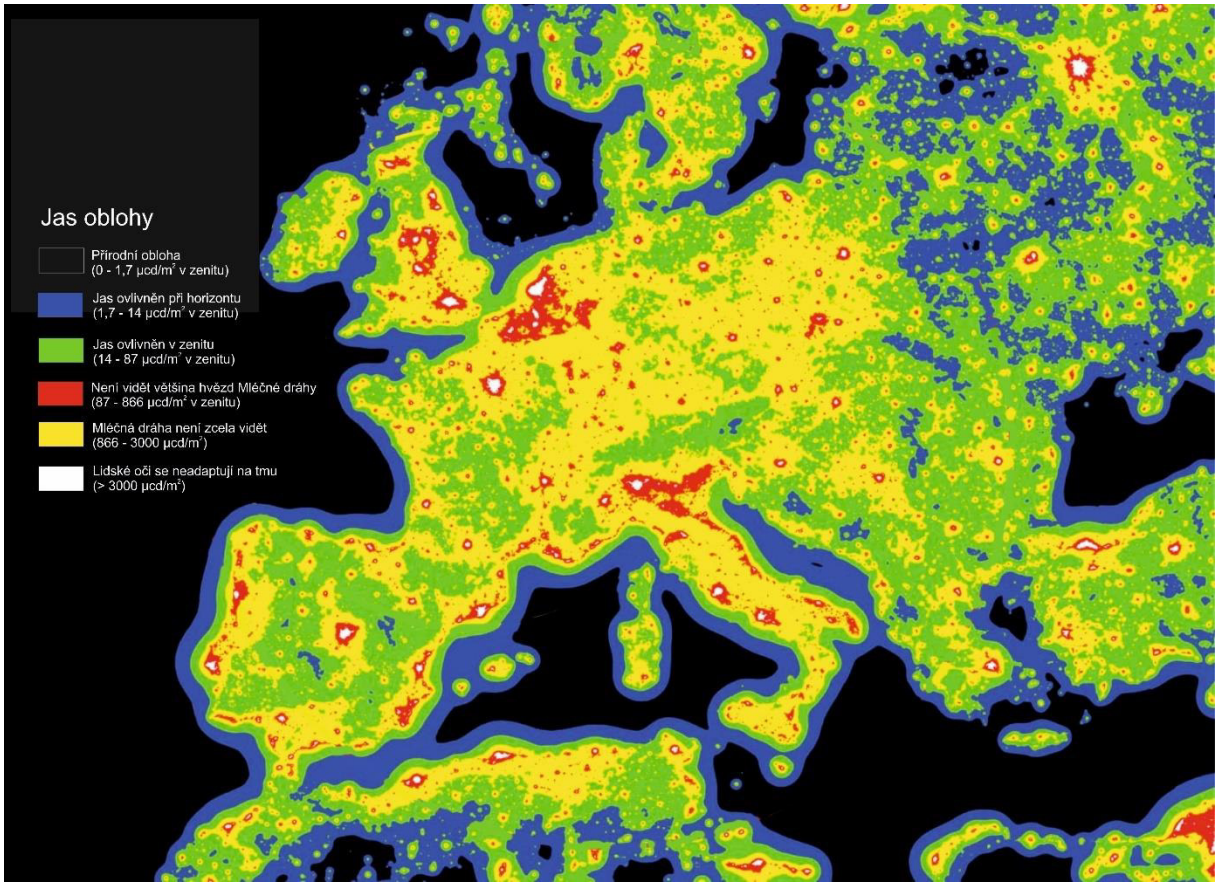

*Obr. 13: Noční jas oblohy nad světem (výřez mapy jasu oblohy)*
*Zdroj: Falchi et al. (2016)*

Podíl jednotlivých světelných zdrojů, které přispívají k vyššímu jasu oblohy není ve všech částech světa stejný a liší se především typem světelného zdroje, intenzitou a legislativními úpravami v příslušného státu. Například v Německu při leteckém monitoringu světelných zdrojů nad nočním Berlínem s následnou analýzou snímků Kuechly et al. (2012) zjistil, že nejvíce světelných emisí pochází z veřejného osvětlení (32 %), druhým největším znečišťovatelem jsou průmyslové zóny (16 %) a třetím veřejné instituce (10 %). Data pořízená leteckým snímkováním mají vysoké rozlišení a představují jakýsi metodický mezičlánek mezi pozemním a distančním měřením jasu oblohy.

Dle Falchiho et al. (2016) je světelným znečištěním nejméně ohrožené obyvatelstvo afrických států Čad, Středoafrická republika a Madagaskar. V těchto zemích žije více než 3/4 lidí pod přirozeně temným nebem. Státy a teritoria s plošně největším světelně neznečištěným územím jsou Grónsko, (kde

pouze na 0,12 % území je noční obloha umělým světlem ovlivněna), Středoafrická republika, Somálsko a Mauretánie v Africe a ostrovní stát Niue v Tichomoří. V Evropě bychom nejnižší jas oblohy pravděpodobně naměřili v Laponsku. Nejméně znečištěnou zemí z hlediska světelného znečištění v rámci skupiny G20 je Austrálie (Falchi et al. 2016).

Singapur je jediný stát, ve kterém všichni jeho obyvatelé žijí pod tak jasným nebem, že se v noci jejich oko nedokáže přizpůsobit nočnímu vidění. Obloha v této oblasti přesahuje 1 mcd/m$^2$ (Falchi et al. 2016). Další oblasti, jejichž obyvatelé jsou vystaveni podobnému jasu jako v Singapuru, jsou státy Perského zálivu: Kuvajt, Katar a Spojené arabské emiráty. Dále pak Izrael, Jižní Korea, Argentina, Libye a Trinidad a Tobago – ve všech těchto státech žije více než polovina obyvatel pod extrémně jasnou oblohou. Nejvíce světelně znečištěnou zemí v rámci skupiny G20 je Itálie.

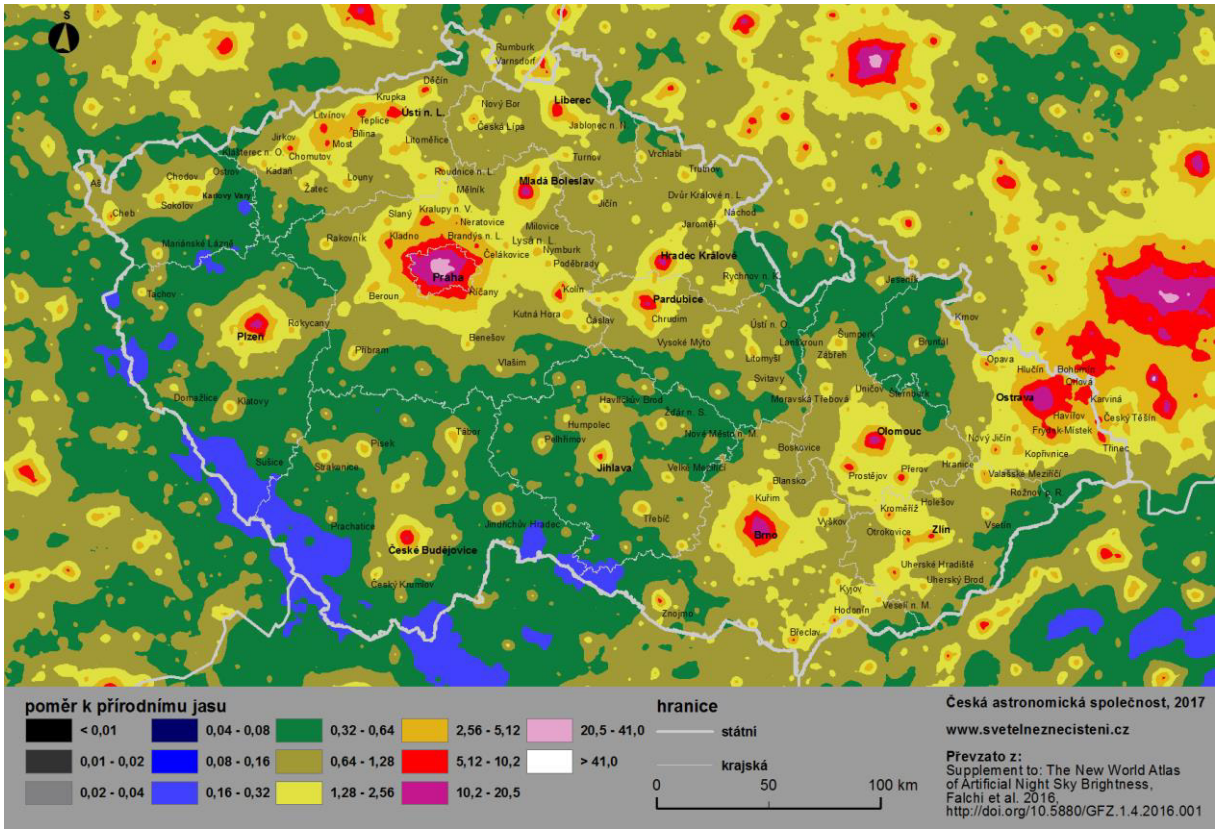



*Obr. 14: Noční jas oblohy nad Evropou*
*Zdroj: Falchi et al. (2016)*

Nejvíce znečištěnými evropskými oblastmi, ve kterých již na nočním nebi nemůžeme spatřit Mléčnou dráhu, je Belgie, Nizozemsko, Německo (konurbace Bonn – Dortmund) a Pádská nížina v Itálii, velmi přesvětlené nebe je také v anglických městech Londýn, Liverpool nebo Leeds. V USA je to oblast východního pobřeží s velkými městy Boston, New York, Filadelfie, Baltimot a Washington DC, stejně tak jako západ USA (San Francisco, San José a Los Angeles). Na Asijském kontinentě je

velmi jasný pás měst na východním pobřeží Číny (Šanghaj a okolí) a také velká Japonská města (Tokio, Jokohama, Ósaka aj.). Zajímavý je obrovský kontrast jasu oblohy mezi Jižní a Severní Koreou, který je způsobený politickou situací související s celkovým odlišným rozvojem obou zemí.

Česká republika patří společně s ostatními státy střední Evropy k více světelně znečištěným zemím. V Česku přirozeně temnou oblohu nenajdeme. Dokonce více než 97,5 % obyvatel žije v oblastech s jasem noční oblohy vyšším než 87 µcd/m$^2$. V Praze může jas oblohy dosahovat hodnot dokonce více než 3000 µcd/m$^2$ (Falchi et al. 2016). Jak je dobře patrné z mapy světelného znečištění v Česku, nejvyšší intenzity dosahuje jas noční oblohy ve velkých městech (Praze, Ostravě, Brně, Plzni, Olomouci, Hradci Králové a v Mladé Boleslavi). Obecně méně jasu noční oblohy můžeme zaznamenat v příhraničních pohořích (Jizerské hory, Krkonoše, Hrubý a Nízký Jeseník, Moravskoslezské Beskydy) a především na Šumavě, dále pak v Českém lese na západě území, Novohradských horách a na jihu země v oblasti České Kanady. Malé relikty temnější oblohy se nacházejí na Manětínsku.

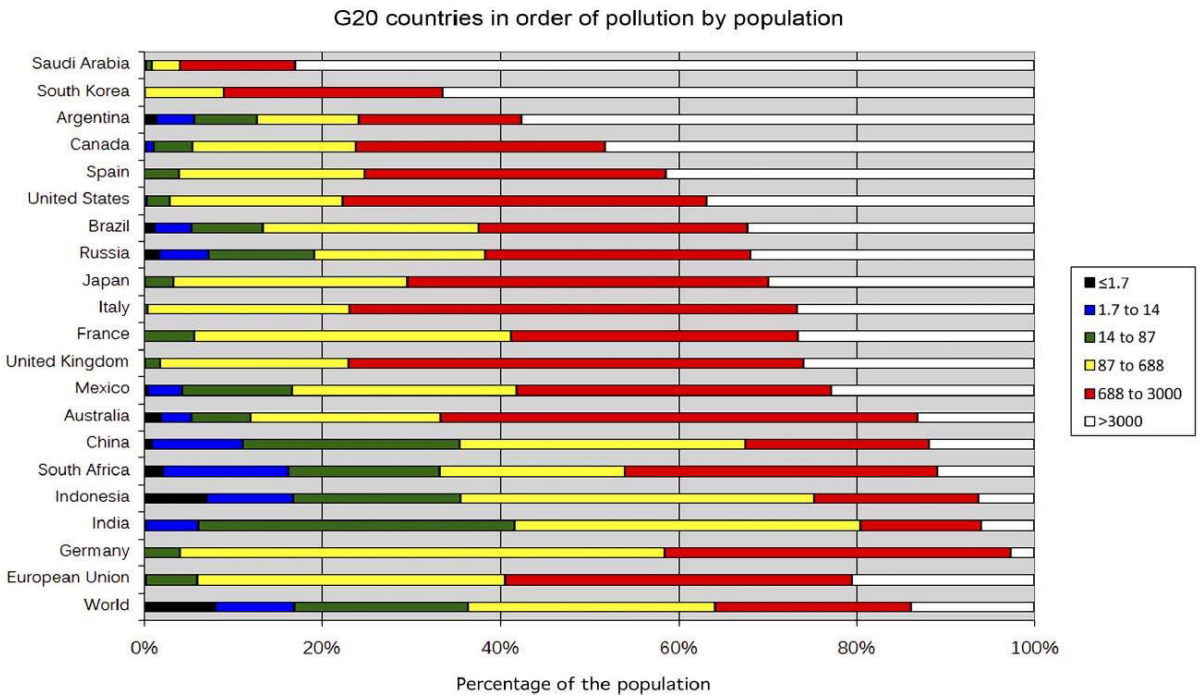



*Obr. 15: Noční jas oblohy nad Českem*
*Zdroj: http://www.asu.cas.cz/files/pages/svetelne-znecisteni*

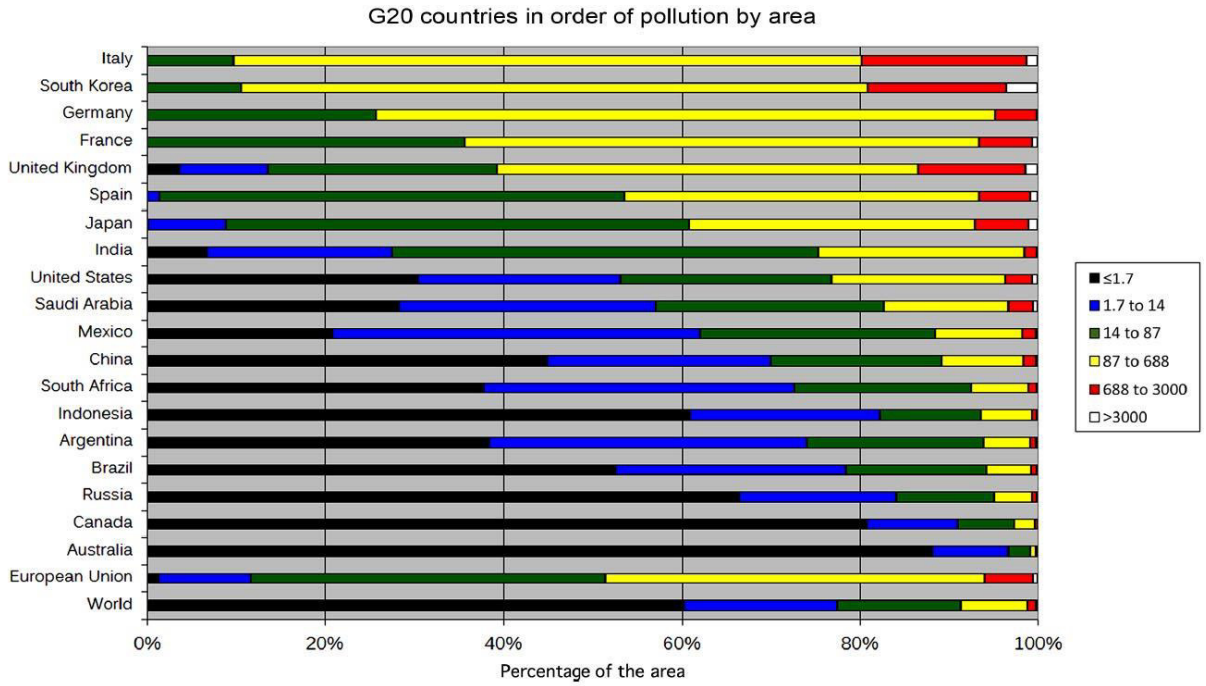
Co se týče prognózy do budoucna, Bennie et al. (2014) analyzoval snímky nočního povrchu Země z družicového systému DMSP mezi lety 2005–2010 a 2010–2015. Výsledkem analýzy byl převažující plošný trend zvýšení jasu oblohy nad většinou Evropy i když v některých státech můžeme na lokální úrovni zaznamenat pokles jasu oblohy. Snížení jasu oblohy Bennie et al. (2014) interpretuje ve shodě s Elvidge, et al. (2005) jako úpadek průmyslových areálů (převážně ve státech bývalého Sovětského svazu), či úpadkem celého průmyslového odvětví (těžba černého uhlí v jihozápadní Anglii). Ojedinělými státy, v nichž došlo na většině jejich území k prokazatelnému snížení jasu oblohy, byla Belgie a Slovensko. V Belgii došlo k omezení svícení na některých úsecích dálnic z ekologických a finančních důvodů. Na Slovensku to byly převážně úsporné důvody, kvůli kterým se omezil provoz veřejného osvětlení.

Small & Eldvidge (2014) analyzovali snímky DMSP z počátku 90. let 20. století a z konce první dekády 21. století nad Asií. Z výsledků studie vyplývá rozdílná doba nárůstu jasu oblohy v jednotlivých regionech. Zatímco v Číně došlo k celkovému plošnému nárůstu jasu zhruba od roku 2000, v zemích jižní a jihovýchodní Asie ke stejnému efektu došlo již během 90. let. 20. století.

Bennie et al. (2015) porovnává snímky DMSP z let 1992 a 2012 nad přírodními a polopřírodními ekosystémy. Největší nárůst expozice umělým jasem připadá na středomořské ekosystémy, za nimi následují ekosystémy mírného klimatického pásu. Nejnižší nárůst jasu oblohy během noci byl zaznamenán v arktických a polárních, boreálních a vysokohorských ekosystémech. V tropických a subtropických oblastech jsou nejvíce ohrožené mangrovové pobřežní porosty a smíšené lesní porosty. Je přitom smutnou realitou, že právě mediterrání klima poskytuje dobré životní podmínky mnoha endemitům, které se mohou vlivem rušivého světla výrazně zhoršit.




*Obr. 16: Země skupiny G20 seřazené podle podílu obyvatel, kteří jsou vystaveni světelnému znečištěním (jas oblohy v [µcd/m$^2$])*
*Zdroj: Falchi et al. (2016)*



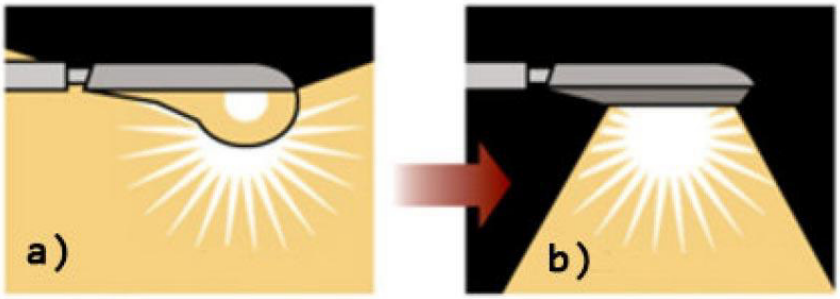

*Obr. 17: Země skupiny G20 seřazené podle plochy území, která je vystavená světelnému znečištěním (jas oblohy v [µcd/m$^2$])*
*Zdroj: Falchi et al. (2016)*

## 3.4 Možnosti řešení problému světelného znečištění

Omezit světelné znečištění se nezdá být nijak složité, jde jen o to svítit účelně v odpovídající intenzitě a spektrální barvě. Falchi et al. (2011) shrnuje zásady pro redukci antropogenního světla následovně:

- Omezit svícení na nezbytně dlouhou dobu, kterou potřebujeme pro vykonání určité činnosti, kvůli které musíme svítit. Dále také snížit intenzitu světla, aby bylo osvětlení pro lidský zrak příjemné a neobtěžující.
- Instalovat pouze svítidla takové konstrukce, která nebudou svítit nad vodorovnou rovinu horizontu, neboť toto světlo pod malými úhly ovlivňuje noční oblohu na desítky kilometrů od zdroje (Luginbuhl 2009).
- Použít pro konstrukci lamp a osvětlení lepší clonění světelného zdroje, tak, aby bylo zamezeno světelnému přesahu do prostor, kde je světlo nepotřebné nebo dokonce rušivé. Z tohoto pohledu jsou ideální LED světla, u kterých se dá směr světla velmi dobře korigovat (Sokanský 2011). Bohužel, odrazu světla od plochy, na které dopadá, nemůžeme nikdy zabránit.

Tyto zásady pro „správné“ svícení nejsou nikterak utopické, jde jen o to přijmout světelné znečištění jako závažný environmentální problém, začít se o něj zajímat a konkrétní případy řešit. Každé osvětlení památky, případně billboardu můžeme pomocí časovače v průběhu noci vypnout. Stejně tak je důležité pamatovat na směrování reflektorů, které by měly vždy svítit seshora dolů a nikoli opačně (Falchi 2011).

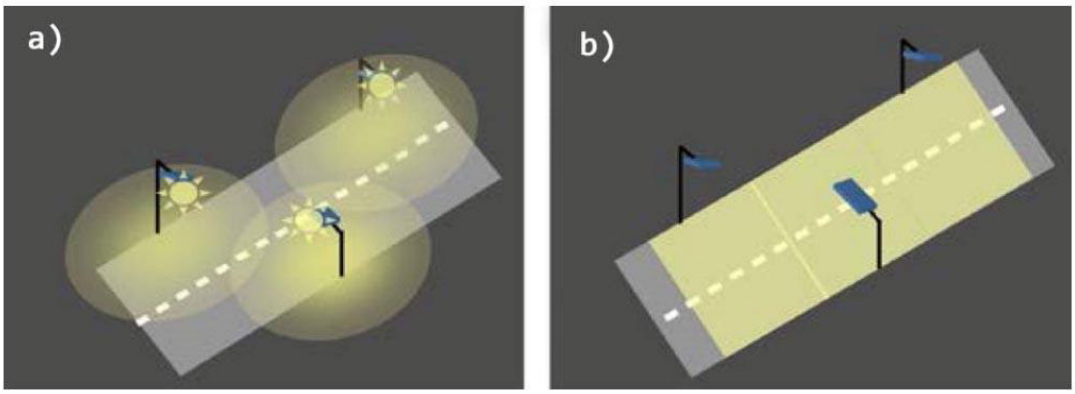



*Obr. 18: a) Příklad obvyklého nesměrového světla b) směrového světla (např. LED osvětlení)*
*Zdroj: www.cleveland.com/nation/index.ssf/2008/11/bigcity_light_pollution_may_go.html*

Často se setkáváme také s případy, kdy jsou přes celou noc osvětlené velké venkovní plochy (parkoviště u nákupních středisek, překladové plochy u průmyslových areálů a skladů apod.) Toto svícení se zdá být velmi neúčelné, neboť světlo nikdo nepotřebuje. Bylo by tedy velmi vhodné se zamyslet nad nutností osvětlení. Stejný problém můžeme zaznamenat u obytných čtvrtí a satelitních městeček, kde mohou velmi rušivá světla svítit celou noc. V těchto oblastech se zdá být výhodný nápad spínat světla na fotobuňku, pouze tehdy, pokud by byl nablízku chodec.

Jedním z nejlepších příkladů správného osvětlení jsou již starší lampy na železničních tratích, neboť jejich černý kryt a světelný zdroj směrovaný do země zamezuje přímému osvětlení strojvůdce. Podobně

je tomu i v oblasti letišť, kde by neměl být žádný světelný paprsek emitován přímo nad rovinu horizontu, aby se předešlo oslnění pilotů přilétávajících letadel (viz obr. 21).




*Obr. 19: Ukázka špatného a správného (směrového) osvětlení silnice*
*Zdroj: www.smartplanet.com/blog/bulletin/new-street-light-design-eliminates-light-pollution/18459*

Pro lidi, kteří jsou nuceni spát v místnosti, do které svítí přímo z pouliční lampy rušivé světlo, se doporučuje použít žaluzie nebo záclony a okno zastínit, případně lze použít noční masku na oči z tmavého textilu, která účinně zamezí přicházejícímu světlu z venku. Bohužel se ovšem člověk tímto způsobem rovněž připraví o ranní denní světlo, které je pro přirozený cirkadiánní rytmus lidského těla žádoucí.

Ideální by bylo regulovat světelné znečištění pomocí zákonů minimálně na úrovni jednotlivých států, případně na celoevropské úrovni.

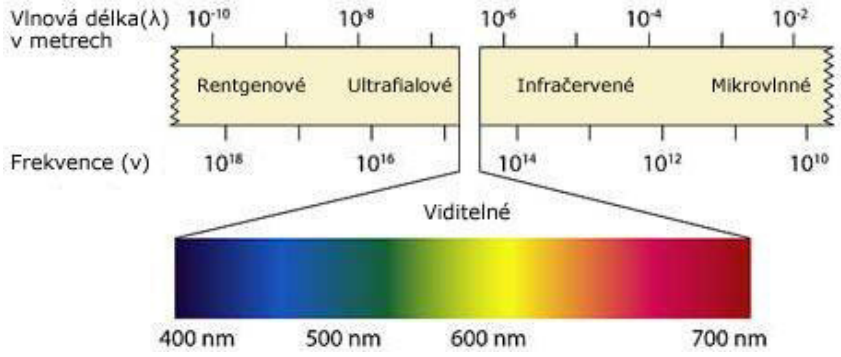
*Obr. 20: Dobře cloněné drážní svítidlo*
*Zdroj: www.verejneosvetleni.wz.cz/Ze.jpg*

*Obr. 21: Cloněná světla na letišti Václava Havla – Praha*
*Foto: autor*

## 3.5 Světlo

Viditelné světlo, které vnímá naše zrakové ústrojí, můžeme definovat jako elektromagnetické záření o vlnové délce přibližně 380–780 nm (Sokanský 2011). V rámci tohoto intervalu naše oko rozeznává spektrální barvy a dokáže rozpoznat objekty v našem okolí. Elektromagnetické záření se vyznačuje takzvaným vlnově-korpuskulárním dualismem, neboť má současně vlastnosti kontinua elektromagnetického vlnění a proudu jednotlivých částic – tzv. fotonů (Malý 2013). Elektromagnetické záření můžeme fyzikálně popsat dvěma parametry – frekvencí a vlnovou délkou.

V oblasti delších vlnových délek navazuje viditelné záření na interval infračerveného záření o vlnových délkách od 780 nm do 1 mm, ze strany kratších vlnových délek se jedná o záření ultrafialové s vlnovou délkou od 10 nm do 380 nm. Pro účely této práce se budeme zabývat výhradně viditelným spektrem záření, i když některé světelné zdroje (např. staré klasické žárovky) emitují světlo i v jiném intervalu vlnových délek, než je výše zmíněných 380–780 nm (záření o vlnových délkách infračervené části spektra). Na tyto vlnové délky není lidské oko přizpůsobené a jsou tedy mimo rozsah zrakového vnímání. Jinými senzorickými orgány (hmatem) ale můžeme infračervené záření detekovat.




*Obr. 22: Spektrum elektromagnetického záření*
*Zdroj: www.netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/img/svetelne-spektrum.jpg*

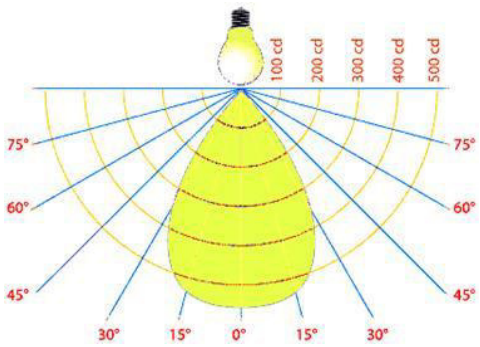
### 3.5.1 Základní fotometrické veličiny

Vzhledem k tomu, že světelné znečištění emitují umělé světelné zdroje, považuji za vhodné zde stručně zmínit několik fotometrických veličin a pojmů z oblasti světelné techniky. Je důležité si uvědomit, že tyto veličiny se vztahují pouze na viditelné světlo, a jsou tedy „standardizovány" obecnými fyziologickými vlastnostmi lidského oka (Sokanský 2011).

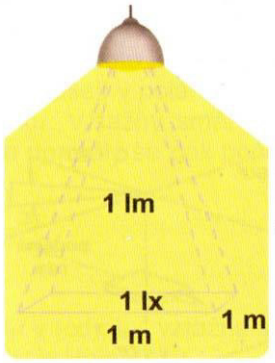
**Světelný tok** – Jedná se o množství světelné energie, kterou určitý světelný zdroj emituje do svého bezprostředního okolí. Základní jednotkou této veličiny je lumen (lm).

**Svítivost** – Vyjadřuje rozšíření emitovaného světla do prostoru. Kvantifikuje množství světelného toku, který je vyzářen určitým zdrojem pod prostorovým úhlem v daném směru. Jednotkou svítivosti je kandela (cd). „Od roku 1979 je kandela definována jako svítivost zdroje, jenž vyzařuje pod

určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou 1/683 W • $sr^{-1}$ a frekvencí 540 • $10^{12}$ Hz.“ (Sokanský 2011, str. 15).

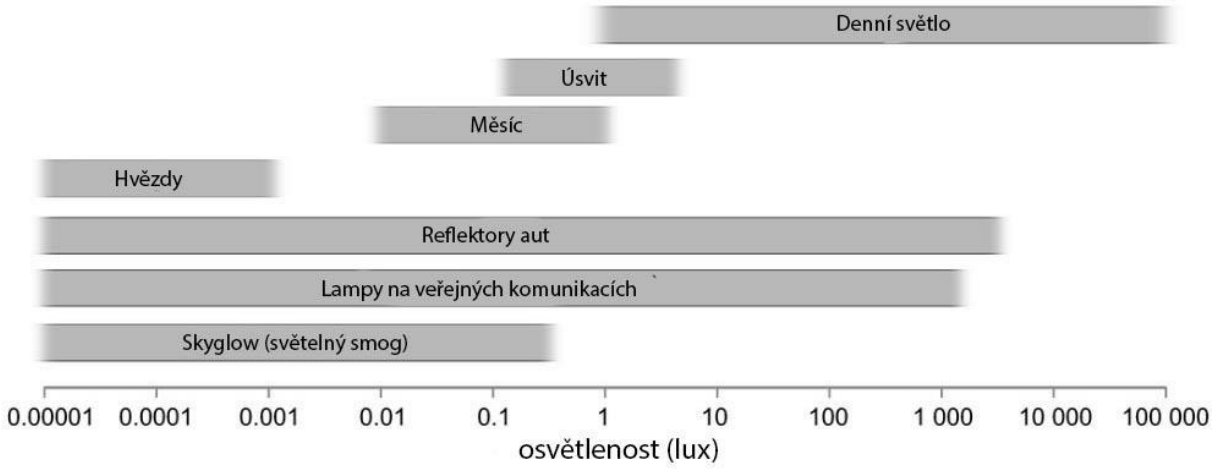



*Obr. 23: Diagram svítivosti – znázorňuje směr, kterým je světlo od svého zdroje emitováno. Zdroj: www. fyzika.jreichl.com/main.article/view/535--fotometricke-veliciny*




*Obr. 24: Osvětlenost – schéma Zdroj: Sokanský (2011)*

**Osvětlenost** – Jinak též intenzita osvětlení, vyjadřuje množství světelného toku, který dopadne na jednotkovou plochu (1 $m^2$). Jednotkou osvětlenosti je lux (lx), přístroj k měření osvětlenosti se nazývá luxmetr a využívá se například ve filmu či fotografii, ale je možné ho použít i na nepřímé měření jasu oblohy (např. Bujalský 2010). (Měří se osvětlení na zemském povrchu způsobené jasem oblohy.) Na hodnotu osvětlenosti plochy ozářené blízkými zdroji světla (pouliční lampy apod.) hraje také roli vzdálenost této plochy od zdroje světla (Bennie et al. 2016). Protože se dále v textu zmiňuji o konkrétních hodnotách škodlivého osvětlení pro lidské tělo, zvířata a rostliny, uvádím na tomto místě orientační graf s hodnotami osvětlenosti, které způsobují různé zdroje světla.




*Obr. 25: Hodnoty osvětlenosti z různých druhů světelných zdrojů. Zdroj: Bennie (2016)*

## 3.6 Zdroje světla

**Přírodní zdroje** světla můžeme rozdělit na primární a sekundární. Primární zdroje samy o sobě produkují elektromagnetické záření, zatímco od sekundárních zdrojů se toto záření odráží. O vesmírných zdrojích světla obšírně pojednává Roach (1973). Hlavním zdrojem světla ve vesmíru jsou **hvězdy**. Během dne je nejdůležitějším zdrojem světla naše nejbližší hvězda – **Slunce**. Během noci je přirozeným sekundárním zdrojem světla **Měsíc**, od kterého se sluneční světlo odráží, a díky nepřítomnosti světla ze Slunce můžeme na noční obloze pozorovat i jiné zářící světelné objekty: primární zdroje – **komety, zvířetníkové světlo**, ve vyšších vrstvách atmosféry **polární záři** nebo vzdálenější a méně jasné **hvězdy** i zdroje sekundární – **planety** (Mizon 2012).

V nižších vrstvách atmosféře můžeme pozorovat **blesky** – světelné zdroje, které jsou způsobené bleskovým elektrickým výbojem, způsobující silnou emisi světla. Tyto atmosférické úkazy vznikají při bouřkové činnosti a jejich následkem mohou být zažehnutí požárů. V tomto případě je **oheň** dalším přirozeným zdrojem světla.

Zajímavým zdrojem biologického světla jsou různé druhy **bioluminiscence.** Patrně nejznámější je světélkování světlušek, které probíhá na základě velmi složitých fyziologických procesů v jejich těle založených na procesu oxidace enzymu luciferázy (White et al. 1969). Podobná luminiscence se vyvinula i u některých zástupců dvoukřídlých, ale také například u některých nelétavých živočichů: medúz, obrněnek nebo některých druhů bakterií (Haddock et al. 2010). Samy od sebe mohou světélkovat i některé druhy hub, například hlívy (Desjardin et al. 2008).

Za **umělé zdroje** světla považujeme jakékoli antropogenně vytvořené zdroje viditelného spektra elektromagnetického záření. Od doby, kdy se *homo erectus* ve středním pleistocénu (zhruba před 500 tisíci lety) naučil rozdělávat **oheň** (James et al. 1989), můžeme mluvit o prvních antropogenních zásazích do střídání dne a noci.

Prvními místy, kde se začalo používat umělé osvětlení byla lidská sídla. O vývoji umělého osvětlení ve městech přehledně pojednává např. Brox (2010). Zpočátku se svítilo pouze na nejrušnějších ulicích velkých měst a osvětlení nebylo moc spolehlivé. Jednalo většinou o **svíčky**, které zapaloval k tomu určený člověk, případně byli majitelé domů povinni před svými vraty za soumraku svíčku zapálit. Před zavedením veřejného osvětlení si musel každý noční pocestný nést svoji vlastní svítilnu, aby viděl na cestu před sebou. Počátkem 19. století se začalo objevovat osvětlení **plynové**. Dalším druhem lamp byly **elektrické obloukové lampy**, které významně zdokonalil český vynálezce František Křižík. Tyto lampy se v Praze poprvé rozzářily v roce 1894 (Monzer 2003).

V současnosti nalezneme v mnoha obcích a městech vysokotlaké **sodíkové výbojky** nebo lampy s **halogenidovou výbojkou**, případně v některých starších lampách jsou stále ještě **rtuťové**

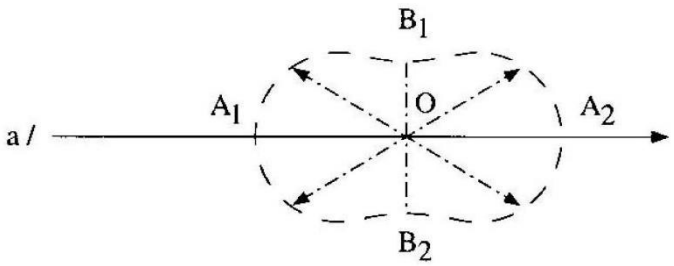
**výbojky** (Monzer 2003). Nejnovějším používaným typem světelného zdroje jsou LED, které mají na intenzitu a dopady světelného znečištění jak pozitivní, tak negativní vliv.

Tyto světelné zdroje jsou běžně součástí lamp a luceren – svítidel, které slouží k osvětlování veřejných/soukromých prostor, interiérů i exteriérů, a které jsou hlavním zdrojem světelného znečištění.

## 3.7 Rozptyl světla

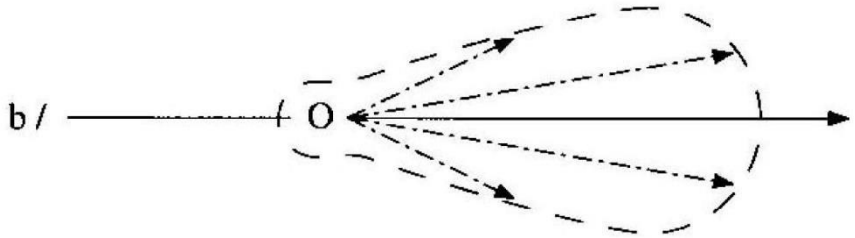
Jak bylo popsáno výše, světelné záření je emitováno do svého okolí přírodními nebo antropogenními světelnými zdroji. Vzniká tak proud viditelného elektromagnetického záření, které se šíří do okolního prostoru. Zde se nacházejí molekuly vzduchu a jiných plynných, pevných i kapalných směsí a látek. Právě na těchto malých částicích a molekulách se proud světla láme a odráží do okolních směrů. Viditelným příkladem je světelný smog (sky glow) jednoduše rozeznatelný nad velkými městy. Ve fyzice se setkáváme se dvěma základními typy rozptylů (např. Kopáček & Bednář 2005).

**Rayleighův rozptyl** probíhá na molekulách vzduchu. Světlo se od vzduchové molekuly odráží v podstatě do všech směrů stejně intenzivně. Vyšší účinnost nastává u spektrálních barev s kratší vlnovou délkou – fialové a modré světlo se rozptyluje až 16x silněji než světlo delších vlnových délek. Díky tomuto principu je základní barva oblohy modrá (Hinds 1999).



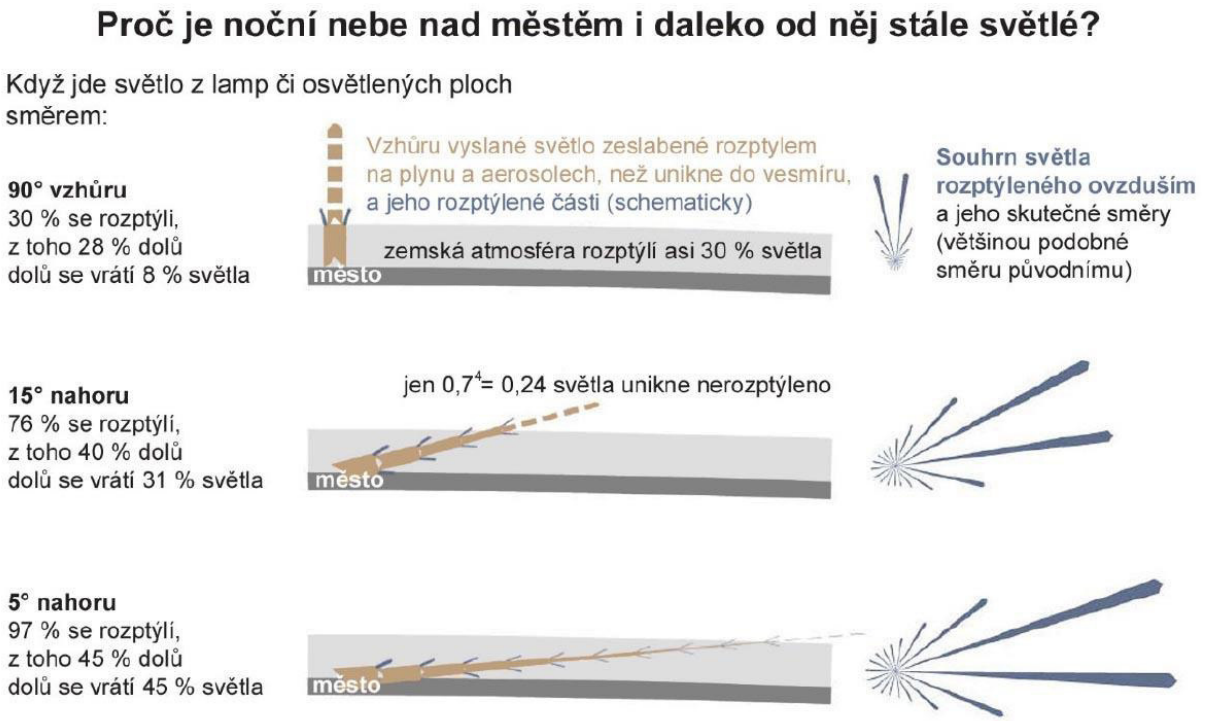

*Obr. 26: Rozptyl slunečního záření na molekule vzduchu (Rayleighův rozptyl)*
*Zdroj: Kopáček a Bednář (2005)*

K **Mieově rozptylu** dochází na větších molekulách zejména kapalin a pevných látek. (Může se jednat o dešťové kapky, aerosoly, prachové částice apod.) Dopadající světlo se láme pod malými úhly převážně ve směru od zdroje a účinnost rozptylu je prakticky stejná u viditelného světla jakékoli spektrální barvy. Díky tomuto typu rozptylu vnímáme oblaka jako bílá, protože dochází k rozptylu bílého světla na kapičkách vody (Kopáček & Bednář 2005).




*Obr. 27: Mieův rozptyl slunečního záření na větších kapalných a pevných molekulách*
*Zdroj: Kopáček a Bednář (2005)*

Při šíření světla od jeho zdroje do spodní části atmosféry dochází k výše zmíněným dvěma typům rozptylu, které způsobují viditelný světelný opar (sky glow) nad městy. Světlo se nejen rozptyluje, ale také láme a odráží od ploch vozovek, zdí, oken budov apod. Světlo emitované pod úhlem do 10° nad horizont je zhruba 5x škodlivější než světlo, které je emitované kolmo vzhůru. Zdá se, že právě tato část světla ovlivňuje jas noční oblohy ještě daleko od center měst (Luginbuhl 2009). Procentní zastoupení rozptýleného světla v atmosféře je zobrazeno na obrázku.

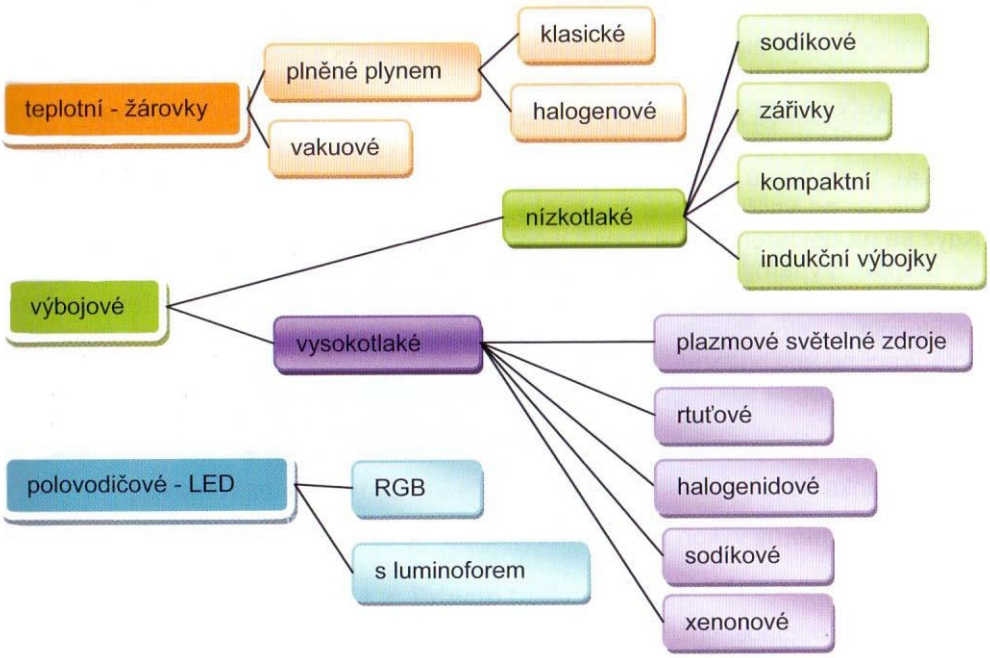



*Obr. 28: Rozptyl světla v atmosféře*
*Zdroj: Hollan (2004)*

## 3.8 Technické světelné zdroje

Světelné zdroje jsou základními konstrukčními prvky všech osvětlovacích zařízení, ať už se jedná o pouliční svítidla – lampy nebo osvětlovací techniku v domácnosti – lustry, pokojové lampy, zářivky apod. Dle technické literatury (např. Sokanský 2011, Habel 2013) dělíme světelné zdroje podle fyzikálního principu vzniku světla do tří základních skupin:

1. **Teplotní světelné zdroje**, ve kterých dochází k zahřátí vodivé látky, obyčejně kovového vlákna. Po zahřátí na vysokou teplotu tato látka začne emitovat světelné záření.
2. **Výbojové světelné zdroje** emitují světlo, které vzniká na principu elektrických výbojů vznikajících v prostoru vyplněném plynem. V těchto zdrojích dochází k vytvoření kinetické energie elektronů, které se v uzavřeném prostředí potkávají s atomy plynu a to způsobuje optické záření.
3. **Světelné diody (LED)** emitují do okolí proud fotonů. Světlo vzniká při průchodu proudu přes polovodičový přechod.




*Obr. 29: Grafické znázornění klasifikace světelných zdrojů dle fyzikálního principu vzniku světla*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

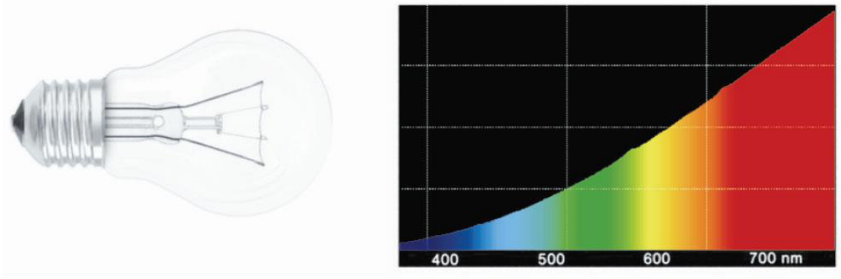
Různé typy světelných zdrojů emitují viditelné světlo v různých vlnových délkách. Podle barvy světla můžeme některé považovat z hlediska lidského vnímání za méně příjemné než jiné. Stejně tak z pohledu světelného znečištění některé světelné zdroje způsobují intenzivnější sky glow než jiné. A například lákání hmyzu způsobují některé vlnové délky světla více a jiné méně.

Pokud hodnotíme vliv různých světelných zdrojů na intenzitu světelného znečištění, musíme brát potaz více aspektů, které pod termínem světelné znečištění obvykle zahrnujeme. Jak bylo uvedeno

výše, jedním z aspektů světelného znečištění je sky glow, kvůli které vidíme na obloze méně hvězd a která výrazně ztěžuje astronomická pozorování. Různé vlnové délky světla mají na sky glow různý vliv. Z tohoto pohledu se mohou jevit světla modré barvy jako méně příznivá, než například sodíkové výbojky (Luginbuhl et al. 2014). Nicméně v jiných pracích (např. Falchi et al. 2011) se dozvídáme, že LED světla jsou z hlediska světelného znečištění šetrnější, protože se dají lépe nasměrovat a zastínit pouze pro potřeby osvětlené plochy. Dalším aspektem světelného znečištění je jeho negativní vliv na hmyz. Podle vlnové délky můžeme rozlišit světelné zdroje, které hmyz lákají více než jiné.

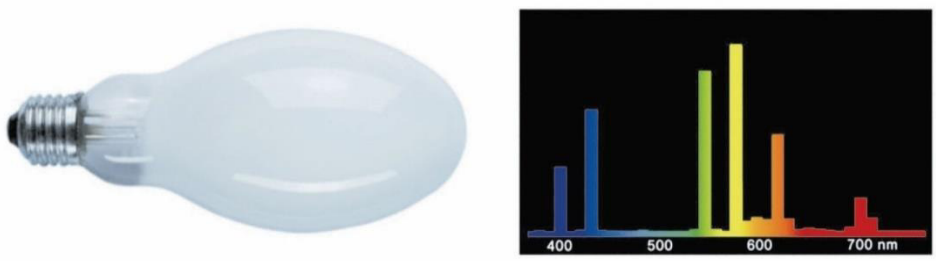
Následující přehled světelných zdrojů pojednává jen o nejzákladnějších druzích výbojek, které byly nebo jsou hojně používané ve svítidlech veřejného osvětlení a mají tedy v kontextu problematiky světelného znečištění význam.

**Žárovky a halogenové žárovky** jsou stále asi nejčastějším zdrojem světla převážně v interiérech. Nemají proto z hlediska světelného znečištění stěžejní význam, nicméně se jedná patrně o nejobvyklejší technický světelný zdroj světla, tudíž považuji za vhodné se zde o nich ve zkratce zmínit. Mají mnoho výhod, jako je např. nízká kupní cena, dobrý index podání barev nebo jejich malé rozměry a hmotnost. Jejich největší nevýhodou je vysoká neefektivita, neboť až 95 % dodané energie žárovce se mění na teplo. Žárovka tedy vyzařuje nejvíce v oblasti infračerveného spektra. Pouze přibližně 5 % elektrické energie se přemění na viditelné záření. Halogenové žárovky obsahují uvnitř baňky příměs halových prvků. Hlavní výhodou halogenových žárovek oproti obyčejným je poněkud vyšší životnost a vyšší teplota chromatičnosti (Sokanský 2011).



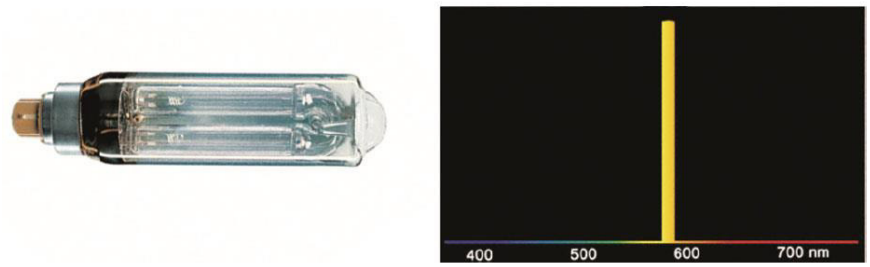

*Obr. 30: Žárovka a příklad jejího spektra*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

**Vysokotlaké rtuťové výbojky** emitují do svého okolí modrobílé až modrozelené světlo. Na oblast viditelného spektra připadá zhruba 15 % dodávané elektrické energie. Tento typ výbojek emituje relativně velké množství záření o vlnových délkách kolem 365 nm (Sokanský 2011). Emitující ultrafialové záření musí být účinně redukováno pomocí tenké vrstvy luminoforu, která ho transformuje do červené složky spektra, která naopak chybí. Tento typ rtuťových výbojek se převážně používá do venkovních svítilen, neboť má poněkud nevěrohodné podání barev. Dříve byly velmi časté například při osvětlování parkovišť, průmyslových areálů, nádraží apod. V současnosti je můžeme vidět jen velmi zřídka, protože na mnoha místech byly nahrazeny výkonnějšími a kvalitnějšími zdroji světla (zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami) (Sokanský 2011).




*Obr. 31: Rtuťová výbojka a příklad jejího spektra*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

**Nízkotlaká sodíková výbojka** emituje (po rozzáření a ustálení) nažloutlé monochromatické záření o vlnových délkách 589–589,6 nm (Sokanský 2011). Lidským okem se dají rozlišovat barvy předmětů v tomto světle jen velmi obtížně. Tyto světelné zdroje se v Česku nenašly velké uplatnění, nicméně v zemích Beneluxu jimi byly osvětleny prakticky všechny dálnice a rychlostní silnice. Více rozšířené byly také ve Velké Británii (Sokanský 2011).

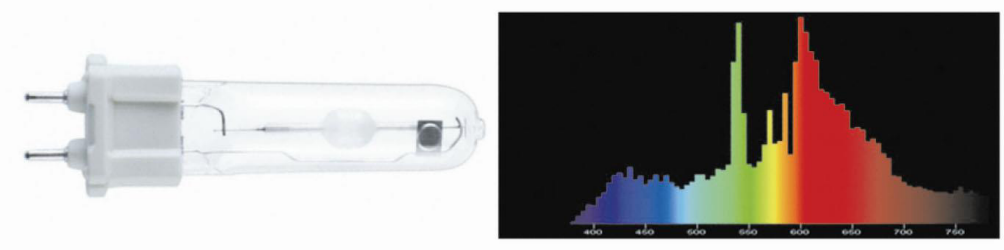



*Obr. 32: Nízkotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

**Vysokotlaká sodíková výbojka** pracuje na podobném principu jako předchozí typ. Výboj, probíhající v sodíkových parách, má stejnou základní vlnovou délku odpovídající žlutému spektru (589–589,6 nm), ale při procesu zvyšování tlaku sodíkových par vzniká prokazatelně bohatší spektrum viditelného spojitého záření v dlouhovlnné části spektra. Výsledkem jsou lépe podané barvy předmětů než u nízkotlakých sodíkových výbojek. Vysokotlaké sodíkové výbojky našly široké uplatnění ve veřejném osvětlení především díky jejich úspornému provozu, vysoké svítivosti a vysoké životnosti. V současnosti se jedná o převažující světelný zdroj umisťovaný do svítilen na veřejných komunikacích, pěších zónách a jiných veřejných prostorách (Sokanský 2011). Vysokotlaké (i nízkotlaké) sodíkové výbojky se jeví díky malým emisím světla krátkých vlnových délek jako jeden z nejvhodnějších světelných zdrojů (Falchi et al. 2011).

*Obr. 33: Vysokotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

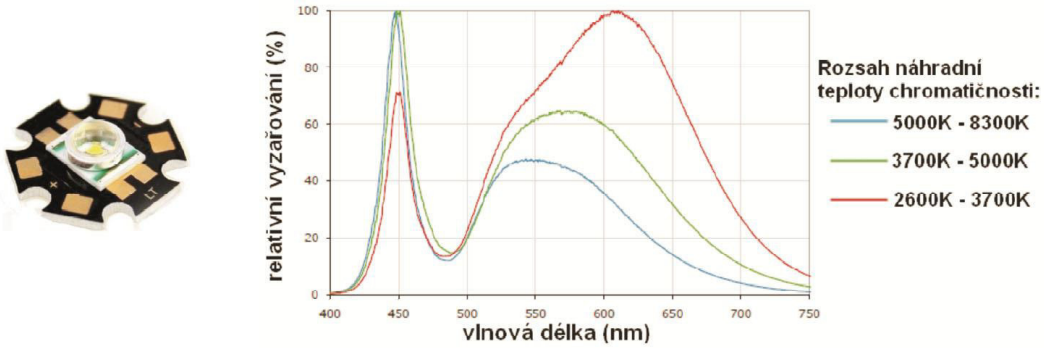
**Halogenidová výbojka** je v podstatě rtuťová výbojka obohacená o příměsi par halových plynů. Produktem záření halogenidů je až z 90 % vyzářené světlo. Světlo těchto výbojek je vnímáno jako bílé a podání barev nasvícených předmětů je poměrně věrohodné. I přes vyšší pořizovací náklady a menší životnost jsou používány v prostorách a místech, kde je důležité přirozené barevné podání světla. Jedná se například o výkladní skříně obchodů, interiéry výstavních sálů a muzeí. Svoje uplatnění mají také v historických centrech měst, na křižovatkách a přechodech, případně při osvětlení nádraží, průmyslových areálů nebo sportovišť (Sokanský 2011).



*Obr. 34: Halogenová výbojka a příklad jejího spektra*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

**LED diody** jsou poměrně nové světelné zdroje, které v poslední době stále více nahrazují starší (výše popsané) zdroje světla. Světlo v těchto světelných diodách vzniká při průchodu proudu přes polovodičový přechod, jedná se tedy o zcela jiný fyzikální vznik světla než u přechozích výbojek a žárovek. LED diody vyzařují světlo jen ve velmi úzké části spektra a je v podstatě monochromatické. Bílé barvy světla se dociluje dvěma možnými způsoby. Buď mísením více monochromatických LED s komplementárními vlnovými délkami, nebo konvertorem vlnových délek, kdy kratší vlnová délka (nejčastěji v modré oblasti) je absorbována v konvertorovém materiálu na bázi fosforu a znovu vyzářena jako světelné záření s delší vlnovou délkou. Výsledné spektrum je tedy složeno z luminiscence světla modrého a fosforescence světla žlutého. Právě úpravou poměru těchto dvou spektrálních barev lze účinně nastavit náhradní teplotu chromatičnosti, měrný výkon a index podání barev (Sokanský 2011). Navzdory tomu, že jednou z nevýhod LED světel jsou jejich vysoké pořizovací náklady, na mnoha místech ČR se při rekonstrukci stávajících, případně při budování nových osvětlení ulic a veřejných prostor, tyto světelné zdroje upřednostňují. Oproti starším zdrojům světla mají tři velké výhody: (1) Umožňují velmi přesné nasměrování emitovaného světla, (2) mají velmi dobrou možnost regulace – rozsvícení a zhasnutí je prakticky okamžité a (3) předměty, na které dopadá bílé LED světlo mají

poměrně věrohodné podání barev (Kyba et al. 2012). Kromě toho jsou LED světla energeticky úspornější.




*Obr. 35: Bílá LED dioda a typická spektra LED s fosforovým luminoforem*
*Zdroj: Sokanský (2011)*

Ačkoliv se zdá používání LED světelných zdrojů jako výhodná a efektivní alternativa k ostatním světelným zdrojům, mají i tyto světelné zdroje svá negativa, jak uvádí např. Kyba (2012). LED světla emitují do okolí relativně velké množství světla v modrém spektru. A jelikož se modrá a fialová barva rozptyluje na molekulách vzduchu nejvíce ze všech barev (Kopáček & Bednář 2005), bude pravděpodobně docházet k nárůstu sky glow efektu nad velkými městy a k znesnadnění pozorování hvězdné oblohy (Kyba et al. 2011b). Druhým negativním jevem se zdá být vliv modrého světla na biorytmus člověka, který je modrým světlem narušen podstatně více, než světlem o jiné vlnové délce (Brainard et al. 2001).

## 3.9 Negativní dopady světelného znečištění

Světelné znečištění nepředstavuje jen hrozbu pro astronomy, kterým znemožňuje pozorovat méně jasné hvězdy ve hvězdárnách v blízkosti velkých měst. Stále více vědeckých studií (viz níže) přináší nová znepokojivá zjištění o negativním vlivu světelného znečištění nejen na přírodní ekosystémy (faunu, flóru a ekologické vazby v ekosystémech), ale rovněž na lidské zdraví, globální ekonomiku nebo bezpečnost (Clark et al. 2002).

### 3.9.1 Vliv na lidské zdraví

Vzhledem k tomu, že se člověk, stejně jako ostatní živé organismy, vyvíjel po mnoho milionů let v přirozeném prostředí, ve kterém se střídal světlý den s tmavou nocí, v dlouhém procesu evoluce se u něj vytvořila na sítnici oka speciální světločivná čidla (tzv. ipRGCs buňky) (Brainard et al. 2001, Thapan et al. 2001). Jedná se o buňky určující tzv. **cirkadiánní rytmu dne** (24 hodinový cyklus), během kterého lidské tělo (v závislosti na množství světla z okolí) reguluje fyziologické, biochemické a behaviorální procesy, které v něm probíhají. Tyto receptory vykonávají svoji funkci správně pouze pokud zůstává biologický čas synchronizován se slunečním časem (Foster & Hawkins 2007). Při vystavení světlu v čase, kdy by měla být přirozeně tma, je narušena činnost těchto buněk, což má dalekosáhlý vliv na mnoho funkčních částí organismu. Pokud je sítnice oka vystavena určité míře jasu, buňky cirkadiánního rytmu se aktivují, dojde k jejich nervovému propojení s hypothalamem, který koordinuje a reguluje činnost tělních orgánů (Wandell et al. 1995). Při této koordinaci jednotlivých částí těla hraje velký význam **„spánkový“ hormon melatonin**, který je vyměšován epifýzou (podvěskem mozkovým) v nočních hodinách, převážně v době kolem půlnoci. Při nadměrné expozici rušivým světlem během noci (Zeitzer et al. 2000) je snížena sekrece tohoto hormonu do krve, a to již při osvětlení o hodnotě 1,5 luxu (Wright et al. 2001). Dalším faktorem, který působí na útlum sekrece melatoninu je vlnová délky světla. Cajohen et al. (2005) uvádí, že při pobytu v prostoru, kde je člověk vystaven monochromatickému světlu o vlnové délce 460 nm (převážně modré spektrální barvy) v pozdních večerních hodinách bylo prokazatelně zjištěno snížení sekrece tohoto hormonu. Naproti tomu při osvětlení vlnovou délkou 550 nm podobné účinky nebyly zaznamenány (Cajochen et al. 2005). Zde považuji za důležité zdůraznit, že správná hladina melatoninu v krvi má pro dokonalé fungování lidského těla blahodárné účinky. Slouží jako prevence proti rakovinnému bujení, oxidačnímu stresu, poruchám metabolismu a jiným zdravotním potížím (Navara & Nelson 2007).

Narušením cirkadiánního rytmu jsou více zasaženi lidé, kteří pracují v nočních směnách. Čísla přitom nejsou úplně malá, například Rajaratnam & Arendt (2001) uvádějí, že v průmyslově vyspělých zemích pracuje až 20 % lidí mimo denní dobu (8:00–17:00). Je prokázáno, že na takovéto „prohození“ doby spánku a bdění se nedokáže lidský organismus rychle adaptovat a nezbytně vede u většiny lidí ke **zvýšené únavě** a **vyčerpání**, které mohou doprovázet tzv. **syndrom sezónní deprese,**

který se dále vyznačuje snížením zájmu o okolí, menší chutí k fyzické činnosti i duševní aktivitě, zhoršuje se zapamatovatelnost informací a koncentrace při učení. Někteří pacienti vykazují zvýšenou hypersomnii a náchylnost k přejídání (Rosenthal et al. 1984).

Snížení produkce melatoninu má mnoho nežádoucích účinků. Může vést ke kardiovaskulárním potížím (Brugger et al. 1995), ale také k poruchám spánku a nespavosti, neboť melatonin se významně podílí na kvalitě spánku (Jelínková-Vondrášková et al. 1999). Melatonin působí rovněž jako antikarcinogenní látka, tedy na prevenci některých typů rakoviny. Dle Glickmana et al. (2002) má vystavení světlu během noci vliv na **zvýšený výskyt rakoviny** prsu u žen v průmyslově vyspělých oblastech USA, kde je rakovina prsu nejčastější formou rakoviny u žen. U mužů byla zjištěna spojitost mezi množstvím rušivého světla během noci a zvýšeným výskytem rakoviny prostaty (Haim et al. 2010). Vliv na ostatní druhy rakoviny (např. tlustého střeva nebo rakoviny plic) nebyl prokázán (Kloog et al. 2009).

Kromě zvýšeného výskytu rakoviny prsu a prostaty má permanentní, dlouhotrvající pobyt v prostředí s rušivým světlem mnoho dalších zdravotních rizik, například může docházet k narušení metabolických pochodů, což dále může zapříčinit zvýšenou obezitu nebo rozvoj cukrovky. Melatonin je také významným antioxidantem. Díky jeho přítomnosti v krvi i při velmi nízkých koncentracích dokáže naše tělo lépe zachytávat volné kyslíkové radikály a přeměňovat je na produkty metabolismu (Tan et al. 2006). Tímto mechanismem se docílí celkového snížení oxidačního stresu, který může vést k velkému množství nemocí a poruch. Mezi nimi například k snížení obranyschopné imunitní reakce nebo urychlení fyziologického stárnutí buněk (Reiter et al. 2000). Rovněž byl prokázán pozitivní vliv melatoninu na symptomy Alzheimerovy choroby (Skeene & Swaab 2001).

### 3.9.2 Vliv na živočichy

Stejně jako lidé, i zvířata potřebují pro správné fungování jejich organismu přirozené střídání světla a tmy během dne. Dalekosáhlými negativními důsledky světelného znečištění se zabývá například rešerše Gastona et al. (2013) nebo velmi zevrubně sborník editorů Rich & Langcore (2006).

Jak již bylo uvedeno výše, množství světla hraje velmi významný vliv na aktivitu organismů během dne. Člověk ve dne bdí a v noci spí, ale u zvířat je situace složitější. Různé druhy zvířat můžeme rozdělit dle jejich způsobu života – podle času, kdy má organismus období nejvyšší aktivity – na denní, soumračná a noční. To, že každý živočišný druh patří do určité kategorie, znamená, že ke svému životu potřebuje určité množství světla a dle toho se pak může specializovat na určitý způsob života (Gutman & Daiant 2005). Změna množství světla dopadajícího na zemský povrch během soumraku a během svítání je důležitý indikátor pro noční/denní zvířata ke zvýšení/snížení jejich aktivity (Holker et al. 2010). Antropogenní zvýšení množství dopadajícího světla na zem v okolí velkých měst může vést k narušení přirozené ekologické interakce ve vztahu predátora a kořisti. U denních organismů může nepřirozené světlo během noci zvyšovat jejich aktivitu, a pokud se jedná o predátory, mohou vážně

ohrožovat populace nočních druhů živočichů, kteří na ně nejsou zvyklí, protože se jejich denní a noční nika obvykle nepřekrývá (nebo dosud nepřekrývala). Také může docházet ke zvýšení kompetičních vztahů při shánění potravy u druhů, které si přirozeně nekonkurují. Denní a soumračních predátoři se kvůli světelnému znečištění stávají příležitostně nočními (Milson 1984). Naopak noční predátoři, kteří jsou zvyklí na lov potravy v naprosté tmě, jako například hadi, mohou vykazovat sníženou aktivitu během „jasných" nocí a i jejich schopnost efektivně ulovit potravu může být oslabena. Naopak se sami mohou stát oběťmi svých vlastních predátorů (Bouskilla 1995).

Další významný problém, který rušivé světlo lamp způsobuje, je naprosté decimování celých hmyzích populací. Světlo emitované pouličními lampami totiž některé druhy hmyzu doslova neodbytně láká a celá hmyzí společenstva jsou pak doslova „nabalena" na svítilně. Hmyz do světelného zdroje nalétává tak dlouho, dokud vysílením neuhyne, popřípadě může být od horké lampy spálen. Skutečnost, že se noční hmyz zdržuje u některých světelných zdrojů, nahrává jeho predátorům, kteří tak mají velmi usnadněné shánění potravy. Například některé druhy pavoukovců si staví své sítě do míst pod světelným zdrojem a bezbranná, nic netušící kořist jim do jejich připravených nástrah sama vletí. Některé výzkumy naznačují, že umisťování sítě do osvětlených prostor je u pavouků jakousi dědičnou preadaptací (Heiling 1999).

Narušení světelné rovnováhy během noci má u některých hmyzích druhů za následek také zhoršení orientace v prostoru. Hmyz totiž využívá k orientaci přirozené polarizované nebeské světlo o podobné vlnové délce jako některé druhy lamp. Používáním umělých zdrojů světla dochází k jeho matení a dezorientaci. Přirozené přírodní signály usnadňující orientaci v prostoru jsou velmi výrazně rušeny díky městské přesvětlené obloze (sky glow), která osvětluje daleké okolí města (Kyba et al. 2011b). Problémy s nadměrným světlem během noci mohou způsobit problémy také migrujícím ptákům, kteří jsou přitahováni prudkými světly majáků. Nebezpečná jsou také výstražná světla pro letadla na výškových budovách, která svítí mnohonásobně intenzivněji než hvězdy. Není výjimkou, že migrující pták do budovy narazí, nebo létá kolem světelného bodu tak dlouho, dokud vysílením nezemře. Problémy s orientací při dlouhých migračních letech mají hlavně mladí jedinci, kteří letí přes oceán poprvé. Stává se, že tito jedinci jsou přitahováni svítícím pobřežím zpátky na pevninu (Troy et al. 2013). Pozorovaný je rovněž vliv světelného znečištění na nemigrující druhy ptáků. U populací zpěvných ptáků, které hnízdily v blízkosti města, bylo prokázáno, že samečci začínají zpívat svůj ranní zpěv dříve, než samečci populace stejného druhu ptáků, která hnízdila v oblasti nezasažené světelným znečištěním. Liší se také doba kladení vajíček. Samičky, hnízdící poblíž osvětlených ulic, kladou vajíčka až o 1,5 dne dříve, než samičky hnízdící v prostředí, které není vystaveno rušivému světlu z města (Kempanaers et al. 2010). Problémy s orientací ovšem nemají pouze ptáci, ale i plazi.

V americké studii Salmona (2003) byl hodnocen vliv rušivého světla na orientaci mořských želv po vylíhnutí na plážích floridského pobřeží. Jednalo se o druhy želv *Carreta*, *Chelonia* a *Dermochelis*.

Želví samičky si při výběru vhodného místa pro kladení svých vajíček vybírají ta nejtemnější místa. Nicméně počet míst na floridském pobřeží, která nejsou osvětlena umělým osvětlením, neustále klesá, a tak jsou želvy často nuceny ke kladení vajíček i na písečných plážích s umělým osvětlením. Mladé mořské želvy okamžitě po svém vylíhnutí spěchají do moře. V přírodě se orientují podle stínu, který jim poskytují stromy, keře a traviny na odvrácené straně od moře. Želví mláďata vědí, že musejí postupovat směrem ke světlejším částem pláže, neboť směrem k moři klesá zastínění. Za bezoblačných nocí jim navíc měsíc poskytuje cenný zdroj světla. Pokud ovšem jsou na pláži v místě líhně přítomné lampy, jejich osvětlení je natolik intenzivní, že u mladých želv dochází k dezorientaci. Běžně se stává, že se želví mládě vydá opačným směrem než je moře, a pak zbytečně umírá pod koly automobilů, jako oběť suchozemských predátorů, dehydratací nebo vyčerpáním.

Světelné znečištění má rovněž neblahý vliv na populace zelených žab. Přílišné světlo během noci ovlivňuje vrozené vzorce teritoriálního chování u samců tohoto druhu žab, zejména při námluvách samičky. Pokud je v oblasti obývané zelenými žábami dostatek světla, samečci vykazují nižší hlasitost kvákání, na druhou stranu se ale rychleji a častěji pohybují po svém teritoriu (Baker et al. 2006). Tento způsob chování je velice adaptabilní, neboť pokles žabího skřehotání se vzrůstající intenzitou světla působí jako jakási vrozená odezva proti predátorům (Kotler 1984). Takovéto chování se vyvinulo jako odpověď na jasné noci za úplňku, který ovšem v přírodě nastává pouze několik dní v měsíci; v ostatních „temnějších“ dnech se samečci chovají přirozeně. Bohužel světelné znečištění, které je přítomné přibližně ve stejné míře každou noc, způsobuje každodenní změnu chování u samečků zelených žab. To samozřejmě není přirozené ani záhodné, neboť stěžuje samečkům příležitost svým hlasitým projevem přitáhnout samičku.

### 3.9.3 Vliv na rostliny

Vliv světla na rostliny je značný, neboť fotosyntéza – základní proces potřebný pro růst rostlin – je založena na přeměně energie světla o vlnové délce přibližně 400–700 nm (Bennie et al. 2016) v energii chemických vazeb organické struktury tvořící biomasu rostliny. Bohužel, antropogenní světlo v noci vyvolává u rostlin rostoucích v jeho blízkosti fotosyntetickou odezvu v době, ve které by správně probíhat neměla. Teoreticky by mohl proces fotosyntézy spustit i sky glow nad městy (Raven & Cockell 2006), nicméně prokazatelná fixace uhlíku v pletivech rostlin je limitována vzdáleností listů od světelného zdroje (Bennie et al. 2016). Umělým osvětlením rostliny docílíme prodloužení fotosyntézy a zkrácení doby dýchání. Vzniká tak nerovnováha, která vede k narušení fyziologických dějů v rostlině, a ta je tak vystavena stresu, je citlivější na mrazy, houbové infekce nebo napadení hmyzem (Chaney 2002). Na rozdíl od lidí a zvířat jsou stromy nejvíce citlivé na červenou oblast spektra. Pokud se stromy nacházejí v blízkosti těchto zdrojů světla, dochází u nich k rychlejšímu nástupu květu na jaře, růstu výhonků nebo celkovému nárůstu biomasy, a to zejména v měsících na podzim a na jaře, kdy je ještě

doba vegetační klidu, to může způsobit stromům zvýšený stres a během 20– 30 let dokonce i úhyn (Kolář 2006).

Během tmavé noci rostliny odpočívají a opravují pletivo v listech poškozené například vlivem troposférického ozonu nebo jinými stresory, které na rostliny působí. Je pravděpodobné, že vystavení se světlu během noci tlumí tyto opravné procesy, jak bylo zjištěno na studii Volsnesse et al. (2009), který zkoumal vliv zeměpisné šířky (a tedy i množství přirozeného světla během noci) na regeneraci rostlin. Rostliny, které neměly zajištěn přes noc dostatek tmy, byly více citlivé na účinek troposférického ozonu.

Růst užitkových rostlin vystavených nočnímu světlu zkoumaly dvě korejské studie. Dle Kima et al. (1998) má expozice mladých klíčků sóji nočnímu světlu vliv na jejich růst i velikost sklizně. Při nočním osvětlení o intenzitě 2,0 – 6,5 luxů došlo sice k nárůstu délky stonku, ale ke snížení počtu větví. Při osvětlení nad 4,1 luxu výzkumníci zaznamenali úbytek výnosu o 19–21 %, nad 6,1 luxu dokonce až o 20–41 %. Podle studie Chena et al. (2009) je sója vystavená nočnímu světlu sice méně kvalitní, ale výnosy se prokazatelně nesnížily, dokonce byly mírně vyšší.

## 3.10 Ochrana tmavé oblohy

Nejznámější nevládní organizací, dlouhodobě se zabývající ochranou tmavé oblohy, je IDA (International Dark-Sky Association) založená roku 1988 v USA. Hlavním úkolem IDA je chránit a zachovat temné noční prostředí a krásy, které na něm spatřujeme, pro další generace prostřednictvím osvěty a zvýšení povědomí o nezbytnosti tmy během noci (online cit. IDA [2]). Aby těchto cílů mohlo být dosaženo, zřizuje IDA od roku 2001 ve spolupráci s dalšími institucemi síť „rezervací“ tmavého oblohy. IDA rozlišuje 5 typů oblastí (komunit), které se mohou do programu na ochranu tmy zapojit (online cit. IDA [2]):

1. **International Dark Sky communities** – Společenství obyvatel města, vesnice, či jiná právně organizovaná skupina, která vykonává zvýšené úsilí k prosazení ekologicky nezávadných světelných zdrojů šetrných k temné noční obloze. Kromě prosazování správných zásad osvětlení a svícení v nočních hodinách se rovněž snaží o rozšiřování povědomí o světelném znečištění formou edukačních aktivit. V současné době existuje 15 certifikovaných komunit (z toho 10 v USA).
2. **International Dark Sky Parks** – Rozsáhlé oblasti, které dosud vykazují malou míru světelného znečištění. Většinou se jedná o oblasti s velmi malou hustotou zalidnění. Tyto lokality jsou chráněné pro svoje vědecké, přírodní, kulturní a vzdělávací hodnoty. Parků tmavé oblohy je v současné době vyhlášeno 51.

3. **International Dark Sky Reserves** – Menší oblasti s tmavým jádrem uprostřed území, které je po obvodu obestavěno osídlením s vyšší mírou světelného znečištění. Jádrové oblasti rezervací musí splňovat určitá pravidla a minimální standardy tmavého nebe (nízká míra jasu), zatímco lidská sídla v okolí jádra by měla podporovat zachování tmy uvnitř oblasti. V současnosti na světě existuje 11 rezervací tmavé oblohy a všechny se nacházejí mimo USA.
4. **International Dark Sky Sanctuaries** – Jedná se o místa s nejtemnější noční oblohu vůbec, většinou velmi daleko od civilizace. Jsou velmi vhodná pro astronomická pozorování nočního nebe, ale špatně dostupná. V současnosti jsou registrovány 3 tzv. „svatyně" temné oblohy: v Novém Mexiku, na Novém Zélandě a v Chile.
5. **Dark Sky Developments of Distinction –** Jde o program na podporu projektů, které se snaží zmírnit následky neefektivního svícení do okolí, nicméně jas oblohy je i přes veškeré snahy značný. Tudíž oblast nemůže spadat do žádné ze tří předchozích kategorií.

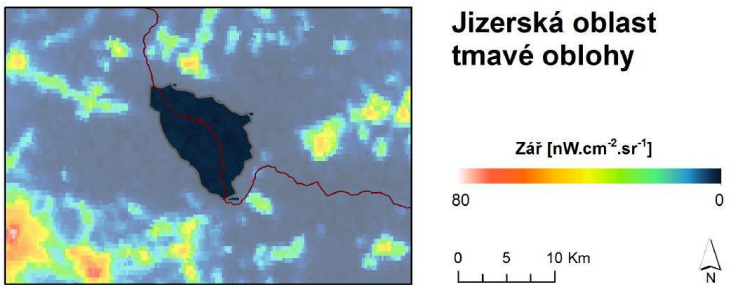
### 3.10.1 Oblasti tmavé oblohy v Česku

Nezávisle na organizaci IDA se v Česku snaží o ochranu tmavé oblohy Česká astronomická společnost (odborný garant projektu), která ve spolupráci s místními občanskými skupinami, hvězdárnami a obecními samosprávami vyhlásila již tři oblasti tmavé oblohy. Zakládající listinou je vždy memorandum, které je bráno jako dobrovolný závazek všech zúčastněných subjektů ve vymezeném území dbát na správné zásady nočního svícení a tímto způsobem se snažit o zachování stávajícího stavu noční oblohy (online cit. IDA [2]). Dvě oblasti tmavé oblohy se rozkládají v území stávajících CHKO: Jizerská oblast tmavé oblohy (JOTO) a Beskydská oblast tmavé oblohy (BOTO). Nejmladší oblast leží mimo systém státní péče o ochranu přírody; je jí Manětínská oblast tmavé oblohy (MOTO). Společným úkolem těchto oblastí je (online cit. JOTO [3]):

- Chránit poslední relativně tmavá místa na našem území na základě dobrovolného rozhodnutí zúčastněných subjektů.
- Vykonávat osvětu obyvatelstva, co se týče pojmu světelného znečištění a všeho, co je s ním spojeno, a to nejlépe prostřednictvím praktického pozorování v terénu.
- Chránit oblohu pro astronomická pozorování.

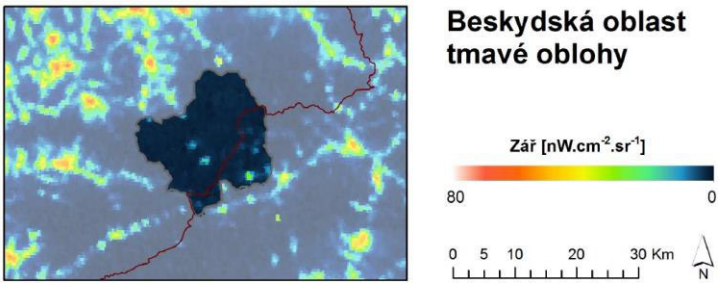
**Jizerská oblast tmavé oblohy** je nejstarší rezervací svého druhu v Česku a prvním mezinárodní oblastí tmavé oblohy na světě. Byla vyhlášena 4. listopadu 2009 na území o rozloze 75 km$^2$ na česko-polském pohraničí v oblasti Jizerských hor. Jedná se o vnitřní stranu pohoří v pramenném údolí řeky Jizery, která je ze všech stran částečně stíněna horskými hřebeny. Ty neumožňují přímou viditelnost světel z okolních sídel. Její hranice prochází na české straně po vrcholech Smrk, Plochý, Černý vrch a Zámky, na straně polské Kozi Grzbiet, Cicha Równia, Wysoka Kopa a Stóg Izersky. Uvnitř tohoto území se nenacházejí žádná lidská sídla (kromě české osady Jizerka a polské osady Orle). Přesto, že je zde obloha přibližně 2x jasnější, než je tomu v oblastech s minimálním nebo žádným světelným

znečištěním, na evropské poměry se jedná o poměrně tmavou lokalitu hodnou ochrany (online cit. JOTO [3]).



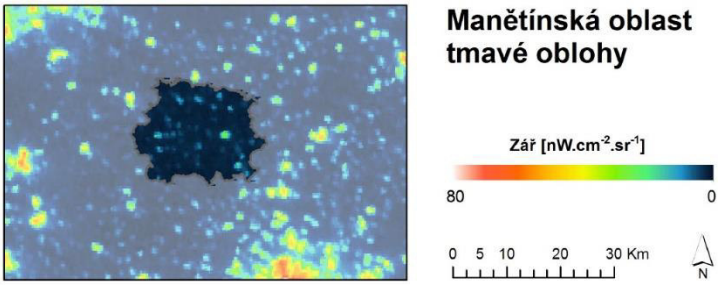

*Obr. 36: Mapa průměrné zenitové záře nad Jizerskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS*
*Zdroj: Moudrá (2015)*

**Beskydská oblast tmavé oblohy** byla vyhlášena v roce 2013 a je druhou přeshraniční oblastí ochrany tmavé oblohy založenou na území Česka. Nachází se na moravsko-slovenském pomezí v CHKO Beskydy a CHKO Kysuce. Rozkládá se na katastrech obcí Staré Hamry, Bílá, Čeladná, Morávka, Krásná, Horní Bečva a Ostravice na české straně a Makov, Korňa, Turzovka, Vysoká nad Kysucou a Klokočov na Slovensku. Nachází se v ní tedy více celoročně obydlených sídel než v Jizerské oblasti tmavé oblohy. Celková rozloha činí 308 km$^2$ a nejvyšším vrcholem je Lysá hora. Jas oblohy je každý den měřen na klimatologické stanici Bílý Kříž pomocí jasoměru SQM-LU a hodnoty jasu se pohybují okolo 21,2–21,3 MSA. V blízké budoucnosti budou denní měření volně přístupná na webových stránkách oblasti (online cit. BOTO [7]).




*Obr. 37: Mapa průměrné zenitové záře nad Beskydskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS*
*Zdroj: Moudrá (2015)*

**Manětínská oblast tmavé oblohy** je nejmladší a zároveň plošně nejrozsáhlejší „rezervací“ tmavé oblohy na našem území. Byla vyhlášena roku 2014 a má rozlohu 346 km$^2$. Uvnitř se nacházejí katastry obcí Manětín, Nečtiny, Štichovice, Hvozd, Štědrá, Pšov, Bezvěrov, Krsy, Dražeň a Toužim. Výhodou této oblasti tmavé oblohy je její relativně dobrá dostupnost, neboť se nenachází v příhraniční horských oblastech, jako dvě výše zmíněné oblasti. Obloha je zde jasnější zhruba o 30–50 % než v oblastech světelným znečištěním nezasažených. V oblasti probíhají příležitostná měření kvality oblohy pomocí přístroje SQM v lokalitě Čbán u Nečtin a v Bažantnici u Hvozdu. Tato místa se také používají pro laická astronomická pozorování nebeských úkazů a pro fotografování nočního nebe (online cit. MOTO [8]).




*Obr. 38: Mapa průměrné zenitové záře nad Manětínskou oblastí tmavé oblohy z NPP/VIIRS Zdroj: Moudrá (2015)*

## 3.11 Světelné znečištění v legislativě

### 3.11.1 Česko

V současné době česká legislativa termín světelné znečištění nezná. Nebylo tomu ale tak vždy. V roce 2002 byl tento pojem obsažen v Zákoně o ochraně ovzduší (č. 86/2002 Sb.). Tento původní zákon, který světelné znečištění definoval jako *„každou formu osvětlení umělým světlem, které je rozptýleno mimo oblasti, do kterých je určeno, zejména pak míří-li nad hladinu obzoru.“* (§ 2, písm. r/ ve znění ze dne 14. 2. 2002) byl na dobu svého vzniku velmi inovativní, neboť v rámci komplexní ochrany ovzduší se snažil stanovit *„opatření ke snižování světelného znečištění ovzduší”* (§ 1, odst. 1, písm. d/ ve znění ze dne 14. 2. 2002). Podle § 3 tohoto zákona byla právnickým i fyzickým osobám uložena povinnost, že *„Při činnostech v místech a prostorech stanovených prováděcím právním předpisem je každý povinen plnit nařízení orgánu obce a v souladu s ním provádět opatření k zamezení výskytu světelného znečištění ovzduší.“* (§ 3, odst. 10 ve znění ze dne 14. 2. 2002) a dále stanovoval, že *„Prováděcí právní předpis stanoví místa a prostory, kde nesmí docházet k výskytu světelného znečištění, činnosti, na které se vztahuje povinnost podle odstavce 10, opatření ke snižování nebo předcházení výskytu světelného znečištění a limity stanovující horní mez světelného znečištění.“* (§ 3, odst. 12 ve znění ze dne 14. 2. 2002). Orgány obce v přenesené působnosti byly oprávněny *„vydávat nařízení, jímž může na svém území stanovit opatření podle § 3 odst. 10 ke snižování nebo předcházení výskytu světelného znečištění ovzduší*.“ (§ 50, odst. 1 ve znění ze dne 14. 2. 2002). Zvláštní prováděcí předpis, který by stanovil konkrétní opatření ke zmírnění světelného znečištění, ovšem nikdy nebyl vytvořen.

V roce 2004 došlo k rozsáhlé novelizaci Zákona o ochraně ovzduší (č. 92/2004 Sb.), záznamy o světelném znečištění byly výrazně zredukovány a definice světelného znečištění pozměněna. Světelné znečištění bylo nově definováno jako *„…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*

*směrováno"* (§ 2, písm. r/ ve znění ze dne 3. 3. 2004). Povinnosti právnických osob (§ 3, odst. 10 a 12 zákona č. 86/2002 Sb.) byly vypuštěny. Nicméně doplňující odst. 3 stále umožňoval obcím *„obecně závaznou vyhláškou zakázat promítání světelných reklam a efektů na oblohu a zakázat používání laserové techniky při kulturních akcích."* (§ 50, odst. 3, písm. c/ ve znění ze dne 3. 3. 2004).

V roce 2005 došlo podle zákona č. 385/2005 Sb. k omezení pravomoci obcí, které ale nadále mohly obecně závaznou vyhláškou *„v oblasti opatření proti světelnému znečištění regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu."* (§ 50 odst. 3 písm. c/ ve znění ze dne 1. 8. 2005).

V roce 2012 byl vydán zcela nový Zákon o ochraně ovzduší (č. 201/2012 Sb.), který pojem světelné znečištění již neobsahuje a tím pádem na národní úrovni v Česku není světelné znečištění nijak regulováno. Nicméně v současnosti (rok 2017) se znovu začíná uvažovat, dle doporučení České astronomické společnosti, o začlenění termínu světelného znečištění do českého právního systému a stanovení efektivnější ochrany tmavého nočního nebe [9].

### 3.11.2 Vybrané státy

Uchopení termínu světelné znečištění v národních legislativách jednotlivých států je velmi různorodé. Některé legislativní opatření se zaměřují na komplexní ochranu tmy během noci, některé jen na určité aspekty světelného záření. Na tomto místě bych rád ve stručnosti zmínil několik dobrých příkladů legislativ ve státech, které světelné znečištění tímto způsobem redukují.

V **Itálii** přijalo 15 regionů závazné vyhlášky pro regulaci světelného znečištění; jedná se zhruba o 2/3 populace státu včetně obyvatel největších měst, jako je Řím, Milán, Benátky, Florencie, Boloňa nebo Neapol. Prvním regionem byla v roce 2000 Lombardie, kde zákonem zakázali instalovat nová svítidla, která svítí přímo nad vodorovnou rovinu. Všechna svítidla by rovněž měla mít svítivost do 0,49 cd/m$^2$. Výjimku tvoří svítidla, která emitují světelný tok pod 2 250 lumenů (například historické osvětlení) (Law of the Lombardy Region no. 17 of 03/27/2000). Na základě tohoto prvotního omezení světelného znečištění přijaly velmi podobná opatření i ostatní výše zmíněné regiony.

Velmi podobně upravenou, komplexně zaměřenou legislativu regulující světelné znečištění, mají ve **Slovinsku** od roku 2007. Zákon zde přikazuje instalovat plně cloněná světla, která nesvítí nad rovinu horizontu. Velký důraz je kladen na ekonomickou, ale též ekologickou stránku světelného znečištění. Obce jsou omezeny limitem na jednoho obyvatele, který při výpočtu spotřeby elektrické energie na veřejné osvětlení nesmí být překročen. Dále je zákonem zakázáno osvětlovat jakékoli vstupní otvory do míst, kde hnízdí ptáci, případně netopýři. Může se jednat o vstupy do jeskyní, ale také o zvonice a kostelní věže. Při osvětlování historických budov a památek je kladen důraz na směr světelného zdroje ze shora dolů a jas fasády nesmí překročit 1 cdm$^{-2}$. Světelné reklamy promítané na noční oblohu jsou zcela zakázány. Z poměrně přísného zákona jsou udělovány výjimky například

v období vánočních svátků, případně při různých vojenských či záchranných operacích (Slovenian Government Regulation 4162).

Ve **Francii** platí velmi komplexně pojatý zákon zabývající se problematikou světelného znečištění od roku 2013 a o jeho prosazení se významně zasadila francouzská astronomická obec ve spolupráci s Asociací pro ochranu životního prostředí (Meier 2015). Tento zákon, na rozdíl od italské či slovinské legislativy, reguluje osvětlení interiérů všech nebytových prostor; to musí být kompletně zhasnuto nejpozději hodinu po odchodu posledního pracovníka (včetně výloh obchodů). Pro exteriérové nasvícení podniku pak platí, že nesmí být osvětlen v nočním čase mezi jednou a sedmou hodinou ranní. Kvůli bezpečnosti ovšem může být objekt opatřen svítidly napojenými na pohybový senzor – při registraci pohybu se mohou světla rozsvítit. Výjimky jsou dále udělovány pro osvětlení na kulturních akcích nebo pro nasvícení památek ve významných turistických destinacích (Arrêté du 25 janvier 2013).

Na území **Spojených států amerických** není problém světelného znečištění řešen na federální úrovni, nicméně 18 států přijalo vlastní zákony, které se snaží s různou mírou efektivity regulovat emise rušivého světa. Většina z nich reguluje veřejné osvětlení na komunikacích a osvětlení státních budov. Je nařízeno instalovat cloněná svítidla směrovaná výhradně pod sebe na oblast, která má být osvětlena. Při inovaci stávajícího osvětlení je doporučeno instalovat méně energeticky náročné světelné zdroje [7]. Přehledné shrnutí zákonů jednotlivých států USA týkající se světelného znečištění je uvedeno na internetové adrese: http://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/states-shut-out-light-pollution.aspx [10].

# 4. Způsoby měření jasu oblohy (světelného znečištění)

Pro měření intenzity světelného znečištění je nezbytné stanovit jas oblohy na daném geograficky definovaném bodě, místě, oblasti. Druhou možností je měřit intenzitu světelného znečištění kvantifikací negativních důsledků. Takový způsob je ovšem poněkud náročný a velmi relativní. Pro kvantifikaci světelného znečištění se běžně používá naměřená hodnota zenitního jasu oblohy nočního nebe v určité lokalitě a její srovnání jasem nočního nebe, které není ovlivněné antropogenním světlem. Jas oblohy můžeme měřit jako odražené světelné záření od molekul vzduchu a aerosolů směřující zpět k povrchu země (luxmetr, SQM) nebo pomocí dálkového průzkumu země jako světelné záření naopak unikající vzhůru do atmosféry (družice).

## 4.1 Pozemní měření

Určit jas oblohy bez použití přístrojů se pokusil Bortle (2001). Jedná se ovšem o metodu, která je závislá na individuálních vlastnostech lidského oka a tudíž ne úplně objektivní a mezi dvěma pozorovateli porovnatelná. Jedná se o „odhadnutí" jasu noční oblohy na základě tzv. mezní hvězdné velikosti (MHV), kdy pozorovatel očima vizuálně stanoví hvězdnou velikost v magnitudách. Zkušený pozorovatel musí na základě určení magnitudy nejslabší hvězdy v oblasti zenitu stanovit přibližný jas oblohy. Pokud se jas oblohy zvýší, změní se také viditelnost hvězd. **Bortleova stupnice jasu oblohy** byla zveřejněna v časopise *Sky and Telescope* a byla určena převážně amatérským astronomům (Bortleova stupnice jasu oblohy – viz Příloha 1).

Objektivnější metodou je určení jasu pomocí technických přístrojů. Tradiční možností, jak kvantifikovat jas, je použití **luxmetru**. Jedná se o přístroj užívaný běžně k zjišťování intenzity světla převážně v interiérech domů, bytů nebo průmyslových provozů. Samotné měření probíhá tak, že na fotočlánek dopadá světlo, které posléze kvantifikuje měřící a vyhodnocovací systém v přístroji. Výsledná osvětlenost je vyjádřena v luxech. Luxmetry jsou obecně poměrně málo citlivé a na měření venkovního nočního prostředí poněkud méně vhodné (Hollan 2004). Výhodou je, že lux je hojně používaná jednotka v oblasti světelné techniky a osvětlování a tímto způsobem změřený jas světla (osvětlenost) je možné jednoduše porovnat například s technickými parametry svítidel apod.

Novějším přístrojem, který dokáže měřit jas oblohy a který byl navržen přímo pro potřeby kvantifikace jasu oblohy je jasoměr **- Sky Quality Meter (SQM)** od kanadské firmy Unihedron. Jedná se o jednoduchý a relativně laciný přístroj jehož pomocí lze změřit jas oblohy pod různými úhly (v závislosti na typu přístroje). Čočkou na vrchní straně přístroje dopadá viditelné světlo na citlivý čip, který zaznamenává množství světla přicházejícího z určitého směru a následně přístroj provede výpočet jasu

v této oblasti (Unihedron 2012). Přístroj měří v jednotkách MSA (magnituda na čtvereční úhlovou vteřinu), které se dají pomocí převodního vzorce převézt na obvyklejší jednotky (candela na metr čtvereční).

Zajímavou možností je měřit jas oblohy pomocí **fotovoltaického panelu,** neboť existuje přímá úměra mezi osvětlením panelu a napětím, které je panelem produkováno. K sestavení takovéto měřící aparatury je zapotřebí kromě samotného solárního panelu také multimetr a počítač (Hollan 2004). Pro porovnatelnost hodnot je nutné solární panel (měřené napětí ve voltech) zkalibrovat pomocí luxmetru. Tímto způsobem se od roku 2006 měří jas nebe na observatoři Kraví hora u Brna. Výstupy se dají sledovat online na http://amper.ped.muni.cz/weather/ [11].

Pro zjišťování jasu oblohy je možné použít také **fotografický přístroj**. Konkrétní hodnoty jasu lze zjistit srovnáním s referenčními snímky, pořízenými při stejném nastavení expozičních hodnot a vyhodnocenými pomocí luxmetru nebo jasoměru. Sofistikovanější postup navrhl dr. Jan Hollan, který vytvořil program Raw2Lum. Snímky pořízené zkalibrovanou fotografickou sestavou a uložené v surovém formátu RAW tento program převede do tzv. jasové mapy, přičemž různým hodnotám jasu jsou přiřazeny různé barvy (shodné se stupnicí, kterou používá americká organizace NPS - National Park Service). Program Raw2Lum využívá ve své práci Mašek (2017) při měření jasu oblohy v okolí Liberce.

## 4.2 Dálkový průzkum země

Jinou možností, jak určit jas oblohy, je změřit světelné záření pomocí senzorů družic na orbitálních drahách Země. Při získávání surových dat světla z družicových snímků je důležité si uvědomit, že se nejedná o jas nočního nebe, ale o množství zářivého toku dopadajícího na detektor družice přicházející od určitého místa na povrchu planety. Tmavá místa na nezpracovaných družicových snímcích ovšem nejsou ve skutečnosti světlem netknutá, neboť jak známo, světlo vyzařované do atmosféry pod malými úhly může ovlivnit jas oblohy až desítky kilometrů od něho (Luginbuhl 2009). Pokud chceme takovéto snímky pořízené družicí použít pro analýzu jasu oblohy z pohledu pozorovatele na zemi, musíme na ně aplikovat modely šíření světla atmosférou v závislosti na populační velikosti města (Garstang 1986). Nespornou výhodou dálkového průzkumu země je jeho globální využití – pro analýzu a dlouhodobý monitoring na celém povrchu planety. Oproti velmi lokálním metodám pozemního měření jasu oblohy (viz výše).

Družicová data pro analýzu jasu oblohy nad zemským povrchem použil poprvé Cinzano (2001), který na základně nočních snímků a modelu šíření světla vytvořil vůbec první atlas umělého jasu nočního nebe. Data pocházejí z družicového systému **DMPS** (Defense Meteorological Satellite Program). Noční snímky jsou snímány přístrojem OLS (Operational Linescan Systém), který dokáže zachytit i velmi slabé optické signály. Spodní limit pro detekci světla je $4.10^{-5}$ $W.m^{-2}.sr^{-1}$ a hranice šumu

$5.10^{-6}$ $W.m^{-2}.sr^{-1}$. Nevýhodou detektoru je jeho prostorové rozlišení, které je poměrně hrubé – kolem 5 km. Z tohoto důvodu nemůžeme snímky použít pro jemnější analýzu konkrétních znečišťovatelů (průmyslových areálů, budov, letišť apod.). Dalšími nevýhodami nočního snímání je pouze 6bitový dynamický rozsah, nedostatečné množství spektrálních kanálů, které by rozlišily druh světelného zdroje, případně naprostá nemožnost kalibrace OLS během letu (Elvidge et al. 2013).

Nedávno publikoval Falchi et al. (2016) v návaznosti na Cinzana (2001) druhý atlas umělého jasu noční oblohy. Podkladová data pocházejí z novější družice **Suomi NPP** (Suomi National Polar-Orbiting Partnership), která nese (mimo jiné) přístroj VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Tento přístroj je vylepšenou obdobou OLS pro detekci slabého optického signálu. Spodní hranice pro detekci je $3.10^{-5}$ $W.m^{-2}.sr^{-1}$, hladina šumu $5.10^{-7}$ $W.m^{-2}.sr^{-1}$. VIIRS má oproti OSL 14bitový dynamický rozsah. Filtr DNB (Day-Night-Band), který je určen k snímání záře, má spektrální rozsah od 0,5 – 0,9 μm. Velkou výhodou nové družice Suomi NPP je mnohem jemnější rozlišení až 742 m (Elvidge et al. 2013). Díky novým parametrům této družice je velký potenciál pro detailnější analýzy emitovaného světla do vesmíru. Na Přírodovědecké fakultě UK byla nedávno obhájena práce Moudré (2015), která kvantifikovala na základě georeferencovaných měsíčních kompozitů VIIRS/DNB záři noční oblohy nad velkoplošnými chráněnými územími v Česku.

# 5. Charakteristika zájmové oblasti

Praktický výzkum – měření a mapování světelného znečištění – probíhal v zájmové zóně Ondřejovské hvězdárny Astronomického ústavu AV ve Středočeském kraji na vrcholu Pecný. Hranice zájmového území procházejí po hřebenech, které můžeme z Ondřejova spatřit. Všechny zdroje rušivého světla vně této zóny jsou alespoň částečně stíněné a pro astronomická pozorování méně rušivé [4]. Celá oblast má rozlohu zhruba 165 km$^2$, vzdálenost hranic od hvězdárny se pohybuje v rozmezí 6 až 8 km. Uvnitř zájmové zóny se nacházejí větší obce Mnichovice, Mirošovice, Senohraby, Čerčany, Ostředek a Stříbrná Skalice, Chocerady a Ondřejov. Severní hranice zóny prochází mezi obcemi Struhařov a Svojetice. Na severovýchodě prochází hranice západně od obce Konojedy a jižně od Jevan, nicméně ani jedna z těchto obcí již neleží uvnitř zóny. Čerčany jsou nejvzdálenější obcí, kterou lze z vrcholu Pecný spatřit [4]. Vzdušná vzdálenost oblasti od centra Prahy se pohybuje od 24 km na severozápadě u obce Mnichovice do 40 km u obce Ostředek na jihovýchodě oblasti. Samotná Ondřejovská hvězdárna je vzdálena 31 km. Zájmovou oblast protíná dálnice D1 od 17. dálničního kilometru po 35. Snahou hvězdárny je, aby se uvnitř zóny nenacházely zbytečně silné zdroje světla, které by mohly bezprostředně narušovat astronomická pozorování.

Vrchol Pecný (520 m n. m.) je nejvyšším vrcholem Ondřejovské pahorkatiny. Na katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK bylo obhájeno několik závěrečných prací, které se zabývaly přírodním prostředím této lokality (Steklá 2010), geomorfologickými procesy (Steklá 2012), analýzou průměrné teploty vzduchu (Slezák 2009) a ozónu (Hybner 2008) z dat pořízených na meteorologické stanici PřF UK umístěné u geodynamické observatoře na vrcholu. Geologickým a geomorfologickým výzkumem vývoje blízkého údolí řeky Sázavy se zabývá Balatka & Kalvoda (2010) v rozsáhlé publikaci „Vývoj údolí Sázavy v mladším kenozoiku“.

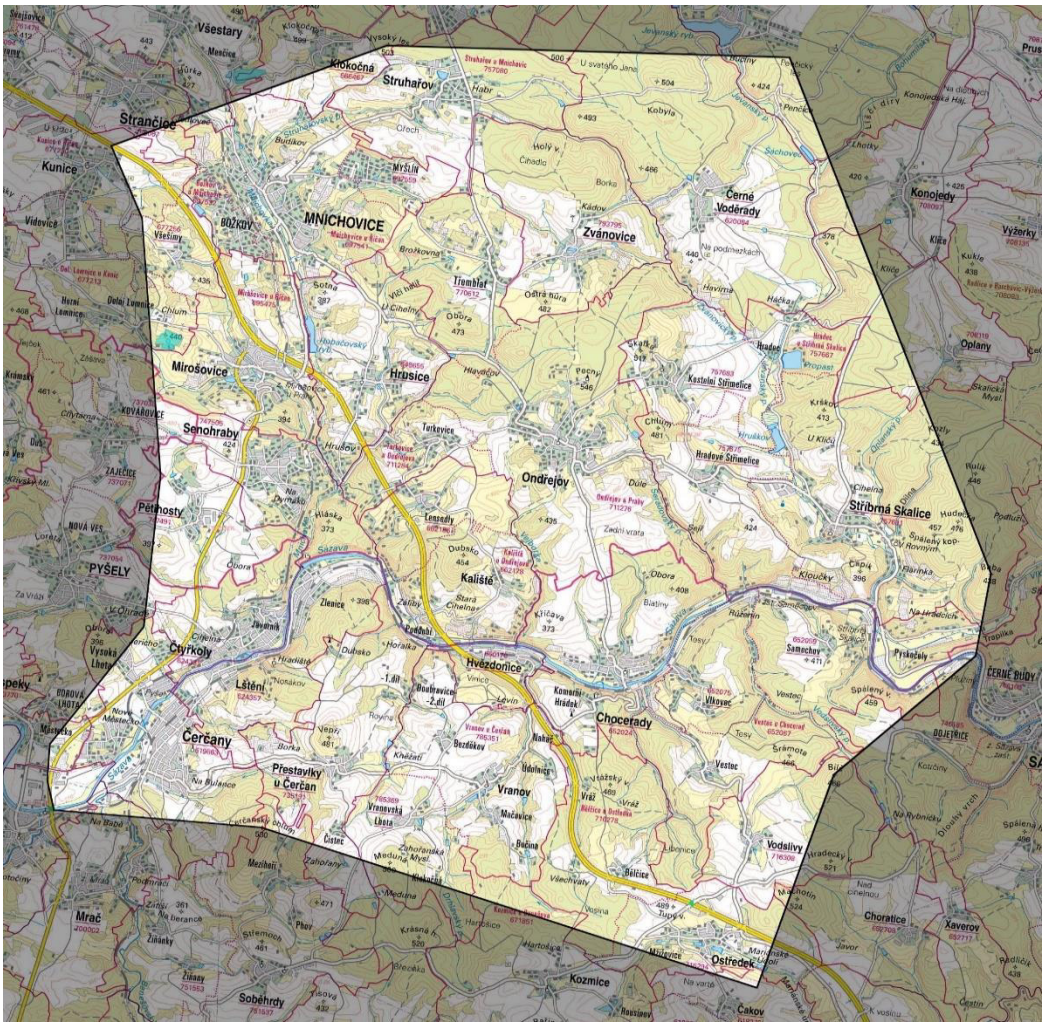
Ondřejovská pahorkatina tvoří geomorfologický okrsek východní části Dobříšské pahorkatiny. Reliéf je zde poměrně členitý, jeho erozně denudační povrch je porušený tektonickými příčnými zlomy. Území je tvořeno strukturními hřbety, pedimenty a holorovinami, které protíná hluboce zařízlé koryto řeky Sázavy a jejích přítoků (Demek & Mackovčin 2006). Členitý reliéf může fungovat jako výrazná clona pro omezení přímé viditelnosti světelných zdrojů. Dle geologického členění je Ondřejovská pahorkatina součástí moldanubika a je tvořena převážně metamorfovanými horninami (Demek & Mackovčin 2006).

Klima oblasti je dle Koppenovy klasifikace řazeno do třídy Cfb – podtyp podnebí listnatých lesů mírného pásma (jako většina území Česka). Průměrný roční úhrn srážek dosahuje 650–750 mm. Roční průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou se pohybuje od 40 do 80 v závislosti na reliéfu, expozici a nadmořské výšce v konkrétním místě zájmové zóny. Průměrný roční počet dní s mlhou je mezi 60 a 90.

Počet jasných dnů se zde ročně pohybuje v rozmezí 40–50, naopak zamračených dní je v ročním průměru 140–150 (Atlas podnebí Česka 2007).

Z biogeografického pohledu patří oblast dle Culka (1996) do Posázavského regionu. Území je z velké části zalesněné, jedná se ovšem o sekundární výsadbu převážně smrku a borovice. Rozsáhlé zalesněné plochy (zejména v severní a východní části území) střídá na jihu orná půda. Plochy orné půdy jsou rovněž v okolí obcí Ondřejov, Zvánovice, Černé Voděrady a Stříbrná Skalice. Největší obce se nacházejí na východě zájmového území (Mnichovice, Čerčany).

Oblast se nachází ve Středočeském kraji na pomezí okresů Praha-východ a Benešov, ze sociogeografického pohledu se jedná o suburbánní oblast Prahy. Je to tedy oblast spíše imigrační než emigrační, jak lze vidět například v datech sčítání obyvatel ČSÚ [12]. Je tedy pravděpodobné, že s přicházejícími lidmi se budou obce více rozrůstat do svého okolí a vytvářet rezidenční zóny, případně tzv. satelitní městečka. S nárůstem populace bude také velmi pravděpodobně sílit intenzita světelného znečištění v oblasti.




*Obr. 39: Vymezení zájmové zóny kolem hvězdárny Ondřejov*
*Zdroj. http://mapy.geology.cz/zajimavosti*

# 6. Metodika

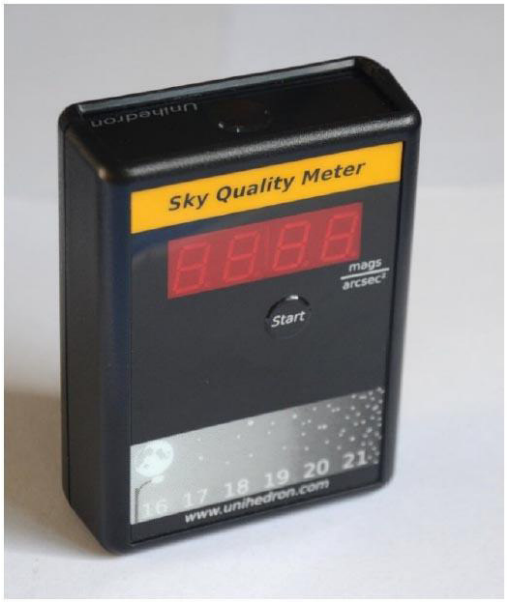
## 6.1 Metodika terénního průzkumu znečišťovatelů v okolí Ondřejovské hvězdárny

Před vlastním měřením jasu oblohy jsem osobně provedl průzkum znečišťovatelů v zájmové oblasti. Autem jsem v noci projel největší obce a vizuálně jsem se snažil zjistit, zda již z dálky bude možné zahlédnout nějaký nepřiměřeně zářící zdroj světla. Během tohoto terénního výjezdu jsem rovněž pořizoval fotografie se špatnými příklady osvětlení/nasvícení/konstrukce lamp v okolí Ondřejova. Musím ovšem podotknout, že vzhledem k časovým a finančním možnostem nebylo možné projet všechny ulice a všechny menší obce.

## 6.2 Měřící přístroj SQM-L

Pro měření jasu oblohy jsem z dostupných možností zvolil jasoměr Sky Quality Meter od kanadské firmy Unihedron. Tento přístroj měří dopadající jas na čidlo v poměrně neobvyklých jednotkách – MSA (magnituda na úhlovou čtvereční vteřinu [mag/arcsec$^2$]) Stupnice této veličiny je logaritmická, proto i malé rozdíly v hodnotách MSA znamenají relativně velké rozdíly jasu. *Rozdíl 1 mag/arcsec$^2$ odpovídá násobku 100$^{(1/5)}$ fotonů detekovaných čidlem. To znamená, že jas nebe, který je slabší o 5 mag/arcsec$^2$ odpovídá stonásobnému snížení počtu fotonů dopadajících na čidlo.* Stupnice magnitud je „obrácená“, to znamená, že čím jsou hodnoty MSA nižší, tím je obloha jasnější. Výrobce uvádí přesnost přístroje v rozmezí jedné desetiny jednotky MSA (Unihedron 2012). Jednotku MSA lze podle vzorce: [cd/m2] = 10,8 x 104 x 10$^{(-0,4*[mag/arcsec2])}$ převézt na jednotku svítivosti [cd/m$^2$], viz tabulka níže. Převod jednotek je možný automaticky na internetové adrese www.unihedron.com/projects/darksky/magconv.php [13].

Používaný přístroj má čidlo opatřené filtrem pro odstínění infračerveného záření, měří tedy jen ve viditelném intervalu spektra. Čidlo má nejvyšší citlivost na vlnovou délku λ = 520 nm (Cinzano 2005). Dle výrobce přístroj dosahuje nejvyšší citlivosti v úhlu 10°, se vzdáleností od osy citlivost klesá až k úhlu 40°. Přístroj kromě jasu dokáže změřit i aktuální teplotu, která by na změřenou hodnotu jasu mohla mít zřejmě také určitý vliv. V sortimentu firmy Unihedron nalezneme také podobný přístroj bez směrové optiky; ten je vhodný použít při měření celkového jasu oblohy, neboť měří jas v úhlu 120° (Unihedron 2012). Tato měření mohou být zatížena chybou pocházející z blízkých (přímo viditelných) světelných zdrojů i při měření kolmo vzhůru – do zenitu. Hodnoty naměřené směrovým přístrojem SQM (použitým v této práci) jsou tedy přesnější.




*Obr. 40: Jasoměr Sky Quality Meter*
*Foto: autor*

| [ mag/arcsec$^2$ ] | [ cd/m$^2$ ] |
|---|---|
| 14 | 2,713 x $10^{-1}$ |
| 15 | 1,080 x $10^{-1}$ |
| 16 | 4,300 x $10^{-2}$ |
| 17 | 1,712 x $10^{-2}$ |
| 18 | 6,814 x $10^{-3}$ |
| 19 | 2,713 x $10^{-3}$ |
| 20 | 1,080 x $10^{-3}$ |
| 21 | 4,300 x $10^{-4}$ |

*Tab. 1: Převod jednotek [mag/arcsec$^2$] na [cd/m$^2$]*
*Zdroj: autor*

### 6.3 Metodika získávání dat jasu noční oblohy

Pro potřeby zmapování jasu oblohy ve vymezené oblasti jsem stanovil celkem 16 měřících míst, na kterých jsem prováděl noční měření přístrojem SQM-L jednak do zenitu (z těchto dat je následně interpolována mapa světelného znečištění) a dále směrová měření pod úhlem 60° do osmi světových stran (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ). Z těchto směrových měření jsou vytvořené přehledné grafy pro jednoduché určení směru, ve kterém je noční obloha jasnější.

Na každém z těchto stanovišť jsem při jedné cestě pořídil 5 hodnot jasu zenitu i všech osmi směrů pod úhlem 60°. Z těchto pěti dat jsem vždy odebral krajní hodnoty (nejvyšší a nejnižší číslo) a ze zbylých třech jsem vypočítal aritmetický průměr. Pro získání dat ze všech šestnácti stanovišť byly potřeba tři cesty (při jedné cestě jsem stačil nasbírat data zhruba na 4–6 měřicích místech). Tento postup jsem aplikoval při třech návštěvách míst. Konečný výsledný jas oblohy je tedy vypočítán jako průměr ze tří průměrných jasů na každém stanovišti z každé cesty do zájmové oblasti.

Při plánování měřicích cest bylo nutno brát v potaz mnoho faktorů, které mohou mít potenciálně vliv na naměřenou hodnotu jasu oblohy. Je nezbytné, aby data z každého místa a při každé cestě byla získána za co nejpodobnějších podmínek. Velký důraz jsem musel brát na **astronomické** a **meteorologické podmínky**.

Při měření jasu oblohy jsem musel vyloučit jakýkoli vliv přirozených zdrojů světla, které samozřejmě nemůžeme považovat za znečišťovatele. Jedná se zejména o svit Měsíce a Slunce. Všechna měření jsem tedy prováděl za bezměsíčných nocí. Pro naprostou eliminaci slunečního svitu jsem měřil

pouze v časovém intervalu, kdy bylo Slunce již 18° pod horizontem. To znamená po tzv. astronomickém soumraku, kdy již žádné sluneční paprsky nemohou (ani odrazem od atmosféry) osvětlovat nebe.

Z meteorologických faktorů působících na jas oblohy má nezpochybnitelný vliv oblačnost – její typ, výška a hustota (Kyba et al. 2011a). Při měření bylo tedy důležité, dbát na to, aby obloha byla naprosto jasná, neboť odraz světla od zatažené oblohy způsobuje mnohem vyšší záři (světlo se od oblaků odráží zpět k zemi) než pokud měříme záři jasného nebe. Vzhledem k tomu, že počet jasných dní je v oblasti Ondřejovské vrchoviny dle Atlasu podnebí Česka (2007) zhruba 40–50 za rok, považuji oblačnost, spolu se svitem měsíce, za nejvíce limitující faktory, které poměrně citelně bránily terénnímu sběru dat. Dále je pravděpodobné, že by na jas oblohy mohla mít vliv vzdušná vlhkost, déšť, mlha (Vojtěchovská 2014), množství prachových částic ve vzduchu nebo také míra znečištění vzduchu automobilovými plyny. Vliv těchto faktorů na intenzitu světelného znečištění ještě není dostatečně prozkoumán a v mém výzkumu nebyly tyto veličiny při nočním měření jasu zjišťovány. Jejich vliv tedy není v práci zohledněn.

**Šestnáct měřících stanovišť** bylo vybráno tak, aby nebylo měření zkresleno nechtěným blízkým zdrojem světla. Na všech místech jsem proto měřil ve vzdálenosti nejméně 100 metrů od nejbližší zástavby, ve většině případů to však byla místa ještě mnohem vzdálenější. Aby měření nebylo zkresleno naopak stínem, který vrhá les, stanovil jsem kritérium, že do vzdálenosti 100 metrů nesmí být v okolí žádný vzrostlý lesní porost. Dalším, čistě praktickým požadavkem, byla dobrá dostupnost měřících míst; většinou se tedy jedná o pole a louky u menších silnic spojující obce v oblasti. V čase měření (od 0:30 do 2:00) byly silnice auty prakticky nevyužívané, možné ovlivnění měření světlem z reflektorů projíždějících aut je tedy nulové.

**Čas měření** jsem stanovil v intervalu mezi 0:30 a 2:00 hodinou ranní. Tento časový interval je podpořen předvýzkumem – při celonočním měření zenitového jasu na poli poblíž města Mnichovice vykazoval jas nejkonstantnější hodnoty právě v tomto časovém intervalu. Je pravděpodobné, že v tuto noční dobu bude jen minimum světla v atmosféře pocházet ze soukromých zdrojů osvětlení (interiérů i exteriérů) domů a bytů, naopak se dá předpokládat, že původ světla způsobující světelné znečištění bude dominantně pocházet z veřejného osvětlení. Dalším důvodem pro zvolení tohoto intervalu bylo navýšení potenciálních dnů vhodných k měření, neboť s prodlužováním světlého dne na jaře počet dní vhodných k měření klesá.

| Stanoviště | Zeměpisná šířka | Zeměpisná délka |
|---|---|---|
| A – Černé Voděrady | 49°56'17.1" | 14°49'06.5" |
| B – Čtyřkoly | 49°52'19.6" | 14°42'12.4" |
| C – Dojetřice | 49°52'07.6" | 14°52'00.6" |
| D – Dubsko | 49°51'40.0" | 14°44'23.0" |
| E – Hradové Střimelice | 49°53'53.3" | 14°49'07.6" |
| F – Chocerady | 49°51'52.1" | 14°47'41.1" |
| G – Klokočná | 49°57'08.1" | 14°42'31.2" |
| H – Kostelní Střimelice | 49°55'20.5" | 14°49'11.3" |
| I – Mnichovice | 49°55'23.4" | 14°44'03.1" |
| J – Ondřejov | 49°53'36.7" | 14°47'29.3" |
| K – Oplany | 49°55'57.5" | 14°51'43.4" |
| L – Senohraby | 49°53'45.6" | 14°42'32.7" |
| M – Turkovice | 49°54'16.3" | 14°45'47.7" |
| N – Vodslivy | 49°51'16.8" | 14°49'52.5" |
| O – Vranov | 49°50'42.3" | 14°45'22.0" |
| P – Zvánovice | 49°56'17.3" | 14°46'32.8" |

*Tab. 2: Názvy měřících míst se souřadnicemi*
*Zdroj: autor*

### 6.4 Metodika tvorby mapy jasu noční oblohy

Mapu jasu oblohy v okolí hvězdárny Ondřejov jsem vytvořil v programu ArcMap 10.2 od firmy Esri. Jako topografický podklad jsem použil mapu ze serveru mapy.geology.cz. Mapu jsem v programu georeferencoval do souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), který vychází z Křovákova zobrazení, a nad topografickým podkladem jsem vytvořil novu vrstvu s měřícími body, ke kterým jsem do atributové tabulky připsal vypočítanou průměrnou hodnotu jasu v zenitu. Pro interpolaci jsem v nabídce programu ArcMap zvolil metodu interpolace Inverse distance weighting (IDW), která bere v potaz vzdálenost každé buňky rastru od bodu, ze kterého mám naměřená data. Jinak řečeno, data jsou vážena vzdáleností od ostatních bodů a síla váhy klesá se vzdáleností od bodů. Tato metoda se zdá být vhodná pro modelování fyzikální veličiny jasu, neboť se dá předpokládat, že světelný zdroj v blízkosti bude ovlivňovat nejvíce své okolí. Vliv vzdálenějších bodů je zanedbatelný nebo velmi malý. Výsledek interpolace jsem převedl do vektorového datasetu a upravil kategorie jasu do 11 tříd po 0,5 mag/arcsec$^2$. Barevnou škálu jsem zvolil od červené přes žlutou a modrou po fialovou, neboť dle mého názoru nejvíce evokují světlejší a tmavší pomyslné nebe. Červeným kruhovým symbolem je znázorněna pozice dvoumetrového zrcadlového dalekohledu Ondřejovské observatoře. Jednotlivá

měřící místa jsou v mapě označena šedivými kruhovými symboly s písmenem (viz tab. 2 na str. 57) a průměrnou hodnotou jasu v zenitu, ze které byla interpolace vypočítána. Považuji za nutné zde zmínit, že hranice interpolace je nejpřesnější v centrální části mapy, kde je hustota bodů nejvyšší, naopak k okrajům vytyčené zájmové zóny Ondřejovské hvězdárny je přesnost podstatně menší.

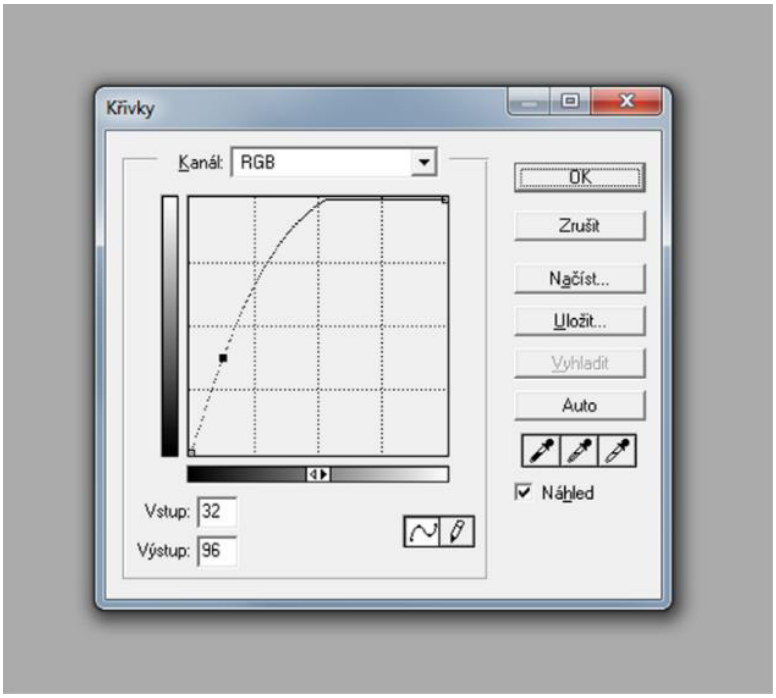
### 6.5 Metodika statistického zpracování

V rámci své diplomové práce jsem se také snažil zjistit, zda existuje statisticky významný vztah mezi jasem noční oblohy v zájmové zóně kolem Ondřejova a vzdáleností Prahy nebo mezi jasem noční oblohy a populační velikostí (hustota zalidnění a počet obyvatel) menších, ale zato blízkých obcí. V tabulkovém programu Excel jsem vypočítal korelační koeficienty pro hodnoty jasu oblohy nad intravilánem ZSJ (základní sídelní jednotky), (jedná se o vážený průměr jasu oblohy nad obcí (vážený plochou části obce) vypočtený z interpolované vrstvy jasu oblohy) a (A) vzdušnou vzdáleností středu ZSJ od Prahy, (B) hustotou obyvatel ZSJ, (C) počtem obyvatel v ZSJ. Údaje o počtu obyvatel jsem získal z webových stránek Regionálního informačního servisu (online cit. RIS [14]) a Českého statistického úřadu (online cit. ČSÚ [12]). Pro potřeby této analýzy jsem v programu ArcMap 10.2 vytvořil vektorizací rastrového podkladu vrstvu intravilánů ZSJ nacházejících se v zájmové oblasti. Pokud intravilány dvou nebo více ZSJ přímo sousedily, sloučil jsem tyto intravilány do jednoho polygonu a sečetl jejich plochu a počet obyvatel. Vytvořil jsem tedy v podstatě umělé konurbace obcí, které v mé analýze hodnotím jako pouze jednu obec. Do analýzy nejsou zahrnuty ZSJ, které mají méně než 50 stálých obyvatel ani chatové osady, neboť předpokládám, že by měly na jas oblohy jen velmi zanedbatelný vliv. Podkladová data pro statistickou analýzu viz Příloha 2.

### 6.6 Metodika doplňující fotografické dokumentace

Pro dobrou porovnatelnost situace na různých místech jsem vypracoval jednotný postup fotografování a následné úpravy snímků. Fotografie byly pořízeny objektivem LENSBABY 5,8 f/3,5 Circular Fisheye, který zobrazuje prostor v úhlu 185°, nasazeným na fotoaparát Nikon D800. Parametry fotografování: citlivost 400 ASA, clona 5,6, čas 40 s, zaostření na nekonečno. Podle kompasu byla nastavena vždy stejná orientace fotoaparátu (horní částí k severu) a podle vodováhy upřesněna horizontální poloha čipu.

Na výslednou fotografii byla v programu Photoshop aplikována gradační úprava podle křivky zobrazené níže, za účelem projasnění tmavých oblastí snímku a to dvakrát po sobě. Fotografie jsou překlopeny tak, aby zobrazovaly oblohu v projekci na zem (z důvodu snadného porovnání s hodnotami uvedenými v mapě).




*Obr. 41: Gradační úprava snímku*
*Zdroj: autor/Photoshop*

*Obr. 42: Objektiv se zorným úhlem 185°*
*Foto: autor*

# 7. Výsledky

V této kapitole představím výsledky vizuálního terénního průzkumu znečišťovatelů v oblasti, tabulku naměřených a zprůměrovaných jasů zenitu i směrových měření pod 60°, následuje zpracování naměřených směrových dat v podobě grafů, které názorně zobrazují směr, ve kterém je jas oblohy nejvyšší. Dále představím interpretaci interpolované mapy jasu oblohy zájmové zóny kolem astronomické observatoře, uvedu výsledky analýzy za použití statistické korelace a představím návrh na redukci světelného znečištění v zájmové oblasti. Považuji za důležité připomenout, že stupnice MSA je inverzní, pokud se tedy zmiňuji o zvýšení jasu oblohy, znamená to, že hodnoty MSA klesají, naopak pokud je obloha temná (nízký jas oblohy) hodnoty jasu oblohy jsou větší.

## 7.1 Terénní průzkum lokálních znečišťovatelů v okolí Ondřejovské hvězdárny

V zájmové zóně hvězdárny se nacházejí převážně menší obce do 1 000 stálých obyvatel. Populačně největší obcí jsou Mnichovice na severozápadě území (3 621 obyvatel) spolu s Mirošovicemi (1 322 obyvatel) na této straně území. Na jihozápadě jsou největším městem Čerčany (2 812 obyvatel), Ondřejov v blízkosti hvězdárny má 1 632 stálých obyvatel. Dalšími populačně významnějšími obcemi jsou Chocerady (1 241 obyvatel), Senohraby (1 202 obyvatel) a Stříbrná Skalice s přilehlými místními částmi (1 354 obyvatel). Větším blízkým městem je také Sázava, která ovšem již není z Ondřejova viditelná a do zájmové zóny již nezasahuje. Výše zmíněné obce mají také rozlehlé, hustě zastavěné obytné území (intravilán), dá se tedy předpokládat, že i veřejných světelných zdrojů bude v těchto obcích početně i hustotně více. Potenciál pro světelné znečišťování nočního nebe je tedy vyšší než u menších sídel.

Světelné zdroje v obcích jsou převážně vysokotlaké sodíkové výbojky emitující typické naoranžovělé světlo. Výjimečně jsem při terénním průzkumu nalezl LED světla na přechodu v Choceradech. U veřejných světelných zdrojů – pouličních lamp převládá již starší konstrukce svítidla, která může emitovat rušivé světlo i pod malým úhlem nad sebe. V menších obcích je koncentrace lamp relativně malá, nicméně na severozápadní silnici do centra Stříbrné Skalice jsem zaznamenal poměrně hustý zástup lamp (obr. 48), o jehož účelnosti a nezbytnosti lze pochybovat. Svítilny v podobě „koulí“ směřujících kolmo vzhůru jsem v obcích mnoho nenašel, pouze u restaurace u Komorního hrádku. Nezdá se, že by mohly pro někoho působit rušivě, nicméně tmu nočního nebe jistě ovlivňují.

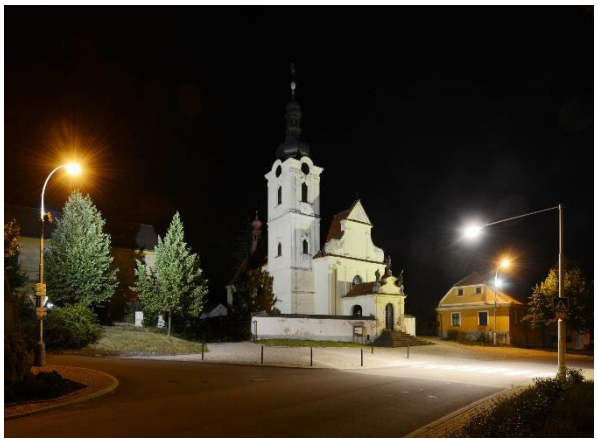
*Obr. 43: Hostinec v Ondřejově s osvětlenou čelní stranou ve večerních hodinách*
*Foto: autor*

*Obr. 44: Soukromý objekt s lampami typu „koule“ u Komorního Hrádku*
*Foto: autor*

Ve větších obcích se nacházejí restaurační zařízení, z nichž některá (obr. 43) například v Ondřejově mají osvětlenou fasádu dlouho do noci. Je pravděpodobné, že ji po půlnoci zhasínají. Tento případ je v celé oblasti nejspíš jediný.

Ve městech Mnichovice a Chocerady jsem zaregistroval nasvícení kostela na náměstí (obr. 45 a 46). Jedná se o estetické, poměrně decentně provedené osvětlení, které se také pravděpodobně později v noci vypíná. Rušivě ovšem může působit na rezidenty v okolních domech v brzkých večerních a nočních hodinách. U města Chocerady je silným světlem osvětlen zámeček – Komorní hrádek; jeho osvětlení se ovšem pod měřícím úhlem 60° projevilo spíše nepatrně.

*Obr. 45: Náměstí v Mnichovicích s osvětleným kostelem, Foto: autor*



*Obr. 46: Náměstí v Choceradech s osvětleným kostelem, Foto: autor*

V Čerčanech se nachází významný dopravní uzel – nádraží, které je v noci silně osvětlené lampami na nástupištích, a z dálky toto světlo v okolí silně dominuje. Otázkou zůstává, nakolik přispívá k emisím světla ve vertikálním směru, neboť nástupiště jsou zakryta stříškou a světla jsou víceméně směřována do země. Světelné znečištění může být tudíž způsobeno jen odraženým světlem.

*Obr. 47: Přesvětlené nádraží v Čerčanech Foto: autor*

*Obr. 48: Husté osvětlení silnice mimo zástavbu u Stříbrné Skalice. Foto: autor*

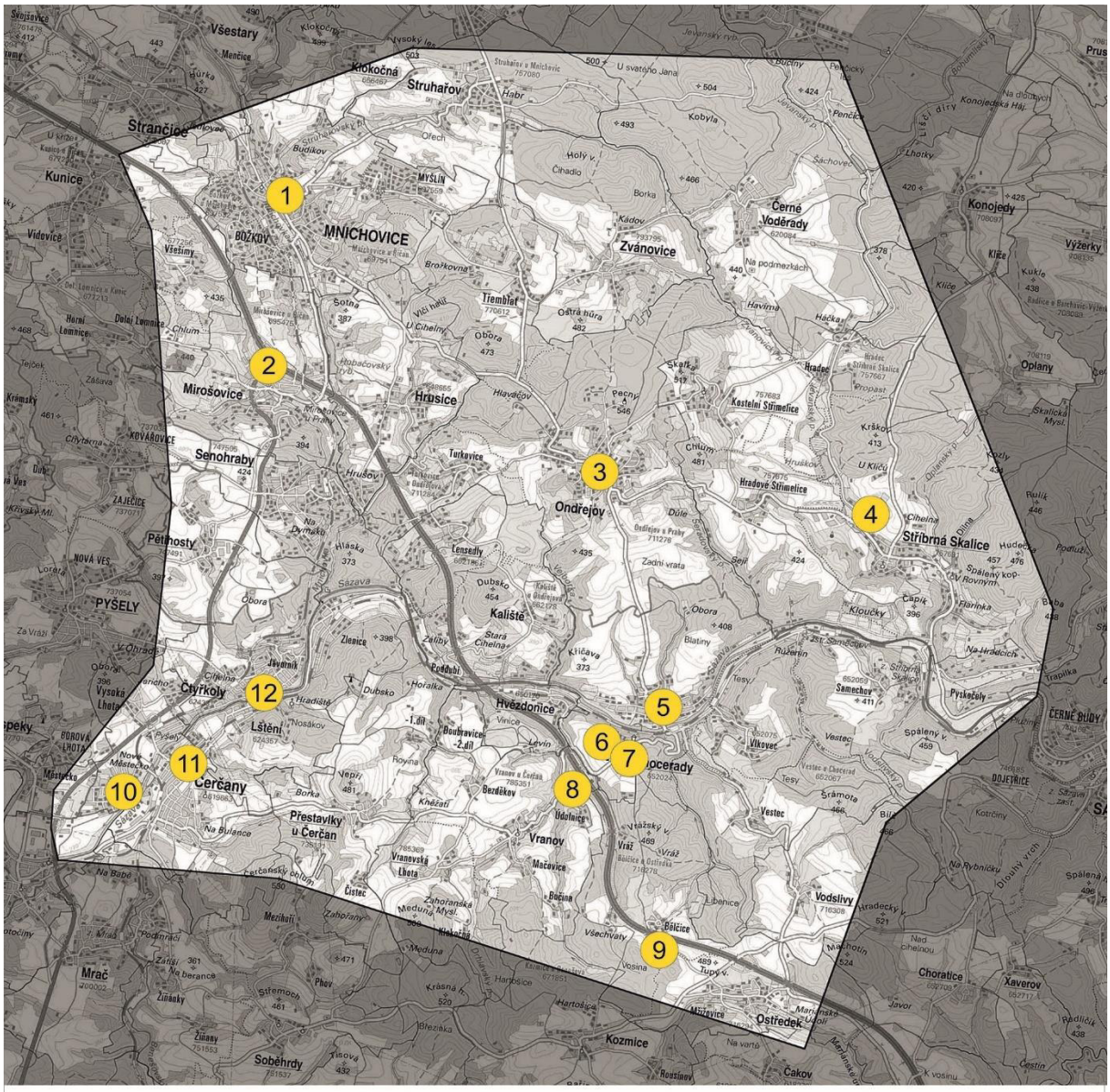
Zajímavým prvkem z hlediska světelného znečištění je dálnice, která zkoumané území protíná. Vzhledem k tomu, že reflektory automobilů jsou směrovány horizontálním směrem a jejich svícení je pouze dočasné (navíc v nočních hodinách je dálnice relativně méně frekventovaná), nezdá se být dálnice sama o sobě významným zdrojem světelného znečištění. Na jas oblohy ale mohou mít vliv nájezdy na dálnici, na kterých je umístěno větší množství lamp. Platí to zejména pro okolí obce Mirošovice, kde je nájezd osvětlen mnoha vysokotlakými sodíkovými světelnými zdroji na vysokých stožárech. Na dálnici u Komorního Hrádku ve směru na Prahu se nachází benzínová pumpa s velkým odstavným parkovištěm pro kamiony, které je osvětleno přes celou noc. Další velká benzínová pumpa s odstavným parkovištěm se nachází u obce Ostředek na jihovýchodní straně mapovaného území.

Větší průmyslové zóny a objekty se v zájmové oblasti nevyskytují, zaznamenal jsem pouze skladištní haly u dálnice ve směru na Prahu. V obci Čtyřkoly se nachází menší areál firmy Junker, který je zbytečně přesvětlený a velmi neúčelně nasvícený. Na parkoviště před areálem je namířen reflektor, který po celou noc neúčelně osvětluje tento prostor. V areálu samotném jsou rovněž velmi silné světelné zdroje, které v nočních hodinách nejsou potřebné a nejspíš plní bezpečnostní funkci.

Přehledná mapa s lokalizací výše uvedených světelných znečišťovatelů, zjištěných při terénním průzkumu, je na obr. 51.

*Obr. 49: Průmyslový areál firmy JUNKER v obci Čtyřkoly s oslňujícími reflektory*
*Foto: autor*

*Obr. 50: Zámek Komorní Hrádek nasvícený intenzivními reflektory*
*Foto: autor*




1) Nasvícený kostel v obci Mnichovice (obr. 45)
2) Intenzivně nasvícený nájezd na dálnici D1 u obce Mirošovice
3) Nasvícení čelní strany restaurace v Ondřejově (obr. 43)
4) Husté osvětlení silnice mimo zástavbu u obce Stříbrná Skalice (obr. 48)
5) Nasvícený kostel v obci Chocerady (obr. 46)
6) Intenzivní nasvícení zámku Komorní Hrádek u Chocerad (obr. 50)
7) Lampy typu „koule" na soukromém pozemku u Komorního Hrádku (obr. 44)
8) Benzinová pumpa „Naháč" s velkým parkovištěm
9) Benzinová pumpa u obce Bělčice s velkým parkovištěm
10) Intenzivě osvětlené nádraží v Čerčanech (obr. 47)
11) Ojedinělá LED světla v zájmové oblasti - na přechodu v Čerčanech (2x)
12) Průmyslový areál firmy JUNKER s rušivými světly (obr. 49)

*Obr. 51: Lokalizace světelných znečišťovatelů, zjištěných během průzkumu v oblasti s popisem a odkazem na obrázek.*
*Zdroj: autor,*
*topografický mapový podklad: http://mapy.geology.cz/zajimavosti*

## 7.2 Tabulka se zprůměrovanými naměřenými hodnotami jasu oblohy

Níže uvádím konečné (zprůměrované) hodnoty jasu oblohy naměřené na jednotlivých stanovištích v zenitu a v osmi světových směrech pod úhlem 60°. Z těchto dat vycházím při tvorbě směrových grafů a mapy jasu noční oblohy. Více ke způsobu sběru dat viz. kap. 6.2 a 6.3. Kompletní (nezprůměrované) naměřené hodnoty ze všech měřících cest jsou zapsány v tabulkách na CD nosiči, který je přílohou práce.

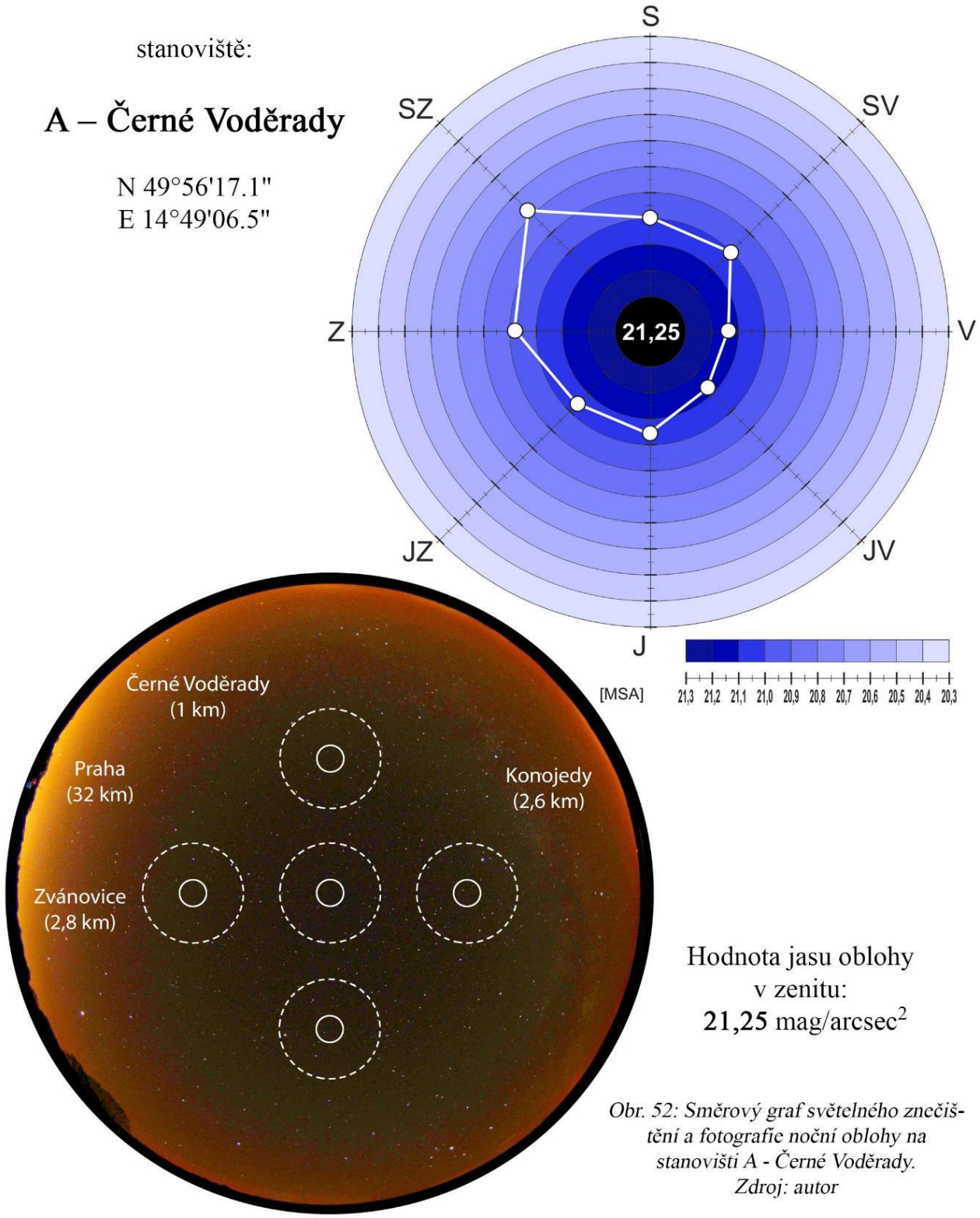
| Místo měření | **Zenit** | **S** | **SV** | **V** | **JV** | **J** | **JZ** | **Z** | **SZ** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A – Černé Voděrady | 21,25 | 21,00 | 21,01 | 21,14 | 21,13 | 21.04 | 21,04 | 20,92 | 20,78 |
| B – Čtyřkoly | 21,07 | 20,87 | 20,91 | 20,93 | 20,92 | 20,90 | 20,89 | 20,90 | 20,78 |
| C – Dojetřice | 21,34 | 21,12 | 21,13 | 21,17 | 21,20 | 21,17 | 21,19 | 21,10 | 21,01 |
| D – Dubsko | 21,25 | 21,03 | 21,09 | 21,13 | 21,13 | 21,13 | 21,07 | 21,02 | 20,89 |
| E – Hradové Střimelice | 21,23 | 21,03 | 21,06 | 21,07 | 21,10 | 21,11 | 21,08 | 21,02 | 20,90 |
| F – Chocerady | 21,15 | 20,91 | 20,91 | 20,98 | 21,00 | 20,98 | 21,00 | 20,87 | 20,76 |
| G – Klokočná | 20,82 | 20,63 | 20,75 | 20,81 | 20,77 | 20,74 | 20,65 | 20,46 | 20,36 |
| H – Kostelní Střimelice | 21,18 | 21,00 | 21,02 | 21,04 | 21,09 | 21,10 | 21,09 | 21,03 | 20,92 |
| I – Mnichovice | 21,03 | 20,82 | 20,92 | 20,97 | 20,90 | 20,87 | 20,81 | 20,73 | 20,54 |
| J – Ondřejov | 21,22 | 21,05 | 21,06 | 21,10 | 21,10 | 21,11 | 21,07 | 21,03 | 20,85 |
| K – Oplany | 21,27 | 21,03 | 21,06 | 21,09 | 21,11 | 21,13 | 21,08 | 20.98 | 20,94 |
| J – Ondřejov | 21,22 | 21,05 | 21,06 | 21,10 | 21,10 | 21,11 | 21,07 | 21,03 | 20,85 |
| M – Turkovice | 21,15 | 20,97 | 20,98 | 21,08 | 21,06 | 21,04 | 20,97 | 20,90 | 20,76 |
| N – Vodslivy | 21,27 | 21,13 | 21,18 | 21,19 | 21,15 | 21,13 | 21,13 | 21,04 | 20,96 |
| O – Vranov | 21,26 | 21,07 | 21,12 | 21,16 | 21,16 | 21,16 | 21,12 | 21,05 | 20,96 |
| P – Zvánovice | 21,11 | 20,88 | 20,91 | 20,94 | 20,93 | 20,98 | 20,93 | 20,83 | 20,66 |

*Tab. 3: Průměrné hodnoty jasu oblohy [mag/arcsec$^2$] v zenitu a v osmi světových stranách pod 60°*
*Zdroj: autor*

## 7.3 Grafy směrového měření a fotografická dokumentace

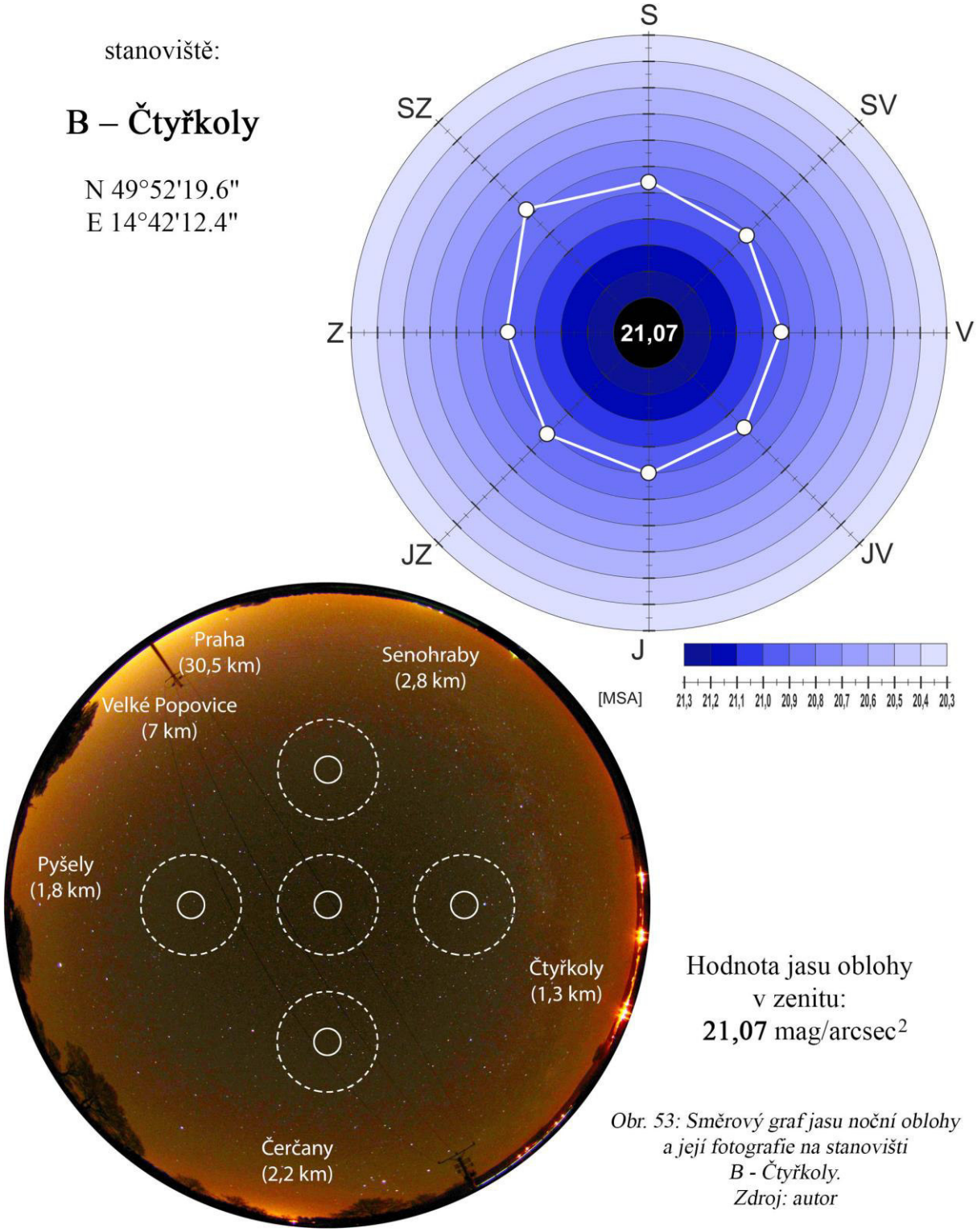
Směrové grafy názorně zobrazují hodnoty, které jsem naměřil v osmi světových stranách pod úhlem 60°. Uprostřed grafu je zapsána hodnota jasu v zenitu. Pro lepší názornost rovněž uvádím fotografie noční oblohy, na kterých lze identifikovat i oblasti s intenzivnějším jasem oblohy u horizontu. Tento jas ovšem měření pod 60° nezachycuje.

Na stanovišti **A – Černé Voděrady** je patrný nejvyšší jas oblohy v severozápadním (20,78 mag/arcsec$^2$) a západním (20,92 mag/arcsec$^2$) směru. V blízkém okolí se nenacházejí žádné větší obce, je zde pěkně viditelná dominance Prahy. Hodnoty jasu ze všech ostatních směrů překračují 21,0 mag/arcsec$^2$. Na snímku noční oblohy je dobře patrný vliv obce Konojedy ze severovýchodu (21,01 mag/arcsec$^2$). Nejtemnější obloha byla naměřena ve východním (21,14 mag/arcsec$^2$) a jihovýchodním (21,13 mag/arcsec$^2$) směru.



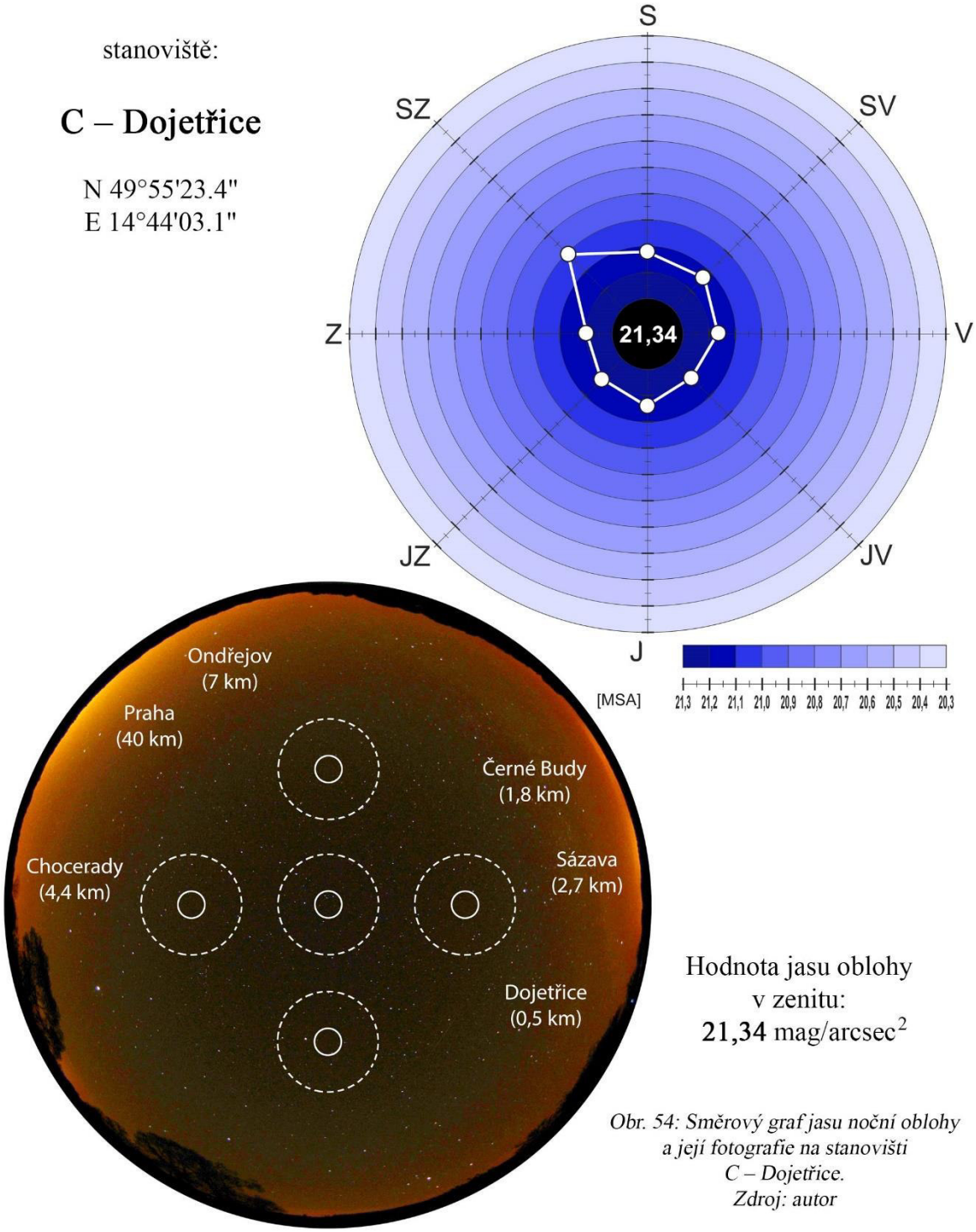

*Obr. 52: Směrový graf světelného znečištění a fotografie noční oblohy na stanovišti A - Černé Voděrady. Zdroj: autor*

Stanoviště **B – Čtyřkoly** se nachází na západním okraji zájmového území a patří k místům, která jsou celkově více ovlivněny emisemi světelného znečištění ze severozápadního směru, kde se nachází Praha. Severozápad je nejjasnější světovou stranou (20,78 mag/arcsec$^2$). Nicméně i ostatní směry jsou poměrně dost jasné (hodnota jasu nepřekračuje 21,00 mag/arcsec$^2$). Na východě (20,93 mag/arcsec$^2$) jsou na fotografii rozpoznatelné světelné zdroje v blízké obci Čtyřkoly (1,3 km), stejně jako v obci Senohraby na severovýchodě (20,91 mag/arcsec$^2$). Všechny blízké okolní obce pravděpodobně ještě zesilují intenzitu světla přicházejícího od Prahy.



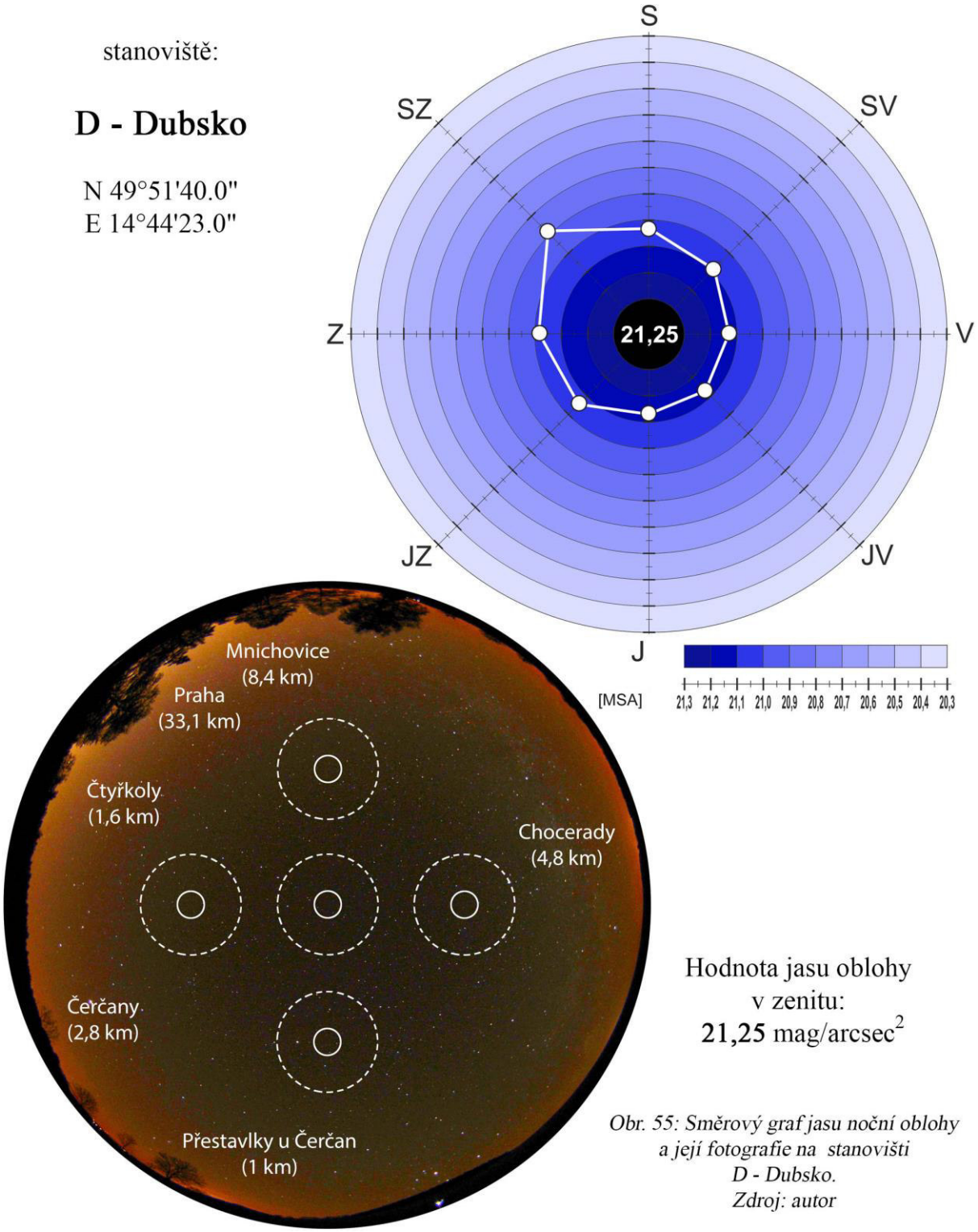

*Obr. 53: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti B - Čtyřkoly. Zdroj: autor*

**C – Dojetřice** je nejvzdálenější měřící místo od Prahy (zhruba 40 km). Přesto i zde je nezpochybnitelný její vliv na místní jas oblohy, který je nejvyšší právě v severozápadním směru (21,01 mag/arcsec$^2$). Při porovnání s nejbližším měřícím místem k Praze (G – Klokočná) je jas oblohy v tomto směru nižší o více než 0,6 mag/arcsec$^2$. Je zde patrný slábnoucí trend Prahy jako největšího světelného znečišťovatele se vzrůstající vzdáleností. Na fotografii je dobře patrný také vliv blízkého města Sázava v severovýchodním (21,17 mag/arcsec$^2$) a východním (21,13 mag/arcsec$^2$) směru. Tento jas se ovšem pod měřícím úhlem 60° projevuje jen velice málo. Nejtemnější je jihozápad (21,19 mag/arcsec$^2$).



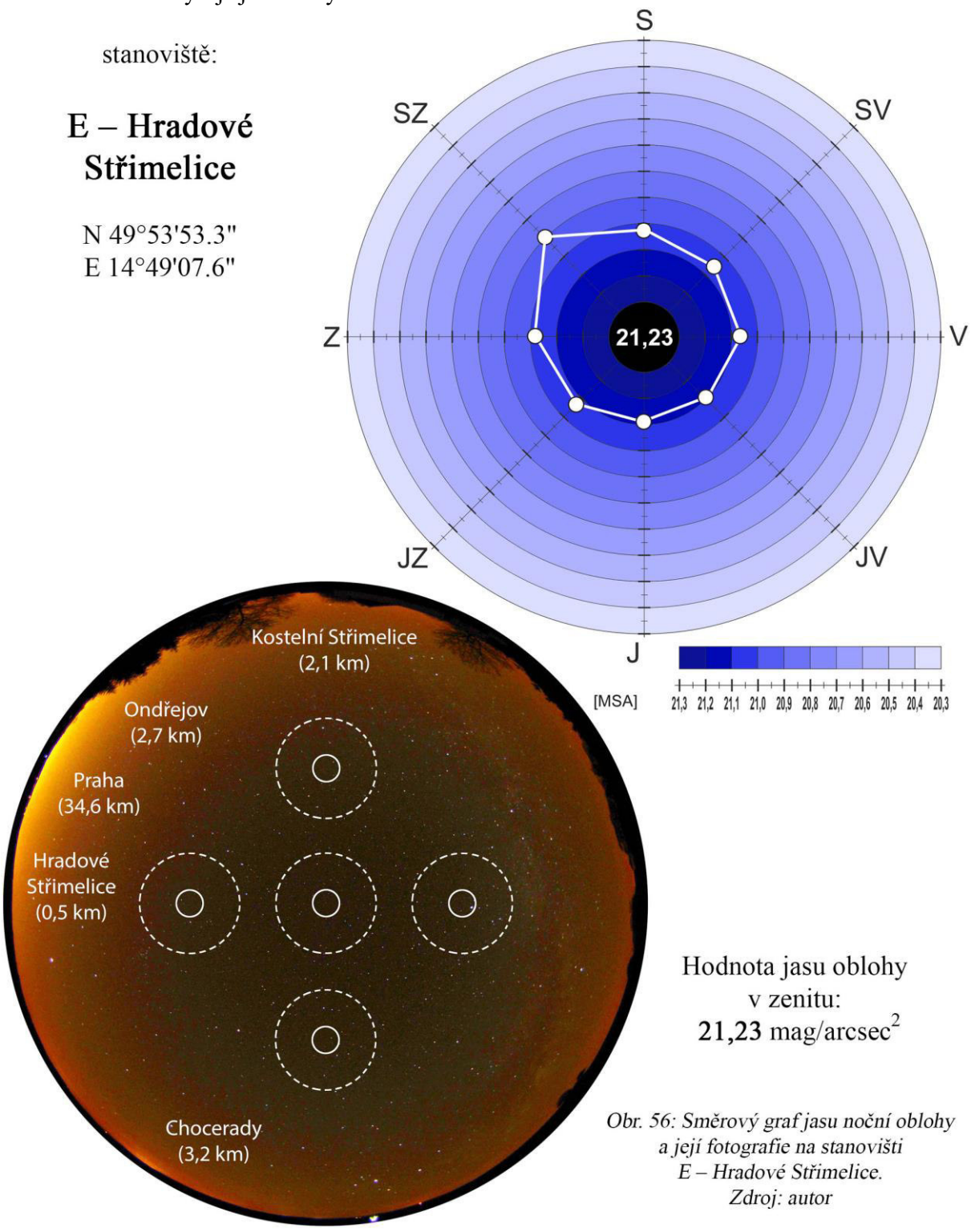

*Obr. 54: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti C – Dojetřice. Zdroj: autor*

Měřící stanoviště **D – Dubsko** bylo zřejmě nejvzdálenějším místem od trvale obydlené obce či ZSJ. Nachází se na silničce vedoucí ke stejnojmenné chatové osadě. Nejvyšší jas jsem zde naměřil v severozápadním směru (20,89 mag/arcsec$^2$), dále v severním (21,03 mag/arcsec$^2$) a západním (21,02 mag/arcsec$^2$). Na výsledcích měření je také mírně patrná přítomnost větší obce Čerčany na jihozápadě (21,07 mag/arcsec$^2$). Nejtemnějšími směry jsou východ, jihovýchod a východ (shodně 21,13 mag/arcsec$^2$), ve kterých se nenacházejí žádné blízké obce.



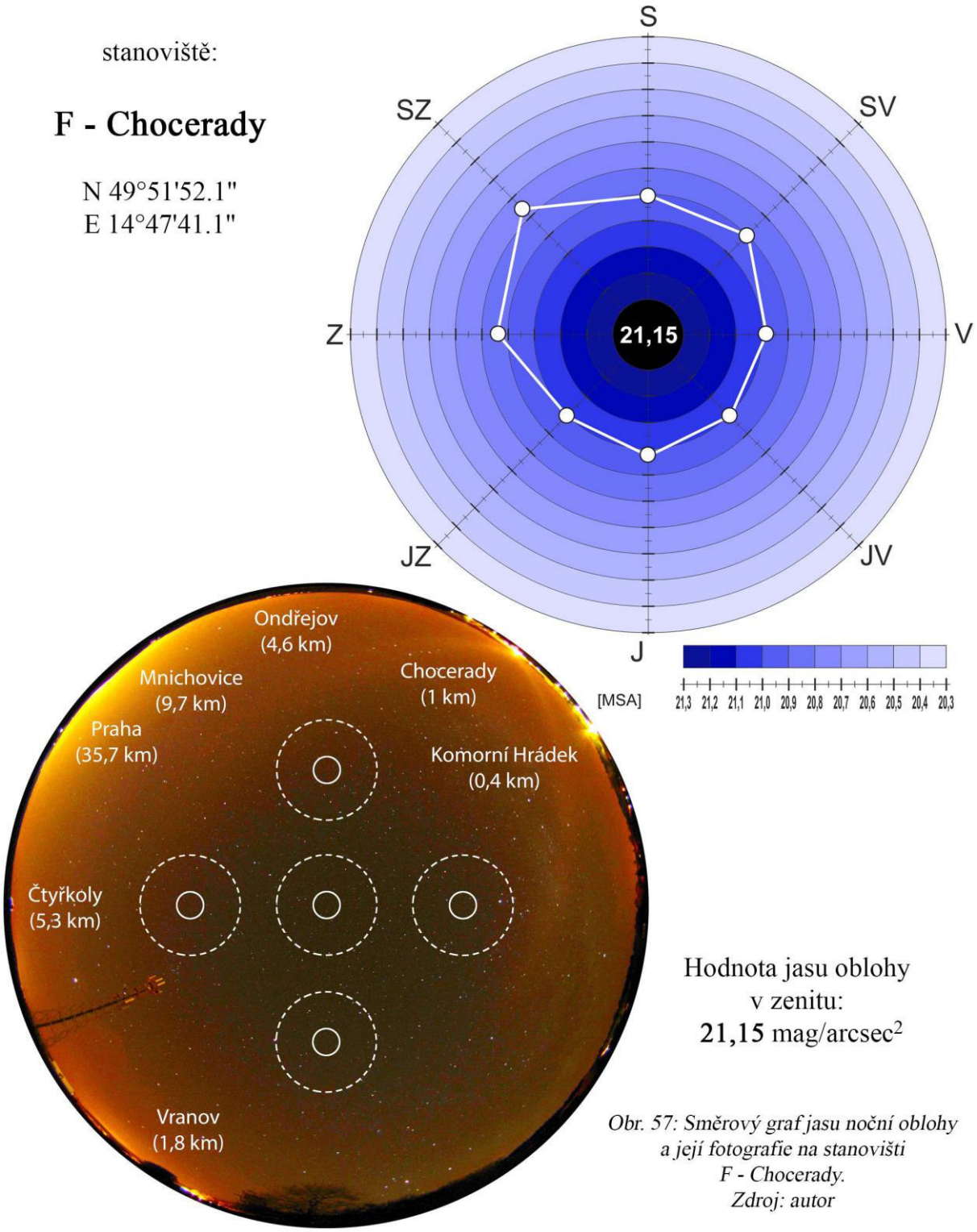

*Obr. 55: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti D - Dubsko. Zdroj: autor*

Na stanovišti **E – Hradové Střimelice** jsem nejvyšší hodnoty jasu oblohy naměřil v severozápadním směru (20,90 mag/arcsec$^2$). Tento jas opět interpretuji polohou Prahy v tomto směru ve vzdálenosti zhruba 35 km. Dalšími směry s nejvyšším zjištěným jasem je sever (21,03 mag/arcsec$^2$) a západ (21,02 mag/arcsec$^2$). Naopak nejtemnější nebe jsem identifikoval na jihu (21,11 mag/arcsec$^2$) a jihovýchodě (21,10 mag/arcsec$^2$). Na fotografii je také dobře znatelný vliv obce Chocerady (3,2 km) v jihozápadním směru (21,08 mag/arcsec$^2$), ve které osvětlení zámku Komorní Hrádek a rovněž místního kostela zvyšuje jas oblohy v blízkém okolí.



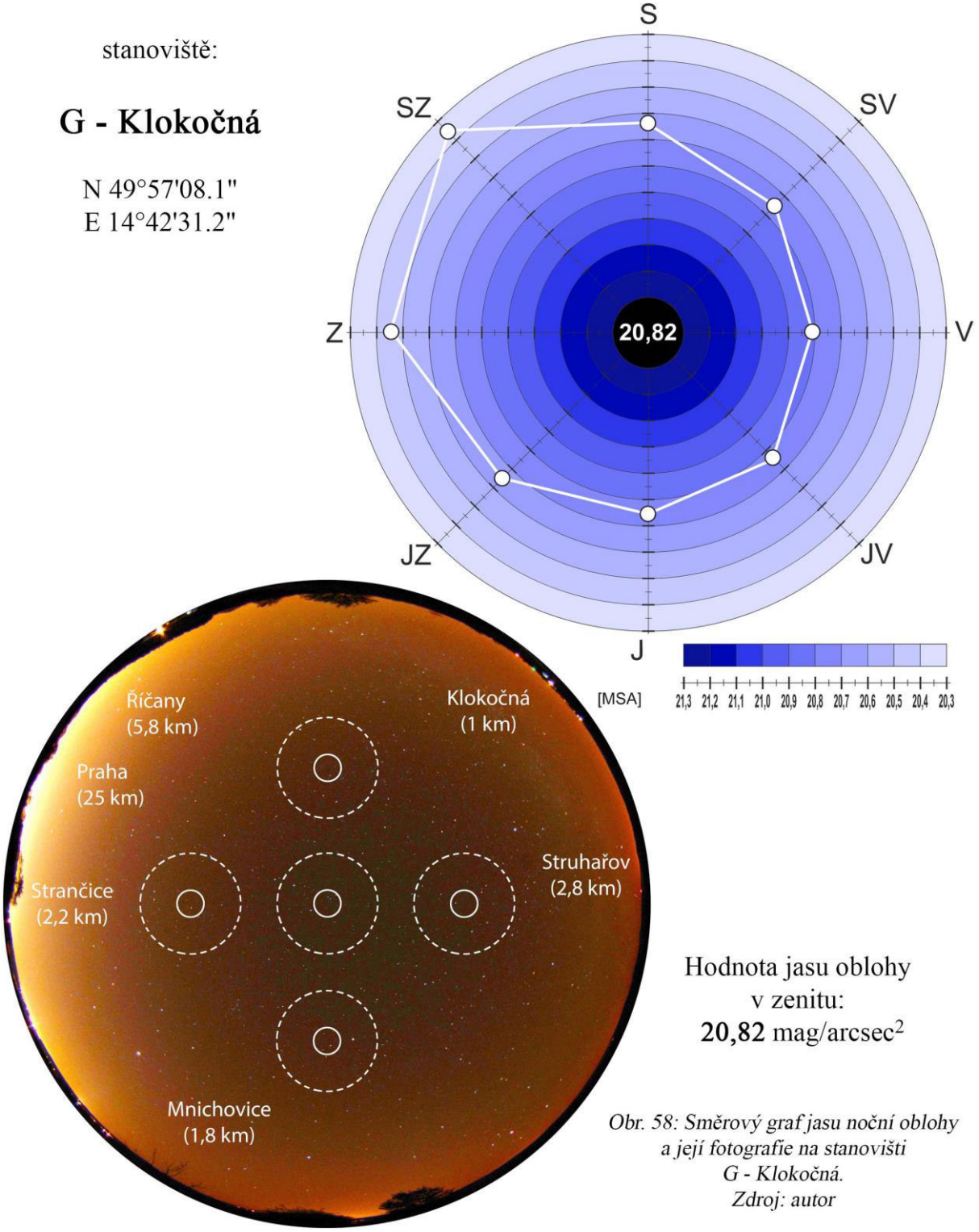

*Obr. 56: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti E – Hradové Střimelice. Zdroj: autor*

Stanoviště **F – Chocerady** je velice blízko Komorního Hrádku (0,4 km) a Chocerad (1 km) na severovýchodě. Právě na tomto místě se projevil lokální zdroj znečištění v oblasti – silné nasvícení fasády Komorního Hrádku zvýšilo jas oblohy v severovýchodním směru na 20,91 mag/arcsec$^2$. Hodnoty naměřené v severozápadním směru (kde je tradičně záře nejvyšší) dosahují 20,76 mag/arcsec$^2$. Nejnižší hodnoty jasu jsem naměřil na jihovýchodě a jihozápadě (shodně 21,00 mag/arcsec$^2$).



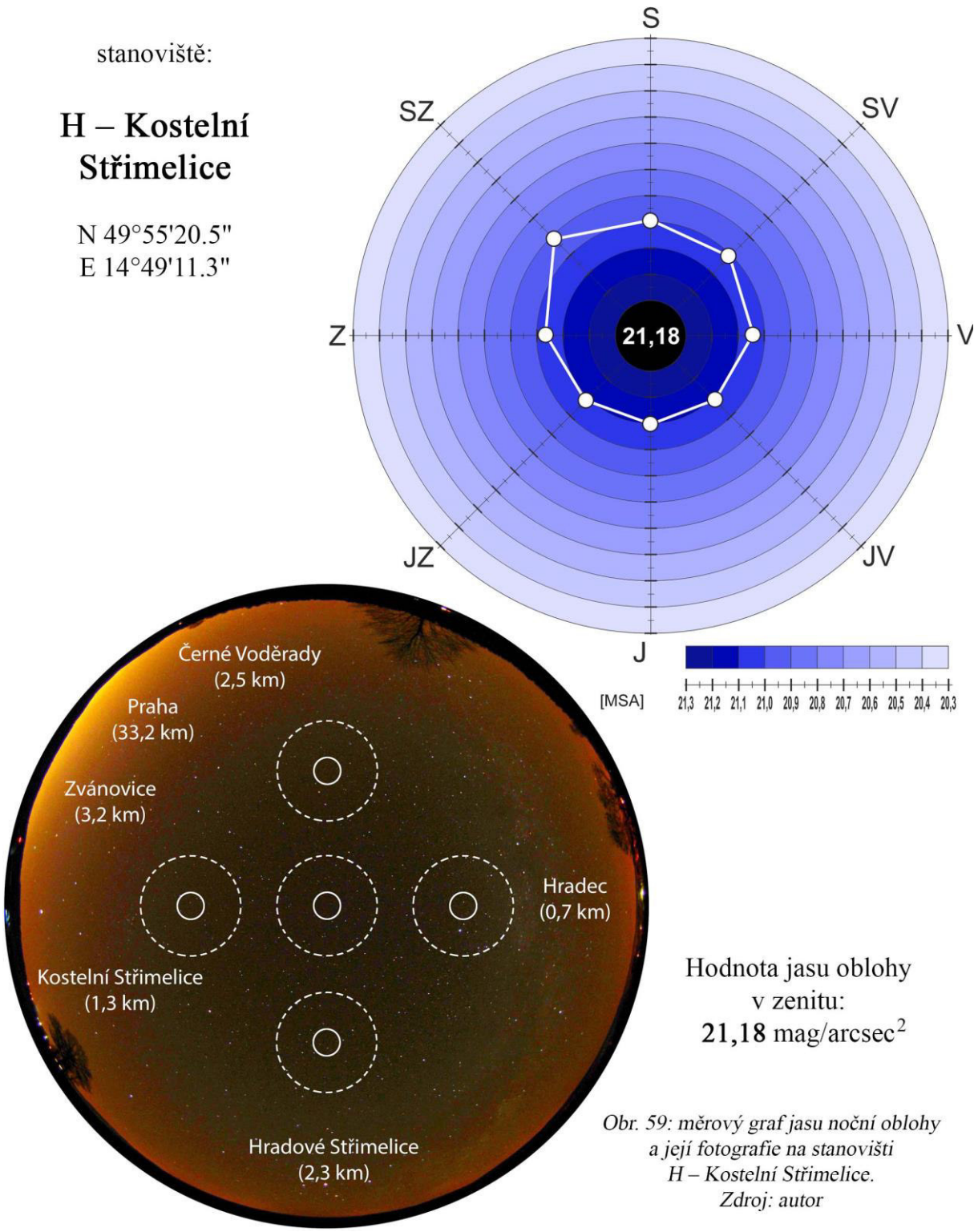

*Obr. 57: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti F - Chocerady. Zdroj: autor*

Měřící místo **G – Klokočná** je nejblíže u Prahy (25 km). Z tohoto důvodu přicházejí ze severovýchodu výrazné emise světla, které zřejmě ovlivňují nejen zenitní měření, ale i všech osm směrových měření. V severozápadním směru jsem naměřil rekordní jas oblohy 20,36 mag/arcsec$^2$, druhým nejjasnějším směrem je západ (20,46 mag/arcsec$^2$). Relativně nejtemnějším směrem je východ (20,81 mag/arcsec$^2$). Jas oblohy u obce Klokočná pravděpodobně také zvyšuje blízká větší obec Mnichovice (z jižního až jihozápadního směru). Tento měřící bod je ukázkovým příkladem, jak velké město (populačně i rozlohou) může velmi ovlivnit jas nebe i několik desítek kilometrů ve svém okolí.



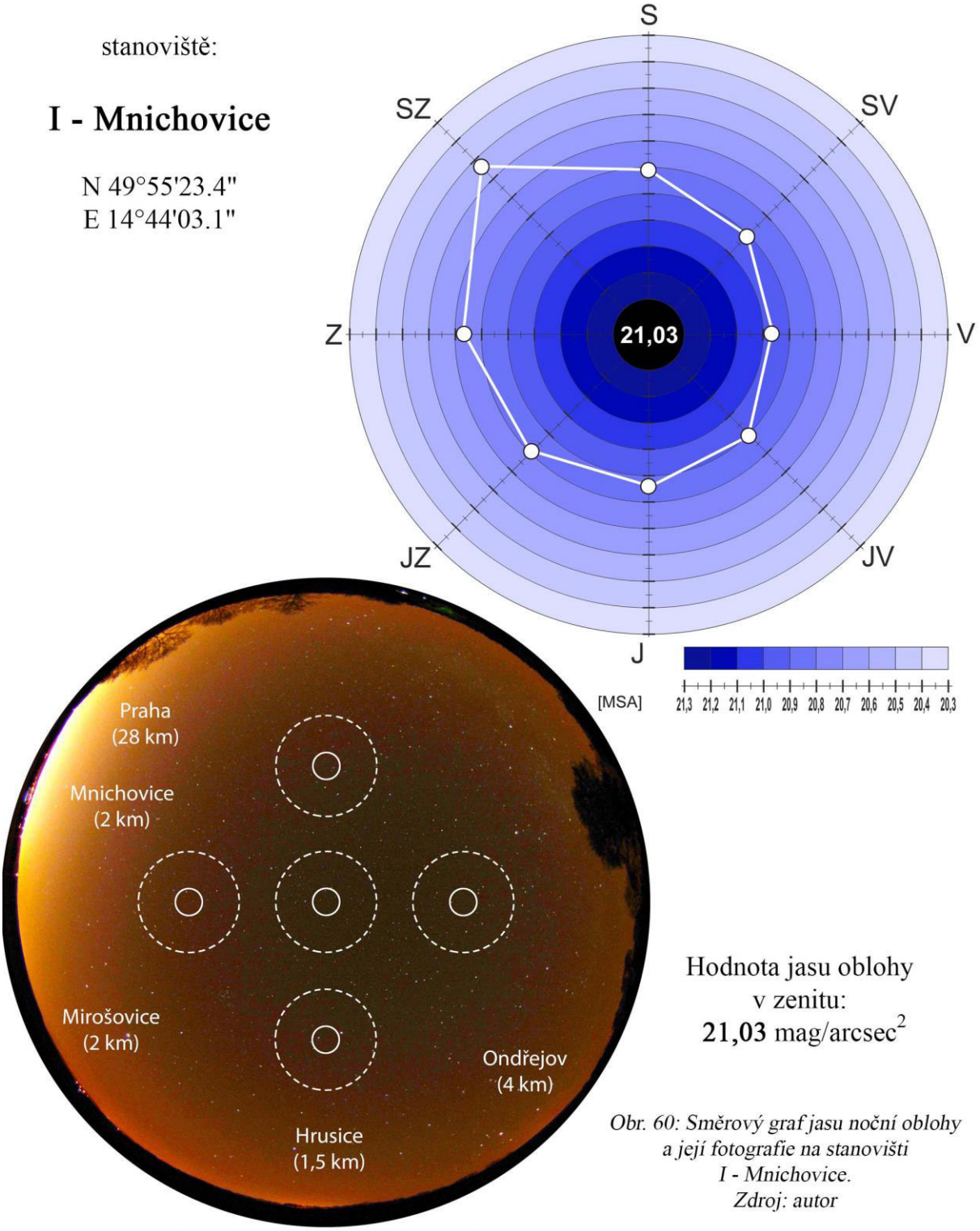

*Obr. 58: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti G - Klokočná. Zdroj: autor*

Na měřícím místě **H – Kostelní Střimelice** je opět dobře patrný vliv Prahy v severovýchodním směru, ze kterého jsem naměřil nejnižší hodnoty jasu (20,92 mag/arcsec$^2$), nicméně oproti nejbližšímu měřícímu místu u Prahy (G – Klokočná) je jas přicházející ze SZ směru nižší téměř o 0,5 mag/arcsec$^2$. Na fotografii je přímo viditelná (na východě) nedaleká ZSJ Hradec, která ovšem jen málo ovlivňuje intenzitu jasu v tomto směru (21,04 mag/arcsec$^2$). Nejnižší hodnoty jasu jsem naměřil v jižních směrech (JV – 21,09 mag/arcsec$^2$, J – 21,10 mag/arcsec$^2$, JZ – 21,09 mag/arcsec$^2$).



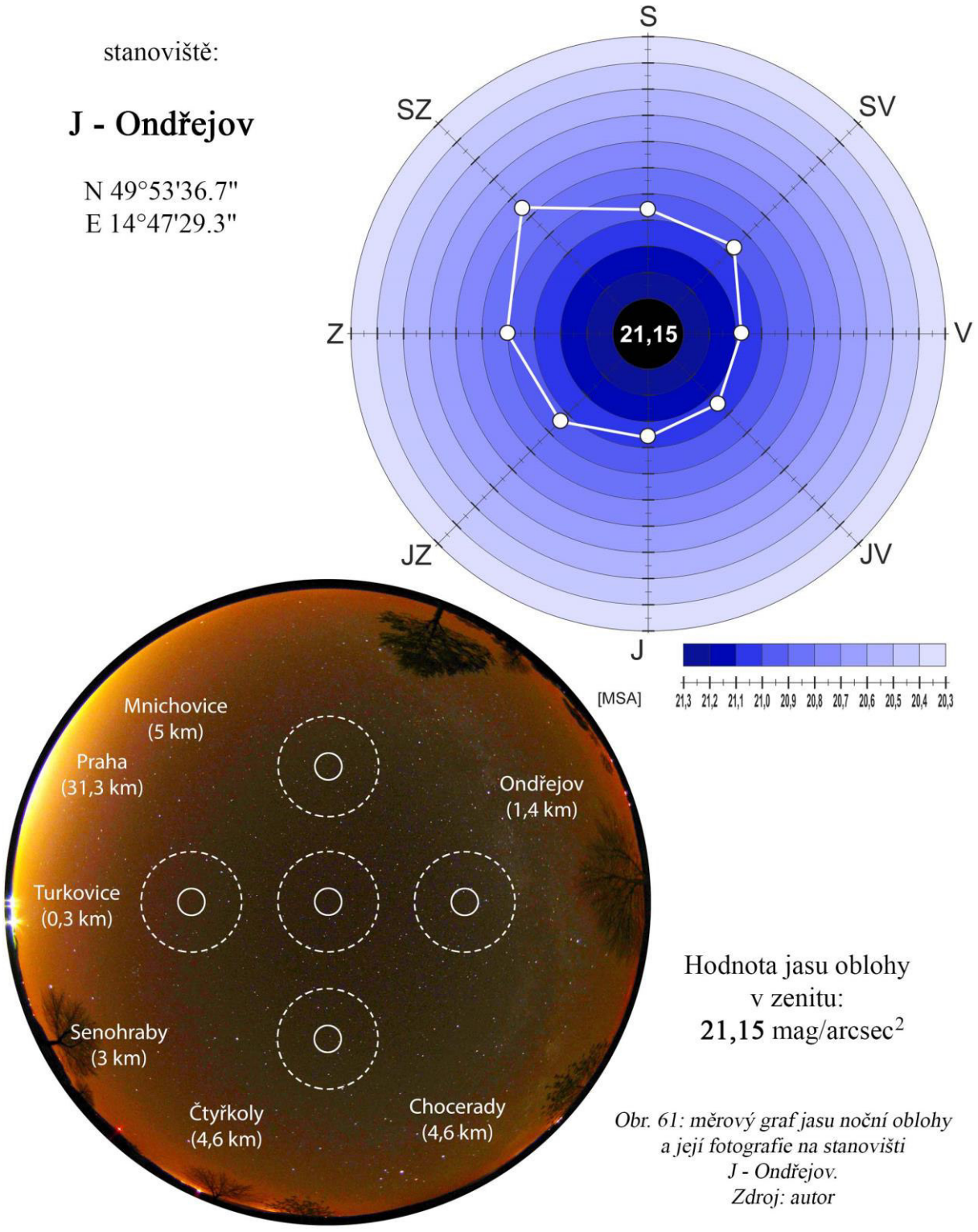

*Obr. 59: měrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti H – Kostelní Střimelice. Zdroj: autor*

Na stanovišti **I – Mnichovice**, poblíž stejnojmenné obce, je zřetelně patrná záře ze SZ směru. Mnichovice i Praha jsou v podstatě v zákrytu, proto dochází ke kumulaci jasu z obou zdrojů a ke zvýšení jeho intenzity ze severozápadního směru (20,54 mag/arcsec$^2$), dalšími nejvíce jasnými směry jsou západ (20,73 mag/arcsec$^2$) a jihozápad (20,81 mag/arcsec$^2$), ve kterém leží obec Mirošovice a pak vzdálenější větší obce Čtyřkoly a Čerčany. Naopak nejnižší hodnoty jasu jsem naměřil na východě (20,97 mag/arcsec$^2$) a severovýchodě (20,92 mag/arcsec$^2$); jedná se o směry, ve kterých nejsou žádná větší sídla.



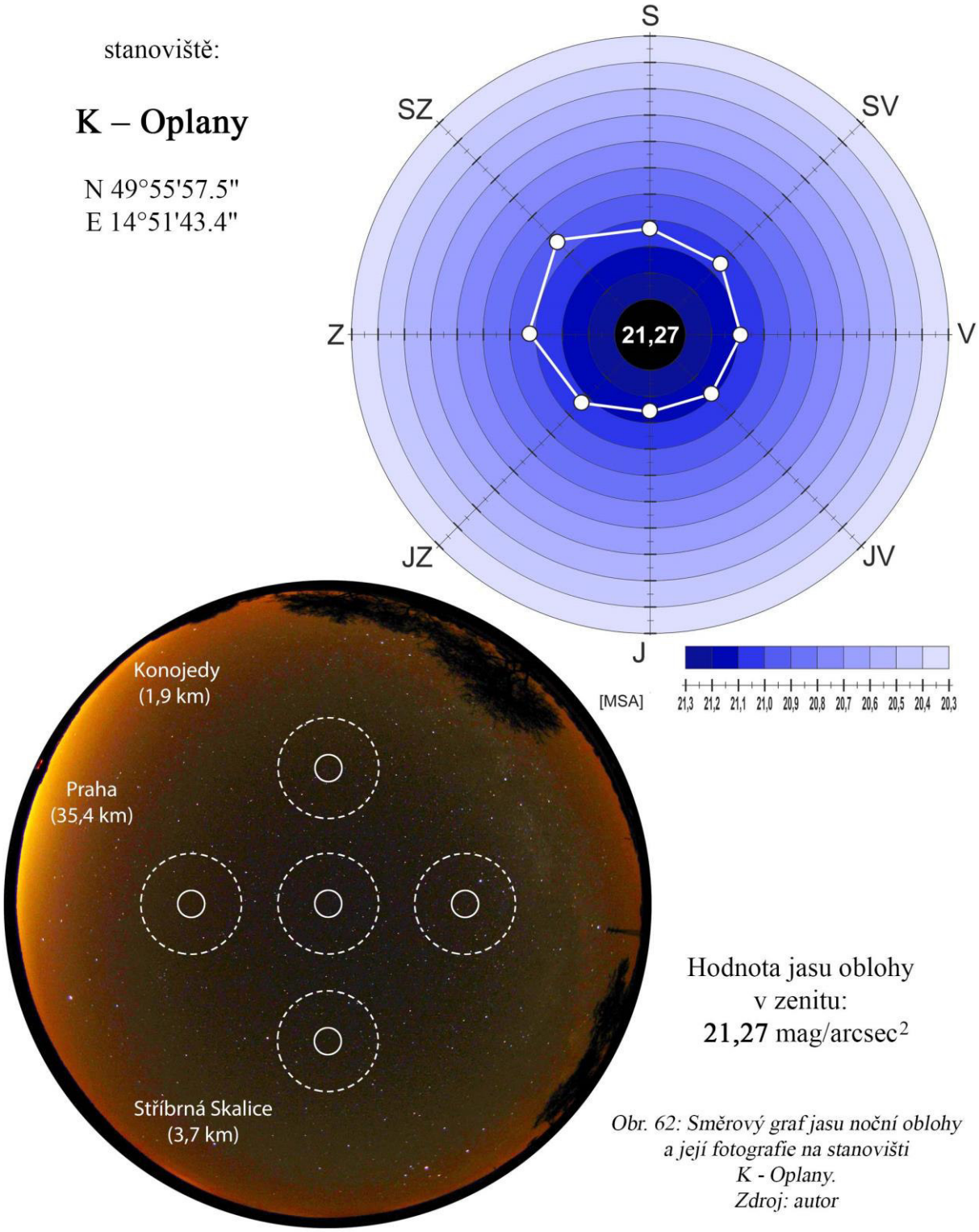

*Obr. 60: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti I - Mnichovice. Zdroj: autor*

Měřící místo **J – Ondřejov** se vyznačuje ve směru od severovýchodu k jihozápadu (po směru hodinových ručiček) velmi podobnými hodnotami jasu oblohy (SV – 21,06 mag/arcsec$^2$, V – 21,10 mag/arcsec$^2$, JV – 21,10 mag/arcsec$^2$, J – 21,11 mag/arcsec$^2$ a JZ – 21,07 mag/arcsec$^2$). Prokazatelně světlejší nebe jsem díky měření objevil na severozápadě (20,85 mag/arcsec$^2$). Je zajímavé, že se na tomto stanovišti na měření hodnot jasu příliš neprojevil vliv blízkých Chocerad a nasvíceného zámku Komorní Hrádek z jihu. Na fotografii ovšem je jejich záře blízko u horizontu rozpoznatelná.



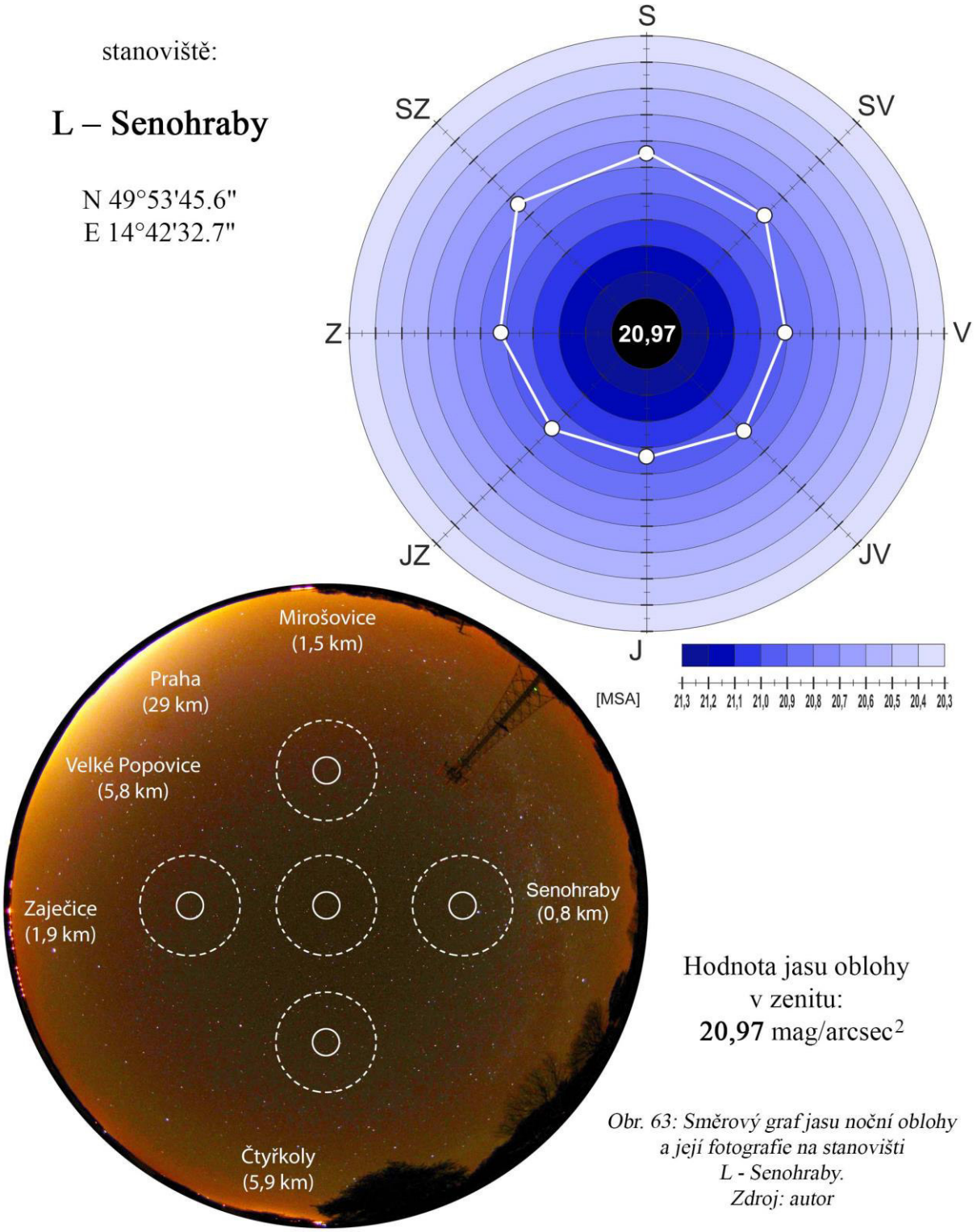

*Obr. 61: měrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti J - Ondřejov. Zdroj: autor*

Měřící místo **K – Oplany** se nachází ve velmi klidné lokalitě v blízkosti stejnojmenné obce. Jedná se o druhé nejtemnější místo zenitních měření v stanovené oblasti. Směrová měření jsou ve směrech severovýchod – jihovýchod – jihozápad poměrně vyrovnaná a všechna přesahují 21,05 mag/arcsec$^2$. Nejnižší hodnoty jasu jsem naměřil z jihu (21,13 mag/arcsec$^2$). Severozápadní směr je naopak nejjasnější (20,78 mag/arcsec$^2$), což je způsobeno obrovským světelným zdrojem – Prahou, který je odtud vzdálen přes 35 km.



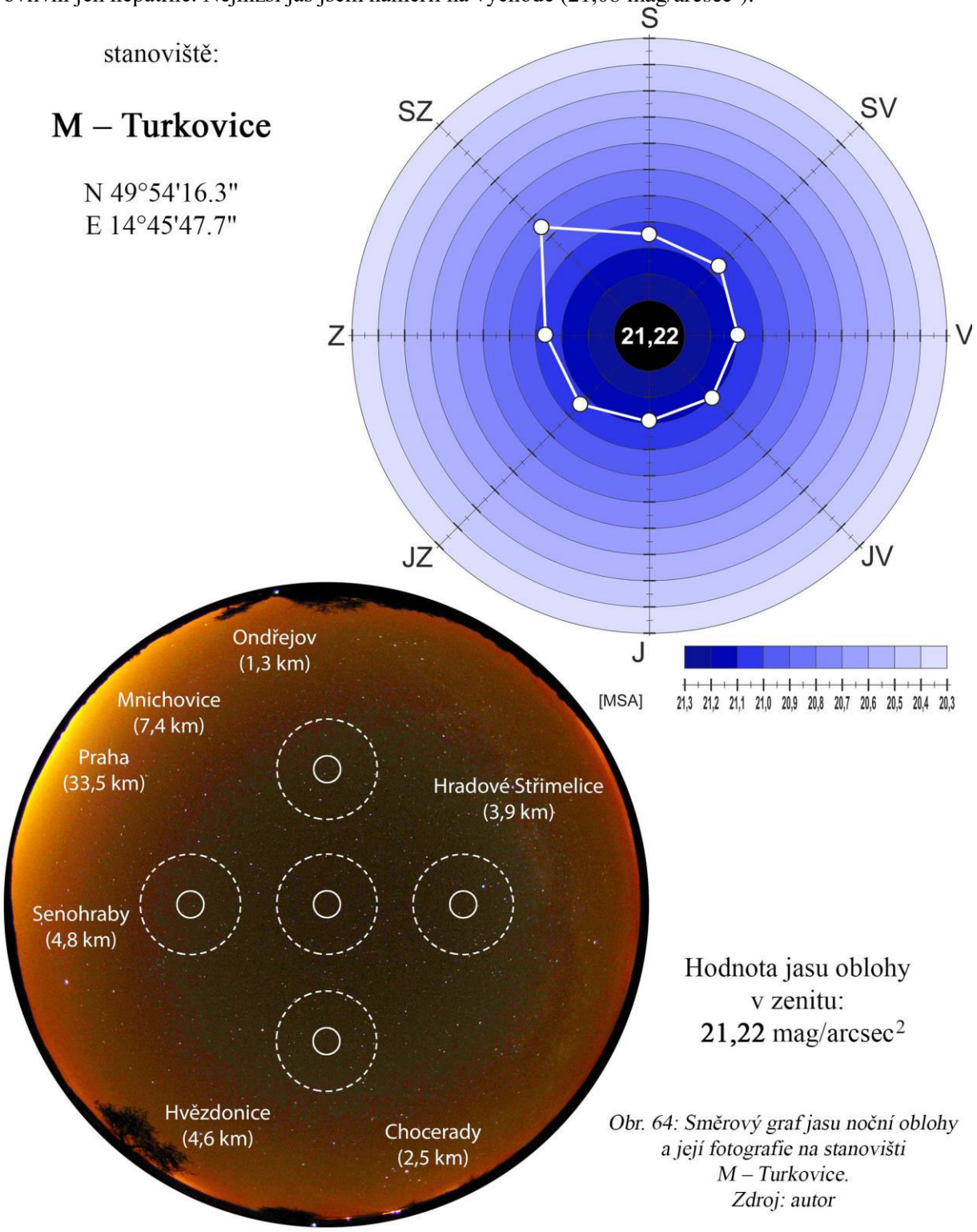

*Obr. 62: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti K - Oplany. Zdroj: autor*

**L – Senohraby** patří mezi stanoviště, ležící v severozápadní části zkoumaného území. Jeho poloha se tak projeví ve vyšší záři přicházející ze severozápadního směru (20,74 mag/arcsec$^2$), než u stanovišť dále od Prahy. Prakticky stejná záře dopadá také ze severu (20,75 mag/arcsec$^2$), kde leží větší blízké obec Mirošovice a dále Mnichovice. Hodnoty jasu oblohy jsou ze všech osmi světových stran poměrně vyrovnané a nepřekročí 21,00 mag/arcsec$^2$. Nejnižší jas oblohy byl naměřen v jižním směru (20,98 mag/arcsec$^2$), ve kterém se nachází zhruba 6 km vzdušnou čarou obec Čerčany.



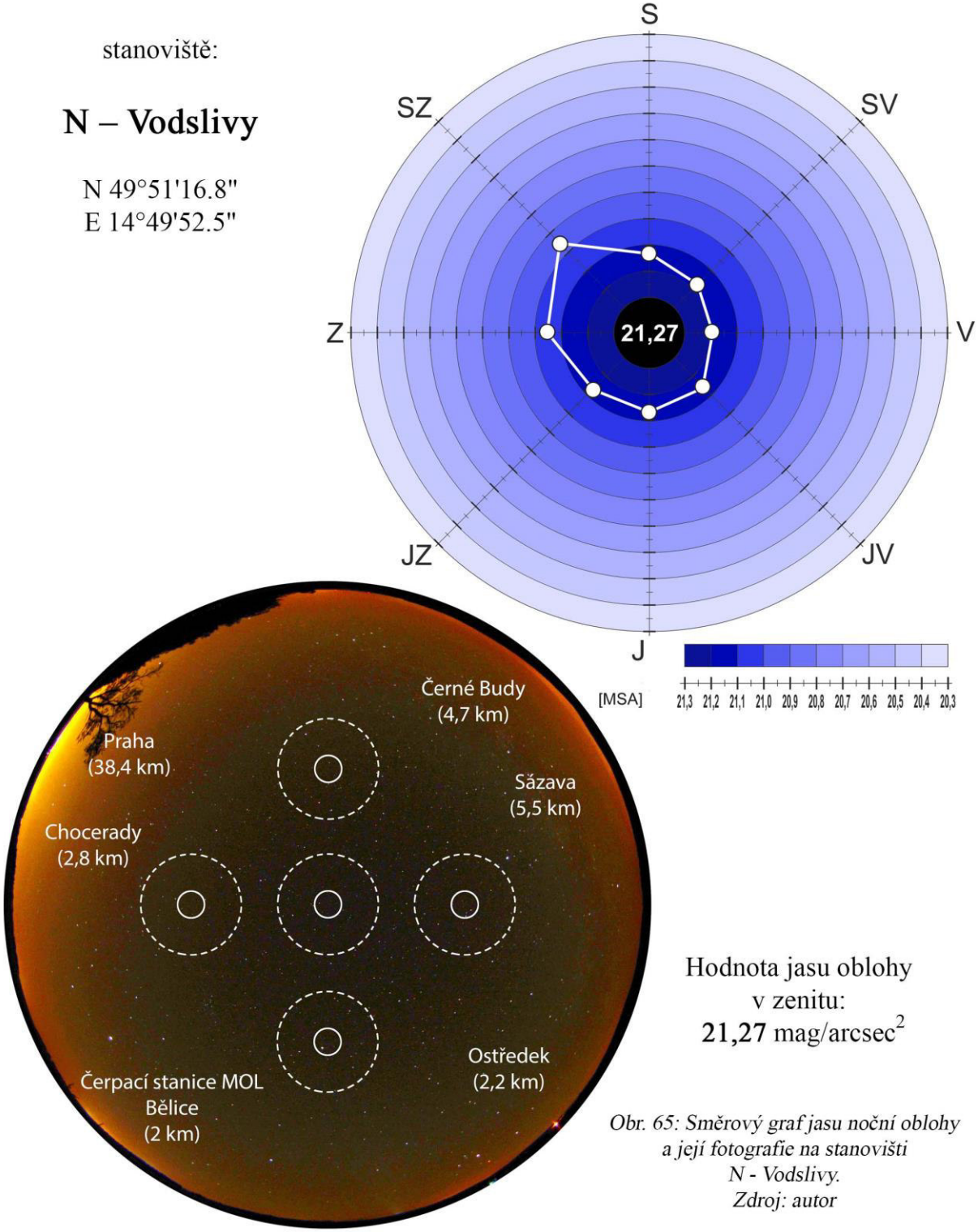

*Obr. 63: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti L - Senohraby. Zdroj: autor*

Měřící místo **M – Turkovice** je nejblíže astronomické observatoři (necelé 2 km). Jas oblohy v této oblasti je ovlivněn přítomností Prahy v severozápadním směru, ve kterém je jas nejvyšší (20,76 mag/arcsec$^2$). Vyšší jas jsem rovněž naměřil ze severním směru (20,97 mag/arcsec$^2$) a v jihozápadním směru (20,76 mag/arcsec$^2$). Na jihozápadě se nacházejí obce Čtyřkoly a Čerčany. Na fotografii je rozpoznatelné veřejné osvětlení v blízké menší ZSJ Turkovicích (na západě) a také velmi malá záře od obce Ondřejov (SV) a Chocerady (JV). Tyto menší zdroje ovšem měření pod úhlem 60° ovlivní jen nepatrně. Nejnižší jas jsem naměřil na východě (21,08 mag/arcsec$^2$).



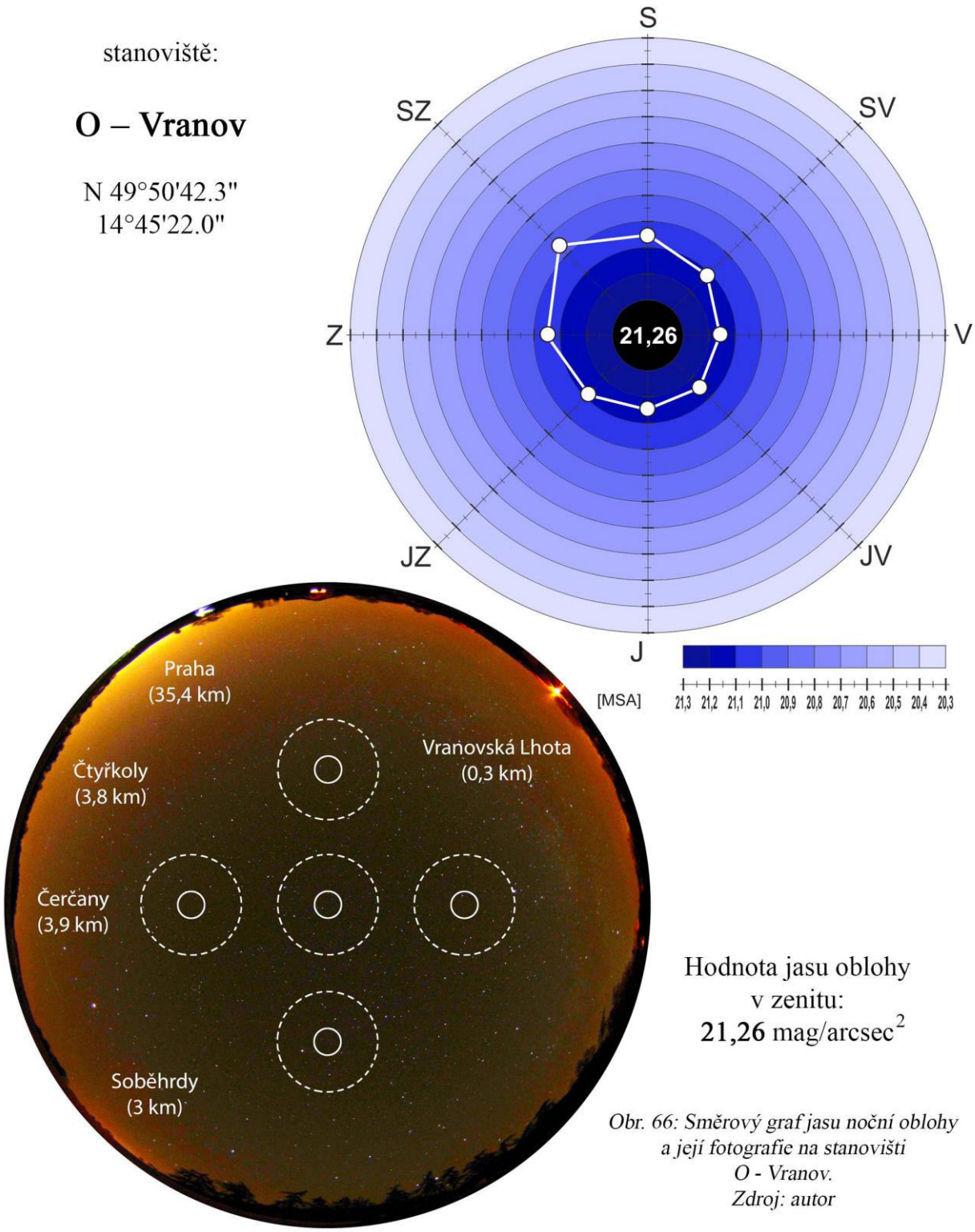

*Obr. 64: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti M – Turkovice. Zdroj: autor*

Stanoviště **N – Vodslivy** patří spolu s G – Dojetřice k nejvzdálenějším měřícím místům v oblasti. Na hodnotách jasu oblohy je jasně patrné, že vliv Prahy se vzdáleností klesá, ale stále je významný. Jas v severozápadním směru dosáhl hodnoty 20,96 mag/arcsec$^2$. Nejtemnějším směrem byl východ (21,19 mag/arcsec$^2$). Blízká obec Sázava v severovýchodním směru není tak velikým světelným zdrojem, aby byl jeho vliv na hodnoty jasu oblohy změřené pod 60° patrný. Na měřených hodnotách se mírně projevila přítomnost čerpací stanice s velkým odstavným parkovištěm v jihozápadním směru (21,13 mag/arcsec$^2$), jejíž záře je dobře rozpoznatelná na pořízené fotografii.



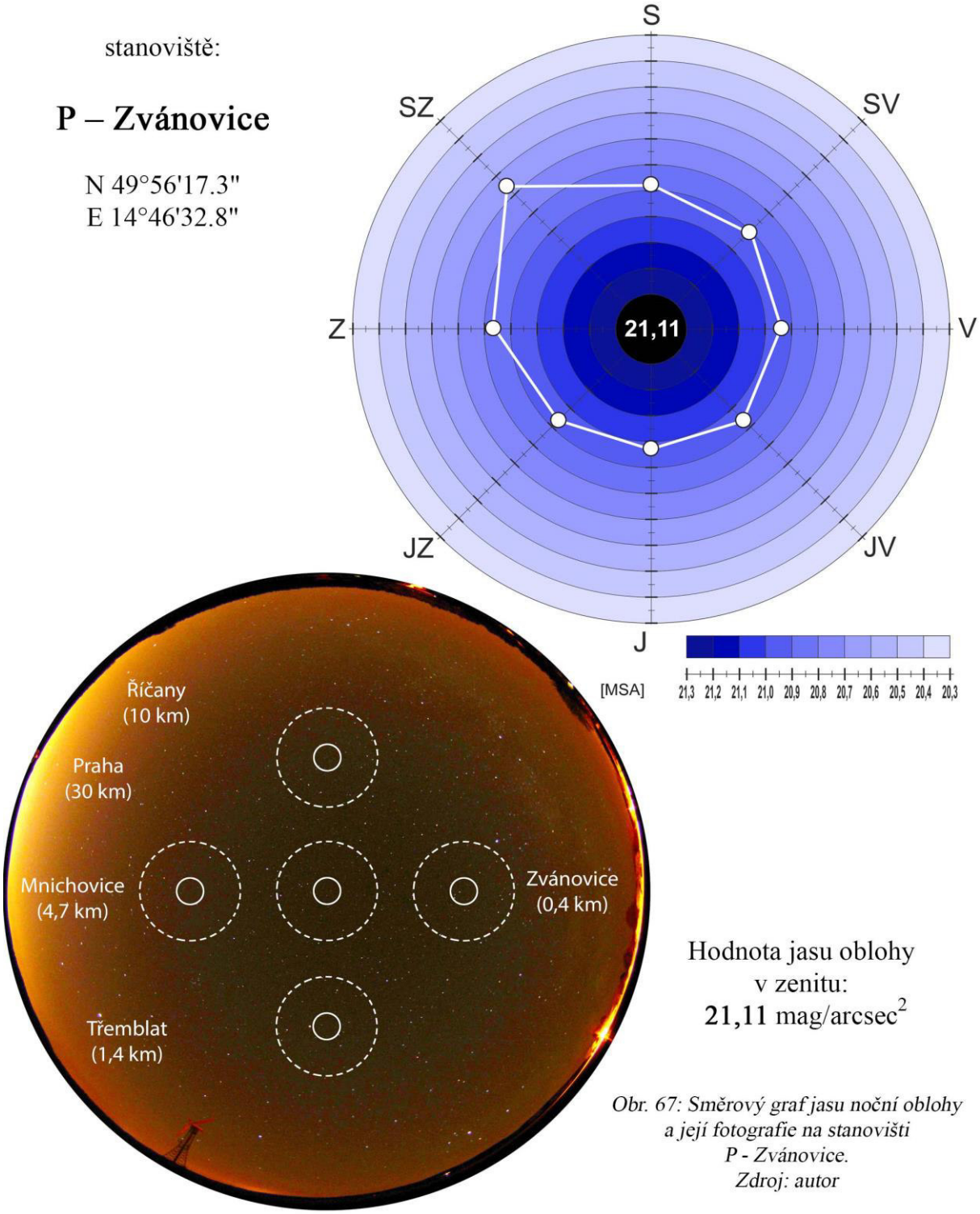

*Obr. 65: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti N - Vodslivy. Zdroj: autor*

Stanoviště **O – Vranov** je nejjižnějším měřícím místem v oblasti. Nachází se v blízkosti obce Vranovská Lhota na severovýchodě (21,12 mag/arcsec$^2$), která má ale jen nepatrný vliv na naměřenou hodnotu jasu z tohoto směru (na fotografii je možné spatřit světelný zdroj v obci). Na tomto místě se opět projevuje vliv Prahy ze severozápadu, kde jsem naměřil nejvyšší jas (20,96 mag/arcsec$^2$). Jasnější je také sever (21,07 mag/arcsec$^2$) a západ (21,05 mag/arcsec$^2$). Nejtmavšími světovými stranami jsou na tomto stanovišti východ, jihovýchod a jih (shodně 21,10 mag/arcsec$^2$).




*Obr. 66: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti O - Vranov. Zdroj: autor*

Na měřícím místě **P – Zvánovice** jsem nejvyšší hodnoty jasu naměřil v severozápadním směru (20,66 mag/arcsec$^2$). Je zde opět patrný vliv Prahy, nicméně při porovnání jasu v SZ s měřícím místem G – Klokočná, které je k Praze o 5 km blíže, je rozdíl v jasu patrný (o 0,3 mag/arcsec$^2$). V západním směru je jas pravděpodobně ovlivněn větší obcí Mnichovice (20,83 mag/arcsec$^2$). Naopak blízká obec Zvánovice (světelné zdroje jsou přímo viditelné na snímku oblohy) se na jasu oblohy prakticky nepodílí. Nejtmavší obloha je na jihu (20,98 mag/arcsec$^2$) a východě (20,94 mag/arcsec$^2$).




*Obr. 67: Směrový graf jasu noční oblohy a její fotografie na stanovišti P - Zvánovice. Zdroj: autor*

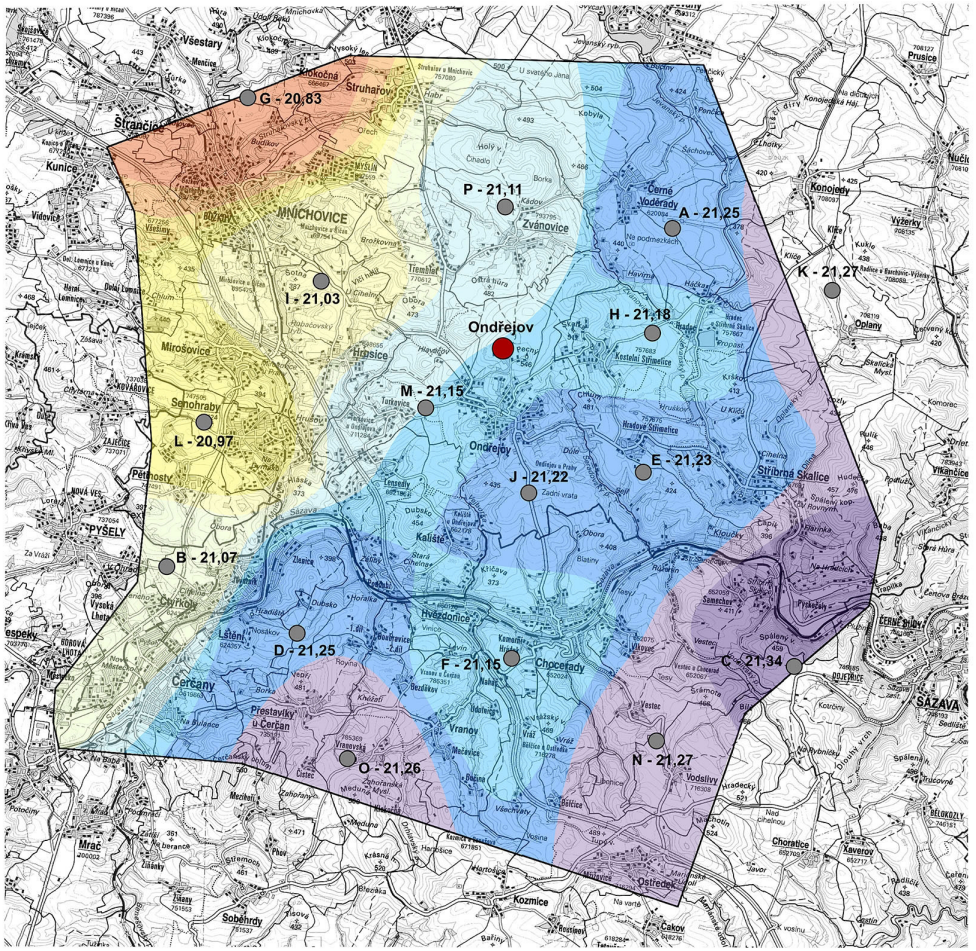
### 7.4 Shrnutí získaných výsledků směrových měření

Směrová měření pod 60° můžeme interpretovat následovně: Na všech měřících místech se projevil vliv Prahy (vyšší jas oblohy ze směru sever, severozápad a západ). Na měřících místech blíže k Praze (B – Čtyřkoly, G – Klokočná, I – Mnichovice, L – Senohraby a P – Zvánovice) je obloha ve všech směrech více jasná než na stanovištích dále od Prahy. Lokální znečišťovatelé se projevují jen velmi málo pod měřícím úhlem 60°. Dá se tedy očekávat, že ani na zenitní měření nemají tyto lokální světelné zdroje větší vliv. Dokonce i na stanovišti blízko většího města Sázava (C – Dojetřice) není vliv tohoto města u hodnot směrového měření pod 60° výrazněji rozpoznatelný. Pod směrovým úhlem 60° se rovněž jen nepatrně projevilo osvětlení Komorního Hrádku na měřícím stanovišti F – Chocerady a osvětlení parkoviště u benzinové pumpy u měřícího stanoviště N – Vodslivy. Lokální emise světelného znečištění jsou lépe identifikovatelné na fotograficky pořízených snímcích noční oblohy. Naopak i u nejvzdálenějších měřících stanovišť ve směru od Prahy (C – Dojetřice, K – Oplany, N – Vodslivy) je dobře rozpoznatelný vliv světelného znečištění v severozápadním směru od Prahy, která je vzdálená desítky kilometrů.

### 7.5 Mapa jasu noční oblohy

Z výsledné mapy je na první pohled zřetelně patrný slábnoucí jasový gradient ze severozápadu k jihovýchodu. To přispívá k hypotéze, že jas emitovaný Prahou má na oblast v okolí Ondřejovské hvězdárny nezanedbatelný vliv. Kolem města Mnichovice dosahují zenitová měření nejnižších hodnot jasu z celé zkoumané oblasti (stanoviště G – 20,83 mag/arcsec$^2$, stan. I – 21,03 mag/arcsec$^2$). Je možné, že na jas oblohy v severozápadní části území má kromě Prahy vliv také relativně velké obce Mnichovice a Strančice (v poměru k menším vesnicím uvnitř zájmové zóny). Oblast vyššího jasu je protažena jižním směrem k obci Senohraby (stan. L – 20,97 mag/arcsec$^2$) a větším obcím na jihozápadě oblasti – Čtyřkolům a Čerčanům (stan. B – 21,07 mag/arcsec$^2$). Nejnižších hodnot dosahuje noční obloha na jihovýchodě území – ve směru odvráceném od Prahy (stan. E – 21,23 mag/arcsec$^2$, stan. K – 21,27 mag/arcsec$^2$ a stan. C – 21,34 mag/arcsec$^2$). Stanoviště C u ZSJ Dojetřice je místem, kde byl naměřen nejnižší zenitní jas oblohy ve sledovaném území (21,34 mag/arcsec$^2$), a to navzdory blízkosti relativně většího města Sázavy. V blízkém okolí Ondřejovské observatoře dosahuje jas oblohy hodnot 21,1–21,25 mag/arcsec$^2$. Nejbližším měřícím místem k astronomické hvězdárně bylo stanoviště M – 21,15 mag/arcsec$^2$ mezi obcí Ondřejov a ZSJ Turkovice. Na interpolované mapě můžeme dobře rozeznat dva výběžky větší záře u obce Chocerady (stan. F – 21,15 mag/arcsec$^2$) a u ZSJ Kostelní Střimelice (stan. H – 21,18 mag/arcsec$^2$). Zatímco u Kostelních Střimelic je vyšší jas spíše překvapivý, Chocerady jsou větším městem s osvětleným kostelem a zámkem Komorní Hrádek, který je přes noc esteticky nasvícen reflektory.

# Jas noční oblohy v okolí hvězdárny Ondřejov



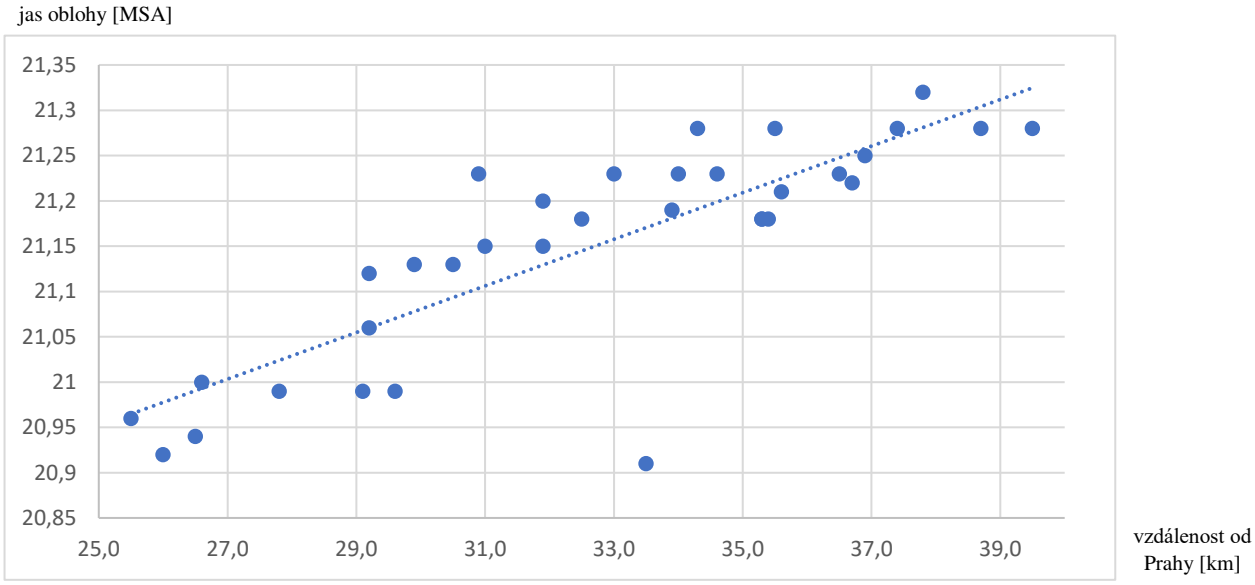

*Obr. 68: Mapa jasu oblohy v okolí hvězdárny Ondřejov*

## 7.6 Výsledky statistické analýzy

| | vzdálenost od Prahy | hustota zalidnění (ob/ha) | Počet obyvatel |
|---|---|---|---|
| Hodnota korelace (r) | 82,8 % | -27 % | -59 % |
| p hodnota | 0,000 | 0,126 | 0,000 |

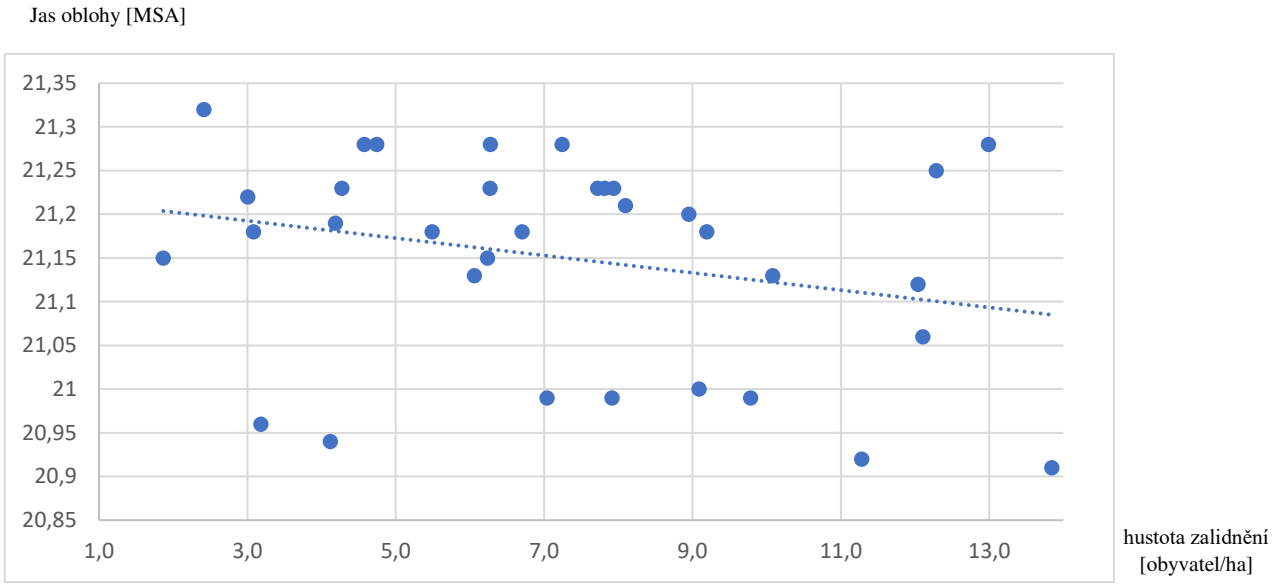
*Tab 4: Korelační koeficient a p hodnota vypočtená v programu SPSS*
*Zdroj: autor*

Korelační analýzou byla prokázána nejsilnější korelace v modelu porovnávajícím jas oblohy nad obcí (ZSJ) s její vzdáleností od Prahy. Pearsonův korelační koeficient dosahuje hodnoty 82,8 %, to znamená, že korelace je velmi silná (Hendel 2006) a tyto dvě proměnné spolu pravděpodobně úzce souvisí. Korelace pro vzdálenost od Prahy vychází na hladině významnosti $\alpha = 0{,}01$ statisticky významně ($p = 0{,}000$).



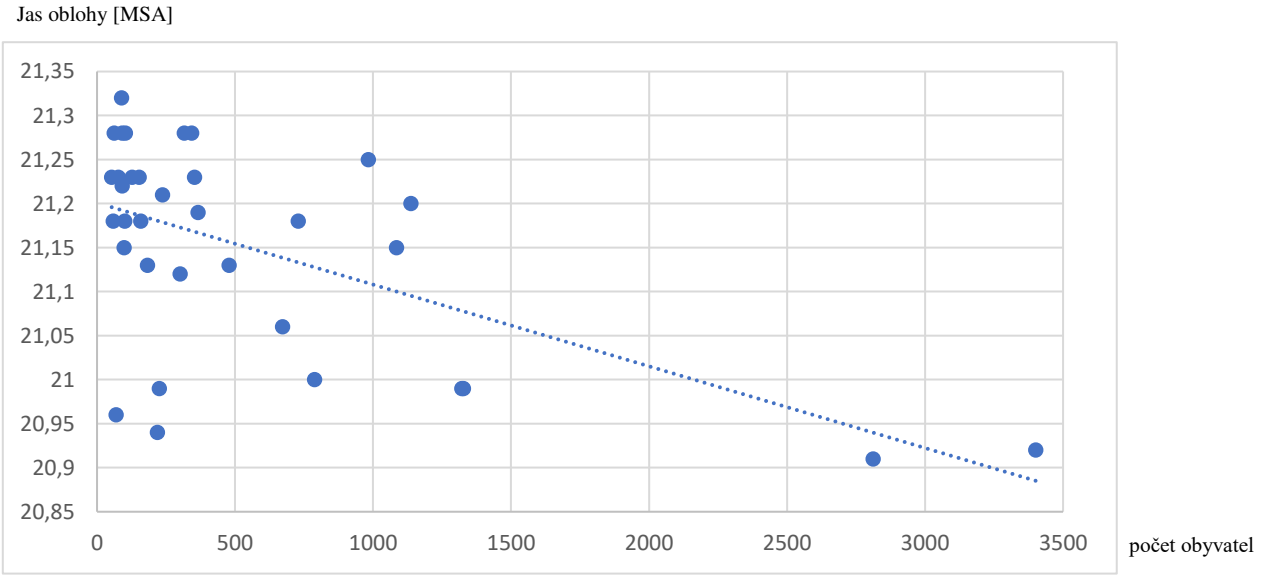

*Obr. 69: Korelace vzdálenosti od Prahy a jasu oblohy za obce (ZSJ)*
*Zdroj: autor*

V modelu porovnávajícím jas oblohy s hustotou zalidnění byla zjištěna slabá korelace ($r = -27$) (Hendel 2006). Hodnota Pearsonova koeficientu sice vyšla v analýze záporná, ovšem stupnice jasu oblohy MSA je obrácená. Tudíž vyšší jas je hodnocen nižším číslem a obráceně. Při pohledu na grafické znázornění ovšem vzájemná závislost není příliš patrná. Lineární model korelace pro hustotu zalidnění nevychází na hladině významnosti ($\alpha = 0{,}05$) statisticky významně (hodnota $p = 0{,}126$). Je zde tedy vážný předpoklad, že tyto veličiny spolu na dané měřítkové úrovni nesouvisí.




*Obr. 70: Korelace hustoty zalidnění a jasu oblohy za obce (ZSJ)*
*Zdroj: autor*

Poslední vzájemný vztah jsem zjišťoval mezi proměnnými: jas oblohy a počtem obyvatel v obci (ZSJ). Hodnota korelace r = 59 % znamená středně vysokou korelaci (Hendel 2006). Počet obyvatel se tedy zdá jako prokazatelnější ukazatel pro kvantifikaci jasu oblohy nad osídleným územím, než hustota zalidnění. Korelace pro počet obyvatel vychází statisticky významně (p = 0,00). Nicméně považuji za nutné upozornit na dvě odlehlé hodnoty, které mají na konečnou sílu korelace poměrně velký vliv, pokud tyto dvě populačně velké obce z analýzy vyloučím, statistické ukazatele se výrazně změní (r = 37 %, p = 0,037). Vzájemný vztah je menší a hladina významnosti je vyšší. Nicméně i za těchto podmínek je výsledek pro hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ výsledek statisticky významný.




*Obr. 71: Korelace počtu obyvatel a jasu oblohy za obce (ZSJ)*
*Zdroj: autor*

### 7.7 Návrh opatření k redukci světelného znečištění v zájmové oblasti

Vzhledem k výše popsaným výsledkům, je velmi pravděpodobné, že na celkový jas oblohy v okolí Ondřejovské hvězdárny má prvořadý vliv blízkost Prahy. Malí lokální znečišťovatelé přímo v zájmové zóně přispívají v porovnání s Prahou jen nepatrně. Nicméně i zde by se dalo navrhnout několik možností zlepšení.

Ve většině obcí se nacházejí vysokotlaké sodíkové výbojky a jen velmi omezeně LED světla (např. přechod v Čerčanech). Vzhledem k potřebě nerušeného pozorování co největšího počtu hvězd a dalších vesmírných objektů bych obcím doporučil na LED osvětlení nepřecházet (vzhledem k intenzivnějšímu rozptylu modré části spektra). Na některých místech (např. silnice vedoucí ke Stříbrné Skalici ze ZSJ Hradec) jsou lampy pouličního osvětlení hustě u sebe, lze tedy doporučit jejich redukci (např. ob jednu).

Lampy typu „koule“ které jsem objevil pouze na dvou místech (pravděpodobně jich ale bude v oblasti více) by šlo nahradit svítidly, která budou ze shora cloněná. Nicméně vzhledem k jejich malému počtu si myslím, že tento světelný zdroj je zanedbatelný. Větší problém představuje nasvícení zámku Komorní Hrádek, které by bylo vhodné regulovat (například od jedenácté hodiny večerní zhasínat) – přitom minimálně do dvou hodin rána je zámek osvětlen (ověřeno). Stejné opatření bych doporučil pro kostely v Choceradech a Mnichovicích (nebylo ověřeno, zda svítí celou noc).

Velký problém představují čerpací stanice s velkým odstavným parkovištěm, které jsou v oblasti dvě. Jejich záře je dobře patrná na fotografiích noční oblohy. Zde bych doporučil nainstalovat více cloněné světelné zdroje o menší intenzitě. Na rozdíl od čerpacích stanic se prakticky vůbec neprojevila přítomnost dálnice. To je dáno jednak pozdní noční dobou měření, kdy počet aut na dálnici není velký a také faktem, že reflektory automobilů svítí v horizontálním směru. Větším problémem jsou některé nájezdy na dálnici (např. u Mirošovic), kde je intenzita osvětlení nepřiměřená.

Na vlakovém nádraží v Čerčanech bych doporučil snížit velmi intenzivní osvětlení podchodu k vlakovým nástupištím, jehož nadzemní prosklená část oslňuje řidiče, kteří projíždějí okolo po obecní silnici. V sousedící obci čtyřkoly bych doporučil velmi omezit osvětlení průmyslového areálu JUNKER, které je v nočních hodinách naprosto zbytečné. Případně bych doporučil instalovat světla na fotobuňku.

Co se týče Prahy, jako největšího znečišťovatele oblasti, je situace mnohem komplikovanější. Je však zřejmé, že redukci světelného znečištění v okolí Ondřejovské hvězdárny je nutné řešit v širším územním kontextu. Vzhledem k množství a hustotě veřejného osvětlení, počtem rezidentů, kteří v noci v bytech svítí, velkému množství průmyslových areálů, kancelářským objektům a dalšímu velkému množství znečišťovatelů je navrhnout účinný způsob redukce nočního světla emitovaného do ovzduší velmi obtížné. V principu lze navrhnout podobné rady – snížit intenzitu světla a množství svítidel veřejného osvětlení kde není potřeba. Aby ovšem tyto opatření mohly probíhat komplexně, bylo by

vhodné zavést legislativní úpravu, která by efektivně regulovala světlo emitované v noci do ovzduší a přispěla tak k celkovému snížení světelného znečištění.

# 8. Diskuze

Stěžejní částí diplomové práce bylo vytvořit mapu jasu oblohy zájmového území kolem hvězdárny Ondřejov pomocí jasoměru SQM. Měření jasu oblohy pomocí SQM začíná být poměrně oblíbenou metodou nejen pro vědce, ale také pro laické astronomické pozorovatele, neboť přístroj SQM je cenově dostupný a velmi jednoduchý na ovládání (Cinzano 2005). Hodnoty jasu noční oblohy nad Českou republikou právě od amatérských pozorovatelů můžeme nalézt na internetové stránce www.skyquality.cz (online cit. [14]). Stejný měřící přístroj jsem použil i v bakalářské práci (Kocourek 2010), ve které jsem hodnotil změny jasu oblohy na transektu Praha – Kladno. V centu Prahy (v Riegrových sadech jsem naměřil jas oblohy téměř 17,55 mag/arcsec$^2$, zatímco nejtmavší místo bylo změřeno u obce Středokluky – 20,14 mag/arcsec$^2$). V porovnání s touto prací je noční obloha v zájmové zóně hvězdárny u Ondřejova na všech místech výrazně tmavší (nejsvětlejší hodnota jasu je 20,82 mag/arcsec$^2$), což je způsobené jednak větší vzdáleností měřícího místa od centra Prahy a jednak nepřítomností dalšího většího města u Ondřejova (naproti tomu obec Středokluky leží od centra Kladna ve vzdušné vzdálenosti menší než 10 kilometrů). Podobnou mapu hvězdné oblohy vytvořil na základě dat naměřených pomocí SQM Žiberna (2012) pro oblohu nad slovinským městem Mariborem. V centru města jas oblohy dosahuje hodnoty 16 mag/arcsec$^2$ a v jeho okolí se hodnota jasu pohybuje kolem 20 mag/arcsec$^2$. V porovnání s výsledky mé práce Žiberna (2012) uvádí jas oblohy přibližně 16 km od centra Mariboru (ve směru, kde se nenachází jiné významnější město) kolem 20,3–20,4 mag/arcsec$^2$. Ondřejov je od centra Prahy vzdálen přibližně 31 km a jas oblohy je zde (úměrně k vzdálenosti) nižší (21,15 mag/arcsec$^2$). Pro detailnější analýzu a kvantifikaci emisí antropogenního světla, které v noci produkuje Praha a Maribor by bylo samozřejmě nutné srovnat velikosti těchto dvou měst (populační i plošnou) a provézt detailní průzkum množství a typů světelných zdrojů v obou městech. V Německu měřili pomocí SQM jas oblohy Jechow et al. (2016) u jezera Stechlin zhruba 70 km severně od Berlína. Za jasných nocí se hodnoty jasu pohybovaly mezi 21,5 a 21,7 mag/arcsec$^2$, což je na evropské poměry poměrně tmavá obloha. V Postupimi na Leibnizově institutu astrofyziky naměřili Puschnig et al. (2014) průměrný jas oblohy za bezoblačné noci 20,3 mag/arcsec$^2$. Faid et al. (2016) zjišťovali pomocí SQM jas oblohy v Malajsii. Na měřící stanici přímo v hlavním městě Kuala Lumpur naměřil průměrnou hodnotu jasu 16,19 mag/arcsec$^2$, zatímco na venkovské stanici Teluk Kemang byla zjištěna průměrná hodnota jasu 19 mag/arcsec$^2$. Při takto vysoké úrovni jasu oblohy je viditelnost hvězd značně omezená. Z Českého prostředí uvádím práci Vojtěchovské (2004), která měřila úroveň jasu oblohy v Mělníku a jeho přilehlém okolí. Jas v centru města dosahuje 17,32 mag/arcsec$^2$ a průměrná hodnota jasu v oblasti Mělníku a jeho okolí je 20,27 mag/arcsec$^2$. Falchi et al. (2016) považují za přirozeně temné nebe hodnotu jasu přesahující 22 mag/arcsec$^2$. Jak je patrné z výše uvedených vybraných měření, na žádném ze stanovišť nebylo této hodnoty dosaženo. Při porovnání výsledků mého měření a výše

zmíněných studií je zřejmé, že hodnoty, které jsem získal v průběhu praktického výzkumu jsou reálné a srovnatelné s výsledky jiných autorů.

Využití přístroje SQM má několik výhod: hodnota jasu je aktuální, relativně přesná a měření lze provádět v určitém stanoveném směru. Nicméně měření jsou rovněž limitovaná mnoha faktory. Ve výzkumných studiích se měření pomocí SQM používá spíše pro určení hodnoty jasu oblohy na jedné lokalitě (např. Puschnig et al. 2016), případně při porovnání jasu oblohy na dvou vzdálenějších místech (např. Faid et al 2016). Většina vědeckých prací, které pracují s přístrojem SQM pro určení jasu oblohy využívá upevněného přístroje přímo v terénu připojeného k počítači. Data tak výzkumníci měří v přesně stanoveném čase a získávají je on-line. Tento způsob by byl ideální také v této diplomové práci, nicméně k jeho realizaci by bylo potřeba 16 přístrojů SQM s připojenou aparaturou, která by byla nepozorovaně umístěna na poli nebo v blízkosti silnice. Vzhledem k finanční a technické náročnosti, stejně tak k reálné možnosti odcizení přístroje, jsem musel všechna měření provést osobně pouze s jedním přístrojem SQM.

Dalšími faktory, které působí na aktuální hodnotu jasu oblohy změřeného pomocí přístroje SQM je druh a výška oblačnosti (Kyba et al. 2011a), sníh (Bujalský 2010), množství prachových částic a mlha (Vojtěchovská 2014). Naopak na výsledky měření jasu oblohy pomocí SQM nemá velký vliv teplota okolního prostředí, jak uvádějí Schnitt et al. (2013); přístroj je vhodný pro terénní měření jasu oblohy při teplotách od -15 do +35 °C. Všechny tyto faktory jsem při měření bral v potaz, nicméně některé z nich (např. množství prachových částic) jsem neměl možnost na místě ověřit. Je velice pravděpodobné, že při opakování výzkumu bude na stejných místech změřena trochu odlišná hodnota jasu oblohy právě z důvodu jiné kvantity faktorů, které jsem neměl možnost na místě ověřit. Při plánování terénních výjezdů do oblasti za účelem měření jasu jsem pečlivě dbal především na nutnost zcela jasného nebe a v zimních měsících také na nepřítomnost sněhu. Dalšími limitujícími faktory byly astronomické vlivy (Měsíc nad obzorem a výška Slunce pod obzorem).

Vzhledem ke vzdálenosti měřících míst a limitujícímu času na měření jsem musel při plánování metodiky měření provést řadu kompromisů. Jsem si vědom toho, že ideální by bylo všech 16 míst změřit během jedné noci, ideálně v co nejkratším čase. Bohužel kvůli omezenému času během noci a lidské kapacitě takový výzkum nebyl možný. Ze stejných důvodů byla měřící místa vybírána také dle kritéria dostupnosti. Pro přesnější interpolaci by bylo jistě vhodnější, kdyby měřících bodů bylo více, ideálně v nějaké pravidelné síti, což ovšem není z důvodu přítomnosti lesních porostů, členitého reliéfu a nedostupnosti mnohých míst proveditelné.

Považuji za nutné poznamenat, že na přesnost měření má nepochybně vliv i omezená přesnost přístroje, která se pohybuje v rozptylu 0,1 MSA (Unihedron 2012). Vzhledem k tomu, že stupnice jasu oblohy měřená v těchto jednotkách, je logaritmická, není tato odchylka úplně malá. Je tedy nezbytné připustit, že naměřené hodnoty poskytují spíše hrubší představu o jasu oblohy v zájmové zóně

hvězdárny Ondřejov. Na druhou stranu si myslím, že i přes zmíněnou odchylku představuje tato práce vůbec první komplexní měření jasu oblohy v této oblasti a z jejích výsledků se dá vycházet při dalším měření jasu oblohy přístrojem SQM v téže oblasti i jinde.

Co se týče naměřených dat, zdá se, že relativní blízkost menších obcí k měřícím místům má na hodnotu zenitového jasu oblohy jen velmi malý vliv oproti faktoru vzdálenosti Prahy. To je dobře demonstrovatelné na stanovišti C – Dojetřice u větší obce Sázava. Zde můžeme pozorovat jas přicházející od tohoto města z východního směru na doplňující fotografii noční oblohy, nicméně pod měřícím úhlem 60° nevykazují naměřené hodnoty jasu zvýšenou intenzitu v tomto směru. Jelikož je hlavním výstupem diplomové práce mapa jasu oblohy změřeného v zenitu, rozhodl jsem se, že směrová měření budu provádět pod relativně velkým úhlem 60°. Předpokládám, že pokud nebude jas oblohy v určitém směru, ze kterého přichází světlo emitované lokálním znečišťovatelem, prokazatelně ovlivněn pod úhlem 60°, je pravděpodobné, že tento lokální znečišťovatel nebude mít vliv ani na hodnotu jasu v zenitu. Pokud by se směrová měření prováděla pod menším úhlem než 60°, lépe by se zjistil směr přicházejícího jasu (jak je možné spatřit na celonočních snímcích oblohy). Na druhou stranu měření pod 40° nebo 30° naráží na problémy, jakými jsou například viditelné přímé zdroje světla v blízkých obcích, které by způsobily chyby v měření. Naměřené hodnoty by mohly být rovněž ovlivněny temnými siluetami stromů, které by se dostaly do zorného úhlu čidla přístroje. Tato měření by potom neměla plnohodnotnou vypovídající hodnotu.

Otázkou diskuze je také čas nočního měření, který jsem na základě vlastního předvýzkumu stanovil na interval nočních hodin 0:30 – 2:00. V těchto hodinách se jas oblohy příliš nemění. Ve shodě s mým předvýzkumem stanovili podobný časový interval, ve kterém se jas oblohy významně nemění, také Puschnig et al. (2014). Očekávám, že v tomto časovém intervalu většina lidí již spí; tím pádem je do určité míry eliminováno světlo z oken soukromých bytů. Také předpokládám, že světelné zdroje, které během tohoto intervalu stále svítí, se v následujících brzkých ranních hodinách již nezhasínají. Dominantním antropogenním zdrojem v tomto časovém intervalu je především veřejné osvětlení, případně zdroje lokálnější povahy, jakými jsou například čerpací stanice s odstavnými parkovišti u dálnice. Pokud by měření probíhalo ve večerních hodinách nebo do půlnoci, mohl by na výsledky měření mít vliv také den v týdnu – dá se předpokládat, že lidé budou v pátek a v sobotu déle vzhůru do noci než ve všední dny.

Na výsledky výzkumu mohou navázat další vědecké práce a hodnoty změřené jasoměrem SQM v zájmové zóně ondřejovské hvězdárny porovnat. V blízké budoucnosti by měla vzniknout stálá měřící stanice jasu oblohy pomocí přístroje SQM, který bude nainstalovaný přímo v areálu hvězdárny. Data z tohoto měřícího místa budou jistě velmi užitečná pro sledování trendu jasu oblohy v budoucnosti. Dále bude možno efektivně provádět výzkumy vlivu oblačnosti, případně jiných meteorologických faktorů na jas oblohy. Možností dalšího pokračování výzkumů v oblasti světelného znečištění je tedy mnoho.

# 9. Závěr

Diplomová práce v teoretickém úvodu shrnuje poznatky o environmentálním problému světelného znečištění, v praktické části předkládá výsledky výzkumu měření jasu noční oblohy v zájmové oblasti okolo Ondřejovské hvězdárny AV na vrcholu Pecný. Na základě vlastnoručně provedeného měření jasoměrem Sky Quality Meter jsem zjišťoval jas oblohy v zenitu i pod úhlem 60° v osmi světových stranách (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ). Stěžejním produktem práce je mapa jasu oblohy v této oblasti, vycházející z naměřených dat v zenitu. Díky této mapě, statistické analýze dat a interpretaci směrových měření jsem určil pravděpodobné příčiny (zdroje) světelného znečištění v této oblasti.

Z analýzy naměřených dat a následným statistickým vyhodnocením vyšlo najevo, že největší vliv na jas noční oblohy v oblasti má Praha. Na všech měřících místech byl nejvyšší jas oblohy zaznamenán v severozápadním směru, kde se hlavní město nachází. Celkově nejjasnější nebe jsem zjistil na měřícím místě G – Klokočná, kde jas v zenitu dosahuje průměrné hodnoty 20,82 mag/arcsec$^2$. Naopak nejtemnější obloha byla naměřena 21,34 mag/arcsec$^2$ na stanovišti C – Dojetřice na jihovýchodě vytyčené oblasti. Nejbližší měřící stanoviště u Ondřejovské hvězdárny jsou M – Turkovice (21,15 mag/arcsec$^2$ v zenitu), J – Ondřejov (21,22 mag/arcsec$^2$ v zenitu), H – Kostelní Střimelice (21,18 mag/arcsec$^2$ v zenitu) a P – Zvánovice (21,11 mag/arcsec$^2$ v zenitu). Tyto hodnoty podle Bortleho (2001) stupnice jasu oblohy leží na hranici mezi kategorií 5 – příměstská obloha (+/- 20,8 mag/arcsec$^2$) a 4 – příměstská/venkovská obloha (+/- 21,3 mag/arcsec$^2$). V těchto kategoriích je již možnost vidět Mléčnou dráhu silně omezena a zpravidla můžeme pozorovat jen její nejjasnější hvězdy. Zvířetníkové světlo se ztrácí nebo je jen málo zřetelné. V takto světelně znečištěné oblasti se zatažená obloha projevuje nárůstem jasu a oblaka mají naoranžovělou barvu. Světelná záře nad městy je dobře zřetelná (Bortle 2001). Za takových podmínek je pozorování temnějších astronomických úkazů velmi ztížené.

Trend snižování jasu oblohy ve směru od severozápadu k jihovýchodu, který je poměrně zřetelný jak na zenitových měřeních, tak na směrových měřeních, kde opět nejvyšší jas přichází prakticky vždy od severozápadu, jsem ověřil vypočítáním korelačního koeficientu mezi několika proměnnými. Mezi váženým průměrem jasu oblohy nad intravilánem obce nebo ZSJ a vzdáleností obce (ZSJ) od Prahy vyšla velmi silná korelace (r = 82,8 %) statisticky významná na 1 % hladině významnosti. Další korelací byl stejně vypočtený jas oblohy jako v prvním případě a hustota zalidnění v obci (ZSJ). Tato korelace se ukázala jako slabá (r = -27 %) a statisticky nevýznamná. Poslední vzájemný vztah jsem zjišťoval mezi veličinami jas oblohy nad obcí (ZSJ) a počtem obyvatel v obci. Tato korelace vyšla sice středně vysoká (r = -59) a statisticky významná na hladině významnosti 5 %, nicméně při odstranění dvou odlehlých hodnot korelační koeficient klesá. Z této analýzy vyplývá, že

mnohem užší vzájemný vztah, než populační velikost místních urbanizovaných ploch, vykazuje na jas oblohy v zenitu vzdálenost těchto míst od Prahy.

Kromě veřejného osvětlení v obcích a ZSJ v blízkosti Ondřejova mohou na jas oblohy mít také vliv čistě lokální prvky, jejichž emitovaná záře je dobře viditelná na doprovodných snímcích oblohy na měřících stanovištích. Jedná se například o zámek Komorní hrádek u obce Chocerady, který je během noci nasvícen intenzivním reflektorem (severovýchodně od měřícího místa F – Chocerady), o čerpací stanici u obce Ostředek, jejíž odstavené parkoviště ozařují na pohled silné světelné zdroje (jihozápadně od měřícího místa N – Vodslivy) nebo o intenzivně osvětlený nájezd na dálnici D1 (severně od měřícího místa L – Senohraby). Tito lokální, ale blízcí světelní znečišťovatelé jsou špatně identifikovatelní pod velkým úhlem 60° a k celkovému jasu oblohy přispívají velmi omezeně. To ovšem nevylučuje jejich potenciálně velmi škodlivý vliv při emisích rušivého světla na lidi, živočichy, či rostliny. Na tyto lokální znečišťovatele jsem přišel jednak analýzou doplňujících fotografií noční oblohy, jednak terénním výjezdem, během kterého jsem v noci projel větší obce a snažil se vizuálně rozpoznat přítomnost silnějšího světelného zdroje.

Jak již bylo zmíněno výše, omezit světelné znečištění v zájmové zóně kolem observatoře Ondřejov není lehké, neboť největší vliv na intenzitu jasu oblohy má blízká přítomnost Prahy (zhruba od 25 do 40 km). Toto zjištění je ve shodě s Garstangem (1986), jehož model šíření umělého světla nad zemským povrchem potvrzuje, že velká města mohou ovlivňovat své okolí vyprodukovaným světlem až do mnoha desítek kilometrů. V Praze je jakékoli omezení emisí světla během noci značně komplikované, zejména vzhledem k obrovskému množství a hustotě veřejného osvětlení silnic a rychlostních komunikací, velkému množství průmyslových areálu, veřejných institucí, nádražních budov, sportovních areálů, interiérového osvětlení soukromých bytů atd. Nejefektivnější by zřejmě bylo na základě legislativy plošně omezit možnosti nočního svícení – zavedením pravidel a efektivních regulací nočního svícení.

# 10. Zdroje


Arrêté du 25 janvier 2013 relatif à l'éclairage nocturne des bâtiments non résidentiels afin de limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie.

Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007.

BAKER, B., RICHARDSON, L. M. J. (2006): The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, Rana clamitans melanota. *Canadian Journal of Zoology*, Vol. 84 (10), s. 1528–1532.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2010): *Vývoj údolí Sázavy v mladším kenozoiku*. Praha: Česká geografická společnost.

BENNIE, J., DAVIES, W. T., CRUSE, D., GASTON, J. K. (2016): Ecological effects of artificial light at night on wild plants, *Journal of Ecology,* Vol. 104 (3), s. 611–620.

BORTLE E. J. (2001). Introducing the Bortle Dark-Sky Scale, *Sky a telescope*, Vol. 101, s. 126–137.

BOUSKILLA, A. (1995): Interactions between predation risk and competition: a field study of kangaroo rats and snakes, *Ecology*, Vol. 76, s. 165–178.

BRAINARD, G. C., HANIFIN, P. J., GREESON, M. J., BYRNE, B., GLICKMAN, G., GERNER, E., ROLLAG, D. M. (2001): Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *The journal od neurosciences*, Vol. 21 (16), s. 6405–6412.

BROX, J. (2010): *Brilliant: the evolution of artificial light*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.

BRUGGER, P., MARKTL, W., HEROLD, M. (1995): Impaired nocturnal secretion of melatonin in coronary heart disease, *The Lancet*, Vol. 345 (8962), s. 1408.

BUJALSKÝ, L (2010): *Světelné znečištění způsobené umělým osvětlením sjezdovek v Krkonošském národním parku*. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Prof. Mgr. Ing. Jan Frouz, CSc.

CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, D. C. (2001): The first world atlas of the artificial night sky brightness, *MNRAS,* Vol. 328, s. 689–707.

CINZANO, P. (2005): Night Sky Photometry with Sky Quality Meter, *Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso - internal report,* n. 9. v.1.4 2005.

CLARK, B. A. J. (2002): Outdoor lighting and crime, part 1: Little or no benefit. *Astronomical Society of Victoria*.

CULEK, M. et al. (1996): *Biogeografické členění ČR*. Praha, Enigma.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. ed. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Vyd. 2. Brno: AOPK ČR.

DESJARDIN, D., OLIVEIRA, G. A., STEVANI, V. C. (2008): Fungi bioluminescence revisited, *Photochemical & Photobiological Sciences*, Vol. 7, s. 170–182.

ELVIDGE, D. CH., BAUGH, K., ZHIZHIN M, HSU Ch. F. (2013): Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacifac Advanced Network,* Vol. 35, s. 62–69.

European Union Commission Regulation No 245/2009, implementing Directive 2005/32/EC

FAID, S. M., HUSIEN, N., SHARIFF, M. N. N., ALI O. M, HAMIDI, S. Z., ZAINOL, H. N., SABRI, U. N. S. (2016): Monitoring the Level of Light Pollution and Its Impact on Astronomical Bodies Naked-Eye Visibility Range in Selected Areas in Malaysia Using the Sky Quality Meter, *2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA),* Jeju, 2016 s. 1–6.

FALCHI, F., CINZANO, P., ELVIDGE, CH. D., KEITH, D. M., HAIM, A. (2011): Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental management,* Vol. 92 (10), s. 2714–2722.

FALCHI, F., CINZANI, P., DURISCOE, D., KYBA, M. C. C., ELVIDGE D. CH., BAUGH, K., PORTNOV, A. B., RYBNIKOVA, A. N., FURGONI, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness, Science Advances, Vol. 2 (6), e 1600377.

FOSTER G. R, HAVKINS W., M. (2007): Cirkadian vision. *Current biology*, Vol. 17 (17), s. 746–751.

GARSTANG, H. R. (1986): Model for Artificial Night-Sky Illumination, Publications of the Astronomical society of the Pacific, Vol. 98, s. 364–375.

GASTON, K. J., BENNIE, J., DAVIES, T. W., HOPKINS, J. (2013): The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological rewies*, Vol. 88 (4), s. 912–927.

GLICKMANN, G., LEVIN, R., BRAINARD, C. G. (2002): Ocular Input for Human Melatonin Regulation: Relevance to Breast Cancer, *Neuroendocrinology Letters*, Vol. 23 (suppl 2), s. 17–22.

GUTMAN, R., DAYAN, T. (2005): Temporal partitioning: An experiment with two species of spiny mice, *Ecology*, Vol. 86, s. 164–173.

HABEL, J. (2013): *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public.

HADDOCK, D. H. S., MOLINE, A. M., CASE, F. J. (2010): Bioluminescence in the Sea. *Annual Review of Marine Science,* Vol. 2, s. 443–493.

HAIM, A., YUKLER, A., HAREL, O., SCHWIMMER, H., FARES, F. (2010): Effects of chronobiology on prostate cancer cells growth in vivo, *Sleep Sciences*, Vol. 3 (1), s. 32–35.

HEILING, A. (1999): Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light? *Behavioral ekology and sociobiology*. Vol. 46, s. 43–49.

HENDL, J (2006): Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Vyd. 2., opr. Praha: Portál.

HINDS, W. C. (1999): *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: Wiley.

HÖLKER, F., MOSS, T., GRIEFAHN. B., KLOAS, W., VOIGT, C. CH., HENCKEL, D., HÄNEL, A., KAPPELER, M. P., VÖLKER, S., SCHWOPE, A., FRANKE, S., UHRLANDT, D., FISCHER, J., KLENKE, R., WOLTER, Ch., TOCKNER, K. (2010): The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy, *Ecology and Society*, Vol. 15 (4), art. 13.

HOLLAN, J. (2004). *Výzkumný projekt: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. Brno: Masarykova univerzita, PřF

CHANEY, W. (2002): Does night lighting harm trees? West Lafayette, Purdue University, *Forestry and Natural Resources*, edice FNR-FAQ, 17-W

CHEN, C. L., SU, H. Y., LIU, J. C., LEE C. Y. (2009): Effect of Night Illumination on Growth and Yield of Soybean, Journal of Taiwan Agricultural Research, Vol. 58 (2), s. 146–154.

JAMES, R. S., DENNEL, W. R, GILBERT, S. A., LEWIS, T. H., GOWLETT, J. A., LYNCH, F. T, McGREW, C. W., PETERS, R. CH., POPE, G. G., STAHL, B. A., JAMES, R. S. (1989): Hominid use of fire in the Lower and Middle Pleistocene: A review of the evidence. *Current Anthropology* , Vol. 30, s. 1–26.

JECHOW, A., HÖLKER, F., KOLLÁTH, Z., GESSNER, O. M., KYBA, M. C. CH. (2016): Evaluating the summer night sky brightness at a research field site on Lake Stechlin in northeastern Germany, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol. 181, s. 24–32.

JELÍNKOVÁ-VONDRASOVÁ, D., HÁJEK, I., ILLNEROVÁ, H. (1999): Adjustment of the human circadian system to changes of the sleep schedule under dim light at home, *Neuroscience Letters*, Vol. 265 (2), s. 111–114.

KEMPANAERS, B, BORGSTRÖM, P., LOËS, P., SCHLICHT, E., VALCU, M. (2010): Artificial night lightning affects dawn song, extra pair siring success and lay date in songbirds. *Current biology*, Vol. 20, s. 1735–1739.

KIM, CH. G., SEO, J. H., KIM, D., H. (1998): Effect of night illumination on growth and yield in soybean cultivars. *RDA Journal of Crop Science,* Vol. 40(2) part 1, s. 155–159.

KLOOG, I., HAIM, A., STEVENS, R. G., PORTNOV, B. A. (2009): Global Co-Distribution of Light at Night (LAN) and Cancers of Prostate, Colon, and Lung in Men, *Chronobiology International,* Vol. 26 (1), s. 108–125.

KOCOUREK, D. (2014): Geografické aspekty světelného znečištění. Praha, Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Matějček, Ph.D.

KOLÁŘ, J. (2006): *Biologické hodiny rostlin: jak se rostliny orientují v čase během dne a roku.* Praha: Academia.

KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ J. (2005): *Jak vzniká počasí*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum.

KOTLER, B. (1984): Risk of predation and the structure of desert rodent communities. *Ecology*, Vol. 65, s. 689–701.

KYBA, M. C. CH, RUHTZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F. (2011a): Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLoS ONE,* Vol. 6 (3): e17307.

KYBA, M. C. CH, RUHTZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F. (2011b): Lunar skylight polarization signal polluted by urban lighting, *Journal od geophysical research*, Vol 116, D24106.

KYBA, M. C. CH, RUHTZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F. (2012): Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Montly Notices of the Royal Astronomical Society* R. Astron. Soc, Vol. 425, s. 701–708.

Law of the Lombardy Region no. 17 of 03/27/2000. urgent measures to fight the light pollution and to archieve energy saving in the use of outdoor lighting.

LUCAS, R., PEIRSON, S., BERSON, M. D., BROWN, M. T., COOPER, M. H., CZEISLER, A. CH., FIGUEIRO, G. M., GAMLIN, D. P., LOCKLEY, W. S., O'HAGAN, B. J., PRICE, A. L. L., PROVENCIO, I., SKENE, J. D., BRAINARD, C. G. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences,* Vol. 37 (1), s. 1–9.

LUGINBUHL, B. CH. (2009): Lighting and astronomy. *Physics Today*, Vol. 62 (12), s. 32–37.

LUGINBUHL, B. CH., BOLEY, A. P., DAVIS, R. D (2014): The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer,* Vol. 139, s. 21–26.

MALÝ, P. (2013): *Optika*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Karolinum.

MAŠEK, M. (2017): Měření jasu noční oblohy a jeho geografické aspekty. Liberec. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce doc. RNDr. Kamil Zágoršek, Ph.D.

MEIER, J. (2015): *Urban lighting, light pollution, and society*. Roudledge.

MILSON, T. P. (1984): Diurnal behaviour of lapwings in relation to moon phase during winter, *Bird study*, Vol. 31, Str. 117–120.

MIZON, B. (2012): *Light pollution: responses and remedies*. 2nd ed. London: Springer.

MONZER, L. (2003): *Osvětlení Prahy: proměny sedmi století.* Praha: Pro společnost Eltodo EG vydalo vydavatelství FCC public.

MORGAN-TAYLOR, M. (2015): Regulationg Light Pollution in Europe: Legal Challenges and Ways Forward. In Meyer, J. (ed): Urban lighting, light pollution, and society, Routledge, New York, s. 159–176.

MOUDRÁ, M. (2015): Světelné znečištění a ochrana nočního prostředí v České republice. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce ing. Luboš Matějíček, Ph.D.

NARISADA, K., SCHREUDER, D. (2004): *Light Pollution Handbook*. Dordrecht: Springer Netherlands.

NAVARA, J. K., NELSON, J. R. (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences, *Journal of Pienal Research*, Vol. 43 (3), s. 215–224.

PEÑA-GARCÍA, A., HURTADO, A., AGUIILAR-LUZÓN, C. M. (2015): Impact of public lighting on pedestrians perception of safety and well-being. *Safety sciences,* Vol. 78, s. 142–148.

PUSHING, J., SCHWOPE, A., POSCH, T., SCHWARZ, R. (2014): The night sky brightness at Potsdam-Babelsberg including overcast and moonlit conditions, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol. 139, s. 76–81.

RAJARATNAM, S. M., ARENDT, J. (2001): Health in a 24-h society*, The Lancet*, Vol. 358 (9286), s. 999–1005.

RAVEN, J. A, COCKELL, C. S. (2006): Influence on photosynthesis of starlight, moonlight, planetlight, and light pollution (reflections on photosynthetically active radiation in the universe). *Astrobiology*, Vol. 6 (4), s. 668–675.

REITER, R. J., TAN, X. D., OSUNA, C., GITTO, E. (2000): Actions of melatonin in the reduction of oxidative stress. A review. *Journal of Biomedical Sciences*. Vol. 7 (6), s. 444–458.

RICH, C., LONGCORE. T. (2006): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, DC: Island Press.

ROACH, F. E. & GORDON, L. J. (1973): *The light of the night sky*. Boston: Reidel.

ROSENTHAL, N. E., SACK, D. A., GILLIN, J. C., LEWY A. J., GOODWIN, F. K., DAVENPORT, Y., MUELLER, P. S., NEWSOME, D. A., WEHR, T. A. (1984): Seasonal Affective DisorderA Description of the Syndrome and Preliminary Findings With Light Therapy, *Archives of general psychiatry*, Vol. 41 (1), s. 72–80.

SALMON, M. (2003): Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist*, Vol. 50, s. 163−168.

SHNITT, S., RUHTZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F., KYBA, M. C. Ch. (2013): Temperature stability of the Sky Quality Meter, *Sensors,* Vol. 13, s. 12166–12174.

SKEENE D. J., SWAAB, D. F. (2003): Melatonin rhythmicity: effect of age and Alzheimer's disease. *Experimental gerontology*, Vol. 38 (1-2), s. 199–206.

SLEZÁK, J. (2009): Diference metod výpočtu průměrných teplot vzduchu na meteorologické stanici Pecný (Ondřejov), Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce RNDr. Jiří Kastner.

Slovenian Government Regulation 4162: on the Limits of Light Pollution ofthe Environment.

SOKANSKÝ, K. (2011): *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.

STEINBACH, R., PERKINS, CH., TOMPSON, L., JOHNSON S., ARMSRONG, B., GREEN, J., GRUNDY, Ch., WILKINSON, P., EDWARDS, P. (2015): The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis, *Journal of Epidemiology and Community Health,* Vol. 0, s. 1–7.

STEKLÁ, T. (2010): Přírodní prostředí lokality geodynamické observatoře Pecný v Ondřejovské pahorkatině. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce prof. RNDr. Jan Kalvoda, DrSc.

STEKLÁ, Tereza. (2012): Recentní morfogenetické procesy v lokalitě geodynamické observatoře Pecný. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce prof. RNDr. Jan Kalvoda, DrSc.

SUCHAN, Pavel (2004): Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky. In: *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. Výzkumná zpráva VaV/740/3/03, s. 90–97.

TAN, D. X., MANCHESTER, L. C., TERRON, M. P., FLORES, L. J., REITER, R. J. (2007): One molecule, many derivatives: A never-ending interaction of melatonin with reactive oxygen and nitrogen species?, *Journal of Pienal Research*, Vol. 42 (1), s. 28–42.

THAPAN, K., ARENDT, J., SKENE, J. D. (2001): An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *The journal of Physiology*, Vol. 535 (1), s. 261–267.

TROY, R. J., HOLMES, D. N., GREEN, C. M. (2011): Modeling artificial light viewed by fledgling seabirds, *Ecosphere*, Vol. 2 (10), s. 1–13.

UNIHEDRON (2012): Sky quality Meter, uživatelský manuál k jasoměru SQM – L.

VOLLSNES, V. A., ERIKSEN, B. A., OTTERHOLT, E., KVAAL, K., OXAAL, U., FUTSAETHER, M. C. (2009): Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum. Journal of Experimental Botany*, Vol. 60 (13), s. 3677–3686.

WANDELL, B. A. (1995): *Foundations of vision. Sinauer Associates, Sunderland*, Mass.

WHITE, H. E., RAPAPORT, E., HOPKINS, A. T., SELIGER, H. H. (1969): Chemi-and bioluminescence of firefly luciferin, *Journal of the American chemical society*, Vol. 91 (8), s. 2178–2180.

WRIGHT, P. K., HUGHES, J. R., KRONAUER, E. R., DIJK, D. J., CZEISLER, A. Ch. (2001): Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans, *Neurobiology*, Vol. 98 (24), s. 14027–14032.

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a změně některých dalších zákonů. In: Sbírka zákonů České Republiky 14. 2. 2002.

Zákon č. 92/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění zákona č. 521/2002 Sb. In: Sbírka zákonů České Republiky. 29. 1. 2004.

Zákon č 385/2005 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů. In: Sbírka zákonů České Republiky 19. 8. 2005.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: Sbírka zákonů České Republiky 2. 5. 2012.

ZEITZER, M. J., DIJK, D. J., KRONAUER, E. R., BROWN, N. E., CZEISLER, A. Ch. (2000): Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression, *The Journal of Physiology*, Vol. 526 (Pt 3), s. 695–702.

VOJTĚCHOVSKÁ, K. (2014): Míra světelného znečištění v oblasti města Mělníka a jeho okolí, Ústí nad Labem. Bakalářská práce. PřF. Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Matějček, Ph.D.

ŽIBERNA, I. (2012): Svetlobna onesnaženost na širšem območju Maribora, Maribor: Univerzita v Mariboru.

**Internetové zdroje:**

[1] UNESCO [dostupné dne 28. 7. 2017]
http://whc.unesco.org/en/astronomy/

[2] IDA (International Dark-Sky Association [dostupné dne 30. 7. 2017]
http://www.darksky.org/

[3] Jizerská oblast tmavé oblohy (JOTO) [dostupné dne 30. 7. 2017]
http://www.izera-darksky.eu/dark/dark-cs.html

[4] Astronomický ústav AV [dostupné dne 15. 7. 2017]
http://www.asu.cas.cz/cz/verejnost-a-media/svetelne-znecisteni

[5] Jablonecký deník [dostupné dne 5. 8. 2017]
http://jablonecky.denik.cz/zpravy_region/skleniky-v-bogatynie-tvori-na-obloze-oranzove-peklo-20160130.html

[6] Idnes.cz [dostupné dne 5. 8. 2017]
http://liberec.idnes.cz/skleniky-na-rajcata-zakryti-dph-/liberec-zpravy.aspx?c=A160912_152704_liberec-zpravy_jape

[7] Beskydská oblast tmavé oblohy (BOTO) [dostupné dne 30. 7. 2017]
http://www.boto.cz/?page_id=12

[8] Manětínská oblast tmavé oblohy (MOTO) [dostupné dne 30. 7. 2017]
http://manetinskatma.cz/manetinska-oblast-tmave-oblohy/zakladni-informace/

[9] Zprávy.aktualne.cz [dostupné dne 12. 7. 2017]
https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/stat-by-mel-legislativne-resit-svetelne-znecisteni/r~42af9d44707d11e7bc9f002590604f2e/?redirected=1500922304

[10] National conference of state legislatures [dostupné dne 22. 7. 2017]
http://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/states-shut-out-light-pollution.aspx

[11] Intenzita osvětlení za soumraku a v noci na Lipové 19 v Brně [dostupné dne 1. 8. 2017]
http://amper.ped.muni.cz/weather/

[12] ČSÚ – Český statistický úřad [dostupné dne 25. 7. 2017]
https://www.czso.cz/csu/czso/domov

[13] Unihedron – online převod jednotek jasu na svítivost [dostupné dne 2. 8. 2017]
www.unihedron.com/projects/darksky/magconv.php

[14] RIS - Regionální informační servis [dostupné dne 25. 7. 2017]
http://www.risy.cz/cs

[15] SkyQuality.com – projekt mapování jasu noční oblohy [dostupné dne 2. 8. 2017]
http://www.skyquality.cz/

**Mapové podklady:**

http://mapy.geology.cz/zajimavosti [dostupné dne 10. 8. 2017]

**Seznam příloh:**

Příloha 1: Bortleyova stupnice jasu oblohy

Příloha 2: Podkladová data pro statistickou analýzu

Příloha 3: Tabulky s naměřenými hodnotami jasu oblohy – přiloženo na CD