



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta přírodovědně-humanitní
a pedagogická



Měření jasu noční oblohy a jeho geografické aspekty

Bakalářská práce

Studijní program: B1301 – Geografie
Studijní obor: 1301R022 – Aplikovaná geografie
Autor práce: **Martin Mašek**
Vedoucí práce: doc. RNDr. Kamil Zágoršek, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Mašek**
Osobní číslo: **P16000472**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Aplikovaná geografie**
Název tématu: **Měření jasu noční oblohy a jeho geografické aspekty**
Zadávající katedra: **Katedra geografie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle práce:

Deskripce charakteristik jasu noční oblohy vzhledem k antropogenním, atmosférickým a geomorfologickým jevům a prvkům.

Metody:

Vlastní měření jasu noční oblohy pomocí přístroje SkyQualityMeter a celooblohovou kamerou na vybraných lokalitách v okolí Liberce, Jizerských hor a Podještědí, studium odborné literatury, konzultace s odborníky, interpretace dat, zhodnocení a srovnání lokalit, zpracování výsledku práce v prostředí GIS, umístění měření do databáze.

První část práce bude soustředěna na popis problematiky, charakteristiku a metodiku měření, na realizaci metodiky. Ve druhé části budou zhodnoceny měření jasu oblohy na vybraných lokalitách a popsány geografické aspekty představené metodiky.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

NARISADA K., SCHREUDER D: Light pollution handbook. Astrophysics and space science library. Vyd.1. Sprigner, 2004, 971 s. ISBN 1-4020-2665-X

Projekt mapování jasu noční oblohy [online]. 2015 [cit. 2016-10-15]. Skyquality. Dostupné z WWW:

<<http://www.skyquality.cz>>.

CINZANO, P. [online]. 2006 [cit. 2016-10-15]. Lightpollution.it by Pierantonio Cinzano. Dostupné z WWW:

<<http://www.lightpollution.it>>.


Sky Quality Meter [online]. 2010 [cit. 2016-10-15]. Unihedron. Dostupné z WWW: <<http://unihedron.com/projects/sqm-l>>.

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Kamil Zágoršek, Ph.D.


Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: 8. prosince 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. května 2017


prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Kamil Zágoršek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. prosince 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 29.4.2017

Podpis: 

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. RNDr. Kamilu Zágorškovi, PhD. za cenné rady, podněty a připomínky. Také bych chtěl poděkovat odborné Skupině pro temné nebe České astronomické společnosti za zapůjčení fotografické sestavy pro měření jasu noční oblohy. Děkuji též Vladimíru Dvořákovi a Martinu Gembecovi za spolupráci při měření a svoji rodině za podporu při studiu i dalších aktivitách.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá měřením jasu noční oblohy ve vybraných lokalitách v okolí Liberce, Jizerských hor a Podještědí a jeho hodnocením. Přírodní jas noční oblohy je velmi nízký a vyskytuje se na lokalitách desítky až stovky kilometrů od nejbližších měst. S rozvojem civilizace a nárůstem umělého osvětlení začal jas noční oblohy na mnoha místech na světě růst, což astronomům zhoršuje podmínky pro pozorování vesmíru. Nárůst tzv. světelného znečištění má kromě zvýšení jasu noční oblohy také dopady na životní prostředí a zdraví lidí. V teoretické části práce jsou popsány zdroje jasu noční oblohy, přírodní i umělé. Další kapitoly jsou věnovány oblastem tmavé oblohy, metodikám měření jasu noční oblohy a družicovému mapování světelného znečištění. Praktická část je zaměřena na vlastní měření jasu noční oblohy na vybraných lokalitách a jeho zhodnocení.

Klíčová slova

Jas noční oblohy, světelné znečištění, umělé osvětlení

Annotation

The bachelor thesis deals with the measurement of night sky brightness on selected sites around Liberec, Jizera Mountains and Podještědí and its evaluation. The night sky brightness is naturally very low and occurs at sites tens and hundreds of kilometers from the nearest towns. Development of civilization and the increase of artificial lighting, increase considerably the night sky brightness in many places in the world, which aggravates astronomers for the conditions of observation of the space. This increase of light pollution also has an impact on the environment and human health. The theoretical part of this thesis describes sources of night sky brightness, natural and artificial. Following chapters are devoted to the dark sky parks, methodologies for measuring of the night sky brightness and satellite mapping of light pollution. The practical part of this thesis is focused on my own measurement of the night sky brightness and its evaluation.

Key words

Night sky brightness, light pollution, artificial lighting

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Světlo a jeho vnímání.....	13
2.1 Lidské oko	13
3. Jas noční oblohy.....	15
3.1 Přirozené zdroje jasu noční oblohy	17
3.1.1 Měsíc	17
3.1.2 Zodiakální světlo.....	18
3.1.3 Mléčná dráha, hvězdy, planety	18
3.1.4 Polární záře.....	19
3.1.5 Airglow.....	19
3.2 Umělé zdroje jasu noční oblohy	20
3.2.1 Světelné znečištění	21
3.2.2 Typy svítidel a barva světla.....	22
3.3 Vliv umělého osvětlení na organismy.....	23
3.3.1 Vliv umělého osvětlení na člověka	23
3.3.2 Vliv umělého osvětlení na faunu a flóru.....	23
4. Oblasti tmavé oblohy	24
4.1 Oblasti tmavé oblohy v České republice	25
4.1.1 Jizerská oblast tmavé oblohy.....	25
4.1.2 Beskydská oblast tmavé oblohy	25
4.1.3 Manětínská oblast tmavé oblohy	26
5. Měření jasu noční oblohy	28
5.1 Mezní hvězdná velikost	28
5.1.1 Určení MHV z obrázců	29
5.1.2 Metoda zakreslování hvězd.....	30
5.1.3 Přímá metoda určení MHV.....	30
5.2 Bortleova stupnice.....	30
5.3 Sky Quality Meter	33
5.4 Fotografické měření jasu oblohy.....	34
5.4.1 Popis celooblohové fotografické sestavy	35
5.4.2 Zpracování snímků z celooblohové sestavy.....	36

6. Družicová měření světelného znečištění	39
6.1.1 DMSPP a Suomi NPP	39
6.1.2 The new word atlas of artificial night sky brightness	40
7. Vlastní měření jasu noční oblohy	41
7.1 Výběr lokalit a metodika měření	41
7.2 Jednotlivé lokality – jejich popis a měření z nich	42
7.2.1 Rozdrože Izerskie	43
7.2.2 Jizerka	48
7.2.3 Lom Stanislaw	52
7.2.4 Dolní Řasnice – odbočka	56
7.2.5 Jítrava	58
7.2.6 Albrechtický kopec	60
7.2.7 Jindřichovice p. S. – větrné elektrárny	64
7.2.8 Bulovský kopec	67
7.2.9 Horní Řasnice – větrná elektrárna	71
7.3 Srovnání a zhodnocení lokalit	75
7.4 Srovnání s dalšími lokalitami	76
7.4.1 Bezvěrov – Žernovník, Manětínská oblast tmavé oblohy	76
7.4.2 Los Leones, provincie Mendoza, Argentina	78
8. Závěr a diskuze	80
Seznam použitých zdrojů	81
Seznam použitých příloh	85
Přílohy	86

Seznam obrázků

Obr. 1: Elektromagnetické spektrum	13
Obr. 2: Stavba lidského oka	14
Obr. 3: Spektrální rozsah a absolutní světelná účinnost fotopického a skotopického vidění.....	14
Obr. 4: Graf znázorňující jas oblohy při soumraku	16
Obr. 5: Délka dne a noci v závislosti na roční době v ČR	16
Obr. 6: Zodiakální světlo	18
Obr. 7: Polární záře v Jizerských horách	19
Obr. 8: Barvy airglow v různých výškách nad povrchem Země	20
Obr. 9: Ukázky nevhodného svícení	21
Obr. 10: Zvýšení jasu noční oblohy v případě použití bílých LED	22
Obr. 11: Umělý jas noční oblohy nad Českou republikou s vyznačenými oblastmi tmavé oblohy	27
Obr. 12: Ukázka mapky IMO (obrazec č. 16) s převodní tabulkou k určení MHV	30
Obr. 13: přístroj SQM-L	33
Obr. 14: Spektrální citlivost SQM	34
Obr. 15: Snímek celooblohové fotosestavy umožňující měření jasu oblohy	36
Obr. 16: Barevná stupnice jasových map z programu Raw2Lum.....	36
Obr. 17: Ukázka práce s linuxovým terminálem	37
Obr. 18: Ukázka celooblohových snímků pořízených na lokalitách s různým jasnem oblohy	38
Obr. 19: Noční Česká republika na snímku z přístroje VIIRS	39
Obr. 20: Ukázka z publikace The new word atlas of artificial night sky brightness	40
Obr. 21: Mapa s vyznačenými měřicími lokalitami	42
Obr. 22: Celooblohový snímek pořízený na Rozdrože Izerskie 27. 9. 2014.....	45
Obr. 23: Celooblohový snímek pořízený na Rozdrože Izerskie 7. 2. 2014.....	46
Obr. 24: Celooblohový snímek pořízený na Rozdrože Izerskie 1. 1. 2017.....	47
Obr. 25: Celooblohový snímek pořízený na Jizerce 27. 9. 2014.....	50
Obr. 26: Celooblohový snímek pořízený na Jizerce 1. 1. 2017	51
Obr. 27: Celooblohový snímek pořízený v lomu Stanislaw 27. 9. 2014	54
Obr. 28: Celooblohový snímek pořízený v lomu Stanislaw 29. 10. 2014	55
Obr. 29: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Dolní Řasnice – odbočka 7. 2. 2016.....	57
Obr. 30: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Jítrava 28. 9. 2014.....	59
Obr. 31: Celooblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 28. 9. 2014.....	61
Obr. 32: Celooblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 6. 2. 2016.....	62
Obr. 33: Celooblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 7. 2. 2016.....	63

Obr. 34: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Jindřichovice p. S. 17. 11. 2014	65
Obr. 35: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Jindřichovice p. S. 7. 2. 2016	66
Obr. 36: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 6. 2. 2016	68
Obr. 37: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 6. 2. 2016	69
Obr. 38: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 1. 1. 2017	70
Obr. 39: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice 27. 9. 2014.....	72
Obr. 40: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice 6. 2. 2016.....	73
Obr. 41: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice 1. 1. 2017.....	74
Obr. 42: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Bezvěrov - Žernovník 7. 9. 2013	77
Obr. 43: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Los Leones 17. 11. 2015	79

Seznam tabulek

Tab. 1: Mezní hvězdná velikost a přibližný jas oblohy	29
Tab. 2: Statistika měření s SQM na Rozdrože Izerskie.....	43
Tab. 3: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Rozdrože Izerskie	44
Tab. 4: Statistika měření s SQM na Jizerce.....	48
Tab. 5: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jizerka	49
Tab. 6: Statistika měření s SQM v lokalitě Lom Stanislaw	52
Tab. 7: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Lom Stanislaw	53
Tab. 8: Statistika měření s SQM v lokalitě Dolní Řasnice – odbočka.....	56
Tab. 9: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Dolní Řasnice.....	56
Tab. 10: Statistika měření s SQM v lokalitě Jítrava.....	58
Tab. 11: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jítrava.....	58
Tab. 12: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Albrechtický kopec.....	60
Tab. 13: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jindřichovice p. S.	64
Tab. 14: Významné zdroje umělého osvětlení pro lokalitu Bulovský kopec	67
Tab. 15: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Horní Řasnice	71
Tab. 16: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro Bezvěrov – Žernovník	76

Seznam zkratek

BOTO - Beskydská oblast tmavé oblohy

CCD - Charge-coupled device

DMSP - Defense Meteorological Satellite Program

DPZ - Dálkový průzkum Země

DSLR - Digital single-lens reflex camera, digitální jednooká zrcadlovka

IDA - International Dark-Sky Association

IMO - International Meteor Organization

JOTO - Jizerská oblast tmavé oblohy

LED - Light-Emitting diode

Mag - Magnituda

MHV - Mezní hvězdná velikost

MOTO - Manětínská oblast tmavé oblohy

MSA - Magnitude per square arcsecond, magnituda na čtvereční úhlovou vteřinu

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

NPS - National Park Service

OLS - Operational Linescan System

SQM - Sky Quality Meter

Suomi NPP - Suomi National Polar-Orbiting Partnership

ULOR - Upward light output ratio, podíl světla do horního poloprostoru

VIIRS - Visible Infrared Imaging Radiometer

1. Úvod

Již od vzniku Země se na jejím povrchu periodicky střídá den a noc. Mnoho organismů, včetně člověka, se těmto periodickým změnám přizpůsobilo, jejich aktivita se odehrává v tzv. cirkadiánním rytmu, který trvá přibližně 24 hodin. Od začátku 19. století se v ulicích měst začalo objevovat veřejné osvětlení. Zpočátku to byly plynové lampy, v 80. letech 19. století se k tomu přidává elektrické osvětlení. Člověk začal s čím dál větší mírou měnit noc v den.

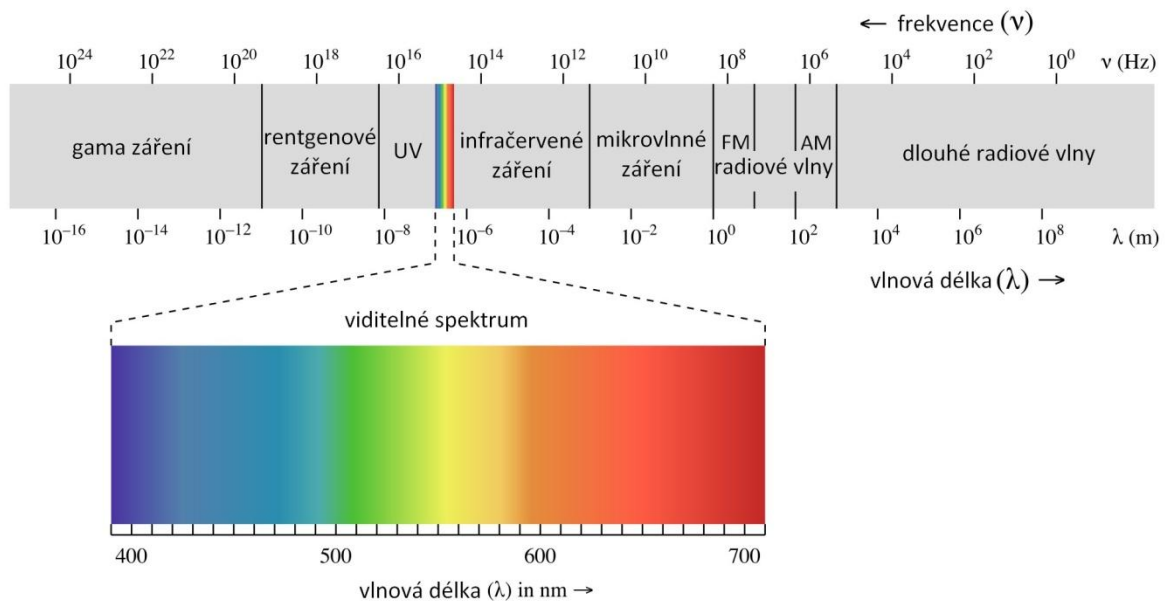
Umělé, člověkem vyrobené, světlo má kromě pozitivních vlastností, např. osvětlení chodníku a vozovky, i negativní důsledky. V noci má umělé světlo vliv na lidské zdraví, ovlivňuje fyziologické pochody rostlin a živočichů. Dalším negativním důsledkem umělých světelných zdrojů je zvýšený jas noční oblohy, který vzniká rozptylem světla v zemské atmosféře. To ztěžuje astronomická pozorování a znemožňuje tak spatření slabších objektů vzdáleného vesmíru. Všechny tyto negativní vlastnosti můžeme shrnout pod pojmem světelné znečištění.

V posledních desítkách let vedl nárůst umělého nočního osvětlení k tomu, že světelné znečištění se stalo globálním problémem. Zdaleka nejde jen o zdraví lidí a vliv na faunu a flóru. Nemalá část světla je vysvícena do nežádoucích směrů a jde tak o zbytečně vyplývanou energii, která stojí nemalé finanční částky. Problematika světelného znečištění je bohužel často opomíjeným tématem. Řada obcí, měst a jiných provozovatelů nočního osvětlení při stavbě či rekonstrukci osvětlení nezřídka sahá po ne vždy vhodném řešení. Často je tomu tak z neznalosti problematiky světelného znečištění.

V hustě osídlené střední Evropě již neexistuje přírodně tmavá noční obloha, rozptýlené světlo z měst ovlivňuje jas oblohy i na desítky kilometrů daleko. I nad odlehlejšími oblastmi České republiky, např. na Šumavě, lze spatřit projevy světelného znečištění, které omezují astronomická pozorování. Na místech, kde je noční životní prostředí ještě přírodní nebo přírodě blízké, jsou u nás i ve světě zakládány parky a oblasti tmavé oblohy. Jejich účelem je ochrana nočního životního prostředí, zachování noční hvězdné oblohy a osvěta k problematice světelného znečištění mezi veřejností.

2. Světlo a jeho vnímání

Světlo, též viditelné světlo, je část elektromagnetického záření, na které je citlivá sítnice lidského oka a vyvolává zrakový vjem. Rozsah vlnových délek, které je lidské oko schopné vnímat, je individuální. Obvykle je v mezích zhruba od 380 nm do 760 nm. Zemská atmosféra je pro viditelné světlo propustná (Klezcsek 2002).



Obr. 1: Elektromagnetické spektrum. Viditelné světlo je pouze malý úsek z celého elektromagnetického záření.

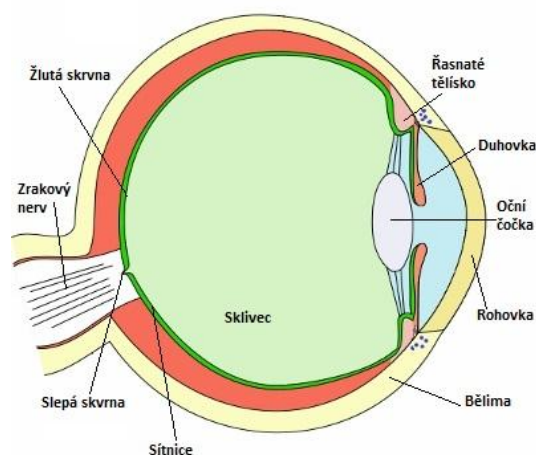
Zdroj: převzato z Wikimedia Commons, autor: Philip Ronan

2.1 Lidské oko

Lidské oko je specializovaný orgán, který umožňuje vnímat světlo. Oko je složeno z několika částí. Vepředu se nachází rohovka, dále světlo prochází duhovkou. Za ní je zornička, která propustí usměrněný svazek světla. Průměr zorničky je variabilní podle intenzity světla (2 - 6 mm), za nižšího osvětlení se zornička rozšiřuje (propustí více světla). S přibývajícím věkem se maximální průměr zorničky snižuje. Za zorničkou leží čočka, která ohýbá světlo, které dále prochází sklivcem a dopadá na sítnici. Sítnice je tvořena buňkami, které jsou citlivé na světlo (tyčinky a čípky), ty obstarávají zrakový vjem (Reichl 2017).

Rozložení čípků a tyčinek v oku není rovnoměrné, uprostřed oka se nachází tzv. slepá skvrna (vývod zrakového nervu z oka), zde se tyčinky ani čípky nevyskytují. Naopak v tzv. žluté skvrně je hustota čípků největší. V lidském oku je zhruba 6 milionů čípků a za dostatečného osvětlení zprostředkovávají

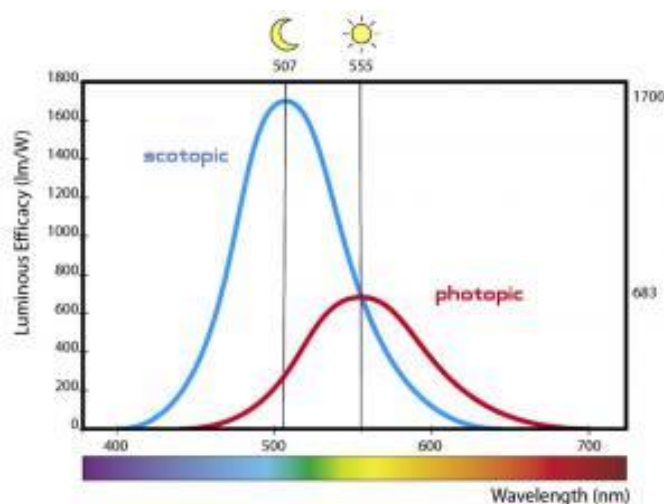
barevné vidění. Tyčinek je v oku okolo 120 milionů a jejich funkce nastává za šera či tmy. Tyčinky jsou citlivější než čípky, ale poskytují pouze černobílé vidění (Narisada, Scheuder 2004).



Obr. 2: Stavba lidského oka

Zdroj: převzato z Wikimedia Commons, autor Talos

Čípky a tyčinky mají různou spektrální citlivost. Čípky, které fungují pouze za vyššího osvětlení, mají maximum citlivosti na vlnové délce zhruba 555 nm, tzv. fotopické vidění. Tyčinky, které se uplatňují za šera či plné tmy mají maximum citlivosti na vlnové délce okolo 507 nm, tzv. skotopické vidění. Mezi fotopickým a skotopickým viděním je přechod, který se nazývá mezopické vidění. Při mezopickém vidění se uplatňují jak tyčinky, tak i čípky podle úrovně osvětlení (Narisada, Scheuder 2004).



Obr. 3: Spektrální rozsah a absolutní světelná účinnost fotopického (červená křivka) a skotopického (modrá křivka) vidění.

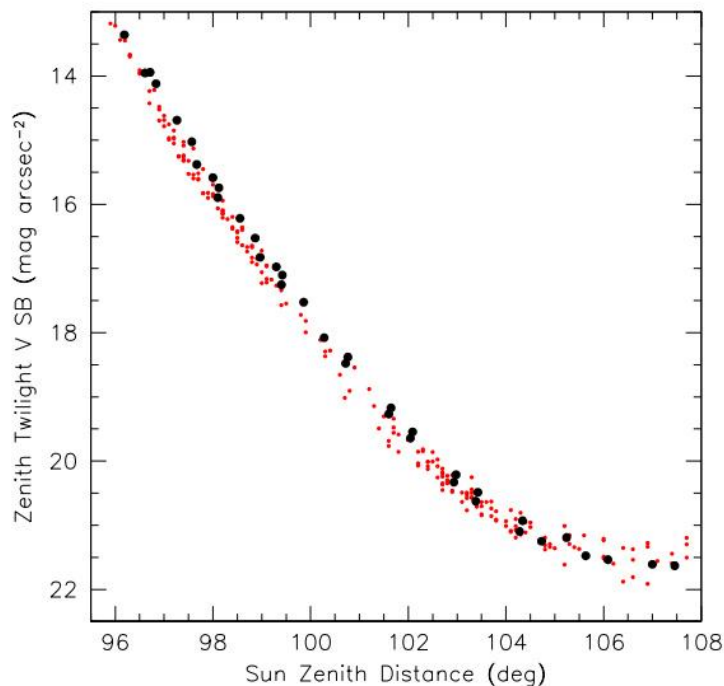
Zdroj: převzato z prismaenceuk.com

3. Jas noční oblohy

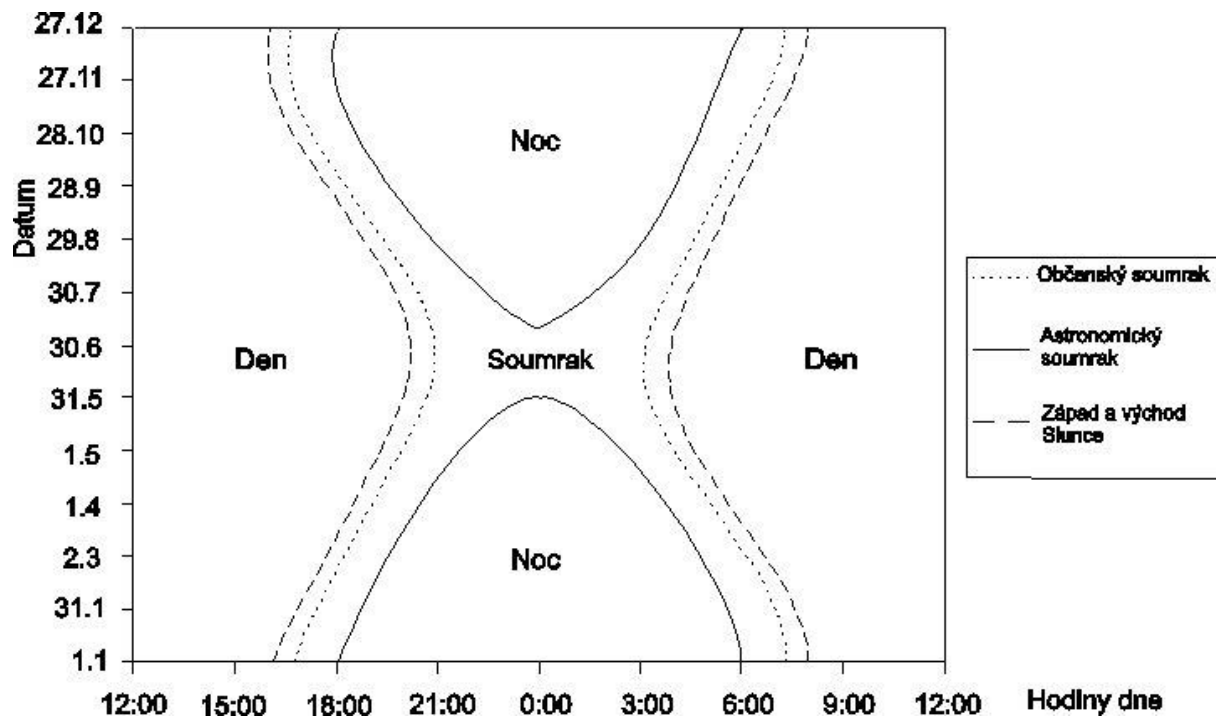
Jas je fyzikální veličina, která nám dává informaci o svítivosti určitého plošného zdroje (svítivost vztažena na jednotku plochy, Kleczek 2002). Základní jednotkou je kandela na m^2 (cd/m^2). Základní jednotkou svítivosti je kandela (cd) a jas je tedy vyjadřován v kandelách na m^2 (cd/m^2) (Reichl 2017). V astronomii se na měření plošných zdrojů využívá jednotka magnituda na úhlovou čtvereční vteřinu (MSA, angl. magnitude per square arcsecond). Převodní vztah mezi kandelou na m^2 a MSA je následující: $cd/m^2 = 10.8 \times 10^4 \times 10^{(-0.4 * [MSA])}$ (unihedron.com). Jas noční oblohy je často uváděn ve fotometrickém oboru V s maximem na vlnové délce okolo 550 nm (Cinzano 2001).

Magnituda je logaritmická jednotka, rozdíl jasu jedné magnitudy odpovídá poměru 2,512 : 1 (van Zyl 1996). To vychází z psychofyzikálního Weber-Fechnerova zákona, který říká, že dochází-li ke změnám fyzikálních podnětů geometrickou řadou, naše smysly tyto podněty vnímají aritmetickou řadou (Reichl 2017). Tento poznatek využil v roce 1854 britský astronom N. R. Pogson a stanovil poměr jasností tak, aby mezi objekty, lišící se o 5 magnitud, byl vzájemný poměr jasnosti 1 : 100. U magnitud platí, že čím vyšší je hodnota, tím je jas menší a naopak čím nižší hodnota, tím vyšší jas (van Zyl 1996).

Přes den, za jasného počasí, je obloha modrá. To je způsobeno Rayleighovým rozptylem slunečního světla na molekulách vzduchu, v zemské atmosféře se rozptyluje více světlo kratších vlnových délek (Kleczek 2002). Množství rozptýleného světla na denní obloze je tak velké, že přes den nelze vidět hvězdy. Když Slunce zapadne, nastane období soumraku a obloha začne pozvolna tmavnout, viz *obr. 4*, v astronomii se rozlišují tři druhy soumraků. Občanský soumrak nastává, když je Slunce pod obzorem $0 - 6^\circ$, v tuto dobu je obloha ještě dosti světlá, lze vykonávat běžné denní činnosti. Po občanském soumraku následuje soumrak nautický. Ten je definován pro situaci, když je Slunce $6 - 12^\circ$ pod obzorem, obloha již je potemnělá, jsou vidět jasné hvězdy. Při výšce Slunce $12 - 18^\circ$ pod obzorem je astronomický soumrak, jas oblohy je již natolik nízký, že lze vykonávat některá astronomická pozorování. Když Slunce klesne více jak 18° pod obzor, nastává astronomická noc. To je doba, kdy Slunce již neosvětluje zemskou atmosféru a lze tak nerušeně sledovat slabé objekty na noční obloze (Kleczek 2002). Před východem Slunce nastávají soumraky v opačném pořadí. V České republice nenastává astronomická noc kolem letního slunovratu (přibližně od začátku června do poloviny července v závislosti na zeměpisné šířce).



Obr. 4: Graf znázorňující jas oblohy při soumraku. Na vodorovné ose je zenitový úhel Slunce, na vertikální ose je jas oblohy v MSA. Červené body jsou měření z Paranalu (Chile), černé body pocházejí z Krymské astrofyzikální observatoře (Rusko). Jas byl měřen ve fotometrickém oboru V. Zdroj: převzato z Patat et al. 2006



Obr. 5: Délka dne a noci v závislosti na roční době v ČR. Okolo letního slunovratu u nás astronomická noc nenastává.

Zdroj: převzato z Brázdil 1988

Noční obloha není nikdy zcela temná, existuje několik přirozených zdrojů, které přispívají k v jas oblohy během noci (Patat et al. 2006). Kromě přírodních zdrojů jsou zde i umělé světelné zdroje vyrobené člověkem. Vlivem rozptylu světla v ovzduší tyto umělé světelné zdroje mohou velmi významně zvýšit jas noční oblohy. Děje se tak především v oblastech s velmi vysokou hustotou osídlení. Uměle zvýšený jas nočního nebe pak ztěžuje či znemožňuje spatření slabých vesmírných objektů.

Jas přírodní noční oblohy, bez vlivu světelného znečištění a svitu Měsíce, může dosáhnout hodnoty až 22,0 MSA (hodnota v okolí zenitu) (Falchi et al. 2016). Hodnota jasu přírodní oblohy je však variabilní v závislosti na atmosférických podmínkách a dalších jevech, jako je Mléčná dráha, airglow (přirozené záření atmosféry, viz kapitola 3.1.5) či zodiakální světlo (viz kapitola 3.1.2). Zenitový jas přírodně tmavé oblohy se všemi přirozenými vlivy (bez Měsíce) se může tedy pohybovat zhruba od 21,5 - 21,6 MSA do 22,0 MSA (Narisada, Scheuder 2004). S přibývajícím blízkostí lidských sídel (větší koncentrace umělého osvětlení) začíná jas noční oblohy významně narůstat. V hustě osídlené střední Evropě již prakticky nenalezneme místo, kde by se nacházela zcela přirozeně tmavá noční obloha, a to i v odlehlejších oblastech. Jas oblohy se, v závislosti na atmosférických podmínkách a vzdálenostech od zdrojů umělého osvětlení, pohybuje zhruba od 21,5 MSA (téměř přírodní obloha) až do 17,0 MSA v některých případech i méně (noční obloha uprostřed velkoměst) (Narisada, Scheuder 2004).

3.1 Přirozené zdroje jasu noční oblohy

Ani na nejdlehljších lokalitách mimo lidskou civilizaci nespatříme zcela černou noční oblohu. Nejvýraznějším přirozeným zdrojem jasu noční oblohy je Měsíc. Mezi kosmické vlivy můžeme zařadit sluneční světlo rozptýlené na meziplanetárním prachu (zodiakální světlo), Mléčnou dráhu a hvězdy, které svým svitem přispívají také do jasu oblohy. Dalším zdrojem jasu noční oblohy je zemská atmosféra. Díky interakcím s elektricky nabitými částicemi ze Slunce vznikají atmosférické jevy - polární záře a airglow, které také září ve vlnových délkách viditelného světla.

3.1.1 Měsíc

Měsíc je jedinou přirozenou družicí Země, která obíhá kolem ní jednou za 29,5 dne. Měsíc vidíme díky tomu, že odráží sluneční světlo. Během oběhu kolem Země střídá Měsíc fáze podle toho, z jakého úhlu je osvětlen Sluncem. Měsíc v úplňku dokáže zvýšit jas noční oblohy i více než třicetinasobně oproti stavu, kdy je Měsíc pod obzorem. To však platí pro lokality, které nejsou světelným znečištěním ovlivněny, nebo jsou ovlivněny jen v malé míře. Jas přírodní oblohy osvětlené

Měsícem v první čtvrti je okolo 20,7 MSA, při Měsíci v úplňku je jas oblohy přibližně 18,0 - 18,5 MSA (tng.iac.es, gemini.edu).

3.1.2 Zodiakální světlo

Zodiakální, též zvířetníkové světlo je sluneční světlo odražené na drobných prachových částicích o velikosti řádově jednotky až desítky mikrometrů rozprostřené v naší Sluneční soustavě (Mann 1998). Ze Země je viditelné jako slabý kužel světla, který vede rovinou ekliptiky (rovinou oběhu planet kolem Slunce). Nejjasnější je směrem ke Slunci a slábne s rostoucí úhlovou vzdáleností od Slunce. Jasnost mírně stoupá pár úhlových stupňů kolem tzv. antisolárního bodu, tedy bodu na opačné straně oblohy, než se nachází Slunce (tzv. protisvit). Zjasnění zodiakálního světla v antisolárním bodu vzniká zpětným rozptylem světla (Benn, Ellison 2007).

Zodiakální světlo lze z našich zeměpisných šířek (střední Evropa) pozorovat nejlépe v době, kdy ekliptika svírá co největší úhel vůči obzoru. Nejlepší období nastávají na jaře kolem rovnodennosti večer po soumraku, nebo na podzim kolem rovnodennosti těsně před svítáním (Horálek 2008). Velmi slabé světlo protisvitu se nejlépe pozoruje, pokud je vysoko nad obzorem a nepromítá se do směru, ve kterém leží Mléčná dráha (tedy na jaře a na podzim).

K viditelnosti slabého zodiakálního světla je potřeba relativně tmavá, bezměsíčná obloha. V osvětlených městech či jejich blízkosti se slabé zodiakální světlo snadno ztratí v záři rozptýleného světla z umělých zdrojů. Viditelnost zodiakálního světla je popsána v kapitole 5.2.



Obr. 6: Zodiakální světlo je na tomto snímku viditelné jako kužel světla vpravo i vlevo u obzoru, které dále pokračuje, a uprostřed snímku je zjasnění, tzv. protisvit. Na snímku je také viditelná strukturovaná Mléčná dráha.

Zdroj: Petr Horálek, poskytnuto autorem

3.1.3 Mléčná dráha, hvězdy, planety

Za astronomické noci je obloha výrazně tmavší než ve dne, Slunce je hluboko pod obzorem a jeho světlo se již nerozptyluje v zemské atmosféře. Podobně jako světlo ze Slunce je v zemské atmosféře

rozptylováno světlo z hvězd a planet, které jsou na noční obloze viditelné. Opět platí, že kratší vlnové délky se na molekulách vzduchu rozptylují více. Tento příspěvek do jasu je však velmi malý (Lodriguss 2017).

Samotné hvězdy a Mléčná dráha a planety jsou zdrojem jasu oblohy. Jas noční oblohy se může měnit v závislosti na viditelnosti Mléčné dráhy (Lodriguss 2017). Nejjasnější partie Mléčné dráhy jsou ze střeoevropských zeměpisných šířek viditelné na letní obloze, naopak Mléčná dráha není viditelná na jarní obloze.

3.1.4 Polární záře

Polární záře je světelný úkaz, který vzniká ve velmi vysokých výškách v zemské atmosféře. Spodní hranice polárních září je okolo 100 km, horní hranice až 1000 km nad zemským povrchem. Polární záře se vyskytují současně okolo jižního i severního pólu Země. Příčinou vzniku jsou nabitě částice ze Slunce, které jsou zachyceny zemskou magnetosférou a podél siločar padají do polárních oblastí. Tam budí atomy vzduchu (kyslík a dusík) k záření. Polární záře může být červená (atomy kyslíku ve výškách nad 200 km), modře září dusík (100 – 200 km), zeleně pak kyslík (100 – 200 km). V době zvýšené sluneční aktivity se mohou polární záře výjimečně vyskytnout i v zeměpisných šířkách střední Evropy (Kleczek 2002). Polární záře mohou svým zářením významně přispět do jasu noční oblohy.



Obr. 7: Polární záře v Jizerských horách

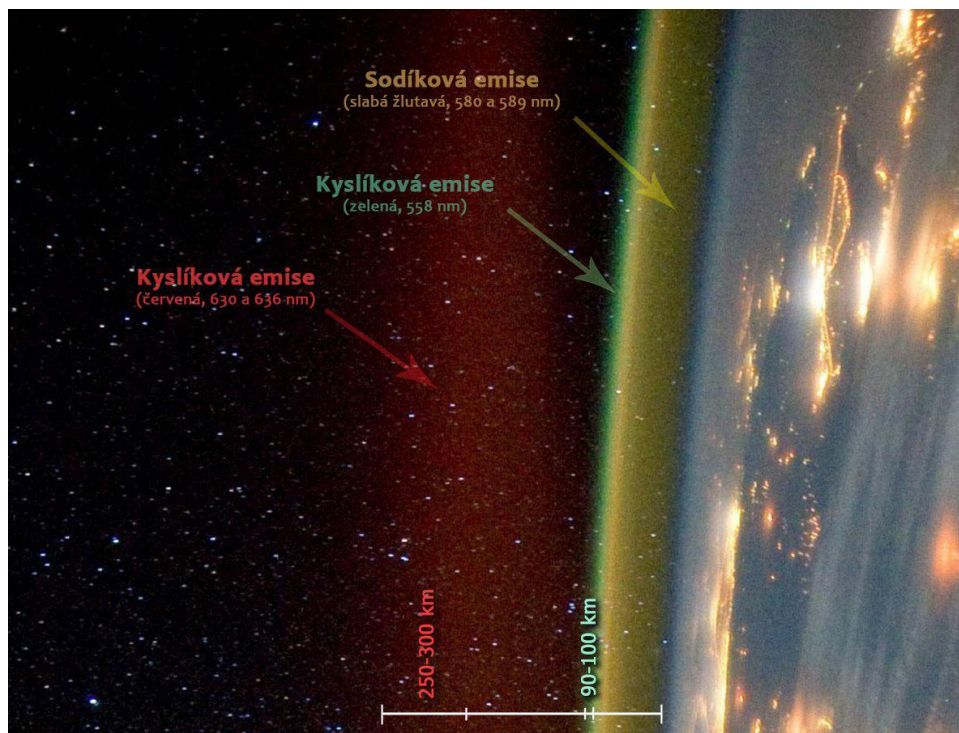
Zdroj: vlastní snímek

3.1.5 Airglow

Airglow je přirozené, slabé záření atmosféry, které podobně jako polární záře, vzniká interakcí nabitých částic ze Slunce s částicemi zemské atmosféry. Hlavní příčinou je reakce atomů a molekul vzduchu se slunečním ultrafialovým zářením. Další příčinou je tzv. chemiluminiscence, při chemických

reakcích vysoko v atmosféře se vyzáří energie. Airglow může zářit na vlnové délce 630 nm (červené airglow) a je způsobeno složitými chemickými reakcemi ve výškách okolo 270 km. Airglow také září na vlnové délce 558 nm (zelené airglow) a jeho původ je v emisi neutrálního kyslíku ve výšce zhruba 100 km nad zemským povrchem. Dále se můžeme setkat se zářením atmosféry na vlnové délce 589 nm pocházející z emise sodíku (žlutooranžové airglow) ve výšce přibližně 90 km nad zemí (Noll et al. 2012).

Obvykle je tento jev velmi slabý a v místech s vyšším jasnem oblohy způsobeným umělými zdroji světla není viditelný. Výjimečně může být airglow velmi jasné, takovým příkladem může být jeho výskyt nad střední Evropou v noci 29. 11. 2016. Průměrný jas oblohy na Edelweisspitze (2571 m n. m.) v rakouských Alpách je okolo 21,50 MSA, v důsledku zvýšené aktivity airglow byl v této noci zenitový jas oblohy pouze okolo 21,30 MSA (Gembec 2016).



Obr. 8: Barvy airglow v různých výškách nad povrchem Země. Snímek byl pořízen z paluby ISS.
Zdroj: NASA, převzato z astro.cz

3.2 Umělé zdroje jasu noční oblohy

Do umělých zdrojů, které přispívají do jasu noční oblohy, můžeme zařadit veřejné osvětlení, osvětlení soukromých objektů jako jsou např. průmyslové zóny, nákupní centra, čerpací stanice, sklady. Dále osvětlení billboardů, budov (památky, nebo jinak význačné budovy), sportovních areálů apod. a světlo unikající z interiérů budov.

3.2.1 Světelné znečištění

Pojem světelné znečištění (*anglicky light pollution*) není striktně definován, ale lze jej charakterizovat jako soubor všech nežádoucích jevů, které provázejí umělé venkovní osvětlení (svetelneznecesteni.cz). Ve světelné technice se využívá alternativního označení „rušivé světlo“ (Maixner 2005). Nejvíce světelného znečištění je v místech s vysokou hustotou osídlení a vysokou životní úrovní (Falchi 2016). Kromě vlivu na jas noční oblohy má světelné znečištění dopady na životní prostředí, zdraví lidí, bezpečnost na ulicích a také na ekonomiku (Narisada, Scheuder 2004).

V již neplatném zákoně o ochraně ovzduší 86/2002 Sb. (§2 odst. 1, písm. r, novela z roku 2004) bylo světelné znečištění 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 směřováno*“. Tento zákon byl nahrazen novým zákonem 201/2012 Sb., který světelné znečištění nezmiňuje. V současné době není v České republice žádný právní předpis, který by se světelným znečištěním zabýval v komplexní šíři problémů.

Světelné znečištění vzniká přímo, např. lampy veřejného či soukromého osvětlení svítící přímo do oken bytů, či do oblohy. Směrem na oblohu velmi často svítí reklamní osvětlení, osvětlení významných budov. Nepřímý vznik světelného znečištění způsobuje každé svítidlo, např. odrazem světla od plochy, kterou je žádoucí osvětlit (chodník, vozovka apod.).



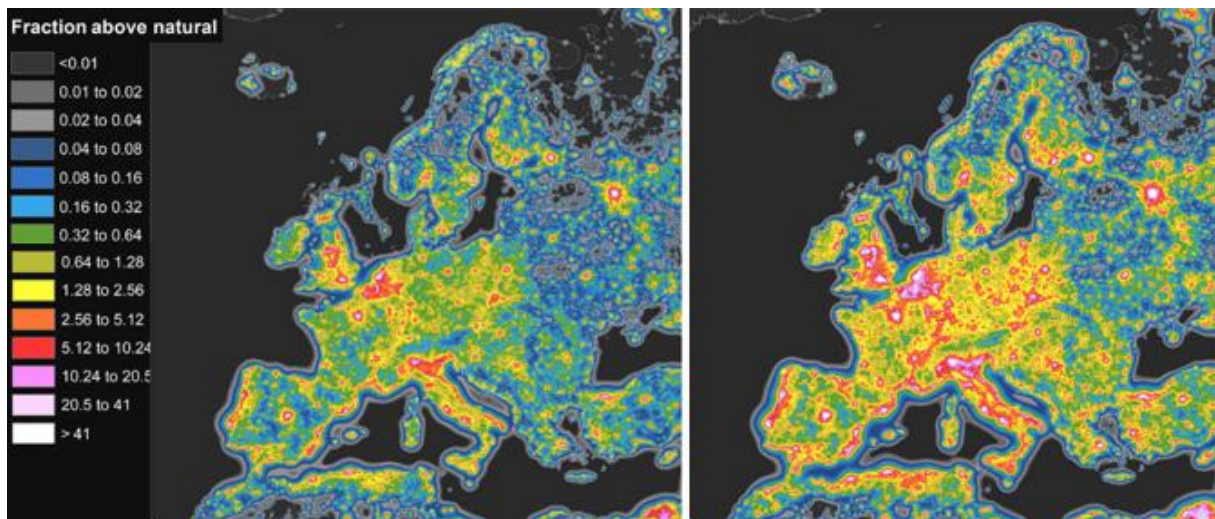
Obr. 9: Ukázky nevhodného svícení. Snímek vlevo ukazuje lampu veřejného osvětlení svítící obyvatelům do oken až do úrovně prvního patra, zároveň je vozovka zbytečně silně přesvětlena bílým světlem. Vpravo světlomet z diskotéky mířící do oblohy.

Zdroj: vlastní snímky

3.2.2 Typy svítidel a barva světla

Mezi nejběžnější typy svítidel ve venkovním osvětlení patří vysokotlaké sodíkové výbojky, se kterými se můžeme setkat především u veřejného osvětlení na ulicích. Ta vydávají typické oranžové světlo o teplotě chromatičnosti okolo 2000 K. Teplota chromatičnosti (též barevná teplota) je veličina, která charakterizuje odstín světla. Vyšší hodnoty značí studenější odstíny, nižší naopak teplejší. K osvětlování venkovních prostor se dále využívají nízkotlaké sodíkové výbojky, které mají teplotu chromatičnosti 1700 K, halogenidové výbojky (2800 – 4000 K), rtuťové výbojky (3000 – 4000 K) a LED. LED zdroje mohou mít široký rozsah teplot chromatičnosti (běžně od 2700 do 8000 K) (Luginbuhl et al. 2014). Od rtuťových a nízkotlakých sodíkových výbojek je postupně upouštěno, naopak na vzestupu jsou LED svítidla.

Barva světla hraje u jasu noční oblohy velký vliv. Falchi (2016) ve své práci srovnává současnou situaci s modelem, jak by to vypadalo, kdyby všechny lampy byly vyměněny za bílá LED svítidla s teplotou chromatičnosti 4000 K při zachování stejného světelného toku. Jas oblohy je z bílých LED zdrojů až 4× vyšší než z běžných vysokotlakých sodíkových svítidel (Luginbuhl et al. 2014). Bílá LED svítidla mají maximum vyzařování v modré oblasti. Modré světlo se v ovzduší nejvíce rozptyluje a skotopické (noční) vidění lidského zraku je na modrou složku světla nejcitlivější. Bílá LED svítidla z tohoto důvodu způsobí více světelného znečištění než běžná sodíková výbojka o stejném světelném toku (Luginbuhl et al. 2014).



Obr. 10: Zvýšení jasu noční oblohy (vpravo) v případě použití bílých LED o teplotě chromatičnosti 4000 K oproti současnému stavu (vlevo). Jas je vyjádřen v poměru k přírodnímu jasu.

Zdroj: převzato z Falchi et al. 2016

Mezi obecné zásady pro omezení vzniku světelného znečištění patří použití vhodných svítidel, která osvětlí pouze vymezený prostor (např. chodník, vozovka). Zcela nevhodná jsou svítidla typu „koule“.

Svítidla by neměla svítit do oken bytů. Důležitou charakteristikou svítidel je ULOR (upward light output ratio), které říká, kolik procent světelného toku je vyzařováno nad horizontální rovinu (Sokanský et al. 2011). Pro snížení světelného znečištění je doporučováno, aby ULOR bylo nižší, než 1 %. Osvětlení budov (např. památek) by mělo být v době nočního klidu vypnuto. Nejsou doporučovány zdroje s vysokou teplotou chromatičnosti, zvláště v obytné zástavbě a v chráněných oblastech. Doporučená teplota chromatičnosti je pod 3000 K (svetelneznecistení.cz).

3.3 Vliv umělého osvětlení na organismy

Život na Zemi se vyvíjel po miliardy let, kdy se střídal den s nocí. Tomuto střídání se přizpůsobila řada živočichů a rostlin, navíc mnoho živočichů je aktivních v noci. Mnoha studiemi bylo prokázáno, že umělé osvětlení má vliv nejen na člověka, ale i na faunu a flóru.

3.3.1 Vliv umělého osvětlení na člověka

Lidský organismus je uzpůsoben pravidelnému cyklu o délce přibližně 24 hodin (tzv. cirkadiánní rytmus). Součástí cyklu je spánek, který je nutný pro regeneraci nervového systému. Umělé osvětlení může významně narušovat cirkadiánní rytmus (Rich, Longcore 2006). Důsledkem narušení rytmu mohou být poruchy spánku, deprese, cukrovka či nárůst obezity (Stevens, Zhu 2015).

S cirkadiánním rytmem souvisí tvorba hormonu melatoninu. Ten se tvoří převážně za tmy, tvorba je nejvíce narušována modrým světlem o vlnové délce 440 - 500 nm. Hormon melatonin je důležitý, má protirakovinné účinky a jeho nedostatek je dáván do souvislosti se zvýšeným výskytem některých druhů rakoviny (Stevens, Zhu 2015).

3.3.2 Vliv umělého osvětlení na faunu a flóru

Hmyz patří mezi živočichy, které jsou nejvíce ovlivňovány umělými zdroji osvětlení. Hmyz je obecně více přitahován svítidly s větším podílem modré složky. Noční hmyz pak létá kolem svítidla, dokud nezemře vyčerpáním, nebo se stane snadnou kořistí predátorů (netopýři). Hmyz je důležitou součástí potravního řetězce, umělé osvětlení může potravní řetězce významně narušovat (Narisada, Schreuder 2004).

Umělé osvětlení má vliv na reprodukční chování u některých druhů ptáků. Dále dochází k dřívějšímu kladení vajíček, což může mít vliv na zdraví mláďat. Umělé osvětlení může snížit schopnost orientace, jsou popsány případy dezorientace či úmrtí ptáků u výrazných světelných zdrojů (Rich, Longcore 2006). Kromě ptáků se podle světla také orientují např. čerstvě vylíhnuté želvy. V pobřežních

oblastech s výskytem umělých světelných zdrojů tyto želvy zamíří směrem ke světelnému zdroji, kde jim hrozí uhynutí (Thums et al. 2016).

U rostlin má umělé osvětlení vliv na fotosyntézu, nejvíce pak svítidla s velkým podílem modré složky (Rich, Longcore 2006), např. bílé LED. Vliv se může projevit opožděným shozením listů, zrychleným růstem větví, druhým kvetením na podzim (Narisada, Schreuder 2004).

4. Oblasti tmavé oblohy

S rostoucí mírou světelného znečištění se v posledních letech začaly na různých místech světa zakládat rezervace, parky a oblasti, ve kterých je jas oblohy výrazně nižší než ve městech a jejich okolí. Obecným posláním parků, rezervací a oblastí tmavé oblohy je informování široké veřejnosti o problematice světelného znečištění a ochrana nočního životního prostředí.

První oblasti a parky tmavé oblohy začaly vznikat na přelomu 20. a 21. století v USA a Kanadě. Jedním z prvních parků tmavé oblohy se stal Lake Hudson Recreation Area v USA, který byl vyhlášen v roce 1993 (dnr.state.mi.us). Později vznikaly další, např. Torrance Barrens Dark-Sky Preserve (Kanada, založen 1999), McDonald Park Dark-Sky Park (Kanada, založen 2003), Cypress Hills Interprovincial Park Dark-Sky Preserve (Kanada, založen 2004) a později mnoho dalších (IDA 2017).

První parky a oblasti tmavé oblohy v Evropě vznikly v roce 2009 (IDA 2017). Zselic Landscape Protection Area (Maďarsko), Galloway Forest Park (Skotsko) a Jizerská oblast tmavé oblohy (Česká republika - Polsko). Jizerská oblast tmavé oblohy se tímto stala prvním mezinárodním parkem tmavé oblohy na světě.

Umělý jas noční oblohy v různých parcích a oblastech se liší v závislosti na vzdálenosti od měst a jiných umělých světelných zdrojů. Parky v odlehlých oblastech mají stále přírodně tmavé nebe, např. Big Bend National Park v USA (National Park Service 2017), nebo Grasslands National Park v Kanadě (Parks Canada 2017). Ale řada parků a oblastí tmavé oblohy již přírodně tmavou oblohu nemají, příkladem mohou být oblasti tmavé oblohy v České republice. I v odlehlejších oblastech hustě osídlené střední Evropy je stále patrný vliv světelného znečištění ze vzdálených měst. V osadě Jizerka v Jizerské oblasti tmavé oblohy dosahuje jas oblohy v průměru hodnot okolo 21,2 – 21,3 MSA (skyquality.cz). V nejdlehlějších částech Manětínské oblasti (Bezvěrov) se průměrné hodnoty pohybují okolo 21,3 – 21,4 MSA (skyquality.cz).

4.1 Oblasti tmavé oblohy v České republice

V České republice existují v současné době (2017) tři oblasti tmavé oblohy, dvě z nich jsou mezinárodní. První oblastí se stala Jizerská oblast (2009), která je česko-polská. Druhou vyhlášenou oblastí v ČR byla Beskydská (2013), která je též příhraniční, česko-slovenská. Třetí a zatím poslední vyhlášenou oblastí je Manětínská oblast (2014).

4.1.1 Jizerská oblast tmavé oblohy

Jizerská oblast tmavé oblohy (JOTO) byla založena 4. 11. 2009 v rámci Mezinárodního roku astronomie. Iniciativa k založení JOTO přišla z Astronomického ústavu ve Vratislavi (Polsko). Společným memorandem byla oblast vyhlášena třemi českými institucemi (Astronomický ústav AV ČR, v.v.i., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR - Správa CHKO Jizerské hory, Lesy ČR, krajské ředitelství Liberec) a třemi polskými institucemi (Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego, Nadleśnictwo Świeradów Zdrój, Nadleśnictwo Szklarska Poreba) (Sobotka 2009).

JOTO má rozlohu necelých 75 km² a nachází se v téměř neobydlené části Jizerských hor. Hranice oblasti na severu začíná na hoře Smrk, pokračuje na jih přes Vlašský hřbet k Václavíkově studánce, překračuje Jizerské údolí na polské straně přes vrchy Kozi Grzbiet, Wysoka kopa a Stóg Izerski.

Jas oblohy v Jizerské oblasti tmavé oblohy dosahuje hodnot přibližně 21,0 – 21,4 MSA v závislosti na aktuálních podmínkách a vzdálenostech od umělých světelných zdrojů (skyquality.cz).

V rámci Jizerské oblasti tmavé oblohy jsou zde pořádány tradiční akce pro širokou veřejnost – Astronomický den na Jizerce, Astronomický den v Jakuzsicích a další. Na akcích se podílejí astronomické ústavy AV ČR a ve Vratislavi ve spolupráci s Klubem astronomů Liberecka. Cílem těchto akcí je popularizace astronomie a osvěta v problematice světelného znečištění.

4.1.2 Beskydská oblast tmavé oblohy

Beskydská oblast tmavé oblohy (BOTO) se stala druhou oblastí tmavé oblohy v České republice a zároveň je to druhý mezinárodní park tmavé oblohy na světě, část oblasti leží na Slovensku. Byl založen 4. 3. 2013 podepsáním memoranda zakládajícími organizacemi (Česká astronomická společnost, Správa CHKO Beskydy, Lesy ČR, Lesní správa Ostravice, Slovenská astronomická společnost a Správa CHKO Kysuce) (boto.cz).

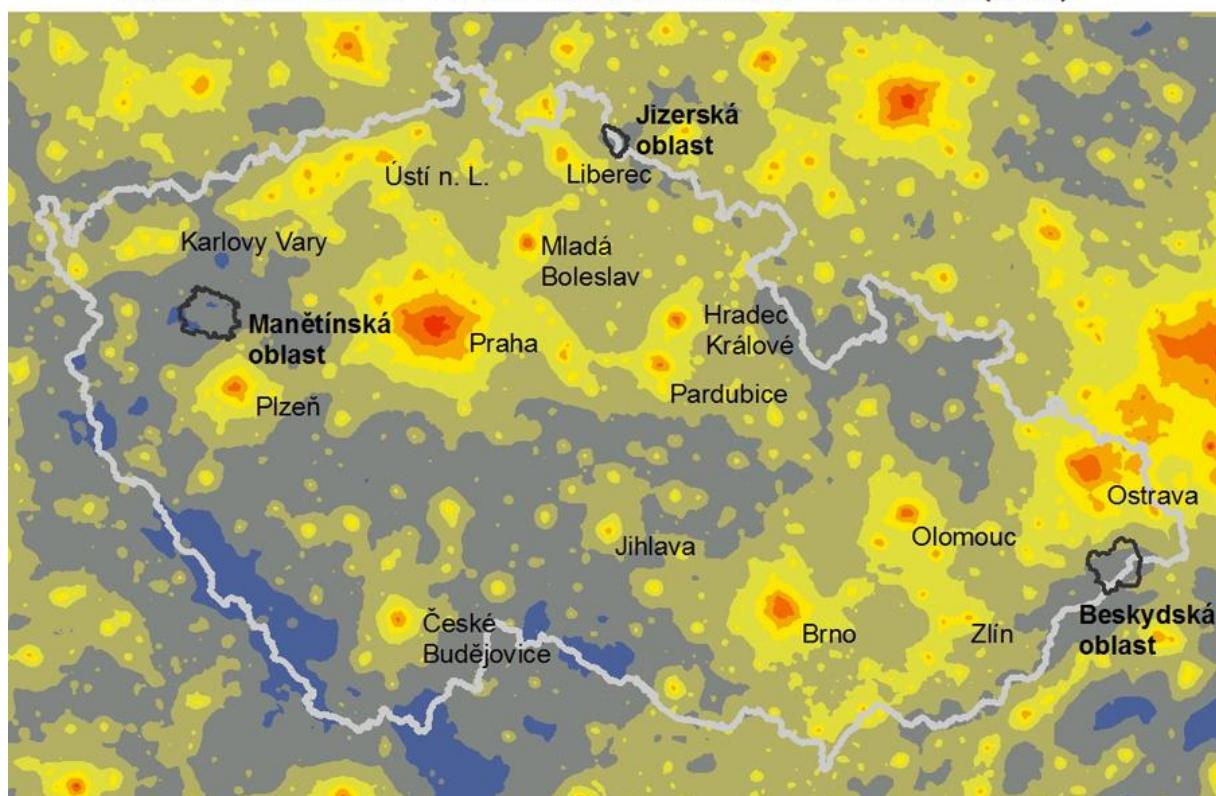
Rozloha oblasti je 308 km², nachází se v Moravskoslezských Beskydech se středem u obce Staré Hamry. Průměrný jas noční oblohy v centru oblasti je okolo 21,25 MSA (skyquality.cz).

4.1.3 Manětínská oblast tmavé oblohy

Manětínská oblast tmavé oblohy (MOTO) se stala třetím parkem tmavé oblohy v České republice, leží v Plzeňském kraji, z malé části zasahuje do kraje Karlovarského. Oblast byla vyhlášena 15. 9. 2014 a memorandum podepsala Česká astronomická společnost a zástupci deseti obcí, na kterých se oblast rozkládá (manetinskatma.cz)

Rozloha oblasti je 346 km², průměrná hustota zalidnění oblasti je 13 obyvatel na km². Díky tomu je zde relativně malá míra světelného znečištění. Kvalita noční oblohy závisí na vzdálenosti od měst a aktuální meteorologické situaci. Průměrný jas noční oblohy v nejtmaší části oblasti se pohybuje okolo 21,30 - 21,35 MSA (skyquality.cz).

UMĚLÝ JAS NOČNÍ OBLOHY NAD ČESKOU REPUBLIKOU (2016)

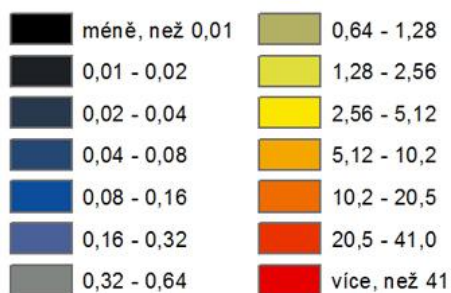


0 50 100 km

— hranice ČR

— hranice oblastí tmavé oblohy

Poměr k přírodnímu jasu



Martin MAŠEK

Katedra geografie, TUL 2017

Zdroje: ArcCR500, The new world atlas of artificial night sky brightness (Falchi et al. 2016)

Použitý software: ESRI ArcGIS 10.0

Souřadnicový systém: S-JTSK Krovak East North

Obr. 11: Umělý jas noční oblohy nad Českou republikou s vyznačenými oblastmi tmavé oblohy

Zdroj: vlastní dílo

5. Měření jasu noční oblohy

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, v astronomii se při měření jasu používá jednotka magnituda na úhlovou čtvereční vteřinu (MSA). Jas je fyzikální fotometrická veličina pro plošné zdroje (Kleczek 2002). Jako fyzikální veličina se dá měřit, popisuje nám, jak je určitá plocha světlá či tmavá. Metod k měření či odhadu jasu noční oblohy existuje více. Od subjektivních odhadů prováděných prostým okem po sofistikované metody za pomoci elektronických zařízení.

Měření jasu oblohy má smysl pouze za bezoblačného počasí (především při fotografickém měření a s přístrojem SQM). Další podmínkou je, aby byla tzv. astronomická noc, tedy Slunce musí být pod obzorem alespoň 18° (Slunce již neosvětluje zemskou atmosféru). Měsíc by měl být taktéž alespoň pár stupňů pod obzorem. Ze stanoviště, ze kterého je měření prováděno, by měl být dostatečný výhled na oblohu horizont. Ve výhledu na oblohu by neměly překážet blízké budovy, skály, stromy či jiné překážky. Případné překážky by neměly být vyšší než $15 - 20^\circ$. Dále je nutné, aby na přístroj dopadalo pouze světlo z oblohy, nikoli světlo z lamp veřejného či soukromého osvětlení, z oken, billboardů apod., které by měření jasu oblohy mohlo negativně ovlivnit (Moudrá 2014).

5.1 Mezní hvězdná velikost

Jednou z možností určení kvality noční oblohy je určení tzv. mezní hvězdné velikosti (MHV), tedy jasnosti té nejslabší hvězdy, kterou můžeme pouhýma očima ještě vidět. Tato metoda nevyžaduje žádný přístroj, postačí pouze pozorovatelův zrak. Tato metoda je do značné míry velmi subjektivní, záleží zde na kvalitě zraku, na věku (s přibývajícím věkem se zornička lidského oka zmenšuje) a na zkušenostech pozorovatele. Dalším problémem této metody je ve stanovení nejslabší viditelné hvězdy (Bareš 2013). Velmi slabé hvězdy lidský zrak nevidí neustále, ale hvězdy problikávají. Čím slabší hvězda, tím méně pozorovacího času ji lidské oko registruje (O'Meara 1991). Je na každém pozorovateli, zda za nejslabší hvězdu považuje tu, kterou vidí bezpečně a nebo tu, kterou registruje jen po zlomek času.

Tab. 1: Mezní hvězdná velikost a přibližný jas oblohy

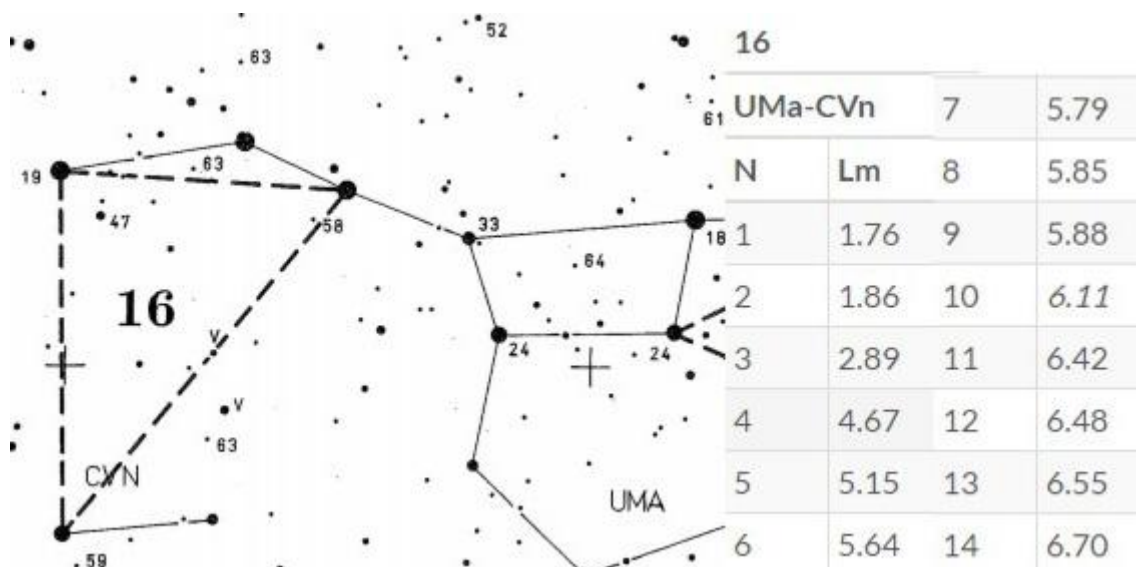
Zdroj: Bareš 2013, vlastní zpracování

MHV	Přibližný jas oblohy
4,0 mag a méně	17,5 MSA a méně
4,5 mag	18,0 MSA
5,0 mag	19,0 MSA
5,5 mag	20,0 MSA
6,0 mag	20,8 MSA
6,5 mag	21,3 MSA
7,0 mag	21,5 MSA
7,5 mag	21,6 MSA
7,5 mag a více	21,7 MSA a více

5.1.1 Určení MHV z obrazců

Metod na určení MHV je více. Jednou z nejrozšířenějších metod je počítání hvězd v předem vymezených obrazcích (trojúhelníkových či čtvercích), které jsou tvořeny jasnými hvězdami. Čím více hvězd pozorovatel v daném obrazci spočte, tím má vyšší MHV. Tuto metodu využívá např. International Meteor Organization (IMO) pro pozorování meteorů. Na webových stránkách této organizace lze nalézt hvězdné mapky a převodní tabulky. Z převodní tabulky se zjistí, jaká MHV odpovídá spočtenému počtu hvězd v daném obrazci.

Tato metoda má své nevýhody. Pozorovatel se může snadno přepočítat, zvláště v obrazcích, kde se nachází vyšší hustota hvězd. Dalším problémem jsou hvězdy, které leží příliš blízko u sebe a oči některých pozorovatelů je nemusí od sebe rozlišit, dvě různé hvězdy vidí jen jako jednu. V obrazcích se nacházejí hvězdy různých barev. Každý člověk má trochu jinak citlivé oči na různé vlnové délky, potíž může nastat především u červených hvězd. Posledním úskalím této metody je fakt, že existují obrazce, kde stačí vidět o jednu hvězdu méně a tím dojde ke skoku v určení MHV o více než 0,5 mag. Je tedy vhodné určit MHV z více obrazců a spočítat její průměrnou hodnotu (Habuda, Kalaš 2009).



Obr. 12: Ukázka mapky IMO (obrazec č. 16) s převodní tabulkou k určení MHV

Zdroj: International meteor organization, převzato z imo.net

5.1.2 Metoda zakreslování hvězd

Další možností, jak určit MHV, je zakreslit si všechny viditelné hvězdy v určité oblasti na obloze a kresbu po pozorování porovnat s hvězdným atlasem, ve kterém jsou uvedeny jasnosti jednotlivých hvězd. Nejslabší hvězda, kterou pozorovatel při pozorování zakreslil, pak reprezentuje MHV (Sherrod 2016).

5.1.3 Přímá metoda určení MHV

Tato metoda je založena na tom, že pozorovatel má předem vytipované větší množství slabších hvězd, ideálně odstupňované po 0,1 mag. Barvy těchto hvězd by měly být modré až bílé vzhledem k tomu, že lidské oko má při skotopickém (nočním) vidění největší citlivost na vlnovou délku okolo 507 nm (modrá část spektra). Pozorovatel se postupně pokouší hledat hvězdy od jasnějších po slabší, nejslabší spatřená hvězda pak reprezentuje MHV. Tato metoda je náročná na velmi dobrou znalost hvězdné oblohy (Habuda, Kalaš 2009).

5.2 Bortleova stupnice

V roce 2001 publikoval v časopise Sky and telescope americký astronom John Bortle stupnici tmavosti oblohy. Podle autora se tato stupnice nazývá Bortleova (anglicky Bortle scale), má devět stupňů - od zcela přírodních lokalit bez vlivu světelného znečištění (stupeň 1), až po centra velkoměst (stupeň 9). K určení Bortleova stupně není potřeba žádný přístroj, pouze oči pozorovatele. Tato stupnice se opírá o viditelnost či neviditelnost určitých objektů a jevů na noční obloze, např. o viditelnost Messierovských objektů. Charles Messier (1730 - 1817) byl francouzský astronom, autor

katalogu 110 mlhavých objektů viditelných na obloze. Nyní je známo, že ve skutečnosti jde o galaxie, mlhoviny či hvězdokupy (Frommert, Kronberg, 2012). Např. galaxie M33 je třicátým třetím objektem z Messierova katalogu, na tmavé obloze může být viditelná i pouhým okem.

Určení bortleova stupně je do jisté míry subjektivní, ale není tolik závislé na pozorovateli jako určení mezní hvězdné velikosti, a poskytuje relativně dobrou představu o pozorovacích podmínkách (Bareš 2013). Uvedené hodnoty MSA jsou přibližné, mohou se měnit v závislosti na přirozených jevech - např. airglow způsobený sluneční aktivitou, výskyt či absence Mléčné dráhy v okolí zenitu apod.

Stupeň 1: lokalita s excelentní, velmi tmavou oblohou. Zodiakální světlo, protisvit a zodiakální pás jsou viditelné, zodiakální pás protíná celou oblohu. Galaxie M33 je velmi nápadným objektem pro pouhé oko. Pozemské objekty osvětlené Mléčnou dráhou mohou vrhat slabé stíny. MHV se pohybuje okolo 7,6 - 8,0 mag. Typický jas oblohy se pohybuje ~21,7 MSA. Tento stupeň se v České republice již nevyskytuje.

Stupeň 2: lokalita s velmi tmavou oblohou. Galaxie M33 je jednoduše viditelná přímým viděním, Mléčná dráha je velmi strukturovaná. Zvířetníkové světlo je velmi jasné, může se projevat jako nažloutlé v kontrastu s modrobílou Mléčnou dráhou. Oblačnost se na obloze jeví jako temné díry na hvězdném pozadí. Mnoho Messierovských kulových hvězdokup je vidět pouhým okem. MHV je okolo 7,1 - 7,5 mag. Jas oblohy je ~21,6 MSA. Tento stupeň se v České republice běžně nevyskytuje. Avšak za velmi dobrých meteorologických podmínek se může tento stupeň vyskytnout v odlehlých částech Šumavy.

Stupeň 3: venkovská obloha. Náznaky světelného znečištění ze vzdálených měst jsou viditelné podél obzoru. Mraky mohou být slabě nasvětleny poblíž horizontu, ale vysoko na obloze jsou tmavé. Kulové hvězdokupy M4, M5, M15 a M22 jsou lehce viditelné pouhým okem. M33 je snadno viditelná tzv. bočním viděním. Zvířetníkové světlo (na jaře těsně po setmění a na podzim před úsvitem) dosahuje výšky 60° nad obzorem. MHV je mezi 6,6 - 7,0 mag. Typický jas oblohy je ~21,5 MSA. Tento stupeň je typický pro oblohu v odlehlých částech Šumavy, Novohradských hor a Manětínské oblasti tmavé oblohy. Za výjimečných podmínek může tento stupeň nastat v Jizerské oblasti tmavé oblohy (Dvořák, Mašek 2010).

Stupeň 4: venkovská/příměstská obloha. Nápadné světelné kopule nad městy jsou na obloze viditelné v mnoha směrech. Zvířetníkové světlo nedosahuje výše než do poloviny cesty mezi horizontem a zenitem. Mléčná dráha vysoko nad obzorem je působivá, ale již postrádá detaily. M33 je obtížně viditelná bočním viděním, pokud je výše než 50° nad obzorem. Mraky ve směrech umělých světelných zdrojů jsou nasvětleny, ale v zenitu jsou stále tmavé. MHV se pohybuje okolo 6,1 - 6,5

mag. Typický jas oblohy je ~21,3 MSA. Oblohu na úrovni bortleova stupně 4 lze spatřit např. v Jizerské oblasti tmavé oblohy, v Beskydské oblasti tmavé oblohy, nad většinou odlehlejších venkovských oblastí v západních a jižních Čechách a na Vysočině.

Stupeň 5: příměstská obloha. Pouze náznaky zvířetníkového světla mohou být viditelné jen za nejlepších jarních nebo podzimních nocí. Mléčná dráha je velmi slabá, nebo neviditelná u obzoru, vysoko nad obzorem se jeví vybledle. Zdroje umělého světla jsou nápadné ve všech směrech. Oblačnost je na obloze znatelně světlejší než nebe. MHV je okolo 5,6 - 6,0 mag. Jas oblohy je ~20,8 MSA. V České republice se bortleův stupeň 5 nachází nad většinou venkovských oblastí.

Stupeň 6: světlá příměstská obloha. Žádný náznak zvířetníkového světla ani za nejlepších nocí. Náznak Mléčné dráhy pouze v zenitu. Obloha do výšky 35° od obzoru září šedobíle. Oblaka kdekoli na obloze jsou jasně nasvětlená. M33 je neviditelná bez použití triedru a galaxie M31 je slabě viditelná pouhým okem. MHV je okolo 5,5 mag. Jas oblohy se pohybuje okolo 20,0 MSA. Bortleův stupeň 6 je typický pro menší města a okolí velkých měst.

Stupeň 7: příměstská/městská obloha. Celá obloha má matnou šedavě bílou barvu. Silné zdroje světla jsou nápadné ve všech směrech. Mléčná dráha je zcela neviditelná. M44 nebo M31 mohou být spatřeny pouhým okem, ale velmi slabě. Oblačnost je silně nasvícená. MHV je okolo 5 mag. Jas oblohy je okolo 19,0 MSA. Sedmý stupeň odpovídá obloze ve většině středně velkých měst a okrajových částí velkých měst.

Stupeň 8: městská obloha. Obloha září šedobílou až oranžovou barvou. Titulky novin lze bezproblémově přečíst. M31 a M44 mohou spatřit pouze zkušený pozorovatelé za dobré noci. Mnoho hvězd, které tvoří známá souhvězdí, je špatně viditelných nebo zcela neviditelných. Pouhým okem lze přinejlepším vidět hvězdy do 4,5 mag. Jas oblohy je okolo 18,0 MSA. Bortleův stupeň 8 odpovídá obloze ve vnitřní části velkých měst.

Stupeň 9: obloha v centru velkých měst. Celá obloha je jasně osvícena včetně zenitu. Mnoho hvězd, které tvoří tvary známých souhvězdí, je neviditelných a souhvězdí, která jsou tvořena pouze slabými hvězdami (např. Rak, Ryby) nejsou vůbec viditelná. Kromě Plejád (M45) není pouhým okem viditelný žádný další Messierův objekt. MHV je 4,0 mag, nebo méně. Jas oblohy 17,5 MSA nebo vyšší. Bortleův stupeň 9 odpovídá centrálním oblastem velkých měst (např. Praha), (Bareš, 2013) a (Bortle, 2001).

5.3 Sky Quality Meter

Přístroj Sky Quality Meter (SQM) je jedním z cenově nejdostupnějších zařízení, které slouží k objektivnímu měření jasu noční oblohy. SQM je produktem kanadské firmy Unihedron. Jde o lehkou, přenosnou krabičku o rozměrech cca 9,5 × 5,5 × 2,5 cm. Nejdůležitější částí přístroje je elektronický čip, který měří intenzitu světla z místa, kam je přístroj namířen. Výsledek měření je udáván v MSA.

SQM přístroje jsou dostupné ve více variantách, základními jsou dvě - SQM a SQM-L. SQM měří oblohu v širokém úhlu téměř 120°. Varianta SQM-L je vybavena optikou a měří v užším úhlu zhruba 40°. Tyto dvě základní varianty přístroje SQM jsou „příruční“, vhodné pro použití v terénu. Naměřené hodnoty jasu se zobrazují na displeji, který je součástí SQM. Další varianty tohoto přístroje jsou určené pro měření na pevných stanovištích, pevně nainstalovaný přístroj je propojen kabelem a naměřená data se vyčítají do počítače (USB varianta: SQM-LU, ethernetová varianta: SQM-LE a RS232 varianta: SQM-LR) (unihedron.com).



Obr. 13: přístroj SQM-L.

Zdroj: převzato z unihedron.com

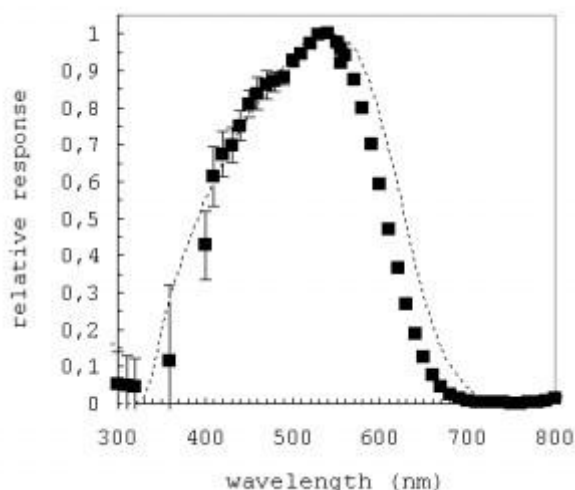
Každá varianta má své výhody a nevýhody. SQM, který měří oblohu v úhlu 120°, snadno změří velkou část oblohy najednou. SQM-L varianta měřící v úhlu 40° umožňuje postupně změřit jas oblohy v různých částech oblohy a tím získat více informací o různém jasu v konkrétních směrech.

Přístroje SQM i SQM-L byly navrženy pro nejsnadnější použití. Na přístrojích je číselný displej a tlačítko. Pro změření jasu stačí přístroj namířit požadovaným směrem, stisknout tlačítko a nechat přístroj namířený požadovaným směrem po dobu, kdy přístroj měří (jednotky sekund, přístroj při měření pípá). Po dokončení měření se na displeji přístroje zobrazí hodnota jasu oblohy v MSA. Dalším stisknutím tlačítka se zobrazí teplota přístroje, verze a výrobní číslo. Se SQM i SQM-L je vhodné provést několik měření za sebou. První tři až čtyři měření ignorujeme, tato měření jsou ovlivněna tím, že přístroj není zahřátý na provozní teplotu. Následující měření by se již neměla lišit

o více než několik setin MSA. Vhodné je zaznamenat zhruba pět hodnot a z nich určit průměrnou hodnotu.

SQM měří velkou část oblohy, při měření jasu oblohy se SQM namíří směrem do zenitu (kolmo vzhůru). Měření se SQM-L je obdobné, jen pro úplnou informaci o jasu oblohy (užší měřicí úhel dané varianty přístroje) je potřeba změřit více směrů na obloze. Se SQM-L je kromě zenitu doporučeno změřit ještě čtyři světové strany ve výšce 60° nad obzorem (svetelnezncistení.cz).

Největší slabinou měření pomocí SQM i SQM-L je ne vždy dokonalé zpracování přístroje (především uložení čipu). Výrobce udává přesnost každého přístroje je $\pm 10\%$ a rozptyl mezi jednotlivými kusy je taktéž $\pm 10\%$. Z toho plyne, že dva přístroje SQM se mohou na stejné lokalitě, při souběžném měření, lišit až o 0,2 MSA (Moudrá 2014). Tento rozptyl je dost zásadní především při měření na velmi tmavých lokalitách, např. hodnota 21,60 MSA ukazuje na excelentní, přírodně tmavou oblohu, zatímco 21,40 MSA ukazuje sice na výborné, ale ne již zcela přírodně tmavé nebe.



Obr. 14: Spektrální citlivost SQM. Rozsah citlivosti přístroje je přibližně od 340 do 670 nm s maximem okolo 540 nm. Změřená citlivost (čtverečky), teoretická (linie).

Zdroj: převzato z Cinzano 2005

5.4 Fotografické měření jasu oblohy

Digitální fotoaparát je elektronický přístroj, jehož detektor (čip) je citlivý na vlnové délky viditelného světla. Výstupem z digitálního fotoaparátu je elektronický snímek, na kterém jsou zachyceny informace o tom, jak byla focená scéna světlá či tmavá. Výhodou většiny digitálních fotoaparátů je, že čipy mají lineární odezvu na signál. To znamená, že za dvojnásobný expoziční čas získáme dvojnásobek signálu ze snímaného objektu. Expozice (expoziční čas) je doba, kdy je závěrka fotoaparátu otevřená a po tuto dobu dopadá na čip fotoaparátu světlo. Čím je expozice delší, tím více

světla fotoaparát zachytí a tím bude i větší signál od snímaného objektu. Díky tomu je možné fotoaparát využít k měření jasu (Mašek, Brát 2015).

Kromě digitálních fotoaparátů mohou být k měření jasu rovněž využity speciální astronomické CCD kamery (Charge-coupled device, zařízení s vázanými náboji). Nevýhodou CCD kamer je jejich vysoká pořizovací cena, naopak výhodou je obrovská citlivost na světlo. Pro účely měření jasu noční oblohy je jako fotoaparát nejvhodnější digitální zrcadlovka (DSLR) s objektivem o krátké ohniskové vzdálenosti (větší úhel snímaného pole). Výhodou DSLR oproti CCD je kromě ceny také snadná ovladatelnost bez nutnosti brát do terénu počítač (Mašek, Brát 2015).

5.4.1 Popis celoblohové fotografické sestavy

Pro měření jasu oblohy, což je stěžejní část této práce (viz kapitola 7) byla použita fotografická sestava, která je ve vlastnictví odborné Skupiny pro temné nebe České astronomické společnosti. Fotografická sestava byla zakoupena v rámci projektu „Výzkum a popularizace světelného znečištění“ díky finanční podpoře Nadace O2, v rámci programu Think Big (Bareš 2012).

Samotná fotografická sestava se skládá z digitálního fotoaparátu DSLR Canon EOS 600D s objektivem Sigma EX s pevnou ohniskovou vzdáleností 4,5 mm a světelností 2,8. Díky velmi krátkému ohnisku objektivu je na snímku zachycena celá obloha.

Pro kompenzaci rotace Země je fotoaparát umístěn na montáži AstroTrac. Osa této montáže je při snímání oblohy namířena na nebeský pól. Chod montáže zajistí bodové hvězdy při delších expozicích. Bez montáže nebo s vypnutou montáží se rotace Země projeví při delší expozici jako rozmazání hvězd. Fotoaparát spolu s montáží je umístěn na bytelném fotografickém stativu.

Pro správnou orientaci a natočení fotoaparátu kolmo na oblohu je určena malá vodováha, která se zasouvá do ližiny, která jinak běžně slouží k zasunutí externího blesku. K ovládní fotoaparátu lze využít programovatelnou kabelovou spoušť, na které lze navolit délku příslušné expozice. Kabelová spoušť také přináší výhodu, že se minimalizuje přenos chvění na fotoaparát při spuštění expozice, na rozdíl od sepnutí spouště přímo na fotoaparátu. Celá sestava s úplným příslušenstvím (mj. baterie k AstroTracku, nabíječky, náhradní baterie k fotoaparátu, SQM-L atd.) se dá zabalit do batohu (batoh je též součástí sestavy) a je tak snadno přenositelná.

Snímky se pořizují do bezztrátového RAW formátu, standardní délka expozice je 180 sekund, clona objektivu 3,5 a citlivost ISO 400 (Moudrá 2014). Snímky jsou následně zpracovávány v programu Raw2Lum.

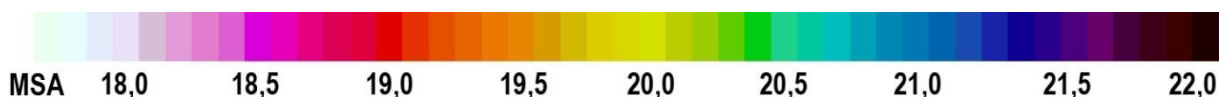


Obr. 15: Snímek celooblohové fotosestavy umožňující měření jasu oblohy. Fotoaparát se širokoúhlým objektivem je připojen na montáži Astrotrac. Sestava je dále připevněna k fotografickému stativu.

Zdroj: Michal Bareš, poskytnuto autorem

5.4.2 Zpracování snímků z celooblohové sestavy

Snímky pořízené celooblohovou sestavou (viz kapitola 5.4.1), se následně zpracovávají v open source programu Raw2Lum, jehož autorem je dr. Jan Hollan. Program je speciálně nakalibrován pro výše zmíněnou celooblohovou sestavu. Výstupem z programu Raw2Lum je tzv. jasová mapa. Jasová mapa je grafické znázornění jasu na snímané scéně, každý bod na snímku má přiřazenou barvu, která odpovídá jasu daného bodu. Jasová mapa názorně zobrazuje stav oblohy v různých směrech. Škála jasové mapy je v magnitudách na čtvereční úhlovou vteřinu (MSA). Barevná stupnice jasových map v Raw2Lum byla převzata podle stupnice, kterou používá americká organizace National Park Service (NPS).



Obr. 16: Barevná stupnice jasových map z programu Raw2Lum.

Zdroj: vlastní zpracování

Pro tvorbu jasové mapy noční oblohy je zapotřebí mít snímky i program přesně zkalibrovány. Při snímání oblohy v terénu je vhodné dodržet standardní expoziční čas, clonu objektivu a citlivost

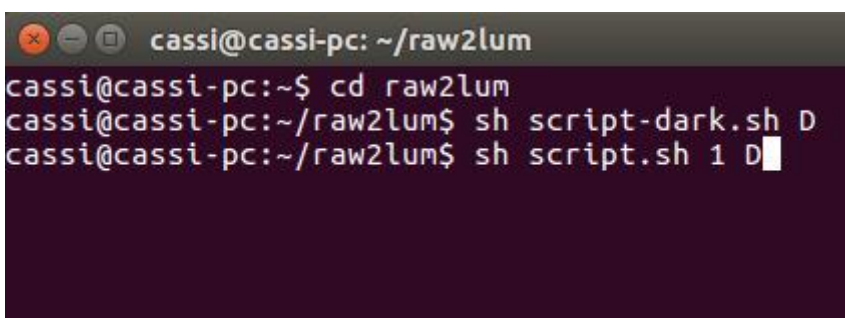
fotoaparátu. V případě použití jiného expozičního času nebo citlivosti, než je standardní, lze tuto skutečnost kompenzovat zadáním příslušných údajů v programu Raw2Lum.

Kromě snímku oblohy je také nutné pořídit kalibrační snímek, tzv. dark frame (temný snímek). Dark frame je speciální snímek, který nese informaci o šumu fotoaparátu. Tento druh snímku se pořizuje za stejných podmínek jako snímek oblohy (stejná expozice, citlivost fotoaparátu a teplota) jen s tím rozdílem, že na čip fotoaparátu nedopadá žádné světlo, krytka je nasazená na objektiv. Zmíněná teplota je důležitá, šum fotoaparátu s teplotou roste. Dark frame se při kalibraci aplikuje odečtením od snímku hvězdné oblohy (Mašek, Brát 2015).

Samotný program Raw2Lum pracuje pod operačním systémem Linux a je ovládán pomocí terminálu. V terminálu se zapisují jednotlivé příkazy. Před začátkem práce je potřeba do správných adresářů nahrát příslušné snímky. Pro jednoduchost si je pojmenujeme jako 1.CR2 (snímek oblohy) a D.CR2 (dark frame) a umístíme je do adresáře `.../raw2lum/source`.

Prvním příkazem je změna adresáře, kdy je potřeba se dostat do adresáře s programem Raw2Lum. Toho lze dosáhnout zadáním příkazu `„cd /cesta_do_adresare/raw2lum“`. Po tomto příkazu se již pracuje ve zvoleném adresáři. Další krok zpracovává pořízený dark frame, ten spustíme zadáním příkazu `„sh script-dark.sh nazev_dark_frame“` (v tomto případě `sh script-dark.sh D`). Poté se zpracovává snímek oblohy, který se zkalibruje pořízeným dark framem. Toho docílíme zadáním příkazu `„sh script.sh nazev_snimku nazev_dark_frame“` (`sh script.sh 1 D`).

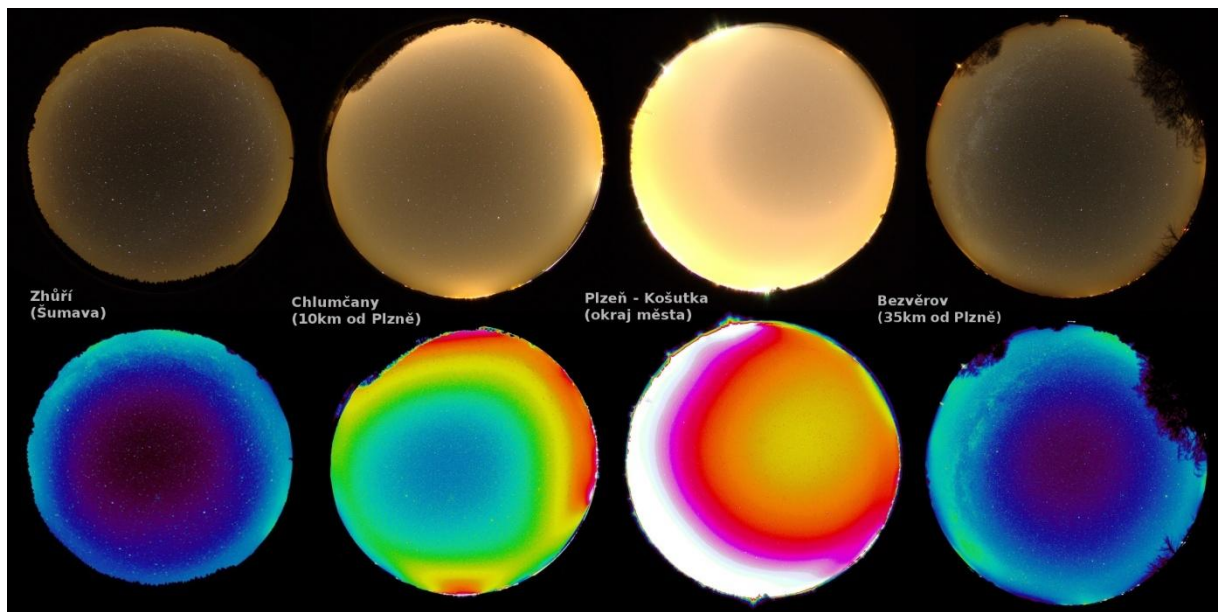
Po skončení operace se nám v terminálu zobrazí spočtený jas oblohy v MSA. V adresáři `.../raw2lum/done` pak nalezneme výslednou jasovou mapu ve formátu PPM. PPM formát lze pak převést na jiné obrazové formáty (např. JPG) za pomoci obrázkového editoru.



```
cassi@cassi-pc: ~/raw2lum
cassi@cassi-pc:~/raw2lum$ cd raw2lum
cassi@cassi-pc:~/raw2lum$ sh script-dark.sh D
cassi@cassi-pc:~/raw2lum$ sh script.sh 1 D
```

Obr. 17: Ukázka práce s linuxovým terminálem.

Zdroj: vlastní snímek autora



Obr. 18: Ukázka celooblohových snímků pořízených na lokalitách s různým jasem oblohy. Ke každému snímku je přiložena jasová mapa.

Zdroj: Michal Bareš, Vojtěch Kohout, poskytnuto autory

6. Družicová měření světelného znečištění

Dálkový průzkum Země (DPZ) nám umožňuje získávat informace o zemském povrchu a objektech na něm bez přímého kontaktu. Informace o objektech jsou získávány pomocí elektromagnetického spektra, které je zaznamenáno snímacím zařízením, které je umístěno na palubě letadla nebo družice (Kupková 2010). Výsledná data jsou následně analyzována a interpretována. Díky družicím, které snímají noční zemský povrch, mohou metody DPZ posloužit i k měření světelného znečištění.

6.1.1 DMSP a Suomi NPP

DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) jsou vojenské meteorologické družice s polární dráhou, které v současné době provozuje National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). První družice DMSP byly vypuštěny již v 60. letech (Doubrava et al. 2005). Na palubě družic je, kromě jiných přístrojů, kamerový systém OLS (Operational Linescan System), který umožňuje i noční snímání zemského povrchu. Nevýhodou tohoto přístroje je malé prostorové rozlišení, pouhých 5 km. Na základě dat z družic DMSP vytvořil Cinzano (2001) The first World Atlas of the artificial night sky brightness. Atlas má celosvětové pokrytí a zobrazuje poměr umělého a přírodního jasů noční oblohy v zenitu.

Další družicí umožňující noční snímání zemského povrchu je Suomi National Polar-Orbiting Partnership (Suomi NPP), která je provozována NOAA a NASA. Přístrojem, který umožňuje pozorovat noční povrch je Visible Infrared Imaging Radiometer (VIIRS). Prostorové rozlišení přístroje je 742 m. Při nočním snímání je využíván filtr Day-Night Band, který má rozsah citlivosti od cca 500 do 900 nm (Falchi 2016). Nevýhodou tohoto filtru je, že nezachycuje kratší vlnové délky. Tato nevýhoda může mít vliv na srovnání míst, kde jsou instalovány LED lampy. Bílá LED svítidla mají maximum vyzařování na vlnové délce okolo 450 nm.



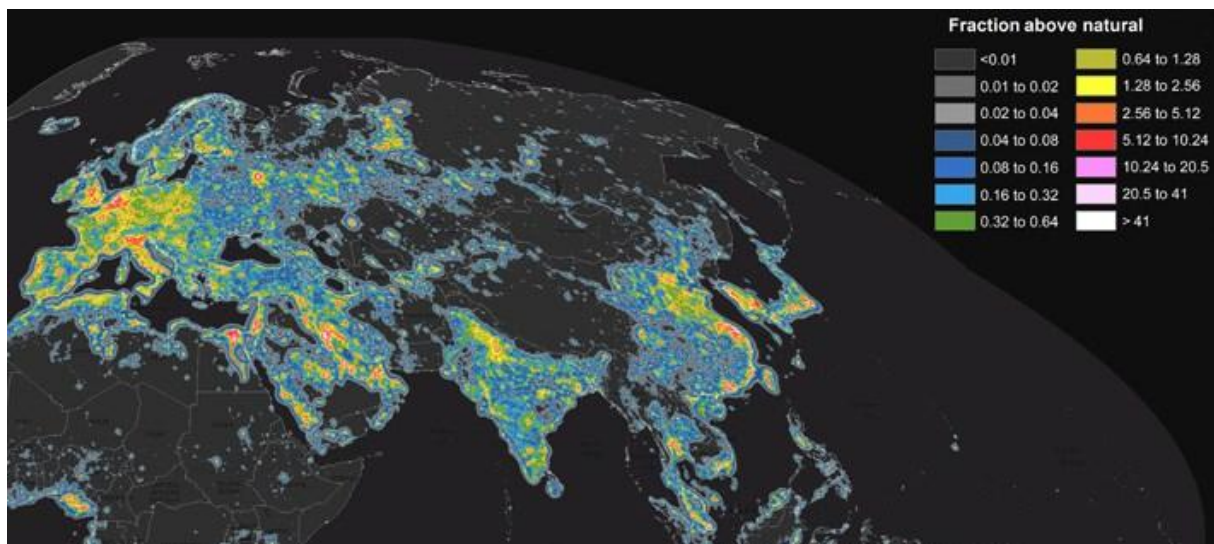
Obr. 19: Noční Česká republika na snímku z přístroje VIIRS

Zdroj: převzato z eumetsat.int

6.1.2 The new word atlas of artificial night sky brightness

V roce 2016 uveřejnil Falchi spolu se svými kolegy publikaci *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Nový světový atlas umělého jasu noční oblohy). Tento atlas byl vytvořen na základě dat z družice Suomi NPP (přístroj VIIRS), dále byla k tvorbě atlasu využita data z měření jasu noční oblohy za pomoci přístrojů SQM-L a CCD. Tento atlas má, stejně jako Cinzanův z roku 2001, celosvětové pokrytí a zobrazuje poměr umělého a přírodního jasu noční oblohy v zenitu, avšak je mnohem podrobnější a aktuálnější.

Falchi uvádí, že pouze 1 % lidí na Zemi žije pod zcela přírodně tmavou oblohou. Více než 83 % světové populace a více než 99 % obyvatel Spojených států a Evropanů žije pod světelně znečištěnou oblohou. Mléčná dráha není viditelná pro více než třetinu lidstva. V Evropě nevidí Mléčnou dráhu ze svých domovů 60 % obyvatel, ve Spojených státech amerických je to až 80 % lidí.



Obr. 20: Ukázka z publikace *The new world atlas of artificial night sky brightness*

Zdroj: převzato z Falchi et al. 2016

7. Vlastní měření jasu noční oblohy

Měření jasu noční oblohy byla prováděna pomocí přístroje SQM a fotografickou sestavou (DSLR se širokoúhlým objektivem). Měřené lokality se nacházejí poblíž krajského města Liberec, většina lokalit leží v České republice, dvě stanoviště jsou v Polsku.

7.1 Výběr lokalit a metodika měření

Měření jasu noční oblohy bylo prováděno celkem na devíti lokalitách. Hlavním kritériem pro výběr lokalit byl dostatečně odkrytý obzor na stanovišti, překážky (stromy, budovy) nesměly dosahovat výše jak 20° nad obzor. Všechny lokality jsou snadno přístupné po silnici či zpevněné cestě. Dále nesměly být z pozorovacího stanoviště přímo viditelné zdroje umělého osvětlení, případně mohly být pouze slabé nebo v dálce. Měření byla prováděna jen za jasného či skoro jasného počasí. V průběhu měření bylo Slunce dostatečně hluboko pod obzorem (astronomická noc), Měsíc se též nacházel pod obzorem.

Dlouhodobé měření probíhalo ve spolupráci s Vladimírem Dvořákem a Martinem Gembecem od roku 2008. Na pěti lokalitách probíhalo měření pomocí SQM (širokoúhlá verze). Na všech devíti lokalitách byly fotografickou sestavou pořízeny celooblohové snímky, které umožňují změřit jas oblohy v okolí zenitu. Na snímcích jsou při obzoru také velmi dobře patrné umělé zdroje jasu oblohy.

Přístrojem SQM a celooblohovou fotografickou sestavou bylo měřeno standardně, viz *kapitoly 5.3 a 5.4*. Vlhkost a průzračnost vzduchu byly odhadnuty empiricky na základě subjektivních faktorů, jako například rosení předmětů během pozorování, viditelnost slabších hvězd a dalších objektů na obloze apod.

Všechna měření uvedená v této práci byla vložena do databáze SkyQuality – projekt mapování jasu noční oblohy. Databáze je spravována odbornou Skupinou pro temné nebe České astronomické společnosti. Databáze je dostupná na internetové adrese skyquality.cz.

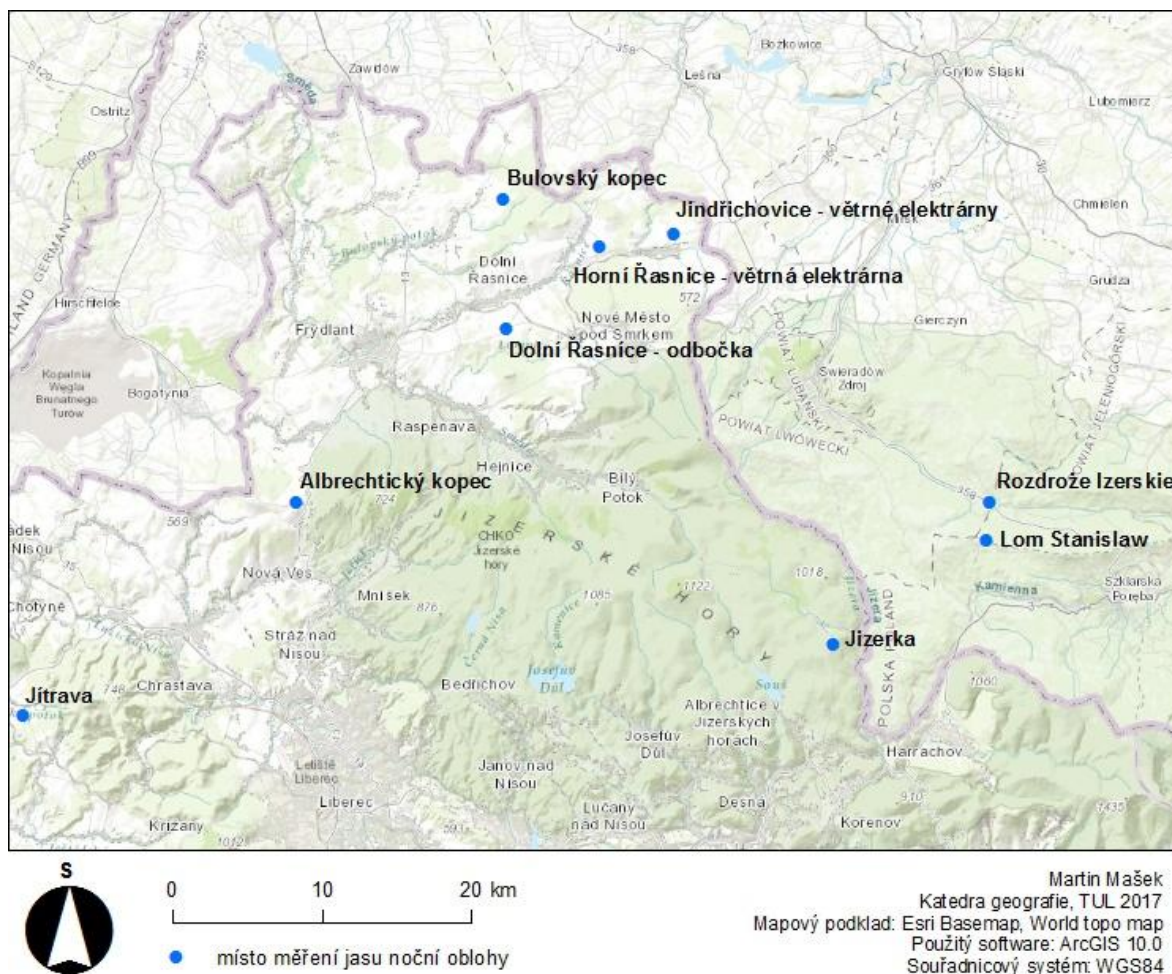
U lokalit, na kterých bylo prováděno dlouhodobé měření jasu oblohy pomocí SQM, je uveden průměrný jas, který je spočten ze všech provedených měření. Magnituda je logaritmická stupnice, z tohoto důvodu není možné naměřené hodnoty jasu oblohy v MSA jednoduše zprůměrovat. Pro spočtení průměrného jasu oblohy bylo nutné převést MSA na cd/m^2 , která je lineární. Zprůměrovány byly hodnoty v cd/m^2 a průměrný jas oblohy v cd/m^2 byl následovně přepočten na MSA.

7.2 Jednotlivé lokality – jejich popis a měření z nich

Pět lokalit se nachází na Frýdlantsku (Albrechtický kopec, Dolní Řasnice – odbočka, Jindřichovice – větrné elektrárny, Bulovský kopec a Horní Řasnice – větrná elektrárna). Tři lokality jsou v Jizerských horách, z toho dvě se nacházejí v polské části Jizerských hor (Rozdroże Izerskie a Lom Stanislaw), v české části Jizerských hor pak lokalita Jizerka. Poslední lokalita leží na Liberecku u obce Jítrava.

Většina lokalit byla vybrána z důvodu jejich vhodnosti k astronomickým pozorováním. Důvodem je větší vzdálenost od měst coby umělých zdrojů jasu oblohy. Stanoviště vhodná k astronomickým pozorováním jsou tato: Jizerka, Rozdroże Izerskie, Lom Stanislaw, Jindřichovice – větrné elektrárny, Bulovský kopec a Jítrava.

Tři lokality (Albrechtický kopec, Dolní Řasnice – odbočka a Horní Řasnice – větrná elektrárna) leží při cestě na výše uvedená pozorovací stanoviště. Tyto lokality leží blíže k městům a umožňují tak porovnat vliv měst na jas noční oblohy ve srovnání s lokalitami ležícími dále od nich.



Obr. 21: Mapa s vyznačenými měřícími lokalitami

Zdroj: vlastní dílo

7.2.1 Rozdroże Izerskie

GPS souřadnice: 50° 51,949' SŠ, 15° 26,882' VD

Rozdroże Izerskie se nachází v polské části Jizerských hor, je to mýtina na silnici přibližně uprostřed mezi městy Szklarska Poręba a Świeradów-Zdrój. Nadmořská výška stanoviště je 770 m, nachází se v údolí mezi Vysokým hřbetem (Wysoka kopa 1126 m n. m., Sine Skalki 1122 m n. m.) a hřbetem Kamenickým (Kamienica 973 m n. m., Piascysta 792 m n. m.).

Výsledky, diskuze a zhodnocení dlouhodobého měření pomocí přístroje SQM.

Tab. 2: Statistika měření s SQM na Rozdroże Izerskie (měření viz příloha č. 1)

Počet měření	58
Měřeno od – do	2008 - 2017
Průměr MSA	21,25
Medián MSA	21,28
Minimum MSA	20,72
Maximum MSA	21,53

Z dlouhodobého měření pomocí SQM vychází na této lokalitě průměrný jas oblohy 21,25 MSA, medián pak 21,28 MSA. Nejsvětlejší hodnota jasu zde byla zaznamenána dne 30. 12. 2010 a to 20,72 MSA. Důvodem vysokého jasu oblohy byl ležící sníh, který rozptyloval světlo z umělých světelných zdrojů v blízkém i dalekém okolí. Při sněhu se pak hodnoty jasu pohybují okolo 21,05 MSA, na zvýšeném jasu se v zimním období též podílejí rozsvícené sjezdovky (Stóg Izerski a Szrenica). Dále je zde nadprůměrný jas oblohy běžný především na podzim, a to z důvodu častější vyšší vlhkosti vzduchu, na kterém se více rozptyluje světlo z měst.

Nejtmavší hodnoty byly nejčastěji naměřeny na jaře. Původ jarních vysokých hodnot je absence pásu Mléčné dráhy přes oblohu. Jas oblohy na jaře bývá okolo 21,30 – 21,45 MSA, v létě za dobrých atmosférických podmínek pak okolo 21,25 – 21,35 MSA. Mléčná dráha tedy přidává do jasu oblohy okolo 0,1 MSA.

Úplně nejtmavší hodnoty jasu noční oblohy byly SQM naměřeny 12. 10. 2010, a to díky spojení vícero faktorů. Velmi suchý vzduch (méně rozptýleného světla) a inverzní oblačnost, která přikryla města v nižších polohách, zajistily zatím rekordní zaznamenaný jas 21,53 MSA.

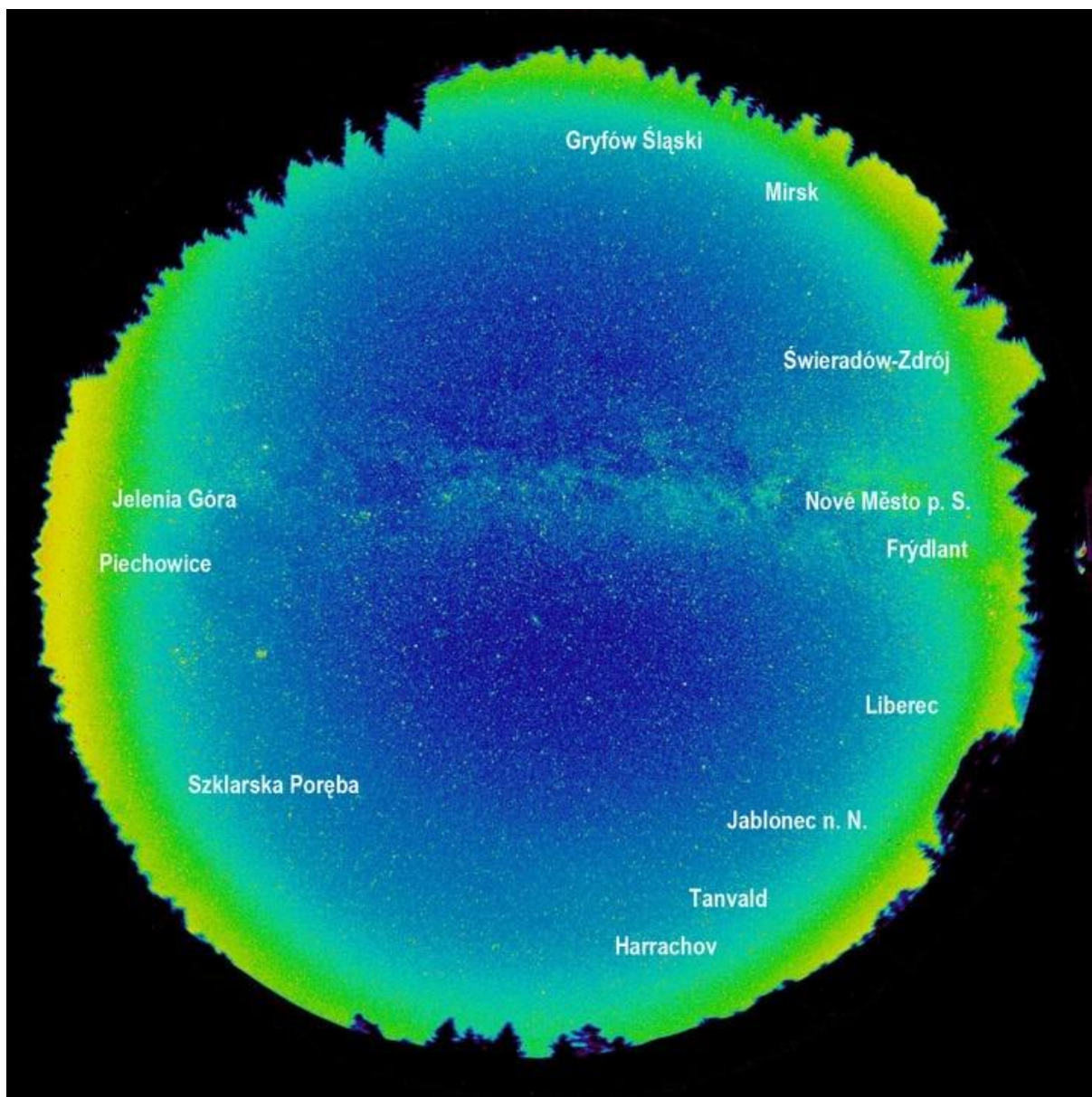
Rozdíl mezi nejsvětlejší a nejtmavší naměřenou hodnotou jasu je 0,81 MSA. Z toho plyne, že rozdíl jasu oblohy (při srovnání maxima a minima) byl 2,1 násobný.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Rozdroże Izerskie

Tab. 3: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Rozdroże Izerskie

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

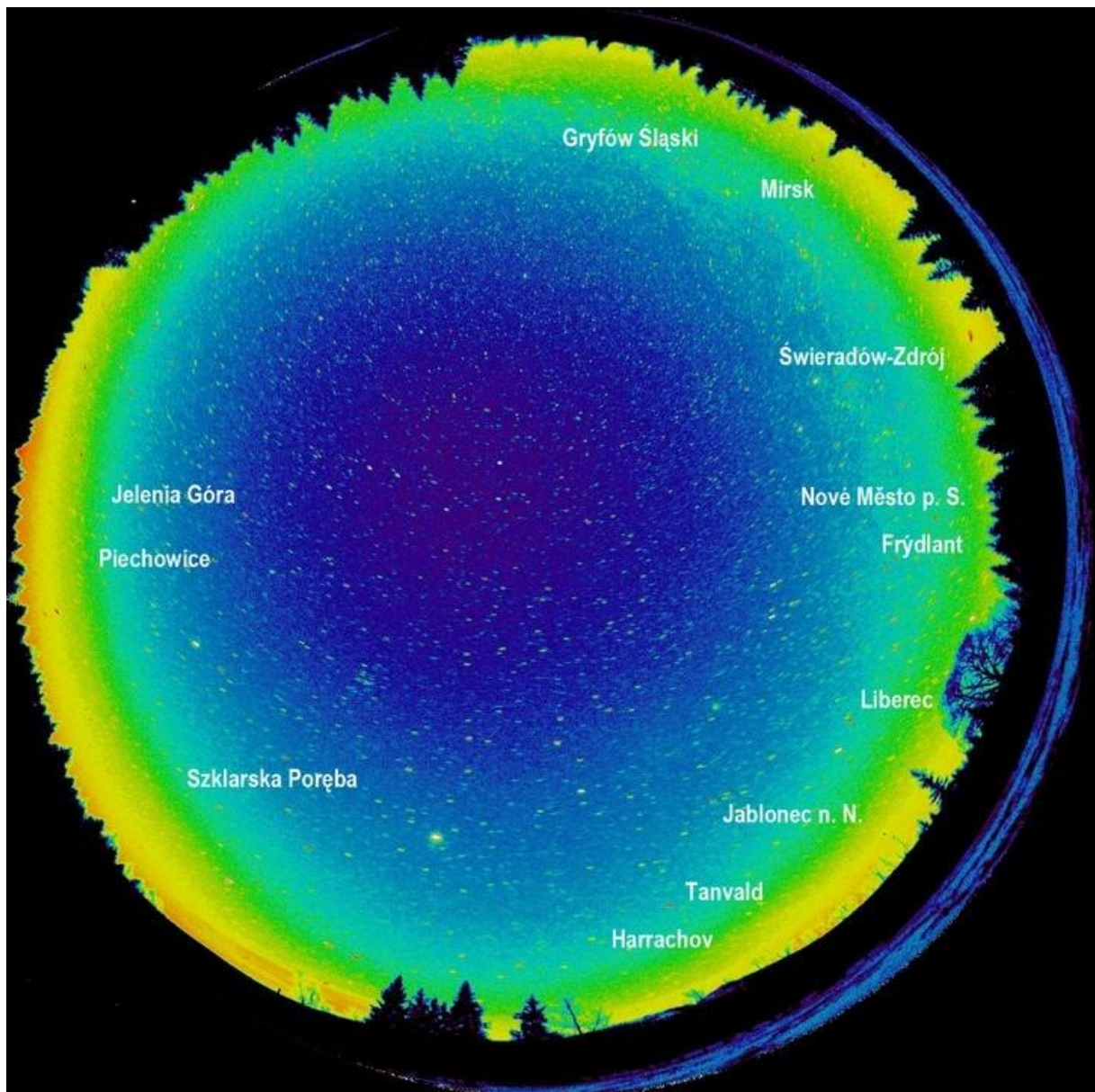
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Jelenia Góra	21	78	80 889
Piechowice	10,5	99	6 411
Szklarska Poręba	6,5	130	6 661
Harrachov	10,5	185	1 470
Tanvald	17,5	215	6 477
Jablonec n. N.	25	231	45 510
Liberec	30	247	103 288
Frýdlant	26,5	283	7 548
Nové Město p. S.	16,5	294	3 771
Świeradów-Zdrój	9	300	4 250
Mirsk	12,5	340	3 981
Gryfów śląski	18,5	353	6 728



Obr. 22: Celoblohový snímek pořízený na Rozdrože Izerskie 27. 9. 2014, 19:57 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy změřený z celoblohového snímku byl 21,07 MSA. Přes oblohu se klene podzimní Mléčná dráha. Nejvýraznějším umělým světelným zdrojem je polská Jelenia Góra, dále pak města Liberec a Jablonec nad Nisou a blízká města Szklarska Poręba a Świeradów-Zdrój.

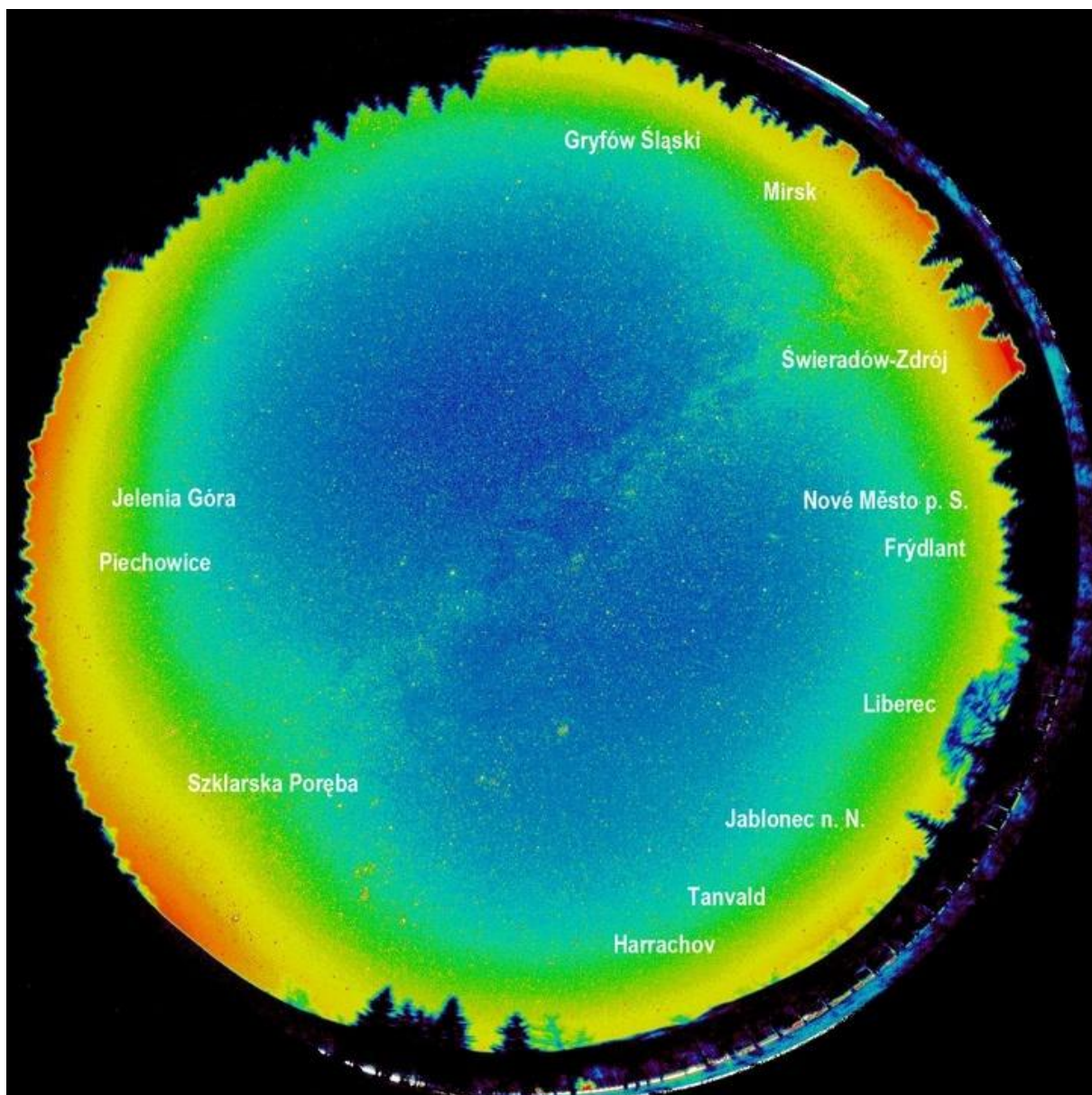


Obr. 23: Celooblohový snímek pořízený na Rozdroże Iżerskie 7. 2. 2014, 00:40 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy podle snímku je 21,26 MSA. Na snímku je jarní obloha bez vlivu Mléčné dráhy, nejvýraznějšími umělými zdroji jasu oblohy jsou Jelenia Góra, Szklarska Poręba, Świeradów-Zdrój a dále Liberec s Jabloncem nad Nisou.

Oproti snímku z 27. 9. 2014 jsou světelné kopule ze Szklarské Poręby a Świeradów-Zdróje výraznější. Důvodem je sníh ležící ve vyšších polohách (na pozorovacím stanovišti, Szklarské Porębě a Świeradów-Zdróji). V níže položených městech (Liberec, Jablonec, Jelenia Góra) sníh neležel.



Obr. 24: Celoblohový snímek pořízený na Rozdroże Izerskie 1. 1. 2017, 20:28 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy na snímku je 20,94 MSA důvodem výrazně nadprůměrného jasu oblohy je ležící sníh a rozsvícené sjezdovky v Jizerských horách. Oproti noci 27. 9. 2017 je obloha nejsvětlejší ve směru, kde leží města Szklarská Poręba a Świeradów-Zdrój, v obou městech byly tuto noc rozsvícené sjezdovky.

7.2.2 Jizerka

GPS souřadnice: 50° 48,698' SŠ, 15° 21,170' VD

Pozorovací stanoviště se nachází v české části Jizerských hor nedaleko osady Jizerka, na parkovišti pod Bukovcem (1005 m. n. m.) v nadmořské výšce 905 m.

Výsledky, diskuze a zhodnocení dlouhodobého měření pomocí přístroje SQM.

Tab. 4: Statistika měření s SQM na Jizerce (měření viz příloha č. 2)

Počet měření	20
Měřeno od - do	2008 - 2017
Průměr MSA	21,20
Medián MSA	21,22
Minimum MSA	20,89
Maximum MSA	21,44

Z dvaceti provedených měření na Jizerce vychází průměrný jas oblohy 20,20 MSA, medián 20,22 MSA. Nejvyšší jas oblohy byl na tomto stanovišti zaznamenán dne 28. 12. 2008 a to 20,89 MSA. Důvodem vysokého jasu oblohy byl sníh a světlo z rozsvícených sjezdovek. Vyšších hodnot jasu (21,0 – 21,2 MSA) je běžně dosahováno v zimě za sněhu, nebo na podzim při vyšší vlhkosti vzduchu.

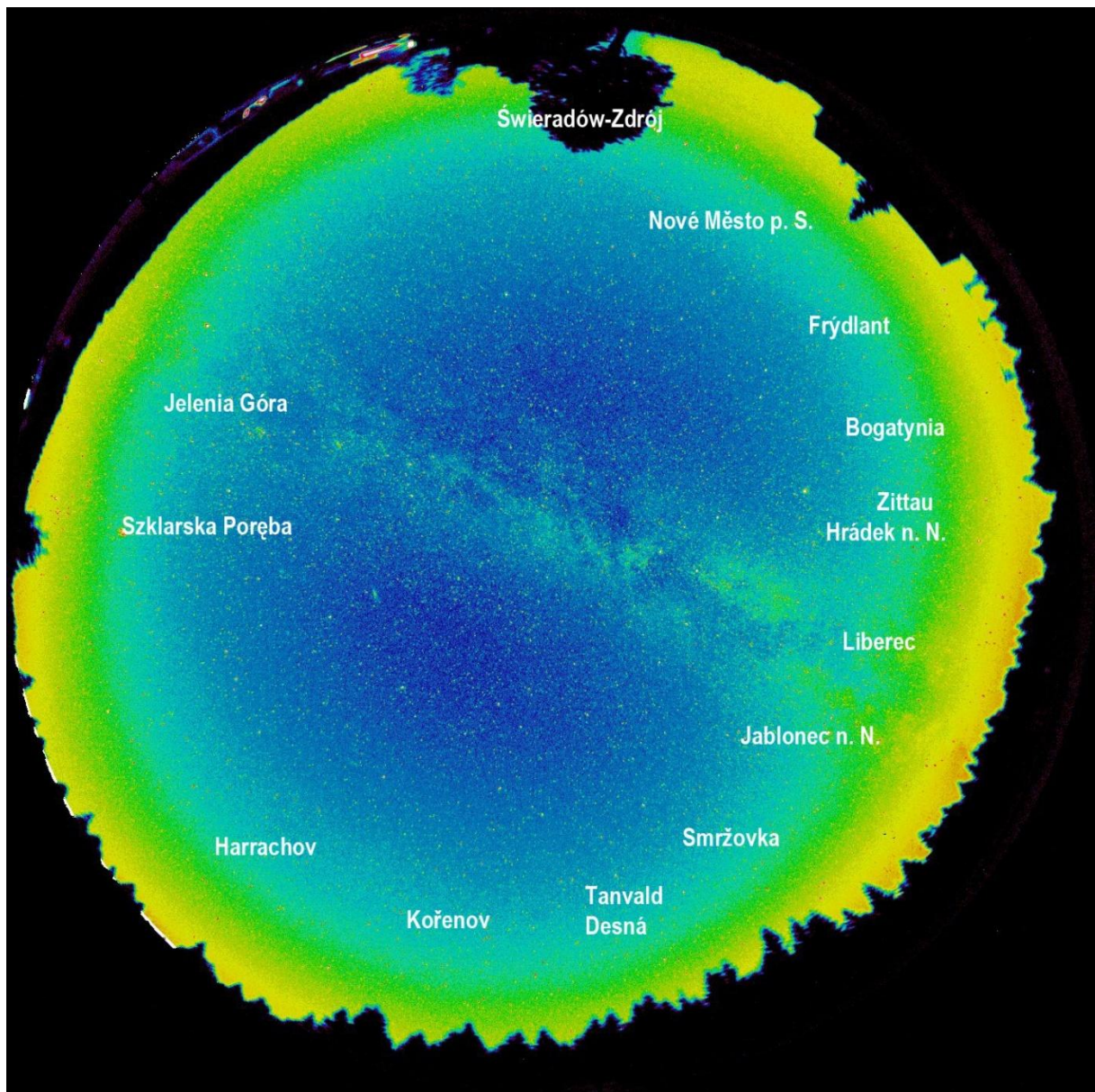
Podprůměrných hodnot jasu noční oblohy bylo dosaženo ve dnech, za nižší vlhkosti vzduchu a na jaře, kdy není viditelná Mléčná dráha. Absolutně nejtmaší obloha byla dosažena 12. 10. 2010, kdy byl Liberec s Jabloncem pod inverzní oblačností. Naměřený jas byl 21,44 MSA.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Jizerka

Tab. 5: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jizerka

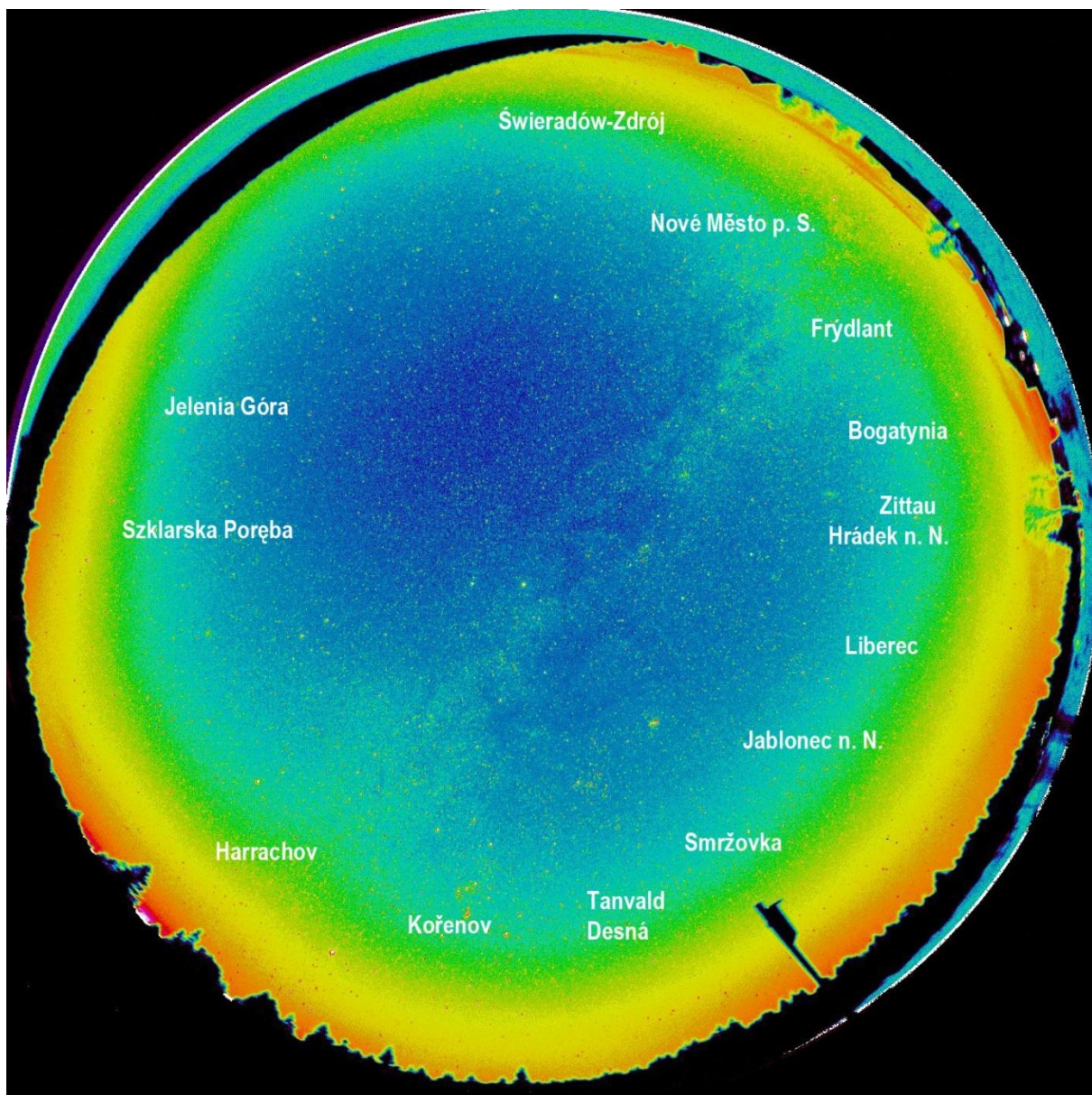
Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Jelenia Góra	29	69	80 889
Szklarska Poręba	12	82	6 661
Harrachov	7	128	1 470
Kořenov	4,5	179	947
Tanvald	9	201	6 477
Desná	7	205	3 133
Smržovka	11,5	219	1 481
Jablonec n. N.	16	233	45 510
Liberec	21,5	254	103 288
Hrádek n. N.	36	277	7 626
Zittau	39	284	25 712
Bogatynia	29	290	18 030
Frýdlant	23	303	7 548
Nové Město p. S.	15,5	326	3 771
Świeradów-Zdrój	10,5	253	4 250



Obr. 25: Celooblohový snímek pořízený na Jizerce 27. 9. 2014, 21:13 UT
 Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy na tomto snímku je 21,0 MSA. Nejvýraznějšími zdroji umělého světla viditelné z Jizerky jsou Liberec s Jabloncem na jihozápadě, dále Szklarska Poręba a Jelenia Góra nad východním obzorem. Zvýšený jas oblohy nad severním obzorem je dán z části výskytem airglow.



Obr. 26: Celoblohový snímek pořízený na Jizerce 1. 1. 2017, 21:18 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas podle celoblohového snímku je 20,95 MSA. Vysoký jas oblohy je způsoben rozsvícenými sjezdovkami ve Szklarské Porębě, Świeradów-Zdróji a Harrachově, dále pak sjezdovky v jižnější části Jizerských hor, v okolí Tanvaldu a Smržovky.

Nejvýraznějším světelným zdrojem v této noci byl Harrachov (oproti noci 27. 9. 2014). Dalšími výraznými zdroji umělého jasu oblohy jsou města Liberec, Jablonec nad Nisou a Szklarska Poręba.

7.2.3 Lom Stanislaw

GPS souřadnice: 50° 51,030' SŠ, 15° 26,780' VD

Lom Stanislaw je křemencový lom v polské části Jizerských hor, na Vysokém hřebeni, kousek pod vrcholem Izerskie Garby (1084 m n. m.). Samotné pozorovací stanoviště je v nadmořské výšce 1025 m.

Výsledky, diskuze a zhodnocení dlouhodobého měření pomocí přístroje SQM.

Tab. 6: Statistika měření s SQM v lokalitě Lom Stanislaw (měření viz příloha č. 3)

Počet měření	5
Měřeno od - do	2014 - 2016
Průměr MSA	21,20
Medián MSA	21,20
Minimum MSA	21,16
Maximum MSA	21,25

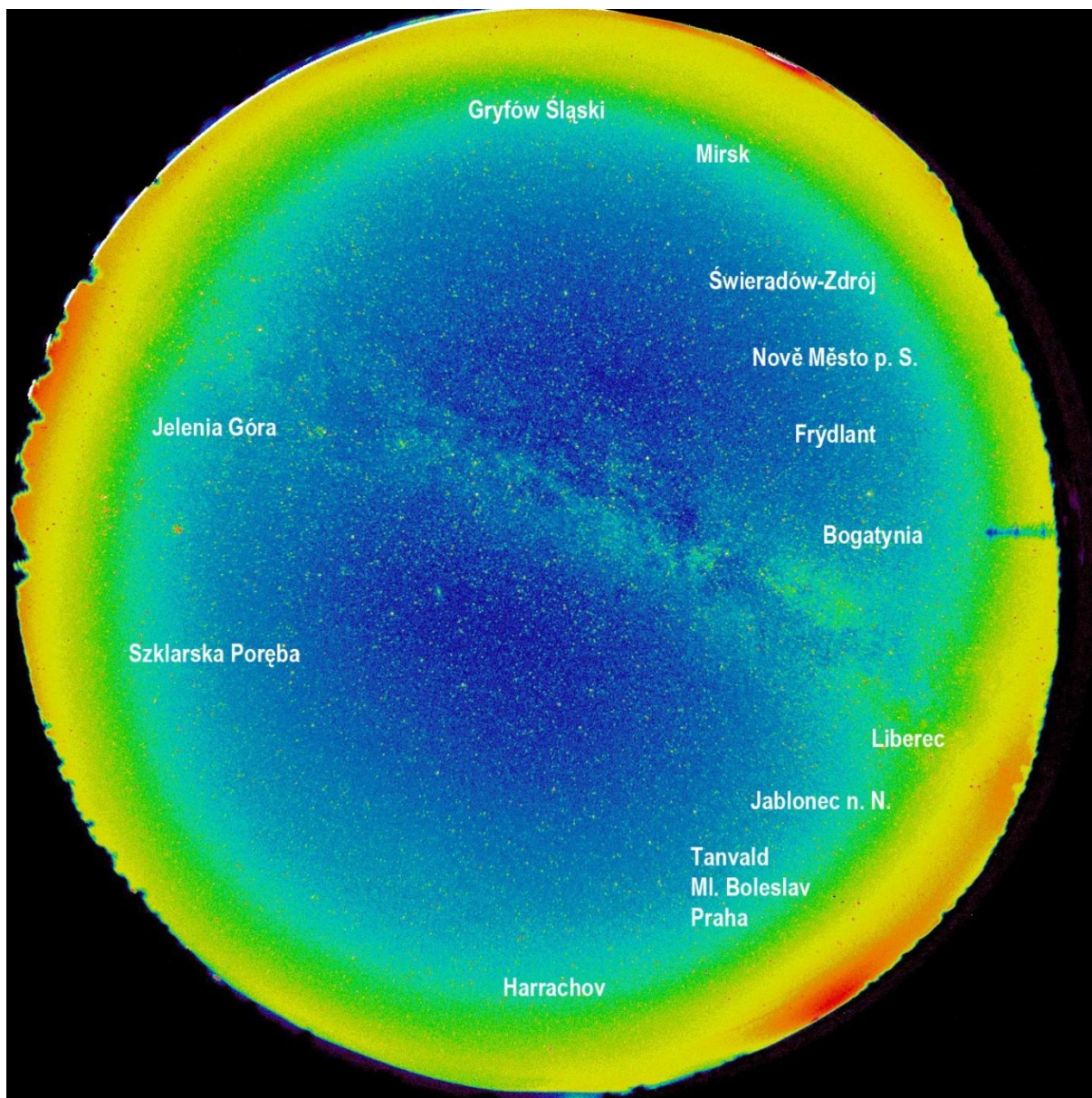
Průměr z dlouhodobých měření je 21,20 MSA. Statistika je ovšem ovlivněna nízkým počtem měření. Důvodem je, že pozorovací stanoviště je hůře přístupné, resp. nedostupné v zimních a jarních měsících za sněhu (nesjízdná cesta). Všechna zaznamenaná měření se pohybují okolo průměrné hodnoty. Extrémní hodnoty jasu (výrazně nad či pod průměrem) nebyly zaznamenány.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Lom Stanislav

Tab. 7: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Lom Stanislav

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

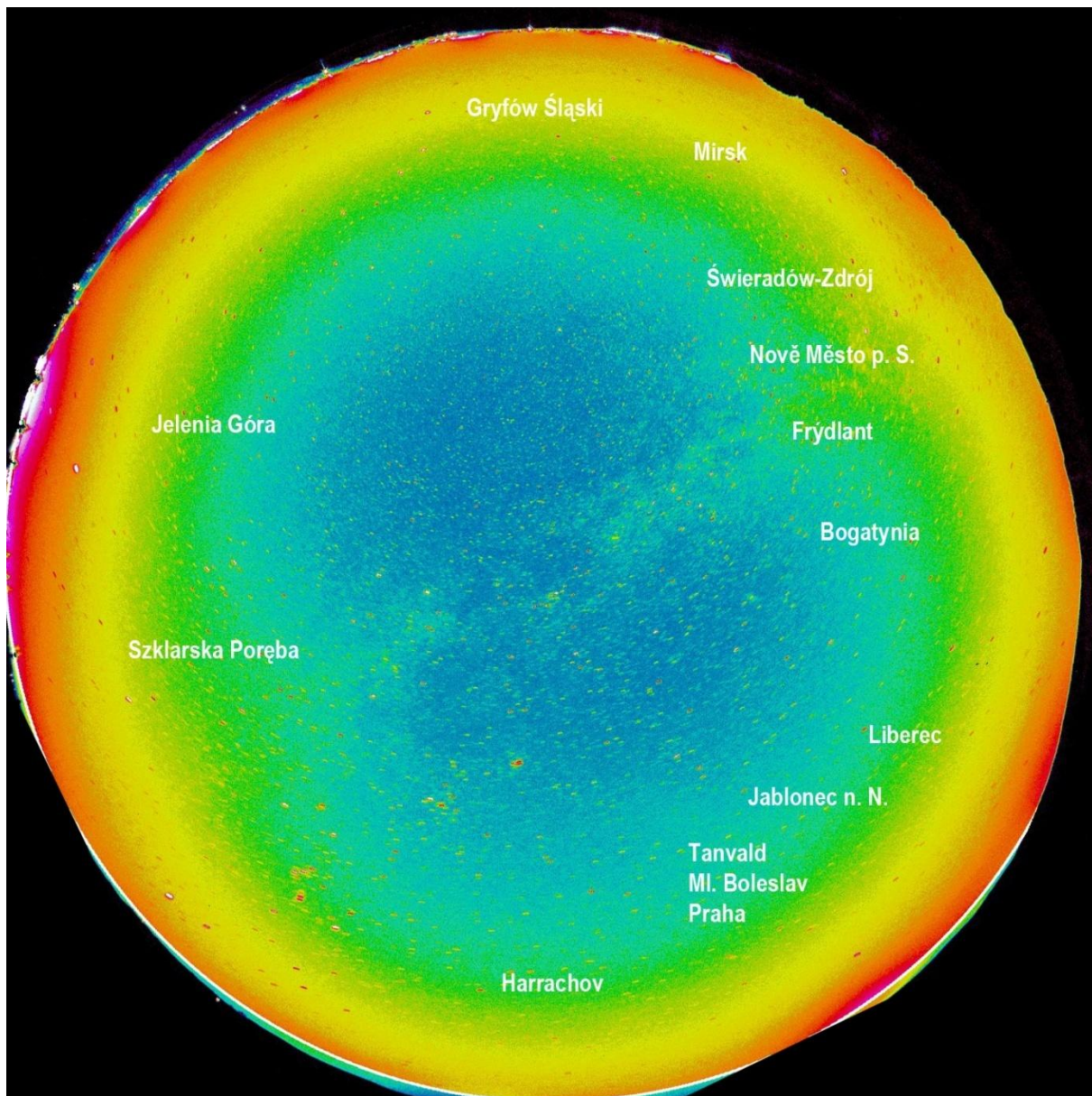
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Jelenia Góra	21,5	74	80 889
Szklarska Poręba	6	118	6 661
Harrachov	8,5	187	1 470
Tanvald	16	217	6 477
Ml. Boleslav	60	218	44 199
Praha	113	220	1 267 449
Jablonec n. N.	23,5	235	45 510
Liberec	29	250	103 288
Bogatynia	34,5	280	18 030
Nové Město p. S.	17,5	300	3 771
Mirsk	14	342	3 981
Świeradów-Zdrój	20	354	4 250
Gryfów śląski	20	354	6 728



Obr. 27: Celoblohový snímek pořízený v lomu Stanislav 27. 9. 2014, 21:13 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas zjištěný z celoblohového snímku je 21,07 MSA. Největším umělým zdrojem jasu oblohy v této lokalitě je Jelenia Góra, dále pak Mladá Boleslav (přímá viditelnost) a Liberec. Přes oblohu se klene podzimní část Mléčné dráhy.



**Obr. 28: Celooblohový snímek pořízený v lomu Stanislav 29. 10. 2014, 0:10 UT
Zdroj: Martin Gembeč**

Zenitový jas noční oblohy zmeřený ze snímku je 20,78 MSA. Tato noc byla suchá, na jas oblohy se výrazně podílel airglow (Gembeč 2014). Nejvýraznějším zdrojem umělého jasu noční oblohy je opět Jelenia Góra, dále Mladá Boleslav, Liberec a Szklarska Poręba.

7.2.4 Dolní Řasnice – odbočka

GPS souřadnice: 50° 55,899' SŠ, 15° 09,368' VD

Stanoviště se nachází na silnici mezi Frýdlantem a Novým Městem pod Smrkem na křižovatce se silnicí vedoucí do Dolní Řasnice. Nadmořská výška lokality je 390 m.

Výsledky, diskuze a zhodnocení dlouhodobého měření pomocí přístroje SQM.

Tab. 8: Statistika měření s SQM v lokalitě Dolní Řasnice – odbočka (měření viz příloha č. 4)

Počet měření	11
Měřeno od - do	2008 - 2016
Průměr MSA	21,10
Medián MSA	21,11
Minimum MSA	20,98
Maximum MSA	21,25

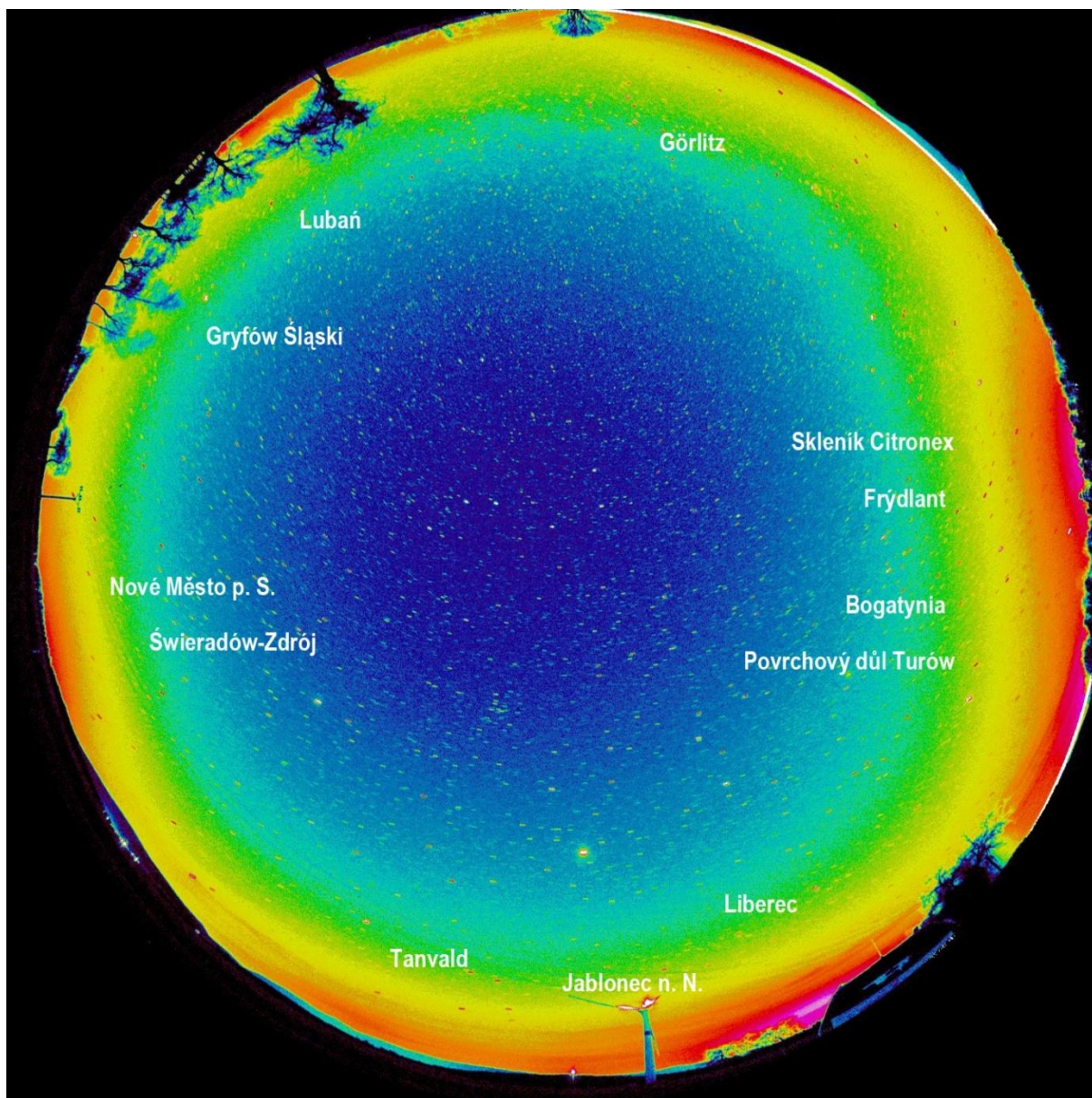
Průměrný jas noční oblohy na stanovišti Dolní Řasnice - odbočka je 21,10 MSA, medián 21,11 MSA. Nejvyšší hodnoty jasu oblohy (20,98 - 20,99 MSA) byly zaznamenány za horších atmosférických podmínek. Nejtmavší hodnoty 21,25 MSA bylo dosaženo na jarní obloze, bez Mléčné dráhy při průzračném vzduchu.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Dolní Řasnice – odbočka

Tab. 9: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Dolní Řasnice – odbočka

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Lubaň	23	24	21 506
Gryfów śląski	21	59	6 728
Nové Město p. S.	5	95	3 771
Świeradów-Zdrój	13	101	4 250
Tanvald	24	154	6 477
Jablonec n. N.	23	177	45 510
Liberec	20	200	103 288
Bogatynia	14	257	18 030
Frýdlant	5,5	260	7 548
Důl Turów	18	261	0
Skleník Citronex	16,5	278	0
Görlitz	26,5	334	55 255 + 31 280



Obr. 29: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Dolní Řasnice – odbočka 7. 2. 2016, 01:20 UT
 Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy určený z celooblohového snímku je 21,18 MSA. Na nízkém jasu noční oblohy se podílely dobré atmosférické podmínky (sucho, průzračný vzduch), dále absence Mléčné dráhy na obloze. Nejvýraznějším umělým zdrojem jasu oblohy při tomto měření byl rozsvícený skleník firmy Citronex, který se nachází nedaleko Bogatynie v Polsku. Dále pak Liberec, Jablonec nad Nisou, důl v Turówě a Nové Město pod Smrkem.

Vzdálenější umělé zdroje (Liberec, Jablonec, Tanvald, důl v Turówě a Bogatynia) jsou zvláště výrazně vysokou oblačností nacházející se u obzoru.

7.2.5 Jítrava

GPS souřadnice: 50° 47,075' SŠ, 14° 51,897' VD

Pozorovací stanoviště se nachází přibližně 500 m jižně od obce Jítrava při silnici vedoucí k obci Zdislava. Lokalita je na úpatí Ještědsko-Kozákovského hřebene ve výšce 455 m n. m.

Výsledky, diskuze a zhodnocení dlouhodobého měření pomocí přístroje SQM.

Tab. 10: Statistika měření s SQM v lokalitě Jítrava (měření viz příloha č. 5)

Počet měření	18
Měřeno od - do	2009 - 2014
Průměr MSA	20,96
Medián MSA	20,99
Minimum MSA	20,95
Maximum MSA	21,26

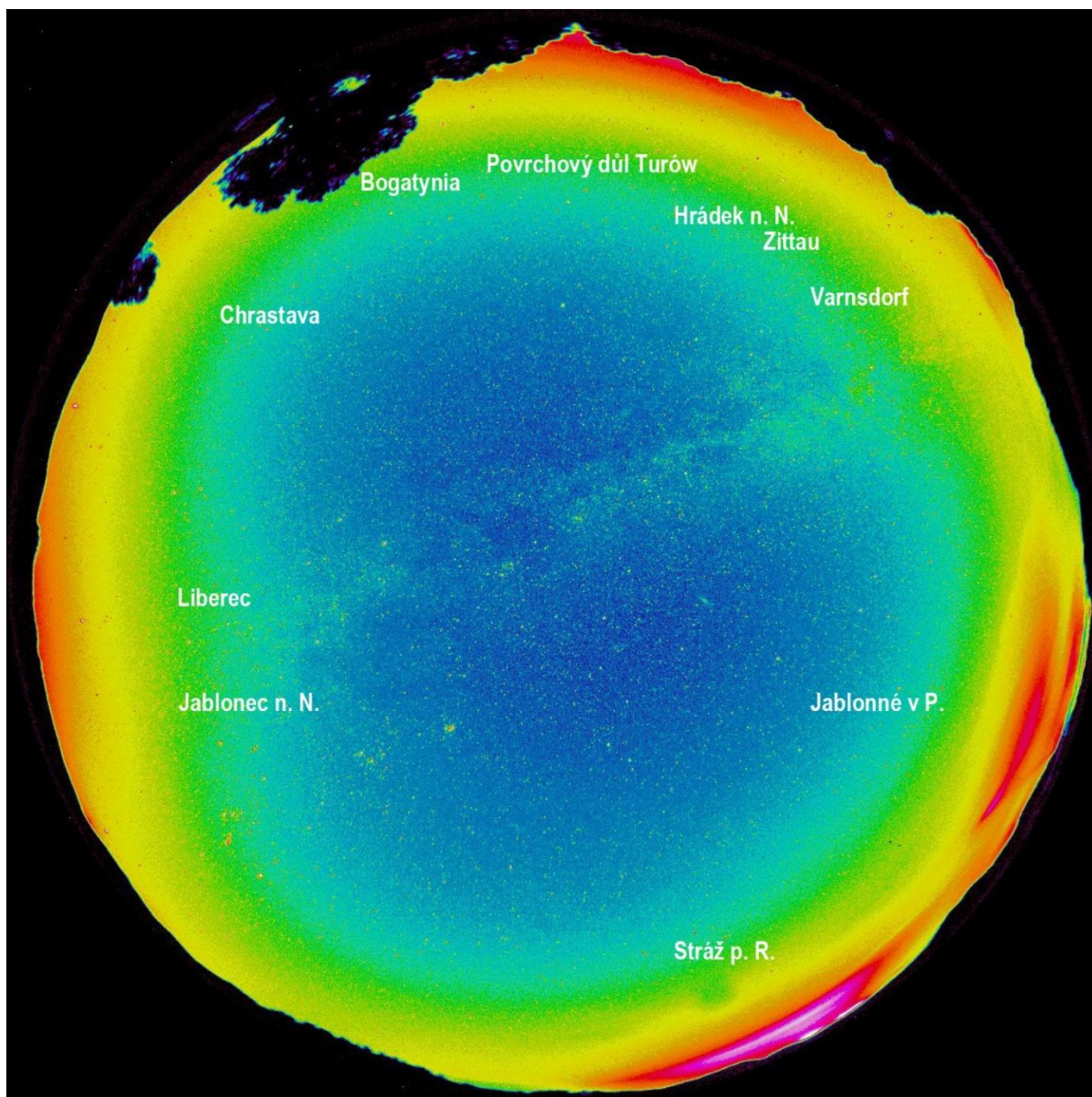
Průměrný jas noční oblohy na stanovišti u Jítravy je 20,96 MSA, medián 20,99 MSA. Vysoké hodnoty jasu oblohy byly naměřeny při vysoké vlhkosti, nebo při rozpadající se vysoké oblačnosti. Nadprůměrně tmavá obloha na této lokalitě se vyskytla obvykle na jaře při absenci Mléčné dráhy a za nižší vlhkosti vzduchu.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Jítrava

Tab. 11: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jítrava

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLDfS (2016)

Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Důl Turów	13,5	9	0
Bogatynia	14,5	28	18 030
Chrastava	8	64	6 213
Liberec	14	102	103 288
Jablonec n. N.	22,5	107	45 510
Stráž p. R.	10	205	4 048
Jablonné v P.	7,5	253	3 656
Varnsdorf	21,5	309	15 611
Zittau	13	342	25 712
Hrádek n. N.	7,5	349	7 626



Obr. 30: Celoblokový snímek pořízený v lokalitě Jítrava 28. 9. 2014, 01:30 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy zjištěný ze snímku je 20,97 MSA. Nejvýraznějším zdrojem jasu oblohy je blízký Liberec, Jablonec nad Nisou je téměř v zákrytu s Libercem. Dalšími výraznými zdroji jasu oblohy jsou Stráž pod Ralskem (podnik Diamo Ralsko), Jablonné v Podještědí a povrchový důl v Turówě.

Světelné zdroje nad jihozápadem až západem (Stráž pod Ralskem a Jablonné v Podještědí) jsou velmi zvýrazněny vysokou oblačností, která byla tímto směrem u obzoru. Přes zenit se klene podzimní Mléčná dráha.

7.2.6 Albrechtický kopec

GPS souřadnice: 50° 51,953' SŠ, 15° 01,590' VD

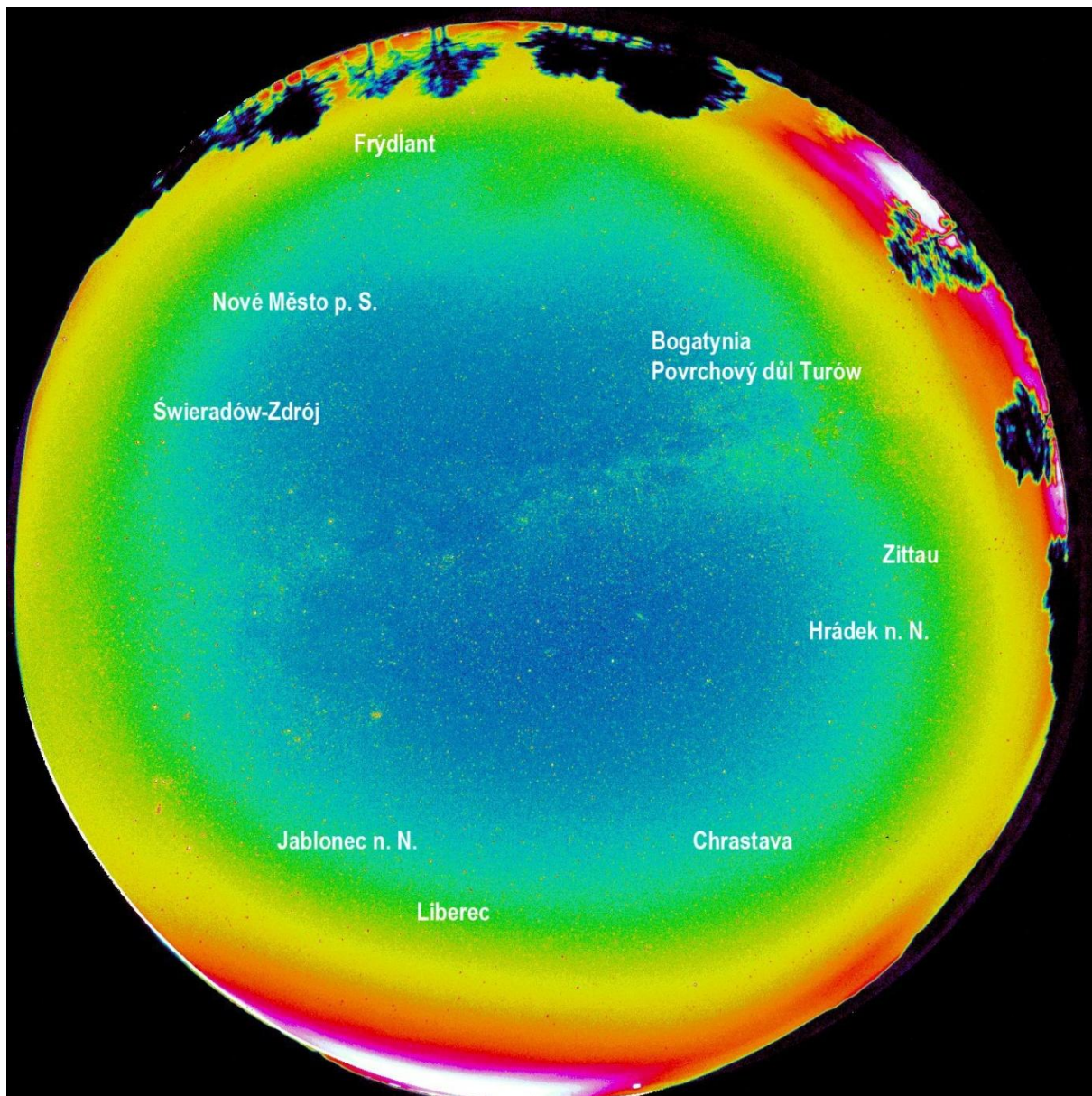
Albrechtický kopec je nevysoký vrchol nedaleko obce Albrechtice u Frýdlantu. Pozorovací stanoviště se nachází v nadmořské výšce 550 m zhruba 500 m západně od obce Albrechtice, při silničce vedoucí z Albrechtic do Horního Vítkova.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Albrechtický kopec

Tab. 12: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Albrechtický kopec

Zdroj: Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

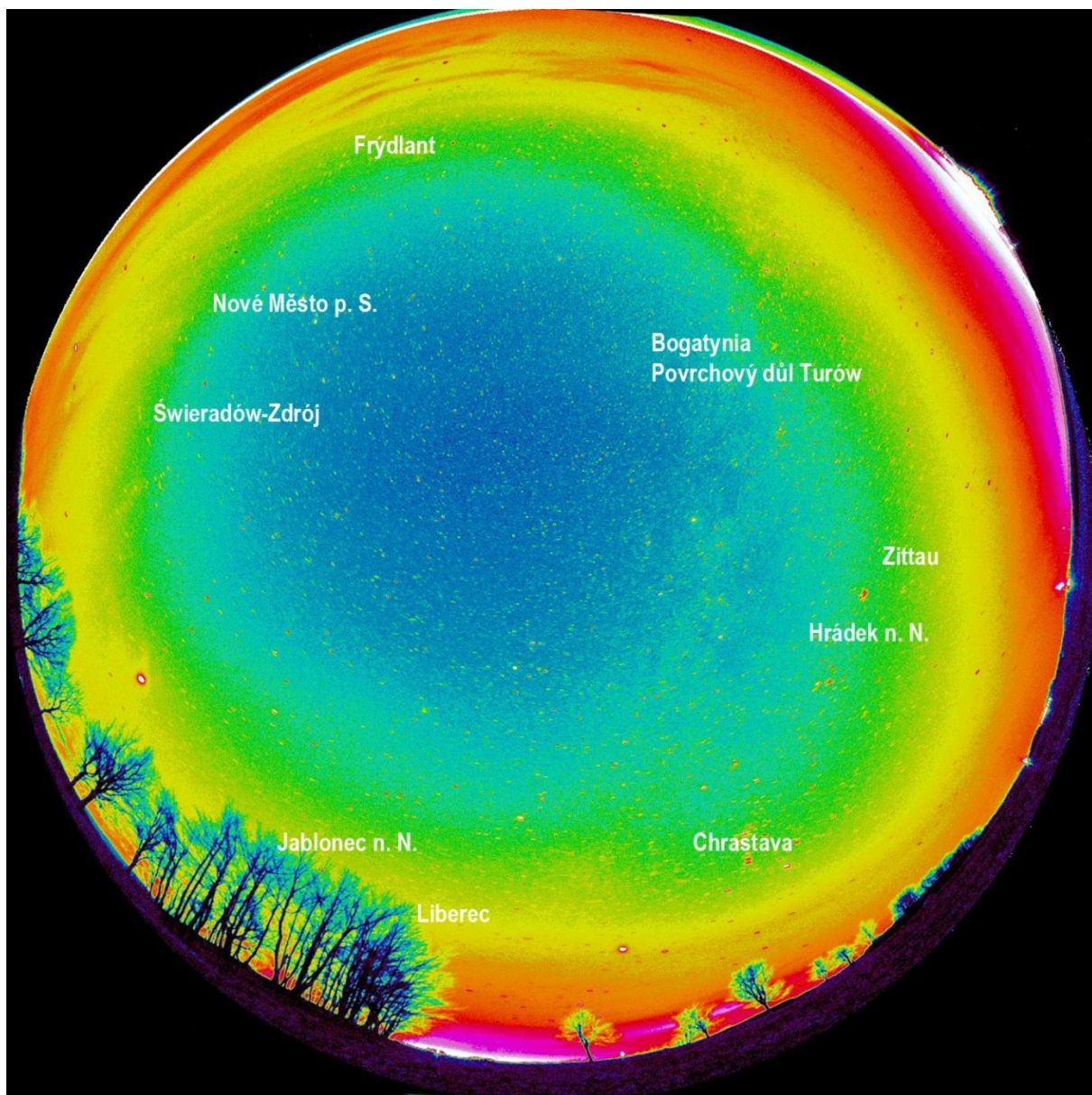
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Frýdlant	7	30	7 548
Nové Město p. S.	15,5	63	3 771
Świeradów-Zdrój	22,5	78	4 250
Jablonec n. N.	19	147	45 510
Liberec	12	168	103 288
Chrastava	7	218	6 213
Hrádek n. N.	12,5	263	7 626
Zittau	15,5	282	25 712
Povrchový důl Turów	10	296	0
Bogatynia	6	613	18 030
Skleník Citronex	12	323	0



Obr. 31: Celooblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 28. 9. 2014, 00:45 UT

Zdroj: vlastní snímek

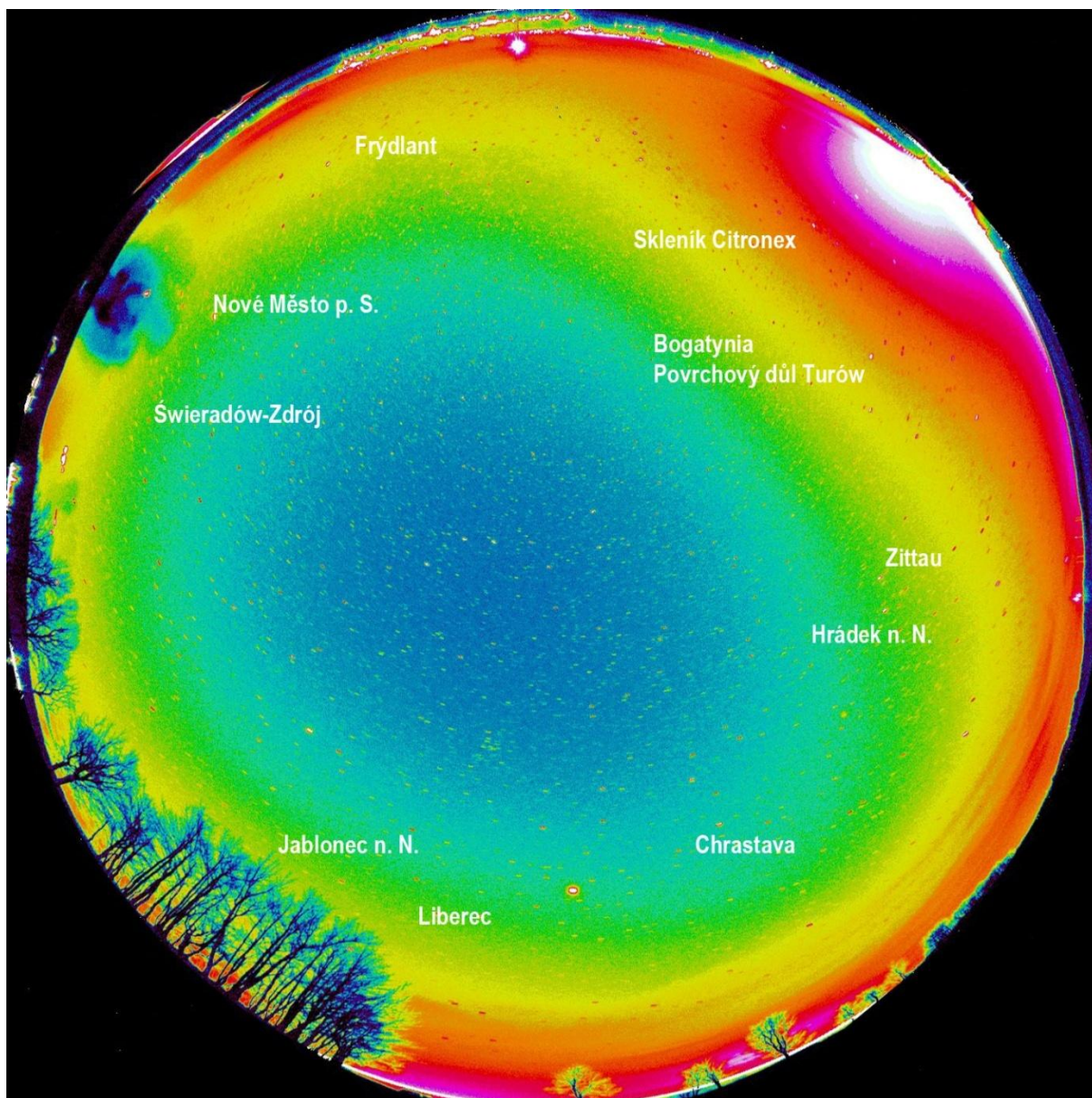
Jas oblohy určený ze snímku je 20,87 MSA. Největšími přispěvateli do jasu noční oblohy je Liberec spolu s povrchovým dolem Turów. Dále je dobře viditelná Chrastava, německá Žitava (Zittau) a Frýdlant. Přes oblohu se klene podzimní Mléčná dráha.



Obr. 32: Celooblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 6. 2. 2016, 21:35 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy určený ze snímku je 20,77 MSA. Nejvýraznějšími umělými zdroji jasu oblohy jsou Liberec spolu s povrchovým dolem v Turówě. Zdroje nad východem, severem až severozápadem jsou velmi zvýrazněny vysokou oblačností, která se vyskytovala u obzoru.



Obr. 33: Celoblohový snímek pořízený na Albrechtickém kopci 7. 2. 2016, 01:45 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy určený ze snímku je 20,74 MSA. Snímek byl pořízen pouze v rozmezí pár hodin oproti měření z 6. 2. 2016 ve 21:35 UT. Nejvýraznějším zdrojem jasu oblohy se stal rozsvícený skleník Citronex. Skleník se od stanoviště nachází ve shodné vzdálenosti jako město Liberec (12 km). Zde je názorně vidět, že skleník má vyšší vliv na jas oblohy, než město se sto tisíci obyvateli.

Jas oblohy v zenitu vzrostl oproti předchozímu měření jen o 0,03 MSA. Jedním z faktorů takto nízkého rozdílu jasu i přes rozsvícený skleník je, že se v průběhu noci výrazně zlepšily atmosférické podmínky, především se zcela rozpustila vysoká oblačnost, která byla při předchozím měření dobře patrná.

7.2.7 Jindřichovice p. S. – větrné elektrárny

GPS souřadnice: 50° 57,906' VD, 15° 14,725' SŠ

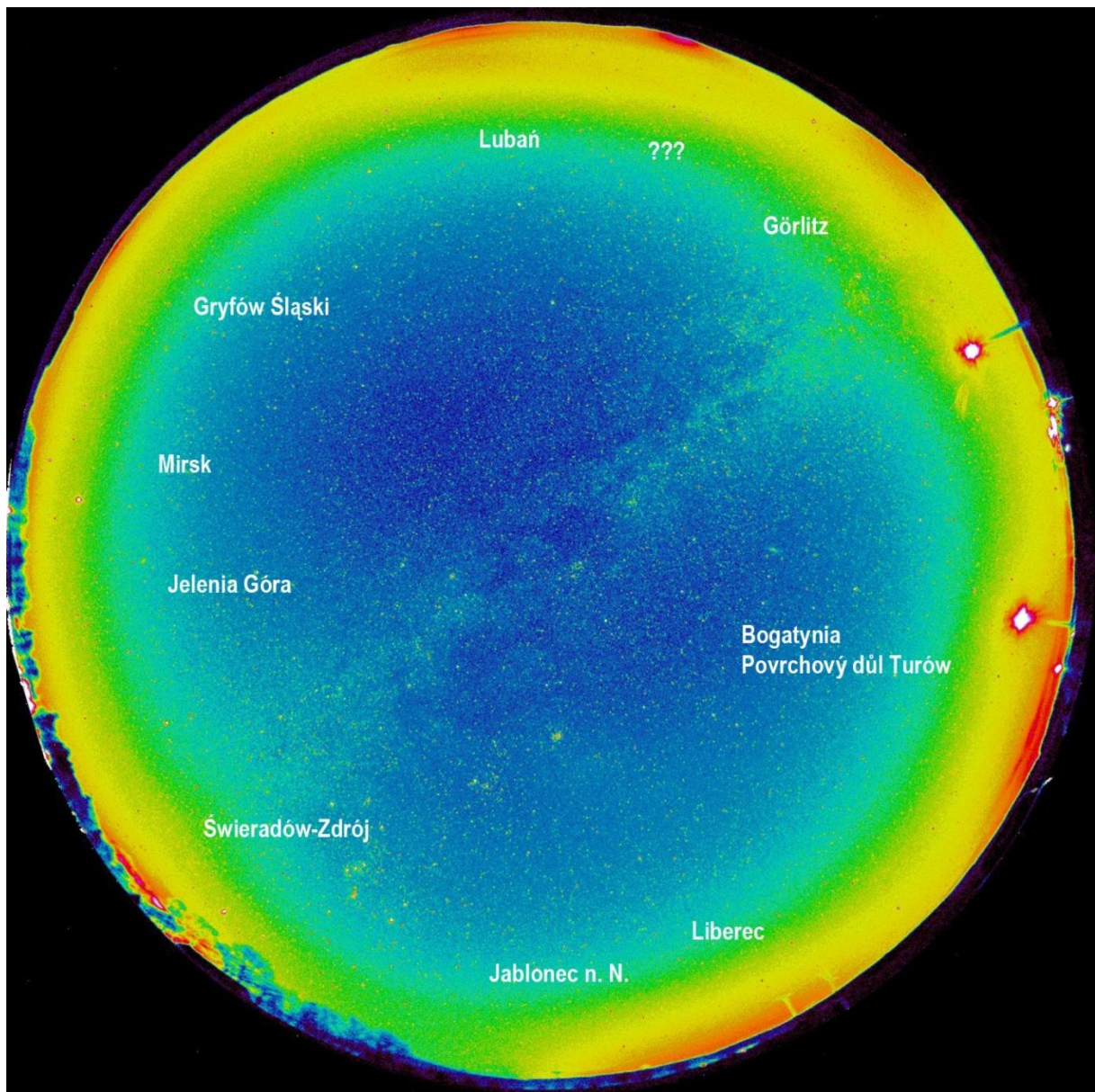
Stanoviště se nalézá na louce severně od obce Jindřichovice pod Smrkem, nedaleko dvou větrných elektráren. Nadmořská výška lokality je 382 m.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Jindřichovice p. S. – větrné elektrárny

Tab. 13: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Jindřichovice p. S. – větrné elektrárny

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

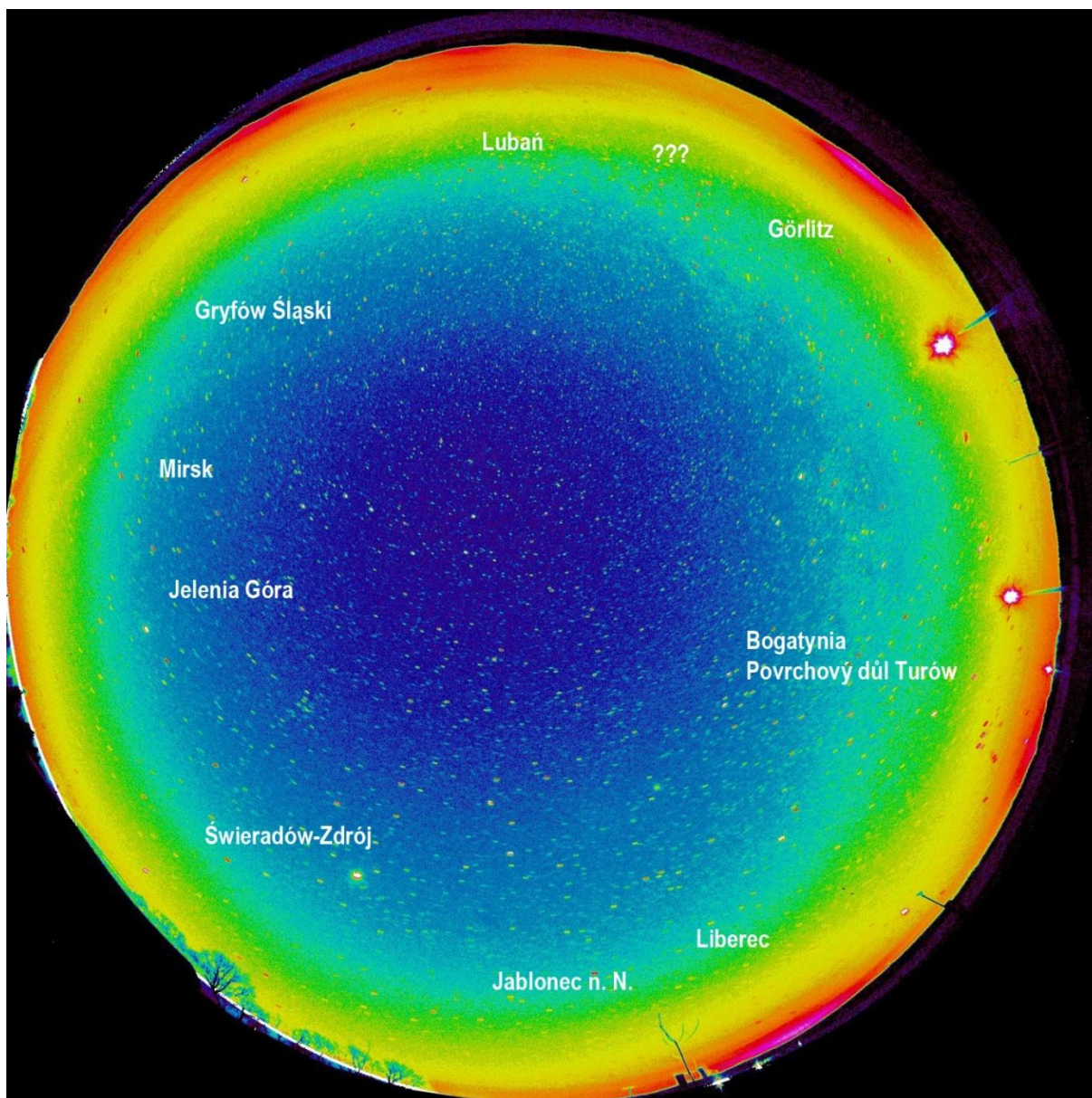
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Lubaň	17,5	10	21 506
Gryfów śląski	14	58	6 728
Mirsk	9,5	87	3 981
Jelenia Góra	35	101	80 889
Świeradów-Zdrój	9	134	4 250
Jablonec n. N.	27	191	45 510
Liberec	26	210	103 288
Frýdlant	12	248	7 548
Bogatynia	21	250	18 030
Důl Turów	25	255	0
Görlitz	27	318	55 255 + 31 280



Obr. 34: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Jindřichovice p. S. - větrné elektrárny 17. 11. 2014, 00:16 UT

Zdroj: Martin Gembec, poskytnuto autorem

Jas oblohy určený ze snímku je 21,05 MSA. Přes oblohu se klene podzimní a zimní část Mléčné dráhy. Nejvýraznějšími umělými zdroji jasu oblohy je povrchový důl Turów, Liberec, Jablonec nad Nisou, Görlitz, Lubań a Świeradów-Zdrój. Zdroj na snímku označený jako „???” se nepodařilo určit. Pravděpodobně pochází z nějaké polské obce nedaleko česko-polských hranic.



Obr. 35: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Jindřichovice p. S. - větrné elektrárny 7. 2. 2016, 00:00 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy určený ze snímku je 21,19 MSA. Obloha je bez Mléčné dráhy. Nejvýraznějšími umělými zdroji jasu oblohy je povrchový důl Turów, Liberec, Jablonec nad Nisou, Görlitz, Lubań a Świeradów-Zdrój. Obloha v okolí zenitu byla relativně tmavá, dobré atmosférické podmínky. Všechny vzdálenější zdroje jsou velmi zvláště rozpadávající se vysokou oblačností, která byla při obzoru viditelná.

7.2.8 Bulovský kopec

GPS souřadnice: 50° 58,834' SŠ, 15° 09.257' VD

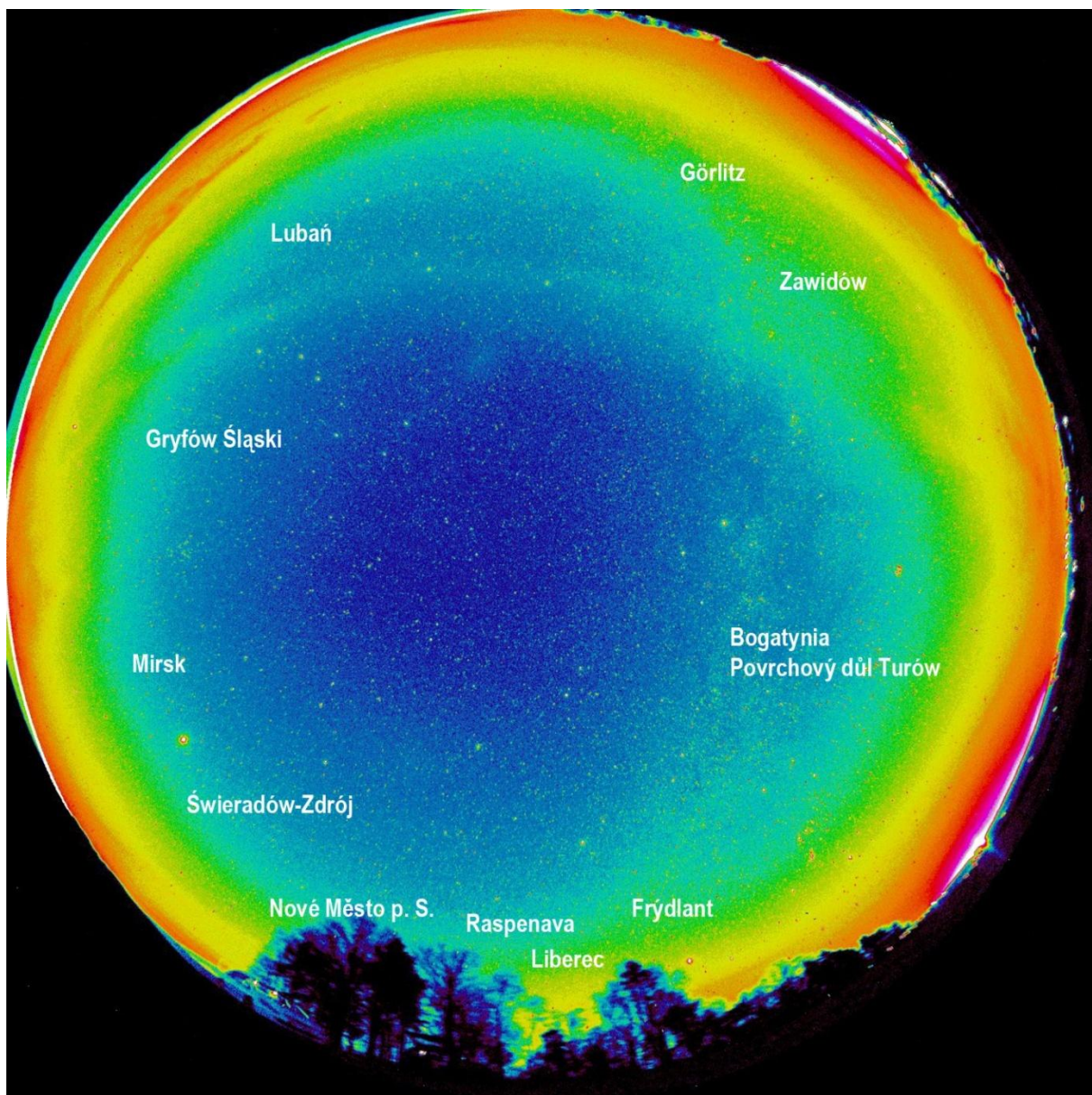
Bulovský kopec je nevysoký vrch severovýchodně od obce Bulovka, vrch je součástí Frýdlantské pahorkatiny. Stanoviště se nachází ve výšce 440 m. n. m.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Bulovský kopec

Tab. 14: Významné zdroje umělého osvětlení pro lokalitu Bulovský kopec

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SldFS (2016)

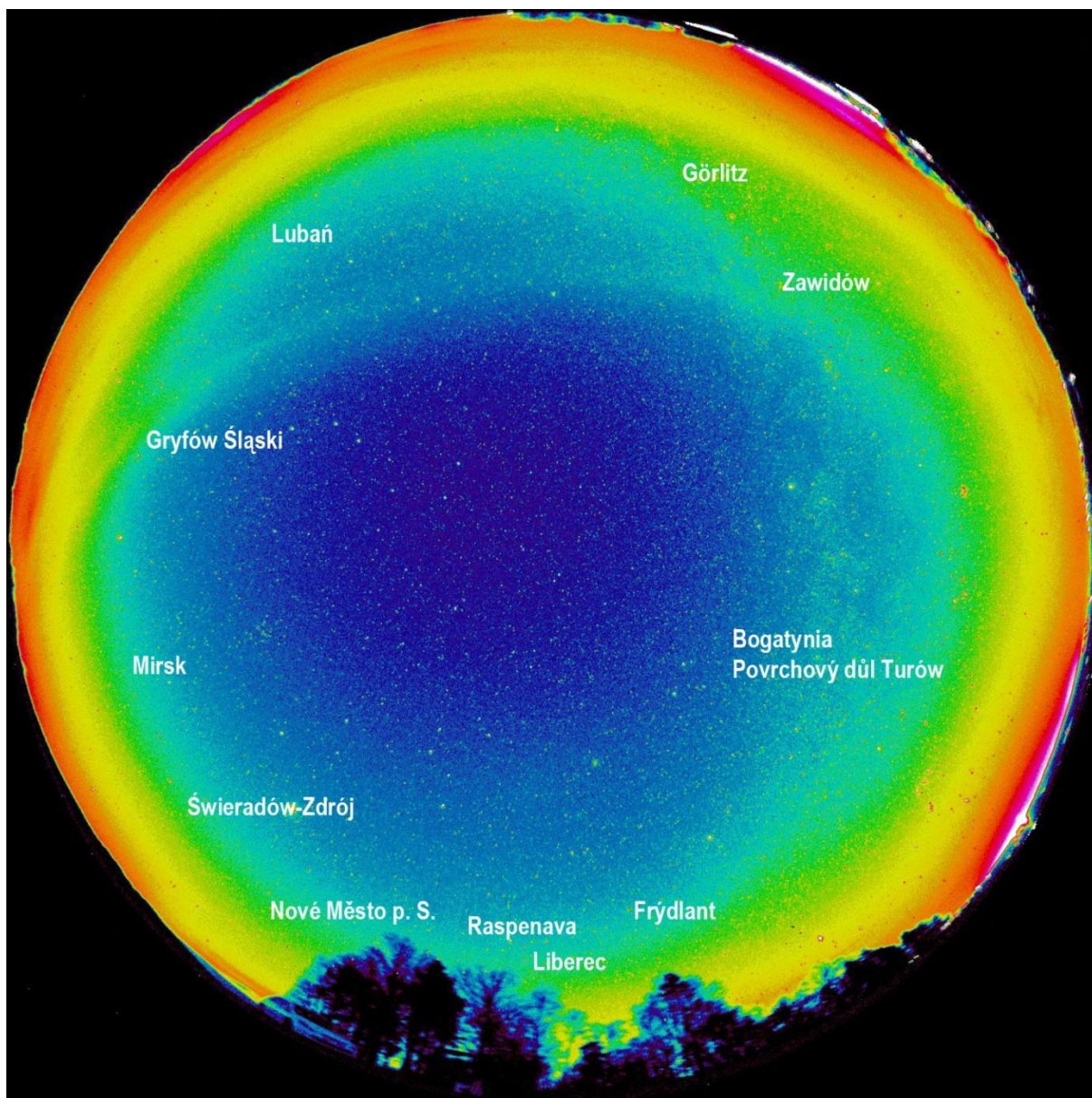
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Lubaň	18	32	21 506
Gryfów śląski	19	72	6 728
Mirsk	16	95	3 981
Świeradów-Zdrój	15	122	4 250
Nové Město p. S.	7,5	138	3 771
Raspenava	9	191	2 803
Liberec	25	195	103 288
Frýdlant	8	220	7 548
Bogatynia	16	237	18 030
Důl Turów	20	245	0
Zawidów	8	309	4 259
Görlitz	22	328	55 255 + 31 280



Obr. 36: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 6. 2. 2016, 22:20 UT

Zdroj: vlastní snímek

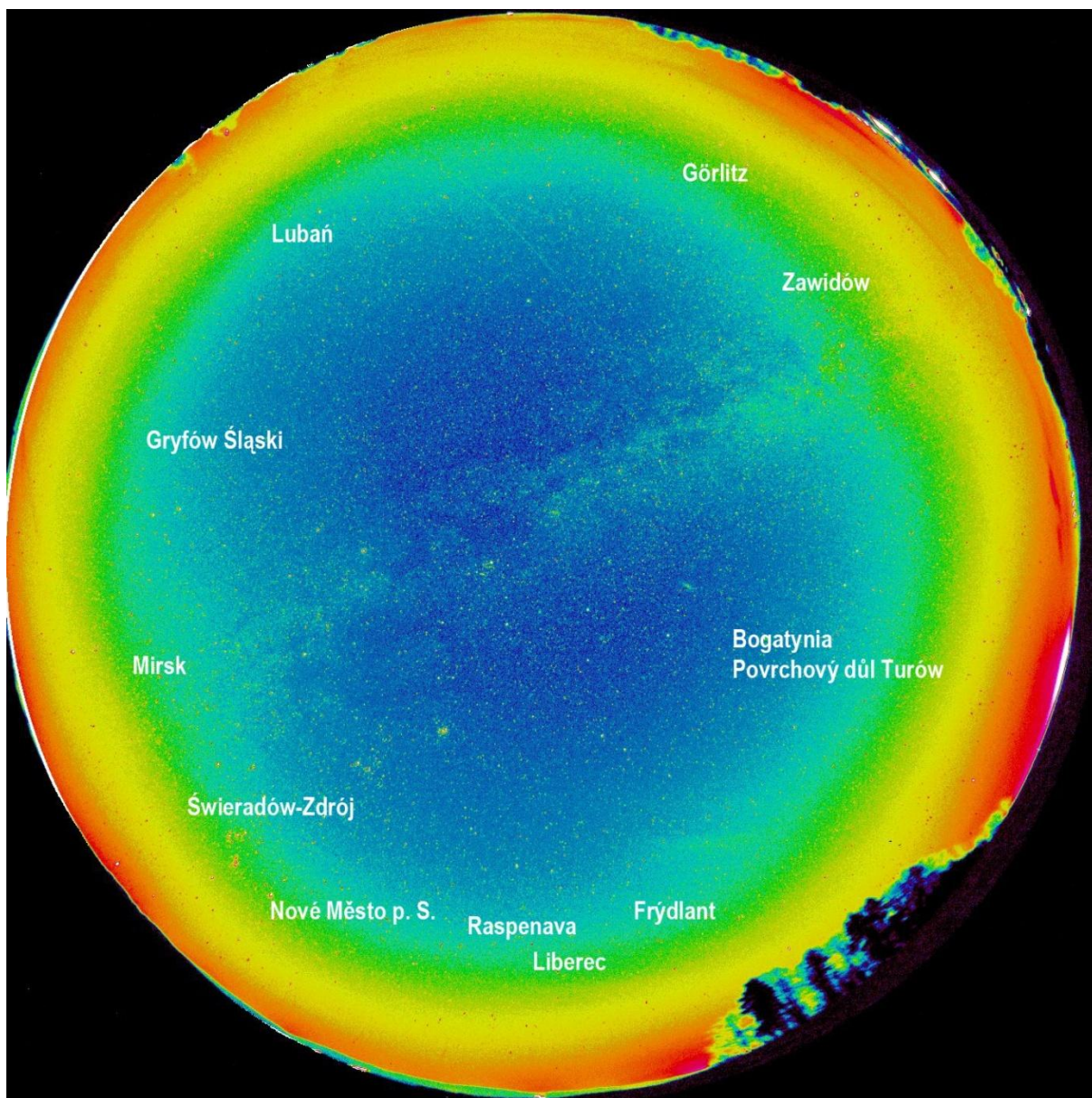
Jas oblohy dle snímku byl 21,06 MSA. Ten je ovlivněn rozpadající se vysokou oblačností nasvětlenou městy, která se nad stanovištěm vyskytovala. Nejvýraznějšími umělými zdroji jasu oblohy je povrchový důl Turów a Görlitz.



Obr. 37: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 6. 2. 2016, 23:05 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy dle snímku je 21,17 MSA. Jas oblohy oproti předchozímu snímku pořízeném o 45 minut dříve klesl o 0,11 MSA. Důvodem je zlepšení atmosferických podmínek, rozpad vysoké oblačnosti. Nejvýraznějším zdrojem jasu oblohy je stále povrchový důl v Turówě. Zdroje jsou zvýrazněny nasvícenou vysokou oblačností u obzoru.



Obr. 38: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Bulovský kopec 1. 1. 2017, 19:06 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy dle snímku je 20,99 MSA. Přes oblohu se klene podzimní a zimní Mléčná dráha. Jas oblohy je ovlivněn vyšší vlhkostí vzduchu. Nejvýraznějším zdrojem jasu oblohy je povrchový důl v Turówě, dále Frýdlant, Görlitz, Liberec a Świeradów-Zdrój.

7.2.9 Horní Řasnice – větrná elektrárna

GPS souřadnice: 50° 57,895' SŠ, 15° 12,698' VD

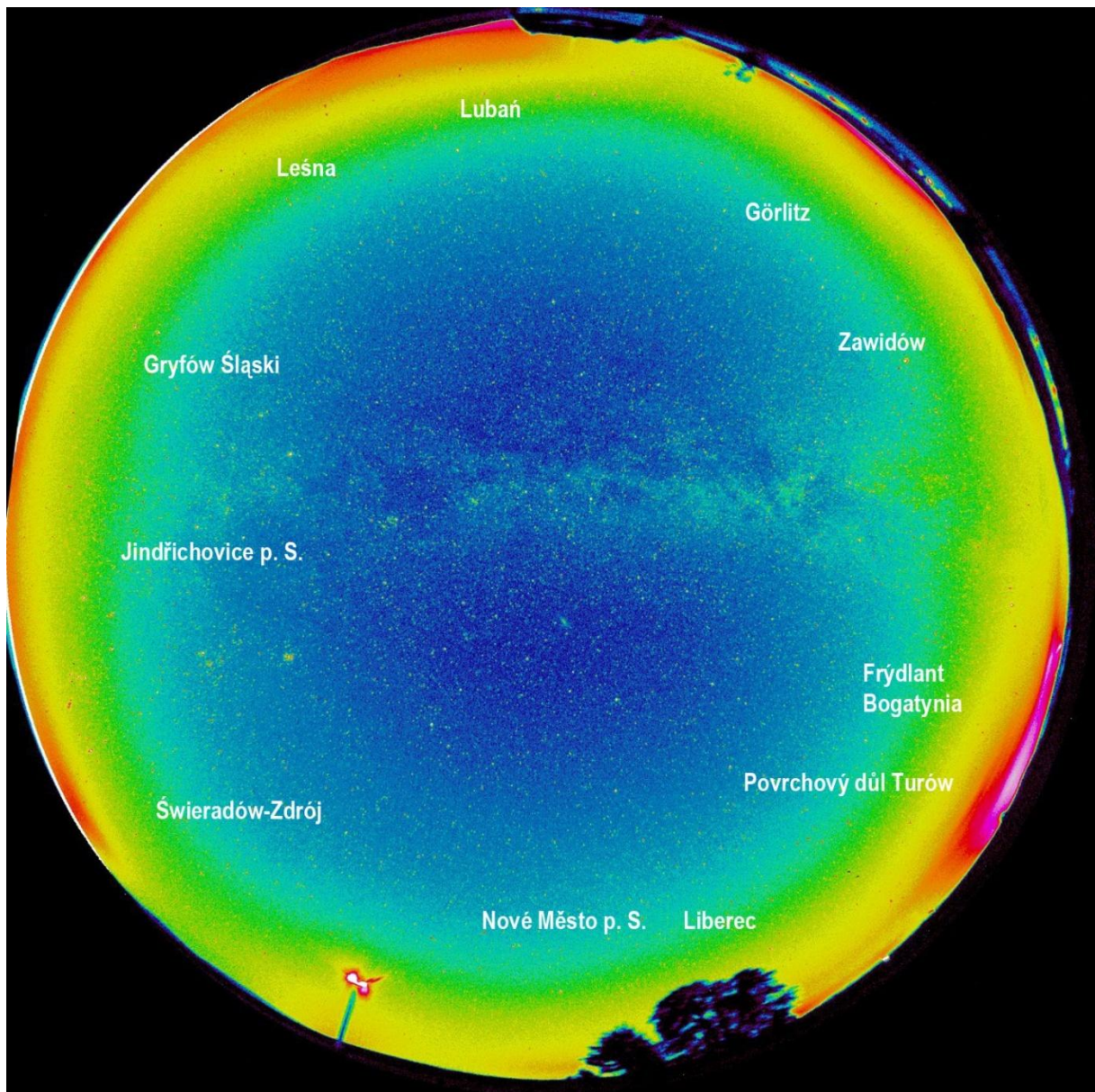
Stanoviště se nachází západně od obce Horní Řasnice, poblíž větrné elektrárny při silnici z Horní Řasnice do Jindřichovic pod Smrkem. Nadmořská výška je 418 m.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Horní Řasnice – větrná elektrárna

Tab. 15: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro lokalitu Horní Řasnice - větrná elektrárna

Zdroj: mapy.cz, ČSÚ, GUS, SLdFS (2016)

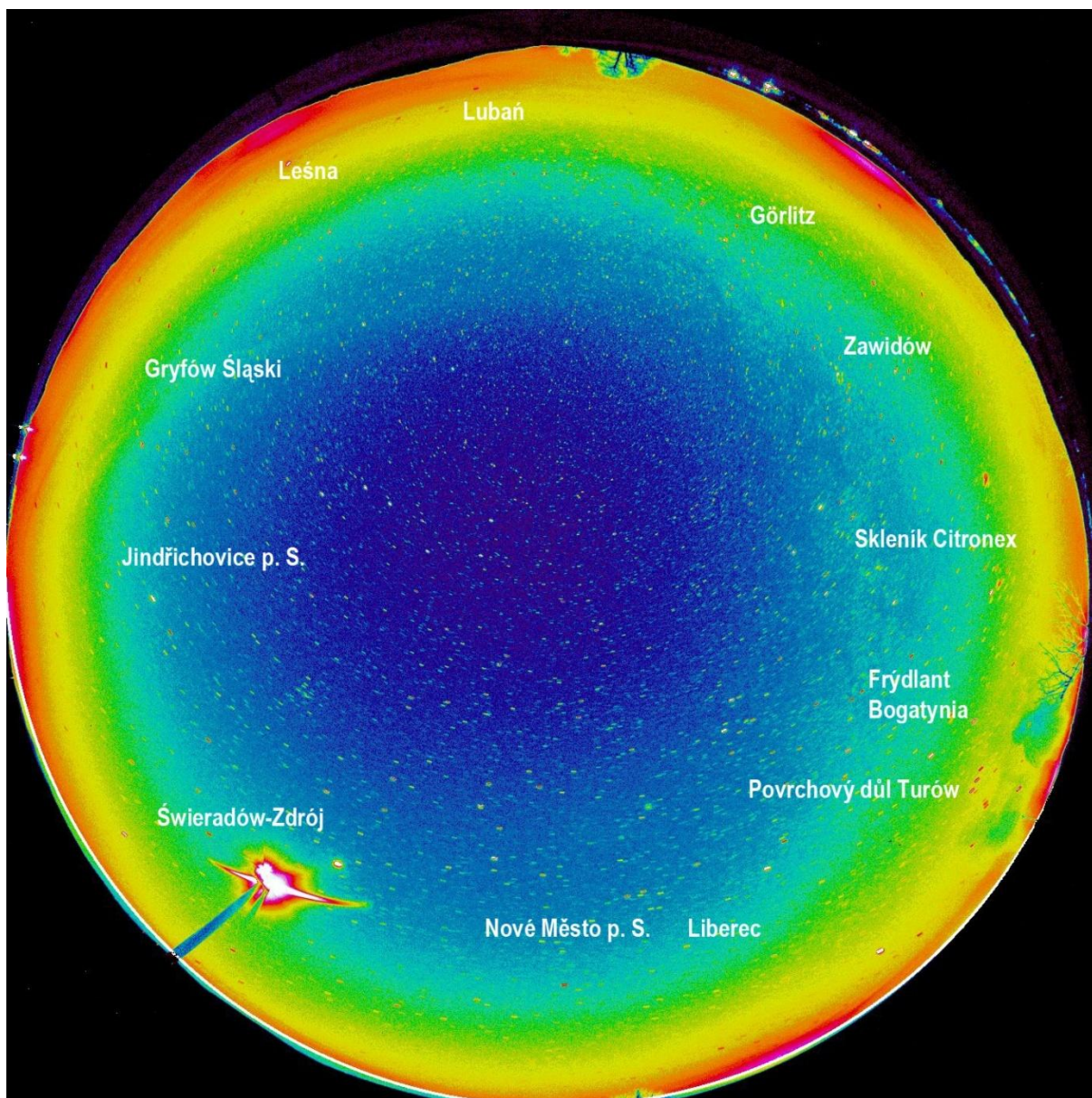
Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Azimut °	Počet obyvatel
Lubaň	18	17	21 506
Gryfów śląski	16	63	6 728
Mirsk	12	88	3 981
Świeradów-Zdrój	11	125	4 250
Nové Město p. S.	4	164	3 771
Tanvald	26	165	6 477
Jablonec n. N.	27	168	45 510
Liberec	25	205	103 288
Frýdlant	10,5	244	7 548
Bogatynia	19	249	18 030
Důl Turów	23	253	0
Skleník Citronex	20,5	266	0
Görlitz	26	321	55 255 + 31 280



Obr. 39: Celoblokový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice – větrná elektrárna 27. 9. 2014, 23:57 UT

Zdroj: vlastní snímek

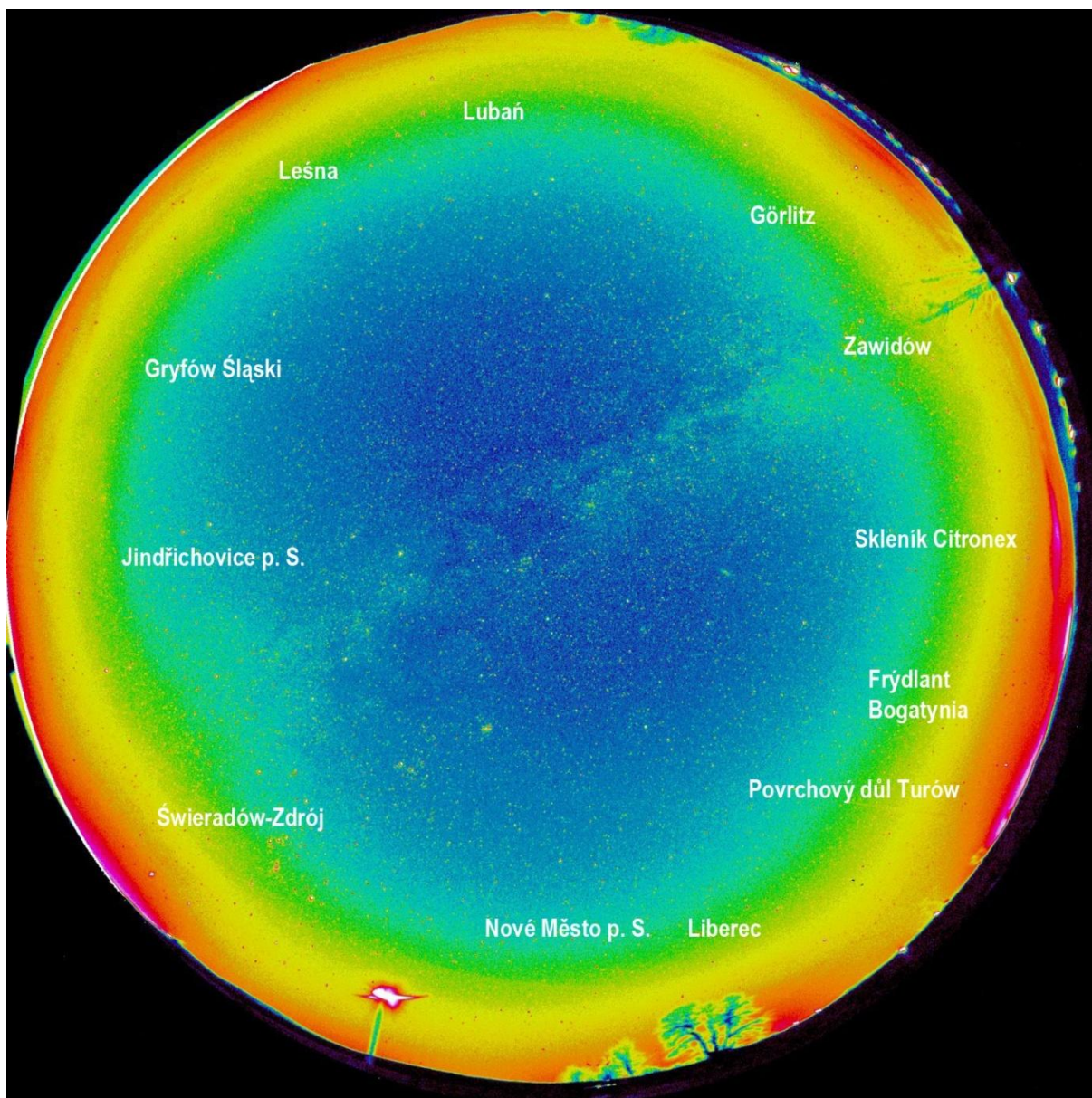
Zenitový jas oblohy dle snímku je 21,07 MSA. Přes oblohu se klene podzimní část Mléčné dráhy. Nejvýraznějším zdrojem jsou důl v Turówě, Liberec, Frýdlant, Lubań a Görlitz.



Obr. 40: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice – větrná elektrárna 6. 2. 2016, 23:40 UT

Zdroj: vlastní snímek

Zenitový jas oblohy určený ze snímku byl 21,22 MSA. V zenitu se nacházela jarní obloha bez Mléčné dráhy. Vysoko nad obzorem byla obloha čistá, průzračnost byla dobrá. Světelné zdroje podél obzoru jsou zvláště rozpadající se vysokou oblačností. Nejvýraznějšími zdroji jsou Liberec, Görlitz, Jindřichovice pod Smrkem a Leśna.



Obr. 41: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Horní Řasnice – větrná elektrárna 1. 1. 2017, 19:41 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy určený ze snímku je 20,99 MSA. Přes oblohu se klene podzimní a zimní část Mléčné dráhy. Jas oblohy je ovlivněn vyšší vlhkostí vzduchu. Nejvýraznějším umělým zdrojem jasu oblohy je povrchový důl v Turówě, dále Świeradów-Zdrój (rozsvícená sjezdovka), Liberec, skleník firmy Citronex (střecha skleníku se zataženými roletami, boky skleníku odkryté) a Görlitz.

7.3 Srovnání a zhodnocení lokalit

Měření jasu noční oblohy probíhala v okolí města Liberec na devíti lokalitách v různých vzdálenostech od zdrojů umělého osvětlení. Z provedených měření a pozorování vyplývá, že jas noční oblohy je kromě vzdálenosti od měst, coby výrazných zdrojů umělého osvětlení, závislý také na aktuálních meteorologických podmínkách.

Z pořízených celooblohových snímků je patrné, že na jas noční oblohy mají vliv větší a vzdálenější zdroje (např. Liberec, Jablonec nad Nisou, Jelenia Góra, povrchový důl a elektrárna v Turówě) než menší světelné zdroje (obce a menší města), které jsou blíže k pozorovacímu stanovišti (výjimkou jsou osvětlené sjezdovky).

Z dlouhodobého měření jasu noční oblohy na vybraných lokalitách vyplývá, že nejtmaším stanovištěm je Rozdroże Izerskie v polské části Jizerských hor. Výjimkou jsou noci, kdy byly rozsvícené sjezdovky ve Szklarska Porębě a Świeradów-Zdróji. Při rozsvícených sjezdovkách 1. 1. 2017 byl jas oblohy na této lokalitě dle celooblohového snímku jen 20,94 MSA. Ve stejnou noc byl na Jizerce změřen jas oblohy 20,95 MSA, kdežto na Frýdlantsku v lokalitách Bulovka a Horní Řasnice - větrná elektrárna byl jas oblohy nižší (obě lokality shodně 20,99 MSA). V důsledku rozsvícených sjezdovek v Jizerských horách může být na Frýdlantsku jas noční oblohy nižší než v Jizerských horách (viz příloha 8). Výjimečná byla noc 12. 10. 2010, kdy díky několika příznivým faktorům (nízká vlhkost vzduchu a inverzní oblačnost nad městy) zajistila rekordní jas oblohy, a to 21,53 MSA.

Druhou nejtmaší měřenou lokalitou je Lom Stanislaw. Lom se nachází přímou vzdáleností pouze 1,7 km od Rozdroże Izerskie. Měření z 27. 9. 2014 ukázalo, že jas oblohy v lomu je o 0,06 MSA vyšší než na Rozdroże Izerskie. Důvodem může být větší blízkost lomu k městu Szklarska Poręba, možný je i vliv stínění hor.

Jas oblohy se může na daném stanovišti měnit i v řádu několika desítek minut v závislosti na změně meteorologických podmínek. Příkladem může být měření na Bulovském kopci ze dne 6. 2. 2016, kdy se během 45 minut snížil jas oblohy z 21,06 na 21,17 MSA. Důvodem byla rozpadávající se vysoká oblačnost, postupem času se zlepšovala průzračnost oblohy. V důsledku toho se snížil vliv rozptýleného světla z umělých světelných zdrojů.

Jas oblohy na lokalitách, které se nacházejí na Frýdlantsku (Bulovský kopec, Dolní Řasnice - odbočka, Horní Řasnice - větrná elektrárna a Jindřichovice p. S. - větrné elektrárny), je srovnatelný. Měření jasu z 6. 2. 2016 na těchto stanovištích ukázalo, že jas oblohy v okolí zenitu se liší pouze řádově v setinách MSA. Jas oblohy je mírně vyšší na Bulovském kopci a v Dolní Řasnici – odbočka

oproti zbytku stanovišť na Frýdlantsku. Důvodem je jejich větší blízkost městu Frýdlant a dolu s elektrárnou v Turówě (viz příloha 7).

Velký vliv na jas oblohy má skleník firmy Citronex. Pozorování provedená na Albrechtickém kopci dne 6. 2. 2016 ukázala, že skleník svítí mnohem více než město Liberec se 100 tisíci obyvateli. Pozorovací stanoviště leží přesně v polovině vzdálenosti mezi Libercem a skleníkem (12 km).

7.4 Srovnání s dalšími lokalitami

Měření pomocí celooblohové fotografické sestavy byla prováděna i na jiných lokalitách než v okolí Liberce. Zde jsou uvedeny pro srovnání dvě další lokality.

7.4.1 Bezvěrov - Žernovník, Manětínská oblast tmavé oblohy

GPS souřadnice: 49° 58,733' SŠ, 13° 00,917' VD

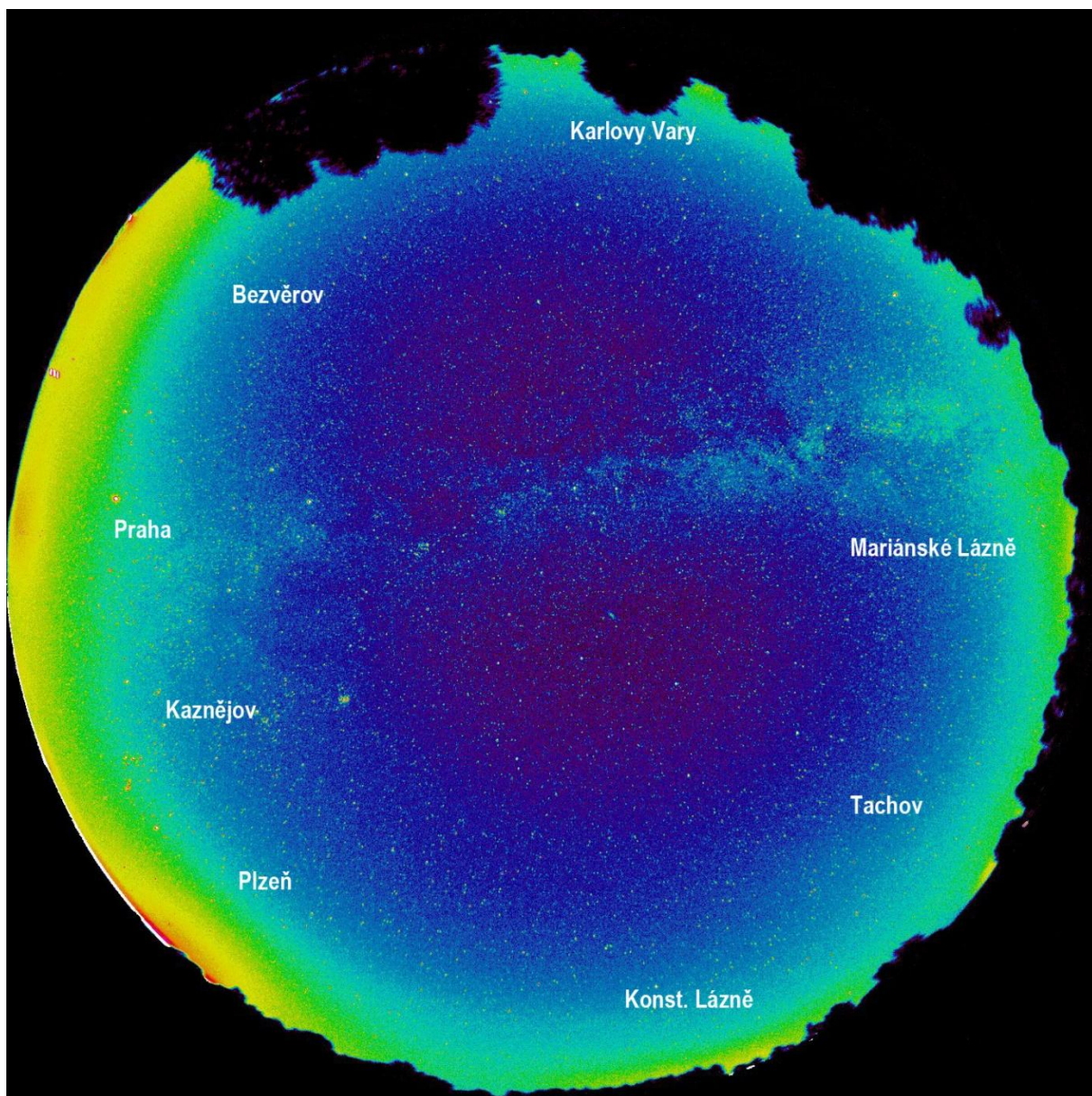
Osada Žernovník se nachází nedaleko obce Bezvěrov v Plzeňském kraji v okrese Plzeň-sever na pomezí Tepelské vrchoviny a Rakovnické pahorkatiny. Lokalita je v Manětínské oblasti tmavé oblohy. Průměrný jas noční oblohy z dlouhodobého měření zde vychází na 21,37 MSA (měřeno převážně pomocí SQM-L, který měří jas oblohy v užším úhlu). Jas oblohy je v této části republiky o něco tmavší než v nejtmaších částech Jizerských hor.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Bezvěrov - Žernovník

Tab. 16: Tabulka významných zdrojů umělého osvětlení pro Bezvěrov - Žernovník

Zdroj: Zdroj: mapy.cz, ČSÚ (2016)

Zdroj umělého osvětlení	Přímá vzdál. (km)	Az. °	Počet obyvatel
Bezvěrov	3,5	55	672
Praha	101	83	1 267 449
Kaznějov	28	110	3 090
Plzeň	37	135	169 858
Konst. Lázně	11	195	904
Tachov	34	234	12 609
Mariánské Lázně	22,5	264	13 224
Karlovy Vary	30	340	49 326



Obr. 42: Celooblohový snímek pořízený v lokalitě Bezvěrov - Žernovník 7. 9. 2013, 01:45 UT
 Zdroj: Michal Bareš, poskytnuto autorem

Zenitový jas oblohy změřený ze snímku je 21,40 MSA. Zenit je slušně tmavý, přes oblohu prochází podzimní část Mléčné dráhy. Ze snímku je patrné, že nejvíce umělého světla jde z velkých a vzdálených zdrojů, tj. Praha (101 km) a Plzeň (37 km) s výjimkou blízkého Bezvěrova.

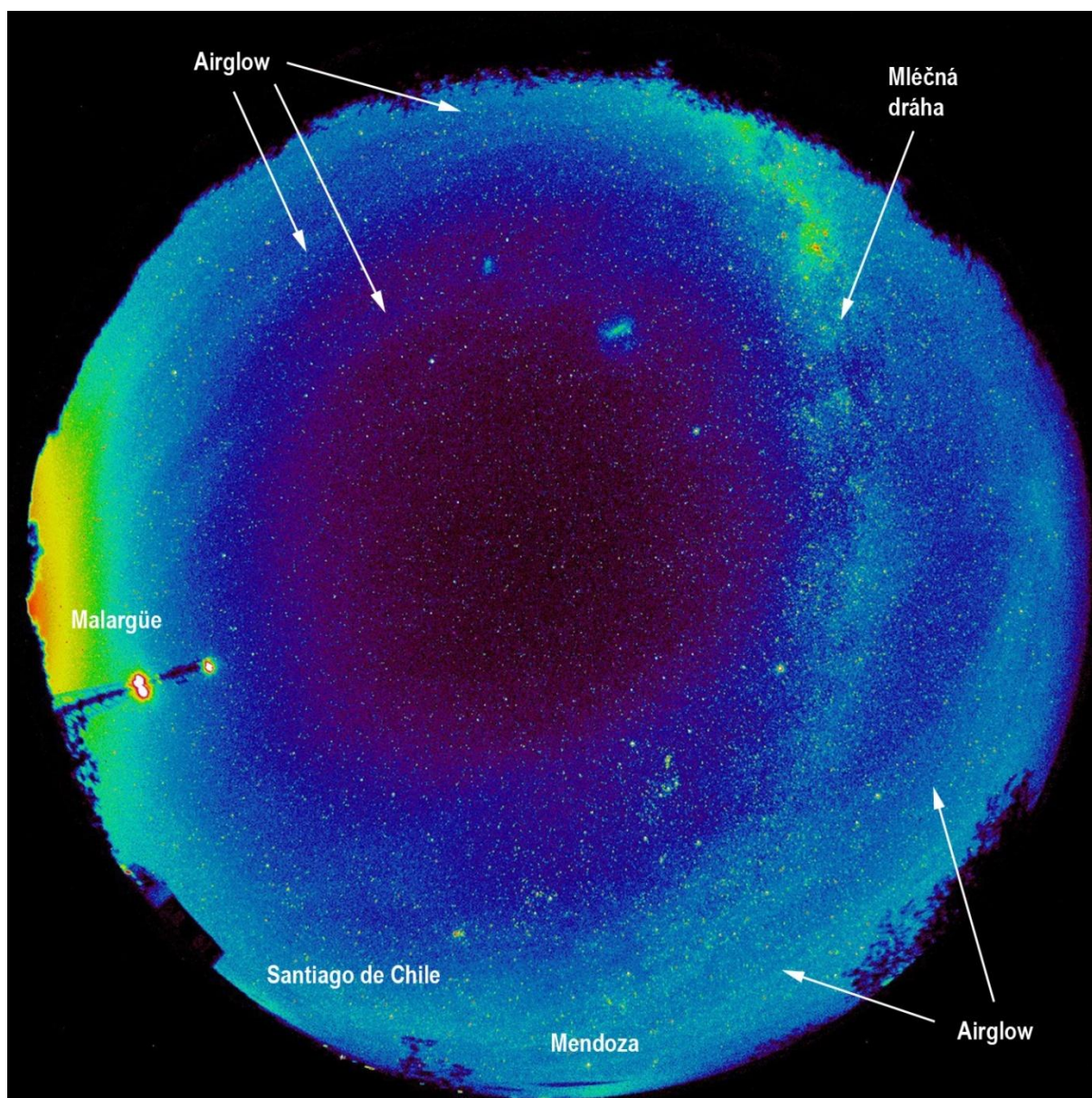
7.4.2 Los Leones, provincie Mendoza, Argentina

GPS souřadnice: 35° 29,743' JŠ, 69° 26,968' ZD

Los Leones je nevysoký sopečný vrcholek nacházející se v argentinské pampě nedaleko města Malargüe v provincii Mendoza. Na vrcholu Los Leones se nachází fluorescenční detektor, který slouží k pozorování průletů spršek kosmického záření zemskou atmosférou. Zde se také nachází robotický dalekohled FRAM, který je spravován Fyzikálním ústavem AV ČR v. v. i. FRAM primárně slouží k měření stavu zemské atmosféry nad observatoří. Oba přístroje jsou součástí astročásticové Observatoře Pierra Augera.

Výsledky měření, diskuze a zhodnocení celooblohových snímků z lokality Los Leones

Nejvýraznějším umělým zdrojem jasu noční oblohy na Los Leones je 12,5 km vzdálené město Malargüe s 23 tisíci obyvateli. Ostatní umělé zdroje, které jsou na obzoru viditelné, jsou zanedbatelné a jejich příspěvek do zenitového jasu noční oblohy není žádný (Santiago de Chile – 252 km a Mendoza 295 km). Díky nízké hustotě osídlení v této části Argentiny je celkový jas noční oblohy na Los Leones přírodě blízký (vliv města Malargüe), jas v okolí zenitu se dá považovat za přírodní.



Obr. 43: Celoblohový snímek pořízený v lokalitě Los Leones 17. 11. 2015, 05:09 UT

Zdroj: vlastní snímek

Jas oblohy v okolí zenitu byl podle celoblohového snímku 21,59 MSA. Zenit je velmi tmavý. Přes levou část snímku se táhne pás jižní Mléčné dráhy. Zvýšený jas u obzoru je způsobený vlastním zářením zemské atmosféry (airglow), které na velmi tmavé obloze vynikne. Jediným výraznějším umělým zdrojem jasu oblohy je město Malargüe. Velmi vzdálená města Santiago de Chile a Mendoza jsou velmi nepatrná. Takto tmavá obloha se v hustě osídlené střední Evropě již prakticky nenachází.

8. Závěr a diskuze

Přírodní jas noční oblohy v hustě osídlených oblastech světa již neexistuje. Velká část světové populace nemá možnost ze svých domovů vidět Mléčnou dráhu. V rámci této práce byla za pomoci přístroje SQM a celooblohové fotografické sestavy prováděna měření jasu noční oblohy v okolí Liberce, v Jizerských horách a na Frýdlantsku.

Měření ukázala, že jas noční oblohy závisí nejen na blízkých či vzdálených zdrojích umělého osvětlení, ale je zde také nezanedbatelný vliv aktuálních meteorologických podmínek, které ovlivňují šíření a rozptyl umělého světla v ovzduší. Z měření bylo prokázáno, že velká města ve vzdálenosti několika desítek kilometrů od pozorovacího stanoviště mají často mnohem větší vliv na jas oblohy než obce a menší města, která jsou pozorovateli blíže. Nejtmaší lokality v okolí Liberce se nacházejí v Jizerských horách. Průměrný jas noční oblohy se zde pohybuje okolo 21,20 – 21,25 MSA. Za výjimečných podmínek (suchý vzduch, inverzní oblačnost nad městy) může být jas i nižší (okolo 21,50 MSA).

Z provedených měření se nepodařilo prokázat nárůst jasu noční oblohy jako důsledek zvyšování světelného znečištění. Výjimkou je nárůst jasu oblohy z osvětlení skleníku polské firmy Citronex a z rozsvícených sjezdovek v Jizerských horách. Sezonní vlivy (např. viditelnost či absence Mléčné dráhy na obloze, přítomnost sněhu) a aktuální stav ovzduší, především vlhkost vzduchu, mají na aktuální jas noční oblohy poměrně výrazný dopad a jas oblohy může díky těmto změnám velmi kolísat (o desetiny MSA).

V současné době je trendem používat bílá LED svítidla ve veřejném osvětlení. Barva svítidla má velký vliv na jas noční oblohy. Lidské oko je při nočním (skotopickém) vidění více citlivé na modrou složku světla. Tyto skutečnosti mohou v brzké době velmi vážně zhoršit situaci se světelným znečištěním. Obecné doporučení pro instalaci nových LED svítidel je, aby svítidla měla teplotu chromatičnosti 3000 K a nižší (méně modré složky ve světle). Mezi další obecná doporučení pro omezení vzniku světelného znečištění patří nesvícení do oken bytů, osvětlení vozovky by nemělo být výrazně vyšší, než je minimální hodnota stanovená příslušnou technickou normou. Architektonické osvětlení by mělo být provedeno tak, aby světlo nepřesahovalo obrys osvětlované budovy a v pozdějších nočních hodinách by mělo být vypínáno.

Seznam použitých zdrojů

Tištěné

NARISADA, K., SCHREUDER, D., 2004. *Light pollution handbook*. Springer. ISBN 1-4020-2665-X.

KLECZEK, J., 2002. *Velká encyklopedie vesmíru*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0906-X.

BRÁZDIL, R., a kol., 1988. *Úvod do studia planety Země*. Praha: SPN.

RICH, C., LONGCORE, T., 2005. *Ecological Consequences of Artificial Night Lightning*. Washington: Island Press. ISBN: 1-55963-128-7.

DOUBRAVA, P. a kol., 2015. *Možnosti využití metod dálkového průzkumu a prostorových analýz pro řešení krizových situací*. Praha: Cenia. ISBN 978-80-85087-22-2.

VAN ZYL, J., 1996. *Unveiling the Universe. An Introduction to Astronomy*. Springer. ISBN-13: 978-14471-1260-0.

MOUDRÁ, M., 2014. *Jak se hledá a měří tma*. *Astropis* 1/2014. ISSN 1211-0485.

BORTLE, J., 2001. *Introducing the Bortle Dark-Sky Scale*. *Sky and Telescope* February 2001. ISSN 0037-6604.

O'MEARA, S., 1991. *Limiting magnitude*. *Sky and Telescope* October 1991. ISSN 0037-6604.

MAIXNER, T., 2005. *Rušivé světlo Část 1. – Názvosloví a legislativa*. *Světlo* 05/2005. ISSN 1212-0812.

Elektronické

BAREŠ, M., 2013. *Bortleova stupnice*. [online]. [vid. 3. 4. 2017]. Dostupné z:

<http://www.nitelite.eu/observing/bortle.htm>

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) In: *Sbírka zákonů České republiky* [online]. 2002, Částka 38, s. 1786. [vid. 25. 4. 2017].

Dostupné z: <http://zakony-online.cz/?s43&q43=all>

FROMMERT, H., KRONBERG, C., 2012. *Charles Messier*. [online]. [vid. 3. 4. 2017]. Dostupné z:

<http://messier.seds.org/xtra/history/biograph.html>

STEVENS, R., ZHU, Y., 2015. *Electric light, particularly at night, disrupts human circadian rhythmicity: is that a problem?* *The Royal Society*. [online]. [vid. 27. 4. 2017]. Dostupné z:

<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/370/1667/20140120>

IMO, 2017. *The Observation*. International Meteor Organisation. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné

z: <http://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/major/observation/>

BENN, C., ELLISON, S., 2007. *La Palma Night-Sky Brightness*. Isaac Newton Group of Telescopes. [online]. [vid. 15. 4. 2017]. Dostupné z:

<http://www.ing.iac.es/Astronomy/observing/conditions/skybr/skybr.html>

Lake Hudson Recreation Area. Michigan Department of Natural Resources. [online]. [vid. 14. 4. 2017]. dostupné z: <http://www.dnr.state.mi.us/parksandtrails/Details.aspx?id=464&type=SPRK>

Dark-Sky Site Designations. Royal Astronomical Society of Canada. [online]. [vid. 11. 4. 2017]. dostupné z: <https://www.rasc.ca/dark-sky-site-designations>

SOBOTKA, P., 2009. *Vyhlášena Jizerská oblast tmavé oblohy*. Česká astronomická společnost. [online]. [vid. 12. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanky/svetelne-znecisteni/vyhlasena-jizerska-oblast-tmave-oblohy.html>

HABUDA, P., KALAŠ, V., 2009. *Porovnání MHV z různých obrazců*. Odborná činnost Hvězdárny Plzeň. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <http://odborne.hvezdarnaplzen.cz/2009/06/26/porovnanimhv-z-ruznych-obrazcu/>

La Palma sky brightness. Fundación Galileo Galilei - INAF. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: http://www.tng.iac.es/info/la_palma_sky.html

Optical Sky Background. Gemini observatory [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <https://www.gemini.edu/sciops/telescopes-and-sites/observing-condition-constraints/optical-sky-background>

Convert visual mags/arcsecond² to cd/m². Unihedron. [online]. [vid. 5. 4. 2017]. Dostupné z: <http://unihedron.com/projects/darksky/magconv.php>

GEMBEC, M., 2016. *29/10/2016 - Edelweißspitze*. Projekt mapování jasu noční oblohy. [online]. [vid. 10. 4. 2017]. Dostupné z: <http://skyquality.cz/observation/show?observationId=1122>

PATAT, F. a kol. 2006. *UBVRI twilight sky brightness at ESO-Paranal*. European Southern Observatory. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.eso.org/~fpatat/science/skybright/twilight.pdf>

SHERROD, C., 2006. *Telescope performance - limiting magnitude charts - winter skies*. Arkansas Sky Observatories. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <http://arksky.org/aso/aso-guides/aso-telescope-performance/97-limiting-magnitude-charts-winter-skies>

MANN, I., 1998. *Zodiacal cloud complexes*. Earth Planet Space. [online]. [vid. 10. 4. 2017]. Dostupné z: https://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/5006_07/50060465.pdf

DVOŘÁK, V., MAŠEK M., 2010. *B3 v Jizerkách*. Astronomické události. [online]. [vid. 1. 4. 2017]. Dostupné z: <http://udalosti.astronomy.cz/?p=98>

LODRIGUSS, J., 2017. *The Brightness of the Night Sky*. Cathing the light. [online]. [vid. 9. 4. 2017]. Dostupné z: http://www.astropix.com/html/l_story/skybrite.html

NPS, 2017. *Night Sky Monitoring Database*. [online]. [vid. 20. 4. 2017]. Dostupné z: <https://www.nps.gov/subjects/night skies/skymap.htm>

Parks Canada, 2017. *The Darkest dark sky preserve in Canada*. [online]. [vid. 18. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.pc.gc.ca/en/pn-np/sk/grasslands/decouvrir-discover/natcul6>

MAŠEK, M., BRÁT, L., 2015. *Pozorování proměnných hvězd s pomocí digitální zrcadlovky*. Sekce proměnných hvězd a exoplanet. [online]. [vid. 21. 4. 2017]. Dostupné z: http://var2.astro.cz/library/1425561716_dslr_navod_promenne_hvezdy.pdf

REICHL, J., 2017. *Fotometrické veličiny*. Encyklopedie fyziky. [online]. [vid. 3. 4. 2017]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>

CINZANO, P., a kol., 2001. *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. [online]. [vid. 12. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf>

Základní informace. Manětínská oblast tmavé oblohy. [online]. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <http://manetinskatma.cz/manetinska-oblast-tmave-oblohy/zakladni-informace/>

Základní informace. Beskydská oblast tmavé oblohy. [online]. [vid. 16. 4. 2017]. Dostupné z: http://www.boto.cz/?page_id=12

LUGINBUHL, C. a kol., 2014. *The impact of light source spectral power distribution on sky glow*. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, May 2014 [online]. [vid. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022407313004792>

SOKANSKÝ, K., a kol., 2011. *Světelná technika*. [online]. [vid. 27. 4. 2017]. Dostupné z: http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-6-Svetelna.pdf

BAREŠ, M., 2012. *Je venku tma? aneb Výsledky měření světelného znečištění v Česku*. Česká astronomická společnost. [online]. [vid. 18. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanky/svetelne-znecisteni/je-venku-tma-aneb-vysledky-mereni-svetelneho-znecisteni-v-cesku.html>

HORÁLEK, P., 2008. *Sledujte zodiakální světlo*. Česká astronomická společnost. [online]. [vid. 10. 4. 2017]. Dostupné z <http://www.astro.cz/clanky/ukazy/sledujte-zodiakalni-svetlo.html>

GEMBEC, M., 2014. *5 let JOTO: měření tmy*. Astronomické události. [online]. [vid. 18. 4. 2017]. Dostupné z: <http://udalosti.astronomy.cz/?p=4723>

Metody a technika. Světelné znečištění. [online]. [vid. 20. 4. 2017]. Dostupné z: <http://svetelneznecisteni.cz/mapovani-tmy/metody-a-technika/>

Svitme správně. Světelné znečištění. [online]. [vid. 20. 4. 2017]. Dostupné z: <http://svetelneznecisteni.cz/svitme-spravne/>

ČSÚ, 2016. *Stav a pohyb obyvatel v obcích v roce 2016*. Český statistický úřad. [online]. [vid. 15. 4. 2017]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xl/pohyb_obyvatel_ve_mestech_a_obcich

SLdF, 2016. *Bevölkerung des Freistaates Sachsen jeweils am Monatsende ausgewählter Berichtsmonate nach Gemeinden*. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen. [online]. [vid. 15. 4. 2017]. Dostupné z: https://www.statistik.sachsen.de/download/010_GB-Bev/Bev_Z_Gemeinde_akt.pdf

Polska w liczbach, 2016. *Mapy, miasta, nieruchomości, GUS, wynagrodzenie, bezrobocie, zarobki, edukacja, województwa, tabele*. [online]. [vid. 15. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.polskawliczbach.pl>

KUPKOVÁ, L., 2010. *Země z nadhledu - dálkový průzkum Země*. Geografické rozhledy 3/09-10. [online]. [vid. 24. 4. 2017]. Dostupné z: <http://geography.cz/geograficke-rozhledy/wp-content/uploads/2010/02/10-11.pdf>

THUMS, M., a kol., 2016. *Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit*. The royal society publishing. [online]. [vid. 27. 4. 2017]. Dostupné z: <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/3/5/160142>

Seznam použitých příloh

- Příloha 1: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Rozdroże Izerskie
- Příloha 2: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Jizerka
- Příloha 3: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě lom Stanislaw
- Příloha 4: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Dolní Řasnice – odbočka
- Příloha 5: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Jítrava
- Příloha 6: Záznam měření jasu noční oblohy z 27. 9. 2014
- Příloha 7: Záznam měření jasu noční oblohy z 6. 2. 2016
- Příloha 8: Záznam měření jasu noční oblohy z 1. 1. 2017

Přílohy

Příloha 1: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Rozdrože Izerskie

Zdroj: vlastní měření

Datum	Čas (UT)	MSA (SQM)	Poznámky (pozorovací podmínky)
30. 12. 2010	00:00	20,72	Sníh
16. 2. 2010	23:00	21,03	Sníh
19. 3. 2010	22:30	21,03	Rozpadající se vysoká oblačnost
28. 11. 2008	01:00	21,06	Sníh, oblačnost nad horami
21. 11. 2009	19:30	21,06	Vlhkost, po přechodu střední oblačnosti
14. 1. 2010	22:20	21,06	Sníh
1. 1. 2017	20:28	21,07	Podzimní Mléčná dráha, rozsvícené sjezdovky
1. 2. 2011	00:00	21,08	Vyšší vlhkost
29. 10. 2011	21:00	21,10	Podzimní Mléčná dráha, řídká vysoká oblačnost
29. 11. 2011	23:30	21,10	Vysoká vlhkost
15. 8. 2012	23:00	21,10	Zákal
26. 8. 2011	22:28	21,12	Letní Mléčná dráha, zákal
24. 2. 2014	21:00	21,13	Vlhkost
29. 11. 2016	20:40	21,16	Vlhkost
31. 12. 2008	21:30	21,17	Sníh, osvětlena sjezdovka ve Swieradowe Zdroji
21. 11. 2009	23:00	21,17	Podzimní mléčná dráha
9. 11. 2008	03:40	21,18	Vlhkost v ovzduší (tvorba oblačnosti)
26. 9. 2011	23:00	21,18	Podzimní Mléčná dráha
27. 8. 2011	01:00	21,20	Podzimní Mléčná dráha
12. 9. 2010	00:00	21,21	Vysoká vlhkost
27. 9. 2014	19:57	21,21	Podzimní Mléčná dráha
26. 9. 2009	23:00	21,24	Mléčná dráha
7. 12. 2009	19:00	21,24	Podzimní Mléčná dráha, Liberec pod inverzí
8. 9. 2016	23:00	21,24	Podzimní Mléčná dráha
17. 3. 2012	02:00	21,25	Sníh
30. 8. 2009	00:30	21,26	Mléčná dráha, vyšší vlhkost
21. 4. 2015	21:08	21,26	Jarní obloha
28. 7. 2009	23:00	21,28	Mléčná dráha skoro v zenitu, dobré podmínky
19. 8. 2009	22:30	21,28	Mléčná dráha, rozpadající se vysoká oblačnost
18. 11. 2012	00:30	21,29	Inverze nad Čechami
22. 4. 2015	01:28	21,29	Jarní obloha
20. 8. 2009	23:00	21,30	Mléčná dráha, nízká vlhkost
25. 10. 2009	00:30	21,30	Podzimní Mléčná dráha, vlhko, města utlumena mlhou
11. 10. 2010	20:00	21,30	Sucho, podzimní Mléčná dráha
28. 7. 2009	22:20	21,31	Mléčná dráha skoro v zenitu, dobré podmínky
24. 8. 2009	23:00	21,31	Mléčná dráha, nízká vlhkost
27. 8. 2009	23:00	21,31	Mléčná dráha, zenit dobrý, u obzoru zákal
23. 8. 2011	21:30	21,31	Letní Mléčná dráha

12. 4. 2009	21:30	21,33	Jarní obloha, vlhko, opar
14. 7. 2010	23:00	21,34	Letní Mléčná dráha
16. 8. 2010	22:50	21,34	Letní Mléčná dráha
7. 2. 2016	00:40	21,34	Jarní obloha
23. 1. 2009	01:00	21,35	
7. 9. 2013	00:10	21,35	Nízká vlhkost
23. 1. 2009	00:00	21,39	Jablonec a Liberec pod inverzí
8. 4. 2010	00:00	21,40	Jarní obloha
27. 2. 2011	00:30	21,40	Jarní obloha
19. 4. 2009	23:00	21,41	Jarní obloha, výborná průzračnost
1. 4. 2009	01:45	21,43	Jarní obloha
15. 4. 2009	23:50	21,44	Jarní obloha, nízká vlhkost
18. 4. 2010	00:00	21,44	Jarní obloha
21. 4. 2009	23:15	21,47	Jarní obloha, výborné podmínky
11. 10. 2010	23:00	21,47	Sucho, podzimní Mléčná dráha - města pod inverzí
24. 4. 2009	23:23	21,48	Jarní obloha, výborné podmínky
8. 3. 2011	22:30	21,50	Jarní obloha
28. 4. 2009	23:30	21,51	Výborné podmínky, sucho
12. 10. 2010	01:00	21,51	Sucho, podzimní Mléčná dráha - města pod inverzí
12. 10. 2010	00:15	21,53	Sucho, podzimní Mléčná dráha - města pod inverzí

Příloha 2: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Jizerka

Zdroj: vlastní měření

Datum	Čas (UT)	MSA (SQM)	Poznámky (pozorovací podmínky)
28. 12. 2008	23:15	20,89	Sníh, zasněžování sjezdovek
30. 10. 2010	20:00	21,02	Rozpadající se vysoká oblačnost
27. 9. 2014	21:13	21,08	Letní Mléčná dráha
29. 11. 2016	22:05	21,08	Vysoká oblačnost
2. 11. 2008	00:00	21,09	Vlhkost
23. 1. 2010	02:30	21,09	Sníh
1. 1. 2017	21:18	21,09	Zimní Mléčná dráha, rozsvícené sjezdovky
31. 10. 2008	23:00	21,10	Vlhkost, opar
23. 8. 2009	23:00	21,19	Letní Mléčná dráha
28. 12. 2008	00:15	21,20	Sníh
5. 5. 2016	23:30	21,25	Jarní obloha
29. 4. 2016	23:50	21,31	Jarní obloha
14. 4. 2009	22:00	21,32	Nízká vlhkost, jarní obloha
1. 9. 2011	22:00	21,32	Letní Mléčná dráha
26. 8. 2008	22:05	21,33	Velká vlhkost
6. 4. 2010	22:45	21,33	Jarní obloha
15. 4. 2009	22:00	21,36	Jarní obloha, dobré podmínky
20. 4. 2009	22:30	21,38	Jarní obloha, dobré podmínky
17. 5. 2009	23:30	21,39	Letní obloha, sucho

12. 10. 2010	23:15	21,44	Liberec a Jablonec v inverzi
--------------	-------	-------	------------------------------

Příloha 3: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě lom Stanislav

Zdroj: vlastní měření

Datum	Čas (UT)	MSA (SQM)	Poznámky (pozorovací podmínky)
29. 11. 2016	21:20	21,18	Podzimní Mléčná dráha
30. 8. 2016	22:00	21,20	Podzimní Mléčná dráha
15. 5. 2015	23:58	21,22	
27. 9. 2014	22:07	21,16	Podzimní Mléčná dráha
28. 8. 2014	00:00	21,25	Letní Mléčná dráha, vlhkost nad východem

Příloha 4: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Dolní Řasnice – odbočka

Zdroj: vlastní měření

Datum	Čas (UT)	MSA (SQM)	Poznámky (pozorovací podmínky)
8. 3. 2010	19:29	20,59	Vlhkost
18. 3. 2010	20:00	20,80	Rozpadající se vysoká oblačnost
28. 1. 2009	20:15	20,82	
2. 4. 2010	21:15	20,82	Rozpadající se vysoká oblačnost
9. 3. 2015	21:10	20,82	Po rozpuštění oblačnosti
28. 8. 2011	20:05	20,94	Letní Mléčná dráha
13. 4. 2009	21:30	20,95	Vlhkost
20. 7. 2009	22:00	20,95	Letní Mléčná dráha, vlhkost
20. 3. 2012	01:00	20,97	Jarní obloha
27. 3. 2009	23:30	21,02	Jarní obloha
5. 4. 2010	21:30	21,05	Jarní obloha, sucho
15. 8. 2013	00:00	21,05	Letní Mléčná dráha, dobrá průzračnost
28. 9. 2014	01:30	21,06	Podzimní Mléčná dráha
28. 3. 2011	20:15	21,07	Jarní obloha
2. 8. 2009	00:00	21,08	Letní Mléčná dráha, vlhkost
5. 4. 2010	23:00	21,11	Jarní obloha, sucho
31. 3. 2009	00:10	21,17	Nad Libercem smog
28. 3. 2011	23:50	21,26	Jarní obloha

Příloha 5: Měření jasu oblohy pomocí SQM na lokalitě Jítrava

Zdroj: vlastní měření

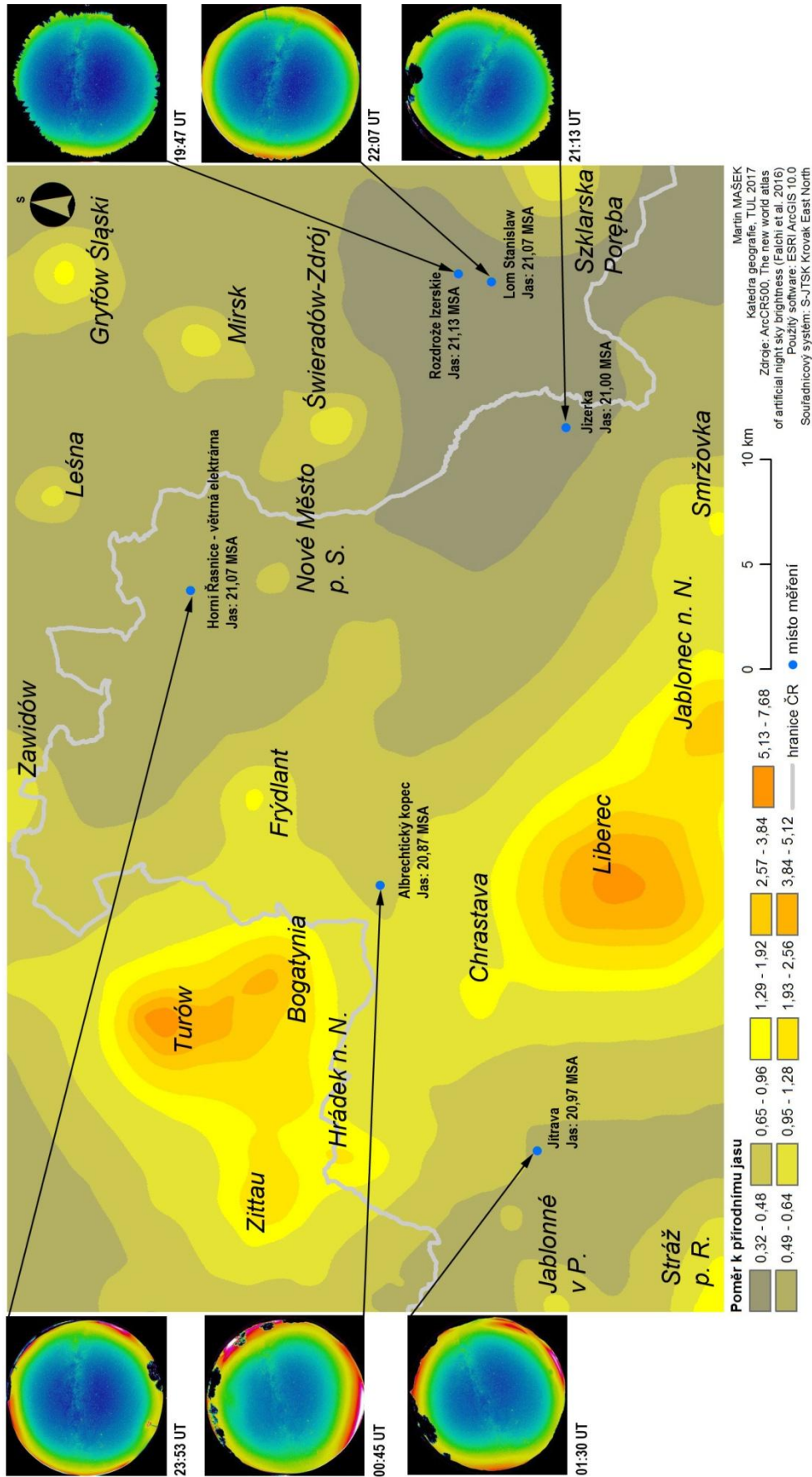
Datum	Čas (UT)	MSA (SQM)	Poznámky (pozorovací podmínky)
28. 8. 2009	00:00	20,98	Letní Mléčná dráha, silný zákal
30. 11. 2011	00:10	20,98	
22. 1. 2009	20:00	20,99	
29. 10. 2011	18:32	21,09	Zákal
8. 4. 2010	11:05	20,10	Jarní obloha

25. 8. 2009	01:00	21,11	Letní Mléčná dráha, lehký zákal
26. 9. 2011	23:30	21,11	Podzimní Mléčná dráha
31. 12. 2008	21:00	21,15	Liberec pod inverzí
29. 11. 2016	19:30	21,16	Podzimní Mléčná dráha
23. 1. 2009	02:15	21,24	
7. 2. 2016	01:20	21,25	Jarní obloha, dobré podmínky

Příloha 6: Záznam měření jasu noční oblohy z 27. 9. 2014

Zdroj: vlastní zpracování

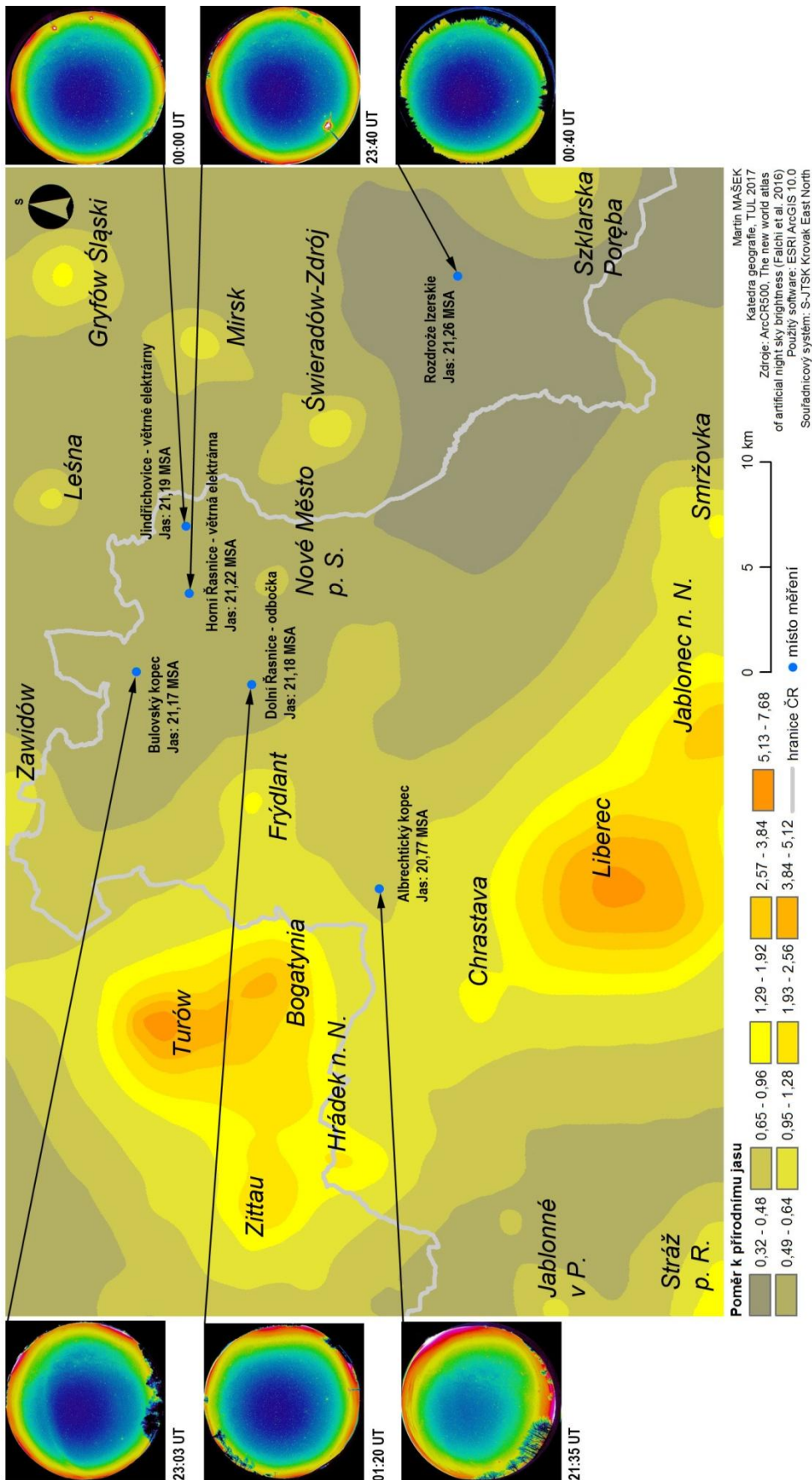
MĚŘENÍ JASU NOČNÍ OBLOHY NA LIBERECKU 27. 9. 2014



Příloha 7: Záznam měření jasu noční oblohy z 6. 2. 2016

Zdroj: vlastní zpracování

MĚŘENÍ JASU NOČNÍ OBLOHY NA LIBERECKU 6. 2. 2016



Příloha 8: Záznam měření jasu noční oblohy z 1. 1. 2017

Zdroj: vlastní zpracování

MĚŘENÍ JASU NOČNÍ OBLOHY NA LIBERECKU 1. 1. 2017

