

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Ondřej Klauđa

**ZMĚNY SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ
V PRŮBĚHU NOCI**

CHANGES IN LIGHT POLLUTION DURING THE NIGHT

Diplomová práce

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

Praha, 2022

Zadání diplomové práce

Název práce:

Změny světelného znečištění v průběhu noci

Cíle práce:

Autor si klade za cíl shrnout poznatky o světelném znečištění a jeho změnách do teoretické části diplomové práce. Cílem praktické části je vytvořit časové řady jasů noční oblohy, vhodně je prezentovat a interpretovat ve vztahu ke světelnému znečištění.

Použité pracovní metody, zájmové území a interpretace výsledků:

- rešerše odborné literatury a zdrojů souvisejících s problematikou,
- terénní měření s použitím jasoměru SQM-L,
- město Kladno a jeho okolí,
- vytvoření časových řad jasů noční oblohy v rozdílných prostředích,
- prezentace výsledků ve formě grafů a mapových výstupů,
- interpretace výsledků a diskuse možných příčin změn jasů noční oblohy.

Datum zadání: 2. 12. 2019

Řešitel: **Bc. Ondřej Klauza**

.....

podpis

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

.....

podpis

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Změny světelného znečištění v průběhu noci* zpracoval samostatně, na základě použité literatury a podkladů uvedených v Seznamu zdrojů a z vlastnoručně provedených měření. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 2022

.....
Bc. Ondřej Klaua

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval několika lidem, bez jejichž pomoci a podpory by diplomová práce nemohla vzniknout. Poděkování patří:

- vedoucímu práce **RNDr. Tomáši Matějčkovi, Ph. D.** za cenné rady a doporučení při psaní diplomové práce a za zapůjčení jasoměru Sky Quality Meter,
- šéfredaktorovi časopisu Astropis **RNDr. Vladimíru Kopeckému Jr., Ph. D.** za poskytnutí článků z archivu časopisu Astropis,
- astronomovi **Petru Bartošovi** z hvězdárny Františka Pešty v Sezimově Ústí za poskytnutí článku z archivu časopisu Kosmos,
- spolužákovi **Bc. Mojmíru Polákovi** za doporučení studijní literatury,
- v neposlední řadě také rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia a zároveň mi byli duševní i materiální podporou v mrazivých nocích při terénních měřeních.

Abstrakt

Světelné znečištění představuje environmentální problém, k jehož důsledkům patří vyšší míra jasu noční oblohy, negativní vlivy na organismy a přírodní ekosystémy, degradace kvality života a možné zdravotní obtíže člověka. Světelné znečištění vzniká nevhodným zaměřením svítidel, příliš vysokou intenzitou umělého světla a svícením v nevhodnou dobu. Diplomová práce se zaměřuje na změny světelného znečištění v průběhu noci. Hlavní pracovní hypotéza nepředpokládá výrazné změny světelného znečištění během noci. Literární rešerše diplomové práce popisuje přirozené i umělé vlivy na jas noční oblohy, změny světelného znečištění v čase, metody znázorňování světelného znečištění v mapách a charakteristiky zájmové území. Uvnitř zájmového území ve středních Čechách byla prováděna měření jasu noční oblohy pomocí jasoměru Sky Quality Meter. Terénní stanoviště byla vybrána tak, aby reprezentovala městskou, příměstskou a venkovskou krajinu. Na základě analýzy časových řad jasu noční oblohy byly rozpoznány tři typy chodu jasu noční oblohy. Nejintenzivnější změny jasu noční oblohy se projeví v příměstské krajině. Naopak nejméně intenzivní změny byly rozpoznány ve venkovské krajině. Dále jsou diskutovány vlivy světelného znečištění a dalších přirozených i umělých faktorů na pozorované změny jasu oblohy. Intenzita světelného znečištění v zájmovém území byla znázorněna pomocí interpolované mapy.

Klíčová slova

změny světelného znečištění, jas noční oblohy, časové řady, Sky Quality Meter, střední Čechy

Abstract

Light pollution is an environmental problem, the consequences of which include higher level of night sky brightness, negative effects on organisms and natural ecosystems, degradation of quality of life and potential human health problems. Light pollution arises due to improper focusing of luminaires, excessive intensity of artificial light and lighting in unsuitable time. This diploma thesis focuses on changes in light pollution during the night. The main working hypothesis does not assume significant changes in light pollution during the night. The literature review of the diploma thesis describes natural and artificial influences on night sky brightness, temporal changes in light pollution, methods of visualization of light pollution in maps and characteristics of the study area. Within the study area in the Central Bohemia, there were executed measurements of night sky brightness using a Sky Quality Meter. The field stands have been chosen to represent urban, suburban and rural landscape. Based on the analysis of time series of night sky brightness, three types of night sky brightness courses were identified. The most intense changes of night sky brightness were proved in suburban landscape. On the contrary, the least intense changes of night sky brightness were proved in rural landscape. Afterwards, influences of light pollution and other natural and artificial factors on these observed changes of night sky brightness are discussed. The intensity of light pollution in the study area was visualized using the interpolated map.

Keywords

changes in light pollution, night sky brightness, time series, Sky Quality Meter, the Central Bohemia

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	13
Seznam použitých zkratk.....	14
1 Úvod	16
1.1 Struktura práce.....	17
1.2 Cíle práce.....	17
1.3 Výzkumné otázky a hypotézy.....	18
2 Světelné znečištění.....	19
2.1 Definice a názvosloví	19
2.2 Vznik a zdroje světelného znečištění.....	21
2.3 Kvantifikace.....	23
2.3.1 Metody kvantifikace.....	24
2.4 Negativní účinky na organismy	27
2.5 Prevence světelného znečištění	28
3 Změny jasu a barvy noční oblohy.....	29
3.1 Přírozený jas noční oblohy	29
3.2 Přírozené vlivy na jas noční oblohy	30
3.2.1 Astronomické faktory	30
3.2.2 Meteorologické faktory	36
3.2.3 Charakter krajiny	42
3.3 Aerosoly.....	44
3.4 Barva noční oblohy.....	47
4 Změny světelného znečištění v čase	49
4.1 Víceleté trendy.....	49
4.2 Změny během jedné noci.....	51
4.3 Vliv jednotlivých událostí	54
5 Světelné znečištění v mapách	58
5.1 Mapy z pozemního sběru dat.....	58
5.2 Mapy z distančního sběru dat	63
5.3 Kombinace pozemního a distančního sběru dat	67
6 Zájmové území	68
6.1 Fyzickogeografická charakteristika	69
6.2 Sociogeografická charakteristika.....	71

6.3	Světelné znečištění v zájmovém území	72
7	Metodika	75
7.1	Měřicí aparatura.....	75
7.2	Výběr a charakteristika měřících stanovišť	76
7.3	Výběr termínů měření.....	77
7.4	Postup měření na stanovišti	79
7.5	Statistická analýza dat	80
7.6	Změny jasu noční oblohy	83
7.7	Příprava dat a tvorba mapy světelného znečištění.....	84
8	Výsledky.....	88
8.1	Městská krajina.....	89
8.2	Příměstská krajina.....	93
8.3	Venkovská krajina	97
8.4	Statistické rozdíly	101
8.5	Změny jasu oblohy během noci.....	104
8.5.1	Chod jasu noční oblohy	104
8.5.2	Intenzita změn jasu noční oblohy.....	105
8.6	Mapa světelného znečištění Kladenska a její interpretace	107
9	Diskuse	111
9.1	Úrovně světelného znečištění	111
9.2	Statistické rozložení dat.....	112
9.3	Charakter a intenzita změn světelného znečištění	113
9.4	Světelné znečištění v zájmovém území	115
9.5	Celkové zhodnocení a nejistoty	116
10	Závěr.....	119
11	Seznam zdrojů	121
11.1	Literatura	121
11.2	Právní dokumenty.....	130
11.3	Internetové zdroje	130
11.4	Data a mapové podklady	132
	Seznam příloh.....	134

Seznam obrázků

Obrázek 1	Vznik a formy světelného znečištění	20
Obrázek 2	Vznik světelného toku směřujícího nad horizont	22
Obrázek 3	Schéma složek „sky-down“ a „ground-up“ přístupů	23
Obrázek 4	Jasoměr Sky Quality Meter typu L	25
Obrázek 5	Lightmeter na astronomické observatoři Teide	25
Obrázek 6	Závislost jasu oblohy v zenitu na úhlové zenitové vzdálenosti Slunce	31
Obrázek 7	Závislost jasu oblohy na úhlové vzdálenosti Slunce pod obzorem	31
Obrázek 8	Závislost jasu oblohy na době před východem a po západu Slunce	32
Obrázek 9	Závislost jasu oblohy na úhlové vzdálenosti Slunce pod obzorem při rozbřesku a soumraku	32
Obrázek 10	Závislost jasu oblohy na vzdálenosti Země–Slunce vyjádřené pomocí astronomické jednotky	32
Obrázek 11	Vývoj průměrného ročního jasu oblohy v zenitu během 24. slunečního cyklu... ..	32
Obrázek 12	Vývoj průměrného ročního jasu oblohy v zenitu během 22. slunečního cyklu	33
Obrázek 13	Závislost jasu noční oblohy na toku sluneční energie	33
Obrázek 14	Závislost jasu noční oblohy v zenitu na poloze a fázi Měsíce	34
Obrázek 15	Závislost odchylky jasu noční oblohy v zenitu na výšce Měsíce nad obzorem a jeho fázi	34
Obrázek 16	Vztah jasu oblohy v zenitu a měsíční fáze	34
Obrázek 17	Vztah jasu oblohy v zenitu a vzdálenosti Měsíce	34
Obrázek 18	Světelné křivky vybraných superbolidů	35
Obrázek 19	Vztah jasu oblohy v zenitu a rektascenze	36
Obrázek 20	Odchylka jasu oblohy v zenitu a hustota toku protonů ve slunečním větru	36
Obrázek 21	Závislost jasu noční oblohy v zenitu a průměrné teploty	36
Obrázek 22	Vztah jasu oblohy v zenitu a podílu zakrytí oblohy oblačností	38
Obrázek 23	Vztah jasu oblohy a podílu zakrytí oblohy oblačností vyjádřené v osminách	38
Obrázek 24	Vztah jasu oblohy v zenitu a výšky základny oblaku nad povrchem	39
Obrázek 25	Vztah jasu oblohy a výšky základny oblaku nad povrchem	39
Obrázek 26	Souvislost mezi jasnem noční oblohy v zenitu, druhem oblaku a jeho vertikálním rozsahem	39
Obrázek 27	Změna jasu noční oblohy při epizodách mlhy	39
Obrázek 28	Vztah jasu noční oblohy a propustnosti atmosféry	40

Obrázek 29	Vztah mezi jasem noční oblohy v zenitu a dohledností	40
Obrázek 30	Dočasné zvýšení jasů noční oblohy v zenitu vlivem bleskové aktivity.....	41
Obrázek 31	Změna jasů noční oblohy důsledkem oblačnosti a sněhové pokrývky.....	42
Obrázek 32	Podíl záře bez vlivu stínění reliéfu a záře ovlivněné stíněním v závislosti na zenitovém úhlu.....	43
Obrázek 33	Emise záření a světelná záře v závislosti na krajinném pokryvu	44
Obrázek 34	Změna směru záření v důsledku atmosférického rozptylu	45
Obrázek 35	Vývoj průměrných měsíčních koncentrací PM10 a jasů noční oblohy	46
Obrázek 36	Závislost jasů noční oblohy na koncentraci částí PM10 v atmosféře.....	46
Obrázek 37	Emisní spektrum přirozených zářičů na noční obloze.....	47
Obrázek 38	Emisní spektrum umělých zářičů rozpoznávaných v oblasti tmavé oblohy.....	47
Obrázek 39	Zesílení modré, zelené a červené složky světla při zakrytí oblohy oblačností.....	48
Obrázek 40	Rozšíření a intenzita světelného znečištění ve světě v roce 2014	50
Obrázek 41	Vývoj světelného znečištění v Česku mezi lety 1992 a 2013.....	51
Obrázek 42	Vývoj světelného znečištění v Evropě mezi obdobími 1995–2000 a 2005–2010	51
Obrázek 43	Průměrný vývoj jasů oblohy v městských, příměstských a venkovských lokalitách.....	52
Obrázek 44	Kumulativní histogram jasů noční oblohy v zenitu za různých typů nocí	52
Obrázek 45	Příklady průběhu jasů noční oblohy v zenitu za různých typů nocí.....	53
Obrázek 46	Průběh jasů noční oblohy v zenitu při osvětlení oblohy Měsícem, jasné bezměsíčné noci a zatažené noci	53
Obrázek 47	Změna jasů noční oblohy během Hodiny Země v Jogyakartě.....	55
Obrázek 48	Změna jasů noční oblohy během Hodiny Země v centru Berlína	55
Obrázek 49	Porovnání jasů noční oblohy v zenitu v roce 2017 a během lockdownu v roce 2020	55
Obrázek 50	Průměrný vývoj jasů noční oblohy před lockdownem a během lockdownu....	56
Obrázek 51	Vztah jasů noční oblohy v zenitu a koncentrace pevných částí PM10 v atmosféře před lockdownem a během lockdownu	56
Obrázek 52	Změna světelného znečištění ve správních jednotkách Číny	57
Obrázek 53	Vztah změny světelného záření mezi prosincem 2019 a únorem 2020 s potvrzenými počty nákazy na 1 milion obyvatel podle správních jednotek ..	57
Obrázek 54	Noční snímek Hyderabadu a změna světelného záření mezi únorem a březnem 2019, únorem a březnem 2020 a únorem a dubnem 2020.....	57
Obrázek 55	Výřez z mapy světelného znečištění v jižní části Kalifornie (I).....	58
Obrázek 56	Výřez z mapy světelného znečištění v okolí Kladna.....	59

Obrázek 57	Mapa jasu noční oblohy v transektu mezi Prahou a Kladnem.....	60
Obrázek 58	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou nejbližšího souseda	61
Obrázek 59	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou IDW (I)	61
Obrázek 60	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou IDW (II).....	61
Obrázek 61	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou kriging (I).....	62
Obrázek 62	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou kriging (II).....	62
Obrázek 63	Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou thin plate spline.....	62
Obrázek 64	Výřez z mapy světelného znečištění v jižní části Kalifornie (II).....	63
Obrázek 65	Výřez z mozaiky noční Evropy z období 1974 až 1984.....	64
Obrázek 66	Výřez z The first World Atlas of the artificial night sky brightness	65
Obrázek 67	Výřez z The new world atlas of artificial night sky brightness	65
Obrázek 68	Mapa světelného znečištění v Česku v roce 2014	66
Obrázek 69	Mapa světelného znečištění v Polsku	66
Obrázek 70	Přehledová mapa zájmového území	68
Obrázek 71	Vývoj záře v zájmovém území mezi lety 1996 a 2010.....	73
Obrázek 72	Vývoj záře v zájmovém území mezi lety 2014 a 2020.....	73
Obrázek 73	Aparatura pro měření zenitového jasu noční oblohy v terénu.....	76
Obrázek 74	Rozmístění měřících stanovišť uvnitř zájmového území	88
Obrázek 75	Stanoviště Kladno, Habešovna (A) v Sítenském údolí.....	89
Obrázek 76	Pohled na stanoviště Kladno, Habešovna (A) ze Sítenského mostu	89
Obrázek 77	Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Kladno, Habešovna (A)	90
Obrázek 78	Distribuce hodnot jasu noční oblohy na stanovišti Kladno, Habešovna (A)....	91
Obrázek 79	Odchylky hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Kladno, Habešovna (A)	91
Obrázek 80	Změny jasu noční oblohy na stanovišti Kladno, Habešovna (A)	92
Obrázek 81	Stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B) od východu.....	93
Obrázek 82	Stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B) od jihovýchodu.....	93
Obrázek 83	Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B).....	94
Obrázek 84	Distribuce hodnot jasu noční oblohy na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B)	95
Obrázek 85	Odchylky hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B).....	95
Obrázek 86	Změny jasu noční oblohy na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B) ...	96
Obrázek 87	Stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) od jihu.....	97
Obrázek 88	Stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) od západu.....	97

Obrázek 89	Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C)....	98
Obrázek 90	Distribuce hodnot jasu noční oblohy na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C)	99
Obrázek 91	Odchytky hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C).....	99
Obrázek 92	Změny jasu noční oblohy na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C).....	100
Obrázek 93	Srovnání jasu noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině	102
Obrázek 94	Empirické distribuční funkce jasu noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině	102
Obrázek 95	První typ chodu jasu noční oblohy	104
Obrázek 96	Druhý typ chodu jasu noční oblohy.....	104
Obrázek 97	Třetí typ chodu jasu noční oblohy	105
Obrázek 98	Průměrná změna jasu noční oblohy na stanovištích ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$).....	105
Obrázek 99	Průměrná změna jasu noční oblohy na stanovištích (mcd/m^2).....	106
Obrázek 100	Výřez z mapy světelného znečištění Kladenska.....	107

Seznam tabulek

Tabulka 1	Stanoviště terénního měření pro tvorbu časových řad jasu noční oblohy	77
Tabulka 2	Stanoviště terénního měření a hodnoty jasu noční oblohy použité pro tvorbu mapy	85
Tabulka 3	Statistické charakteristiky jasu noční oblohy na stanovištích.....	101
Tabulka 4	Testování shody rozptylů souborů dat.....	103
Tabulka 5	Testování shody průměrů souborů dat.....	103
Tabulka 6	Hustota zalidnění, průměrný jas noční oblohy a úrovně světelného znečištění dle Bortleovy stupnice v obcích zájmového území	110

Seznam použitých zkratek

ALAN	<i>artificial light at night</i> (umělé světlo v noci)
AOPK ČR	Agentura ochrany přírody České republiky
ASTMON	<i>All-Sky Transmission Monitor</i>
AU	<i>astronomical unit</i> (astronomická jednotka; zhruba 150 milionů km)
AURA	<i>Association of Universities for Research in Astronomy</i>
CCD	<i>charge-coupled device</i>
CD	<i>compact disc</i> (kompaktní disk)
CFL	<i>compact fluorescent lamp</i> (kompaktní zářivka)
ČAS	Česká astronomická společnost
ČGS	Česká geologická společnost
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČMES	Česká meteorologická společnost
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DiCaLum	<i>Digital Camera Luminance measurements</i>
DLOR	<i>downward light output ratio</i>
DMSP	<i>Defense Meteorological Satellite Program</i>
DNB	<i>Day/Night Band</i>
DSLR	<i>Digital Single-Lens Reflex camera</i> (digitální zrcadlovka)
GIS	geografický informační systém či <i>geographical information system</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HPS	<i>high-pressure sodium</i> (vysokotlaká sodíková výbojka)
IDA	<i>International Dark-Sky Association</i>
IDW	<i>inverse distance weighting</i> (metoda vážené inverzní vzdálenosti)
ISS	<i>International Space Station</i>
LED	<i>light-emitting diode</i>
LU	<i>land use</i> (využití krajiny)
m n. m.	metr nad mořem
MSA	<i>Magnitude per Square Arcsecond</i> [mag/arcsec ²]
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLS	<i>Operational Linescan System</i>

PM10	<i>particulate matter</i> (částice s aerodynamickým průměrem do 10 μm)
PM2,5	<i>particulate matter</i> (částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm)
RCEP	<i>The Royal Commition on Environmental Pollution</i>
SEČ	středoevropský čas
SO ORP	správní obvod obce s rozšířenou působností
SQM	<i>Sky Quality Meter</i>
Suomi NPP	<i>Suomi National Polar-Partnership</i>
ULOR	<i>upper light output ratio</i>
ULR	<i>upward light ratio</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i>

V *Seznam použitých zkratk* nejsou uvedeny značky jednotek základních a odvozených fyzikálních veličin soustavy SI, které jsou v diplomové práci běžně používány.

1 Úvod

Tmavá noční obloha je dnes stále vzácnějším jevem. Na mnohých místech, zejména v hustě osídlené krajině, již není možné kvůli světelnému znečištění pozorovat všechny krásy noční oblohy. Společně s rozšiřujícím se moderním způsobem života se **světelné znečištění** stalo globálním problémem zasahující všechny kontinenty kromě Antarktidy. Vlivem rostoucí lidské populace, rozšiřujícím se komerčním aktivitám člověka v nočních hodinách, dostupnosti výkonnějších svítidel a jejich bezohledného používání se zvyšuje intenzita umělého osvětlení i rozloha osvětlených ploch (Kyba a kol. 2017). Následkem světelného znečištění není pouze rozjasnění noční oblohy, nýbrž i hluboké dopady na ekologii přirozených společenstev (Longcore, Rich 2004) a zdravotní potíže člověka včetně snížení rizika ochrany před rakovinou (Claustrat, Leston 2015). Problematika světelného znečištění, které jde ruku v ruce s jasem noční oblohy, stále nabízí mnoho nezodpovězených výzkumných otázek a příležitostí ke studiu.

Předložená **diplomová práce** se věnuje světelnému znečištění v geografickém kontextu. Tematicky a regionálně navazuje na bakalářskou práci *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019). Kromě prostorového hlediska světelného znečištění jsou diskutovány také jeho změny v čase. Hlavním cílem práce je vyhodnotit pomocí časových řad jasu noční oblohy změny světelného znečištění během jedné noci ve třech typech prostředí – městské, příměstské a venkovské krajině. Grafickým výstupem práce je mapa jasu noční oblohy v zájmovém území.

Ačkoliv problematika světelného znečištění výrazně zasahuje do oborů astronomie a životního prostředí, téma není na půdě Katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy příliš frekventované. Z obhájených kvalifikačních prací obhájených na této katedře lze jmenovat pouze bakalářské práce *Geografické aspekty světelného znečištění* (Kocourek 2014) a *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019) a diplomovou práci *Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov* (Kocourek 2017). V rámci českého geografického výzkumu je problematika světelného znečištění řešena spíše okrajově, několik kvalifikačních prací bylo vypracováno katedrách geografie Univerzity Palackého v Olomouci (Starý 2013), Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem (Vojtěchovská 2014, Hrnčířová 2015, Šén 2018) a Technické univerzity v Liberci (Mašek 2017). Na půdě Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy se světelnému znečištění věnovali Bujalský (2010) a Moudrá (2015). Ze zahraničních geografických pracovišť lze jmenovat např. Katedru geografie Univerzity v Mariboru (Žibera 2016).

1.1 *Struktura práce*

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí – teoretické a praktické. **Teoretická část** se skládá z pěti kapitol. Kapitola *Světelné znečištění* stručně uvádí problematiku a věnuje se definicím a názvosloví, vzniku a zdrojům světelného znečištění, metodám kvantifikace, negativním účinkům světelného znečištění a možnostem jeho prevence. Kapitola *Změny jasu a barvy noční oblohy* popisuje stav noční oblohy neovlivněný světelným znečištěním a zabývá se astronomickými a meteorologickými faktory a aerosoly, na jejichž vliv je potřeba dbát při terénním měření jasu noční oblohy. Kapitola *Změny světelného znečištění v čase* popisuje víceletý vývoj světelného znečištění ve světě, ale i změny jasu noční oblohy během jedné noci a změny vázané na konkrétní události (oslavy příchodu Nového roku, Hodina Země) a změny ve společnosti (pandemie covid-19). Kapitola *Světelné znečištění v mapách* se zabývá metodami znázorňování světelného znečištění v mapách a online databázích dle způsobů získávání dat. Kapitola *Zájmové území* uvádí fyzickogeografickou a sociogeografickou charakteristiku studovaného území a popisuje úroveň světelného znečištění v území.

Praktická část diplomové práce obsahuje *Metodiku*, kde byly popsány všechny nezbytné kroky k úspěšnému splnění cílů práce, a *Výsledky*, kde byla prezentována a interpretována získaná data. *Diskuse* pak dává do souvislostí teoretické poznatky a vlastní výsledky diplomové práce. V *Závěru* jsou shrnuty výsledky celé práce, je zodpovězeno na výzkumné otázky a diskutována platnost pracovních hypotéz.

1.2 *Cíle práce*

Teoretická část diplomové práce je literární rešerší, která čerpá informace z článků odborných časopisů, kapitol monografií, skript, učebnic, internetových zdrojů a úspěšně obhájených kvalifikačních prací. Zároveň je kladen důraz na aktuálnost a relevanci použitých zdrojů. K cílům teoretické části patří:

- shrnout poznatky o světelném znečištění a srozumitelně je představit čtenáři,
- navázat na témata představená v bakalářské práci *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019) a vhodně je rozšířit,
- připravit teoretický podklad pro vypracování praktické části.

Praktická část práce vyhodnocuje změny světelného znečištění během jedné noci. Změny jasu oblohy při soumraku a svítání nebyly předmětem studia. K cílům praktické části patří:

- na vybraných měřicích stanovištích vytvořit pomocí jasoměru Sky Quality Meter typu L (SQM-L) časové řady jasu noční oblohy v zenitu,

- provést statistickou analýzu získaných dat a prokázat odlišnost jasů noční oblohy na různých měřicích stanovištích,
- vyhodnotit a interpretovat časové řady jasů noční oblohy,
- z dat získaných v bakalářské práci *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019) a v předložené diplomové práci vytvořit mapu světelného znečištění a interpretovat ji.

Hodnoty jasů noční oblohy získané pro zpracování diplomové práce jsou také připraveny k vložení do elektronické databáze SkyQuality.com (Moudrá 2021a), která se zaměřuje na objektivní hodnocení kvality noční oblohy. Dále byla zpracována hesla týkající se světelného znečištění a jasů oblohy pro Elektronický meteorologický slovník (ČMES 2015), který zahrnuje hesla z oblastí meteorologie, klimatologie a fyziky atmosféry.

1.3 Výzkumné otázky a hypotézy

Cílem diplomové práce je mimo jiné získat odpovědi na tyto výzkumné otázky:

- Jak se mění světelné znečištění, potažmo jas noční oblohy, v průběhu noci?
- Souvisí změny světelného znečištění během noci s charakterem prostředí?

Hlavní pracovní hypotéza nepředpokládá výrazné změny jasů noční oblohy během noci za stabilních a předem definovaných astronomických a meteorologických podmínek. Zároveň se úroveň světelného znečištění (jasů noční oblohy) liší dle konkrétního prostředí. Prostor, ve kterém je vyhodnocována úroveň světelného prostředí, však nemá přímý vliv na jeho chod od soumraku do svítání.

2 Světelné znečištění

2.1 Definice a názvosloví

Světelné znečištění je komplexní problematikou, která se dotýká řady oborů základního i aplikovaného výzkumu. V literatuře lze proto nalézt široké spektrum definic rozličné délky a podrobnosti, které vysvětlují na problematiku z různých úhlů pohledu.

Americký astronom David L. Crawford stručně popsal **světelné znečištění** (*light pollution*) jako „*jakýkoliv nepříznivý účinek umělého světla*“ (Crawford 2000, s. 37). Česká astronomická společnost (ČAS) jej definuje obdobně jako „*souhrnné označení všech negativních jevů, které s sebou přináší umělé osvětlení*“ (ČAS 2021). Z metodického hlediska lze světelné znečištění považovat za „*změnu přirozené úrovně světla v nočním prostředí vyvolanou umělým osvětlením*“ (Falchi a kol. 2011).

Proti astronomickému pojetí se vymezili ekologové Longcore a Rich (2004). Rozlišili astronomické světelné znečištění, které „*znemožňuje pozorování noční oblohy*“ a kdy je „*svit hvězd a dalších nebeských těles narušen světlem vyzařovaným či odraženým vzhůru*“ (Longcore, Rich, 2004, s. 191) a ekologické světelné znečištění, které „*mění režimy přirozeného světla v suchozemských a vodních ekosystémech*“ a „*zahrnuje přímé oslnění, dlouhodobě zvýšené osvětlení a dočasné neočekávané výkyvy osvětlení*“ (Longcore, Rich 2004, s. 191). Světelné znečištění, které má nepříznivé účinky na volně žijící živočichy, označil nizozemský ekolog Verheijen (1985) anglickým termínem *photopollution*. Další definice světelného znečištění lze najít v právních dokumentech či ve slovnících fyziky atmosféry.

Vedle světelného znečištění se vyskytuje pojem **rušivé světlo** (*obtrusive light*), jehož používání upřednostňují některé skupiny odborníků (např. van Bommel a kol. 2003 či Maixner 2005). Rušivé světlo definuje Crawford (2000, s. 38) jako „*nežádoucí nevyužité světlo, které kvůli svým kvantitativním, směrovým nebo spektrálním charakteristikám způsobuje nepohodlí, obtěžuje nebo znemožňuje vidět*“.

Řada studií (např. Aubé 2015; Guetté a kol. 2018) pracuje v souvislosti s šířením světla a negativními účinky světelného znečištění s termínem **artificial light at night** (ALAN), tedy umělé světlo v noci. Zástupným ukazatelem (*proxy*) světelného znečištění je **jas noční oblohy** (*night sky brightness*), jehož průzkum umožňuje vyhodnotit intenzitu a rozsah světelného znečištění na základě pozemních měření.



Obrázek 1: Vznik a formy světelného znečištění. Převzato z Tarta (2020).

Světelné znečištění má řadu podob (obr. 1). Jednou z nejvýraznějších a nejrozšířenějších forem světelného znečištění je **světelná záře oblohy** (*sky glow* či *skyglow*), někdy označovaná jako *závojevý jas oblohy* či *světelný smog*. Jde o rozjasnění oblohy způsobené rozptylem světla na základních složkách atmosféry (plyny, molekuly, aerosoly a pevné částice) ve směru pozorování. Je tvořena kombinací přirozené světelné záře (*natural sky glow*), která je připisována nebeským zdrojům záření a luminiscenčním procesům ve svrchních vrstvách atmosféry, a umělé světelné záře (*artificial sky glow*, *man-made sky glow* či *urban sky glow*), kterou způsobují člověkem vytvořené zdroje světla vyzařovaného přímo vzhůru či odraženého od země a jiných povrchů (Crawford 2000; van Bommel 2003).

Nadměrné osvětlení (*over-illumination* či *light profligacy*) je důsledkem nadměrného používání umělého světla nad rámec nezbytných vizuálních a funkčních požadavků a estetických aspektů definovanými v normách a standardech. Nadměrné osvětlení může být způsobeno nevhodnou údržbou světelných zdrojů či nevhodným časováním osvětlení (Zielińska-Dabkowska, Xavia, Bobkowska 2020).

Oslnění (*glare*) je intenzivní oslepující světlo. Zároveň to je vjem způsobený jasnem v zorném poli vyšším, než na který jsou oči přizpůsobeny (Crawford 2000). Příčinou oslnění jsou špatně umístěné a/nebo nestíněné zdroje intenzivního světla. Může obtěžovat, rozptylovat či snižovat schopnost přijímat informace během řízení, chůze, jízdy na kole a může přispět ke vzniku nehod a zranění (Zielińska-Dabkowska, Xavia, Bobkowska 2020).

Světelný přesah (*light trespass* či *light intrusion*) je světlo, které dopadá, tam, kde jej nikdo nepotřebuje nebo nechce. Může být synonymem rušivého světla (Crawford 2000, IDA 2021) či rozptýleného světla (IDA 2021). Významově blízký je i pojem **únik světla** (*light spill*), tedy nechtěný přesah světla do přilehlých oblastí a může mít důsledky např. v obytných oblastech či přírodních biotopech (Crawford 2000).

Rozptýlené světlo (*spill light*) či **zbloudilé světlo** (*stray light*) je světlo, které se šíří mimo oblast vymezenou konstrukcí svítidla. Jedná se o světlo unikající z oblasti, kde je žádané a chtěné. Zároveň je příčinou světelného přesahu (Crawford 2000).

Jako další formy světelného znečištění uvádí Královská komise pro znečištění životního prostředí (2009) **světelný nepořádek** (*light clutter*), kterým je např. nadměrné seskupení světel u silnice nebezpečné pro řidiče, a **absence tmy** (*absence of darkness*), která je výsledkem osvětlení noční oblohy umělým světlem.

2.2 Vznik a zdroje světelného znečištění

Vznik a vývoj světelného znečištění úzce souvisí rozvojem osvětlovacích technologií. Razantní změnu v osvětlovacích návycích přineslo během 19. století využití elektřiny a vynálezy obloukové lampy a žárovky. Ve 20. století se objevuje řada nových technologií, např. sodíkové výbojky, které produkují až čtyřikrát více světla než původní žárovky (Mizon 2012). Přechod od klasických žárovek na sodíkové výbojky sledoval na území Spojených států amerických astronom Riegel (1973), který předpokládal, že mezi lety 1973 a 1985 dojde až k 300% nárůstu venkovního osvětlení. Obdobný nárůst osvětlení byl diskutován s nástupem osvětlení LED diodami (*light-emiting diode*), které mají vysokou barevnou teplotu a připomínají tak sluneční svit. Falchi a kol. (2016) předpovídají 2,5násobný nárůst světelného znečištění vlivem instalace LED technologií. Nicméně LED technologie nejsou vnímány pouze negativně. Schulte-Römer a kol. (2019) v nich vidí úlevy životnímu prostředí díky úspoře energií, širším možnostem zaměření světelného toku, zvýšení barevné teploty vyzařovaného světla a regulace intenzity světla dle aktuálního provozu.

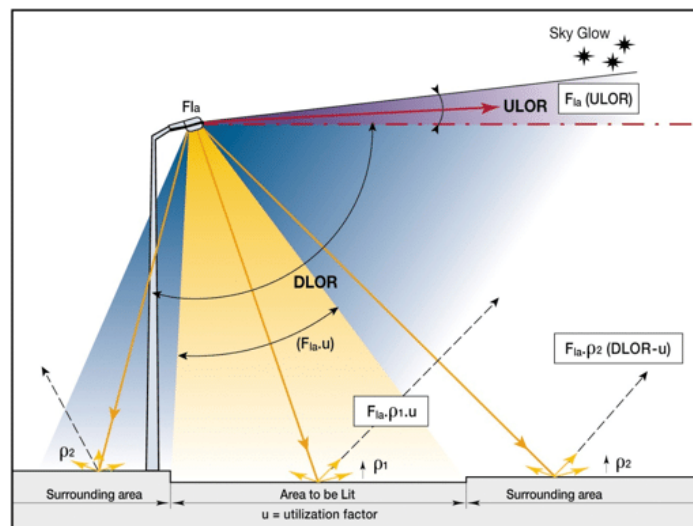
Závislosti světelného znečištění na technologii osvětlení se věnovala také Zielińska-Dabkowska (2014) v období od vynálezu žárovky do současnosti. Byl popsán strmý nárůst světelného znečištění během 20. století přerušeny dvěma „blackouty“ za 2. světové války a v 70. letech 20. století během ropné krize. V posledních desetiletích byl sledován mírnější nárůst světelného znečištění díky použití šetrnějších osvětlovacích technologií (příloha 1; Zielińska-Dabkowska 2014).

Hlavní podstatou vzniku světelného znečištění je dle Morgan-Taylora (2015) svícení v době, kdy není potřeba, směřování světla do nežádoucích směrů a použití svítidel s nevhodnými spektrálními charakteristikami. Důležitými faktory pro šíření světelného znečištění je také odrazivost povrchů (Riegel 1973) a atmosférický rozptyl (Mizon 2012). Světlo produkované venkovními svítidly lze rozdělit dle Habela (2013) na **užitečné světlo**, které je správně zaměřené a člověkem žádoucí, **neužitečné světlo**, které neosvětluje požadovanou plochu, vzniká špatným směřováním či nedostatečným cloněním svítidla a neposkytuje člověku užitek, a **rušivé světlo**, které je pro člověka nežádoucí a snaží se jej eliminovat.

Vznik světelné záře způsobují především špatně zaměřená svítidla, které vyzařují světlo nad horizont. Druhým faktorem je také odraz světla od země a jiných povrchů. Celkový světelný tok vyzařovaný nad horizont (*upward light ratio*, ULR) je určen předpisem (Sokanský a kol. 2011):

$$ULR = \frac{ULOR}{ULOR + DLOR}$$

kde ULOR (*upper light output ratio*) je světelný tok vyzařovaný svítidlem přímo do horního poloprostoru a DLOR (*downward light output ratio*) je světelný tok odražený od povrchů do okolních oblastí (obr. 2; Sokanský a kol. 2011).



Obrázek 2: Vznik světelného toku směřujícího nad horizont. Převzato z Laraki a Hayar (2018).

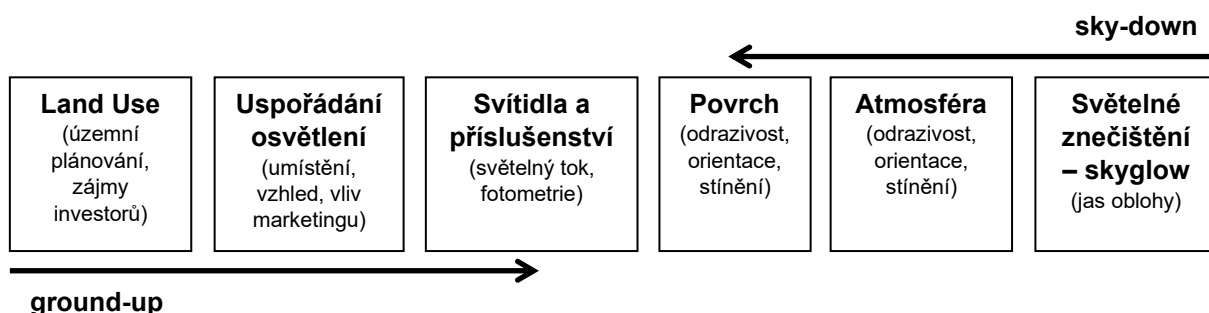
Veřejné osvětlení patří k nejvýznamnějším a nejrozšířenějším zdrojům světelného znečištění. Jedná se o osvětlení všech komunikací ve městech, osvětlení dopravních uzlů a dálkových komunikací, osvětlení dopravních terminálů, osvětlení tunelů a podjezdů. Běžným problémem veřejného osvětlení jsou světelné přesahy do bytů či do biotopů v okolí vozovky, v tomto ohledu je velice problémové osvětlení komunikací v parcích. Dalším významným zdrojem

světelného znečištění bývá špatně navržené architektonické osvětlení, které má za úkol zvýraznit památky, budovy a jejich fasády či monumenty jako např. sochy, fontány. Světelné znečištění produkuje nevhodné osvětlení průmyslových a obchodních objektů a přilehlých ploch, reklamní a zábavní osvětlením a osvětlením stadionům a sportovišť. Diskutováno je také osvětlení interiérů budov a dálková světla dopravních prostředků, která jsou spíše okrajovým zdrojem světelného znečištění (Sokanský a kol. 2011; Suchan 2004).

2.3 Kvantifikace

Interakce umělého světla a noční oblohy a související kvantifikace světelného znečištění využívá dvou základních přístupů. **Sky-down přístup** (obr. 3) je založen na pozorování noční oblohy a jejich fotometrických veličin. Světelná záře a jas oblohy, který je zástupným ukazatelem intenzity světelného znečištění, jsou výsledkem celkového světelného toku sídel, podílu světla vyzařovaného vzhůru, odrazivosti povrchů a fyzikálních procesů v atmosféře (např. rozptyl a zeslabování). Jedním z cílů sky-down přístupu je odvození charakteristik osvětlení na zemi na základě jasu oblohy (Luginbuhl a kol. 2009a). Sky-down přístupu je využito při zpracování praktické části této diplomové práce.

Opačný pohled na problematiku a kvantifikaci světelného znečištění přináší **ground-up přístup** (obr. 3). Na základě celkového světelného toku na povrchu Země je odvozován jas noční oblohy. Přístup uvažuje využití krajiny (*land use*), uspořádání svítidel a charakteristiky svítidel a jejich příslušenství (Luginbuhl a kol. 2009a). Kvantifikaci záře na povrchu Země v současnosti provádí radiometry instalované na družice a jiné prostředky distančního průzkumu.



Obrázek 3: Schéma složek „sky-down“ a „ground-up“ přístupů. Vytvořeno autorem podle Luginbuhl a kol. (2009a).

2.3.1 Metody kvantifikace

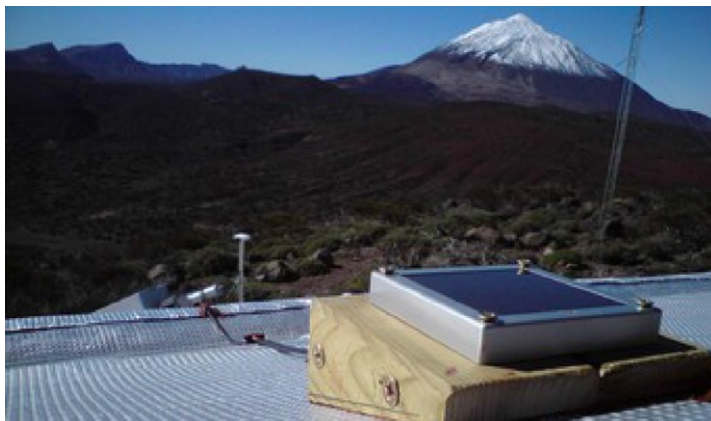
Lidské oko představuje nejpřirozenější detektor světla, tedy i světelného znečištění. Zrak je pro člověka nejvýznamnějším smyslem, díky kterému vnímá až 80 % veškerého okolního dění (Šajdíková, Maďa, Fontana 2018). Odhad světelného znečištění metodou **mezní hvězdné velikosti** (*naked-eye limiting magnitude*) spočívá v určení magnitudy nejslabší hvězdy na obloze viditelné lidským okem. Určení mezní hvězdné velikosti je založeno na prahové hodnotě kontrastu noční oblohy zjistitelné lidským okem, kdy na tmavé přirozené obloze lze pozorovat větší počet hvězd, tedy i mnohem slaběji zářících, než v jasnějším městském prostředí (Hänel a kol. 2018). Mezní hvězdnou velikost a jas noční oblohy provázal Crumey (2014) vztahem:

$$m_{lim} = 0,426\mu - 2,365 - 2,5 \log F$$

kde m_{lim} je vizuální velikost nejslabší hvězdy v magnitudách, μ je jas noční oblohy v mag/arcsec² a F je parametr v rozmezí od 1,4 do 2,4 odvozený ze zkušeností pozorovatele a kvalitě jeho zraku (Crumey 2014).

Mezní hvězdná velikost ale není vzhledem k individuálním vlastnostem pozorovatelů spolehlivým měřítkem pro určování intenzity světelného znečištění. Proto americký astronom John E. Bortle sestavil devíti bodovou škálu, později známou jako **Bortleova stupnice** (*Bortle scale*). Bortleova stupnice je založená na viditelnosti a zřetelnosti kosmických objektů v zenitu a při obzoru (Bortle 2001), viz přílohu 2. Dle Moudré (2014) je Bortleova stupnice spolehlivější než odhad mezní hvězdné velikosti, nicméně vyžaduje znalost pozorovaných objektů, proto není její použití vhodné pro úplné laiky.

Přesného určení jasu noční oblohy lze dosáhnout přístrojovým měřením. **Sky Quality Meter** (SQM; obr. 4) je jasoměr vyvinutý kanadskou společností Unihedron s rozměry zhruba 10 x 6 x 2,5 cm (Moudrá 2014). Přístroj se skládá z křemíkové fotodiody TAOS TSL237S částečně překryté infračerveným filtrem HOYA CM-500 a převaděče typu světlo–frekvence (de Miguel a kol. 2017). Základní provedení SQM má efektivní zorný úhel zhruba 84 stupňů (Cinzano 2005). Výstupem měření s SQM je jas oblohy v magnitudách na čtvercovou úhlovou sekundu [mag/arcsec²] běžně zkracovanou jako MSA (*magnitude per square arcsecond*). Stupnice MSA je převrácená a zároveň logaritmická, proto i malé změny hodnot znamenají velké rozdíly jasu. Čím jsou zjištěné hodnoty jasu vyšší, skutečný jas oblohy klesá. Zároveň platí, že pokles jasu o 5 mag/arcsec² odpovídá 100násobnému poklesu přichozících fotonů (Unihedron 2017). Sky Quality Meter se vyrábí v několika variantách.



Obrázek 4 (vlevo): Jasoměr Sky Quality Meter typu L. Převzato z Unihedron (2022a).

Obrázek 5 (vpravo): Lightmeter na astronomické observatoři Teide. Převzato z Kuffner-Sternwarte (2019), autorem fotografie je Hans Deeg.

Lightmeter (obr. 5) je specializovaný přístroj, který měří intenzitu osvětlení a intenzitu ozáření oblohy. Lightmeter tvoří voděodolný solární článek o rozměrech 9 x 9 cm připojený k počítači pomocí USB kabelu. Dynamický rozsah přístroje srovnatelný s dynamickým rozsahem lidského oka umožňuje porovnávat světelné podmínky denní oblohy ozářené Sluncem s temnou bezměsíčnou oblohou (Hänel a kol. 2018).

All-Sky Transition Monitor (ASTMON) je specializované zařízení navržené pro nepřetržitě vyhodnocování jasu noční oblohy v několika pásmech. ASTMON se skládá ze širokoúhlého objektivu typu fish-eye se zorným úhlem 180 stupňů, karuselu osazeného optickými filtry, 8,3megapixelového snímače CCD (*Charge-coupled device*) od firmy Kodak, řídicího elektronického systému a počítače, kterým lze programovat celý přístroj a slouží k ukládání dat. ASTMON je plně automatický a odolný vůči nepříznivým povětrnostním podmínkám (Aceituno a kol. 2011).

K dalším možnostem vyhodnocování kvality noční patří jasoměr **Digilum** speciálně navržený pro vyhodnocování jasu noční oblohy. Běžně dostupné jasoměry a luxmetry nejsou často vhodné k měření osvětlení noční oblohy kvůli jejich omezenému dynamickému rozsahu. Jas noční oblohy lze kvantifikovat pomocí snímků z **digitálního fotoaparátu DSLR** (*Digital Single-Lens Reflex*) s běžným objektivem či objektivem typu fish-eye (rybí oko). Surové snímky ve formátech RAW či FITS umožňují transformovat do tzv. jasových map specializované softwary (Hänel a kol. 2018) – např. jsou např. DiCaLum (*Digital Camera Luminance*; Kolláth, Dömeny 2017), Sky Quality Camera (Kolláth a kol. 2020a) či český Raw2lum (Moudrá 2014).

Opačný přístup monitoringu světelného znečištění, tedy směrem z výšky k povrchu, využívají **metody dálkového průzkumu Země**. Pomocí metod dálkového průzkumu Země, které kvantifikují světelného znečištění na základě „ground-up“ přístupu, lze sledovat světelné znečištění v rozsáhlých oblastech, vyhodnocovat dlouhodobé změny světelného znečištění pomocí sérií snímků povrchu Země či efektivně cílit na konkrétní zdroje světelného znečištění. Mezi lety 1965 a 2006 bylo na heliosynchronní dráhu Země úspěšně vypuštěno 44 družic systému **Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)**. Družice, které byly vybaveny oscilujícím radiometrem OLS (*Operational Linescan System*), pořizují noční snímky povrchu Země s rozlišením od 2,2 km v nadiru po 5,4 km na okrajích snímaného pásu (Eldvidge a kol. 1997; Kramer 2021). Roku 2011 byla vypuštěna družice **Suomi National Polar-Partnership (Suomi NPP)**. Obdobně jako družice DMSP obíhá Zemi po heliosynchronní dráze, jeden oběh Země trvá zhruba 102 minut a během dne oběhne Zemi 14krát. Jedním z pěti sensorů nesených družicí Suomi NPP je radiometr VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), který je zásadní pro průzkum světelného znečištění. Radiometr VIIRS detekuje záření vlnových délek od 0,4 do 22 μm ve 22 spektrálních pásmech. Spektrální pásmo Day/Night Band (DNB), které snímá záření vlnových délek zhruba od 500 do 900 nm s nejvyšší citlivostí při 785 nm, bylo navrženo pro snímání denní a noční oblačnosti a je cenným zdrojem dat o záření na povrchu Země (Cao a kol. 2017; Miller a kol. 2013).

Světelné znečištění na Zemi je dokumentováno také z **Mezinárodní kosmické stanice (International Space Station, ISS)**. Kvalita zpočátku neostrých snímků z fotoaparátů značek Kodak a Haselblad se zlepšila po roce 2012, kdy bylo instalováno zařízení NightPod kompenzující pohyb ISS (Elvidge a kol. 2007; Castiglione a kol. 2012).

V současném rozvíjejícím se metodám distančního průzkumu světelného znečištění patří např. letecké snímkování či snímkování pomocí bezpilotních leteckých prostředků, které umožňují určit a přesně zaměřit nevyhovující svítidla (Barentine 2019).

2.4 *Negativní účinky na organismy*

Nevhodné užívání nočního osvětlení má hluboké dopady na ekologii živých organismů a člověku může způsobit zdravotní rizika. Světlo je pro mnoho organismů vnějším podnětem (tzv. zeitgeber), který udává jejich denní režim – tzv. **cirkadiánní cyklus**. Vystavování se umělému světlu v nevhodný čas představuje narušení tohoto přirozeného cyklu (Münch, Bromundt 2012).

U rostlin byl pozorován posun fenologických fází. U javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*) a škumpy orobincové (*Rhus typhina*) byla v části korun ozářených svítidly pozorována doba zbarvení listů prodloužená o 6 až 9 dní a opadávání listů opožděné o 6 až 7 dní (Škvareninová a kol. 2017). Vzhledem k šířce problematiky světelného znečištění nebyly dosud rozeznány všechny negativní účinky na rostliny (Bennie a kol. 2016).

V osvětlených lokalitách byl pozorován až o 70 % vyšší letovou aktivitu nočních motýlů oproti neosvětleným místům. Druhová bohatost však byla na osvětlených stanovištích nižší (MacGregor a kol. 2017). Některé druhy pavouků jsou přitahovány umělým osvětlením v noci (*pozitivní fototaxe*), zatímco jiné jsou světlem odpuzovány (*negativní fototaxe*; Nakamura, Yamashita 1997). U pavouků byla pozorována také nižší aktivita při tvorbě sítí (Gomes 2020), jejich rychlejší dospívání a vyšší úmrtnost mladých jedinců vlivem světelného znečištění (Willmott a kol. 2018). Umělému světlu v noci se vyhýbají mořské želvy při hnízdění na plážích. Jejich mláďata jsou pak dezorientována světlem v noci a místo putování do moře hynou na vyčerpání a dehydrataci, stávají se obětí predátorů, zamotávají se do vegetace na pobřeží či končí pod koly aut (Salmon 2003). Dezorientaci působí noční osvětlení také ptákům. Po nárazu do jediné budovy v centru Chicaga uhynulo během roku průměrně 1478 jedinců za rok (Odgen 1996)! Pozorovány byly také změny v hnízdění (Senzaki a kol. 2020) a změny ve zpěvů ptáků (Da Silva, Valcu, Kempenaers 2015) vlivem světelného znečištění.

Narušením cirkadiánního cyklu člověka dochází k omezení vylučování hormonu melatoninu do krve, pro které je nezbytná přítomnost tmy. Role melatoninu v lidském těle je nenahraditelná, jeho nedostatek může zvýšit náchylnost k onemocnění, závažnost příznaků a měnit celkový průběh a následky nemocí (Claustrat, Leston 2015). Protirakovinné účinky melatoninu byly zjištěny u rakoviny prsu, vaječníků, prostaty, ústní dutiny, žaludku, tlustého střeva a konečníku (Li a kol. 2017). Kladnou korelaci mezi výskytem světelného znečištění a rakovinou plic, prsu, konečníku a prostaty našli Al-Naggar a Anil (2016) ve 158 státech.

2.5 *Prevence světelného znečištění*

Řešení problému světelného znečištění může dle Crawforda (1991, s. 9) „*šetřit peníze, vytvořit bezpečnější a příjemnější noční prostředí a zachránit tmavou oblohu*“. Moudrá (2021b) uvádí pro používání osvětlení v nočních hodinách jednoduchou poučku: „*svítit jen tam, kde je třeba, jen tehdy, když je třeba a jen tolik, kolik je třeba*“.

Prevence světelného znečištění a ochrana tmavé noční oblohy může být uplatňována v několika úrovních. Na nejnižší úrovni může k ochraně nočního prostředí přispět každý z nás. Osvětlení domácností a zahrad by mělo být zaměřeno tak, aby světlo nesměrovalo nad horizont, nezasahovalo k sousedům a neoslňovalo kolemjdoucí. Nevhodné je použití svítidel, které vyzařují do všech směrů (např. svítidla typu koule či lucerny), či oslňujících svítidel nad vchodem do domu a nad garáží s vodorovným směřováním. Důležitá je také volba barevné teploty. Vhodné je použití teplejších odstínů světla (nad 3000 K), které tolik nepřipomínají sluneční svit (Moudrá 2021b).

Na úrovni obcí lze řešit problém světelného znečištění instalací vhodného veřejného osvětlení, které rovnoměrně osvětluje pouze vozovky a chodníky a neoslňuje uživatele komunikací. Intenzita veřejného osvětlení může být také upravována na základě intenzity provozu. Architektonické osvětlení místních pamětihodností by mělo být provedeno svícením odshora dolů, aby vlivem světelného přesahu nevznikal tzv. světelný vějíř. Nežádoucí je agresivní bezpečnostní osvětlení v areálech firem, osvětlení parkovišť a staveb či příliš intenzivní a nevhodně směřované osvětlení fasád budov a reklamní osvětlení, zároveň je vhodné jejich vypínání během noci. Po dohodě samospráv s odbornou institucí (např. Česká astronomická společnost) je možné vyhlásit tzv. oblast tmavé oblohy za účelem ochrany nočního prostředí (Moudrá 2021b).

Prevenici světelného znečištění lze uskutečňovat na úrovni států tvorbou legislativy a implementací technických norem. V současnosti (leden 2022) je v České republice možná regulace světelného znečištění pouze na území národních parků díky zákonu č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Někdejší zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší přímo definoval světelné znečištění a umožňoval obcím předcházet vzniku světelnému znečištění a vybírat pokuty při porušení. Postupnými novelizacemi zákona o ochraně ovzduší byly obcím tyto pravomoci odebrány. Jedním z nejprísnejších zákonů regulujících světelné znečištění disponuje Slovinsko (vyhláška č. 4162).

3 Změny jasu a barvy noční oblohy

Noční obloha, ať je narušená světelným znečištěním či nikoliv, je ovlivňována kromě světelných zdrojů také řadou dalších činitelů. Při kvantifikaci světelného znečištění prováděné metodou pozemního měření jasu noční oblohy by měla být věnována pozornost jejím účinkům, případně se těmto vlivům vyhýbat. Jedná se o jednotlivé části přirozených cyklů přirozených světelných zdrojů (např. úhlová vzdálenost Slunce pod horizontem, fáze Měsíce), přirozené faktory klimatických podmínek lokality měření (oblačnost, sněhová pokrývka), krátké záblesky v atmosféře (bolidy, blesky) či člověkem podmíněné faktory (pevné částice v atmosféře). Světelné znečištění v konkrétní lokalitě ovlivňují jednak přirozené i člověkem vytvořené zdroje světla, jejichž vliv lze během měření jasu minimalizovat, a faktory, které mají vliv na průchod světla atmosférou, zejména na rozptyl a zeslabování. Důsledkem popsanych jevů tak zpravidla bývá vyšší jas oblohy než při standardních podmínkách pro měření.

3.1 Přirozený jas noční oblohy

Intenzita světelného znečištění studovaná metodou pozemního měření jasu noční oblohy je vyhodnocována s ohledem na referenční stav prostředí. Referenčním stavem je „nepoškozená“ noční obloha, jejíž jas není ovlivněn světelným znečištěním a je redukován vliv přirozených zdrojů světla, které běžně ozařují oblohu. Přirozený jas oblohy popisuje noční bezměsíčnou oblohu bez vlivu antropogenních faktorů. Garstang (1986) při odvozování modelu šíření světelného znečištění použil pozadřovou hodnotu přirozeného jasu oblohy o hodnotě $21,9 \text{ mag/arcsec}^2$, kterou získal Walker (1970) při měření na vrcholu Junipero Serra Peak (5857 m n. m.) v Kalifornii. Při rozšíření modelu již Garstang (1989) určil celkový jas noční oblohy na pozadí jako součet formulí pro jas světla přicházejícího přímo k pozorovateli, světla rozptýleného na aerosolu a světla rozptýleného na molekulách.

Leinert a kol. (1998) považují za přirozený jas oblohy součet jasu z přirozených kosmických zdrojů záření kromě Slunce a Měsíce ovlivněný průchodem zemskou atmosférou. Celkový přirozený jas noční oblohy (I) je vyjádřen vztahem:

$$I = (I_A + I_{ZL} + I_{ISL} + I_{DGL} + I_{EBL}) \cdot e^{-\tau} + I_{SCA}$$

kde I_A je jas přirozeného svitu oblohy (*airglow*) ze svrchní atmosféry; I_{ZL} je jas zodiakálního světla; I_{ISL} je jas spojitého svitu hvězd; I_{DGL} je jas rozptýleného galaktického světla; I_{EBL} je jas svitu mimogalaktických zdrojů záření na pozadí; τ je koeficient zeslabení (také *koeficient*

extinkce) závislý na vlnové délce λ , zenitové vzdálenosti z , výšce pozorovatele a změně atmosférických podmínek v čase a I_{SCA} je jas rozptýleného světla z hvězd a galaxií, ale i z pozemních zdrojů světla (Leinert a kol. 1998).

Cinzano, Falchi a Eldvidge (2001a) navázali na přístup Garstanga (1989) a rozšířili jej. Přirozený jas noční oblohy vně atmosférických vrstev způsobujících rozptyl a zeslabování světla (b_{out}) je vyjádřen jako součet jasu závislého na rovníkových souřadnicích pozorovatele (b_s) a jasu b_{vr} závislém na úhlu, pod kterým je daná vrstva pozorována a jejího jasu, a je dán vztahem:

$$b_{out}(z, \omega, L, T, S) = b_s(\alpha, \delta, t) + \frac{b_{vr}(L, T, S)}{\sqrt{1 - 0,96(\sin z)^2}}$$

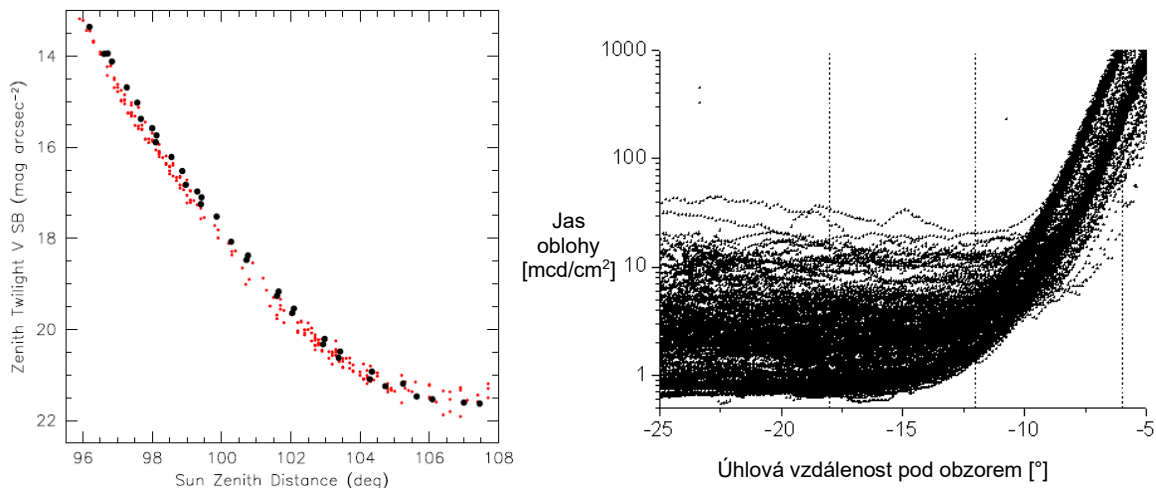
kde α je rektascenze, δ je deklinace pozorované oblasti oblohy, které jsou závislé na zenitové vzdálenosti z a azimutu ω v čase pozorování t ; L vyjadřuje zeměpisnou šířku, T je doba uplynulá od soumraku a S je sluneční aktivita předchozího dne. Vynásobením jasu b_{out} koeficientem zeslabení (koeficientem extinkce) je získána hodnota jasu přicházejícího přímo k pozorovateli. Součet této komponenty s jasnem světla rozptýleného na aerosolu a na molekulách dává za výsledek jas noční oblohy v místě pozorovatele (Cinzano, Falchi, Eldvidge 2001a). Stejný přístup byl využit při tvorbě *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, kde byla hodnota přirozeného jasu noční oblohy byla vyčíslena na zhruba $21,6 \text{ mag/arcsec}^2$ (Cinzano, Falchi, Eldvidge 2001b). Při tvorbě *The new world atlas of artificial night sky brightness* byla použita hodnota přirozeného jasu noční oblohy $22,0 \text{ mag/arcsec}^2$, kdy byl vyloučeny vlivy svitu hvězd s magnitudem vyšším než 7, svitu Mléčné dráhy, protisvitu a zodiakálního světla (Falchi a kol. 2016).

3.2 Přirozené vlivy na jas noční oblohy

3.2.1 Astronomické faktory

Nejvýznamnějším kosmickým tělesem, které ovlivňuje nejen světelné podmínky zemské oblohy, je **Slunce**. Jas oblohy je ovlivňován slunečním zářením i v době, kdy již Slunce není pozorovatelné na obloze. Doba po západu Slunce pod horizont je označována jako soumrak a doba před východem Slunce je označována jako svítání. Soumrak i svítání jsou kategorizovány na základě úhlové vzdálenosti Slunce pod obzorem. **Občanský soumrak** probíhá, dokud je Slunce do 6° pod obzorem, a „*lze při něm pracovat a hvězdy nejsou vidět*“. **Nautický soumrak** probíhá, když se Slunce nachází mezi 6° a 12° pod obzorem a „*jsou již vidět nejjasnější hvězdy, na které se zaměřuje při navigaci*“. Když je poloha Slunce mezi 12°

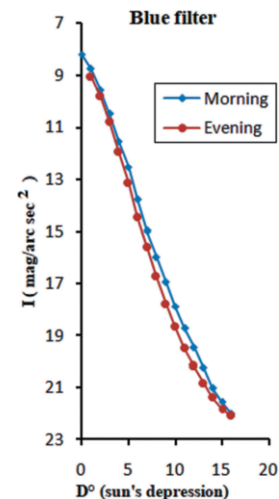
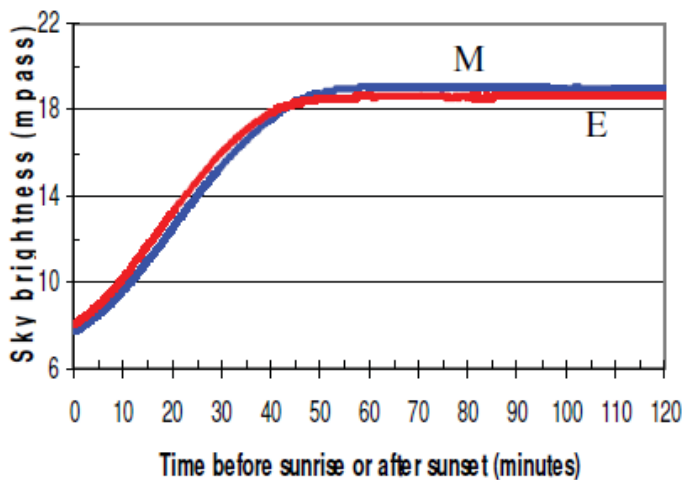
a 18° pod obzorem, soumrak je označován jako **astronomický** a „*jsou vidět hvězdy, ale nenastala ještě úplná tma*“. Délka soumraku a rozbřesku roste se zeměpisnou šířkou a deklinací Slunce. Nejkratší soumrak tak probíhá na rovníku, naopak nejdelší na pólech. Případy ve vysokých zeměpisných šířkách, kdy Slunce neklesá celou noc více než 6° pod obzor jsou nazývány bílými nocemi (Čapek 1992, s. 39). Vývoji jasů oblohy v zenitu během soumraku se věnovali Patat, Ugolnikov a Postylyakov (2006). Společně s klesajícím Sluncem pod obzor klesá i jas oblohy a jeho hodnota se stabilizuje z rozmezí zhruba mezi 15° a 17° pod obzorem (obr. 6). Stejný problém řešili i Lolkema a kol. (2010) v Nizozemsku. Dle grafu (obr. 7) se jas oblohy v zenitu již příliš nemění od pozice, kdy Slunce klesne zhruba 15° pod obzor. Poté je již možné bezpečně provádět měření jasů bez vlivu slunečního záření.



Obrázek 6 (vlevo): Závislost jasů oblohy v zenitu na úhlové zenitové vzdálenosti Slunce. Červené tečky zobrazují hodnoty získané na astronomické stanici Paranal v Andách, černé tečky zobrazují hodnoty získané na Krymské astrofyzikální observatoři. Převzato z Patata, Ugolnikova a Postylyakova (2006).

Obrázek 7 (vpravo): Závislost jasů oblohy na úhlové vzdálenosti Slunce pod obzorem. Svislé tečkované čáry značí občanský, nautický a astronomický soumrak (zprava doleva). Převzato z Lolkema a kol. (2010).

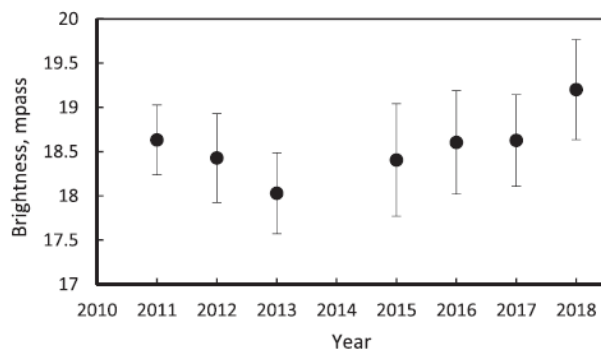
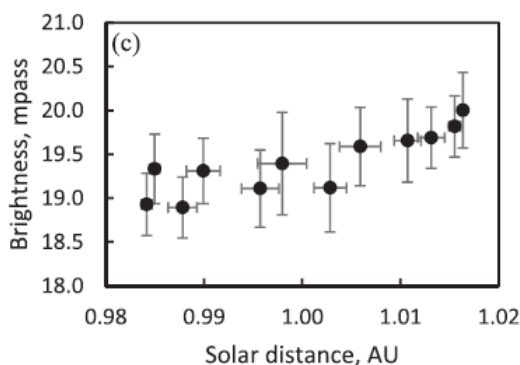
Pokud se ale Slunce nachází ve stejné úhlové vzdálenosti pod horizontem, respektive doba od západu Slunce je stejná jako doba do východu Slunce, je jas oblohy v zenitu odlišný. Obecně je obloha jasnější při rozbřesku, jak ukázaly výzkumy z Jogyakarty v Indonésii (obr. 8) a Abú Simbelu v Egyptě (obr. 9). Zatímco rozdíl jasů o 4 % je přisuzován vlivu aerosolů v atmosféře a světelnému znečištění (Herdiwijaya 2016), nižší jas oblohy během soumraku v Abú Simbelu je argumentován nižší intenzitou rozptylu slunečního svitu z důvodu vyšší teploty atmosféry a většími vzdálenostmi mezi molekulami vzduchu ve večerních hodinách (Nawar a kol. 2020).



Obrázek 8 (vlevo): Závislost jasu oblohy na době před východem Slunce (modře) a na době po západu Slunce (červeně) v Jogyakartě. Převzato z Herdiwijawa (2016).

Obrázek 9 (vpravo): Závislost jasu oblohy na úhlové vzdálenosti Slunce pod obzorem při rozbřesku (modře) a soumraku (červeně) v Abú Simbelu. Převzato z Nawar a kol. (2020).

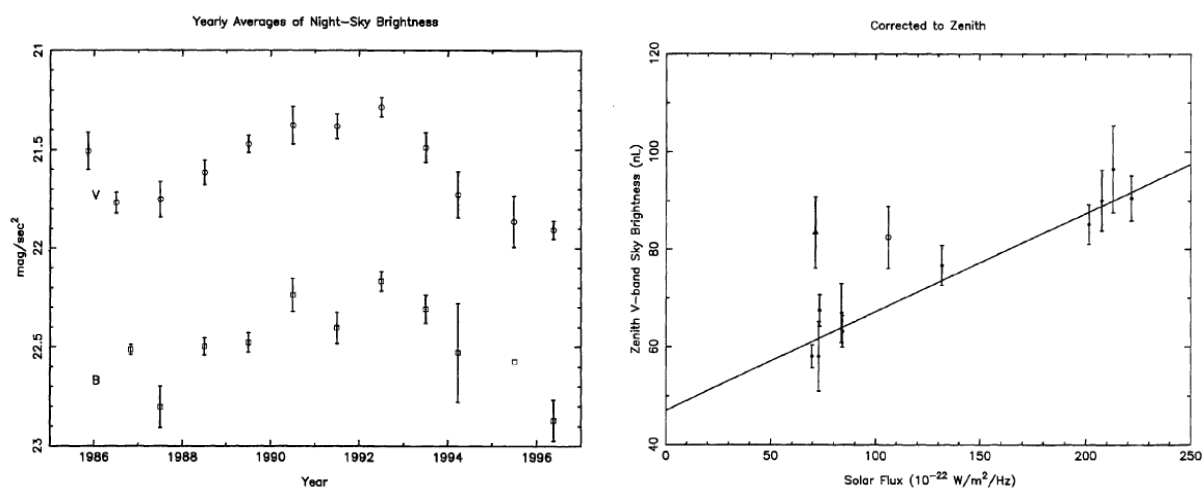
Vliv na zenitový jas oblohy má i vzdálenost Země–Slunce. Vzhledem k tomu, že oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, vzdálenost je během roku proměnlivá a pohybuje se od 147,1 mil km, kdy je Země v přísluní (*perihelium*), do 152,1 mil km, kdy je Země v odsluní (*afélium*; Čapek 1992). Střední vzdálenost se nazývá **astronomická jednotka (AU)**, jejíž hodnotu vyčíslil Vanýsek (1980) na 149 597 892 +/- 5 km. Slabou závislost jasu noční oblohy na vzdálenosti Země–Slunce odhalili Herdiwijaya a kol. (2020) při měření na astronomické stanici Bosscha v Indonésii a popsali ji jako přibližně lineární (obr. 10).



Obrázek 10 (vlevo): Závislost jasu oblohy na vzdálenosti Země–Slunce vyjádřené pomocí astronomické jednotky (AU). Převzato z Herdiwijaya a kol. (2020).

Obrázek 11 (vpravo): Vývoj průměrného ročního jasu oblohy v zenitu během 24. slunečního cyklu. Převzato z Herdiwijaya a kol. (2020).

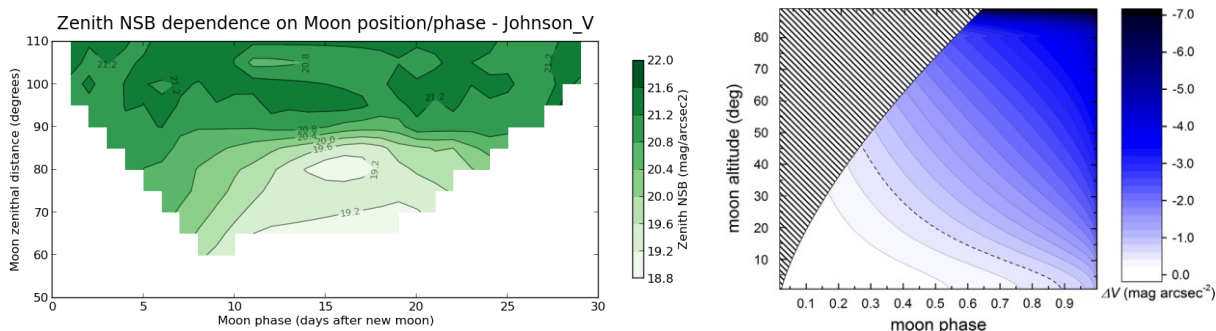
Změny nočního jasů oblohy byly prokázány také v souvislosti se změnami výkonu Slunce. Výkon Slunce je ovlivňován sluneční aktivitou, jejíž nejvýraznějšími projevy jsou skvrny na povrchu. Sluneční skvrny se periodicky objevují a mizí a s vyšším počtem skvrn se také zvyšuje sluneční tok energie. Popsaný proces je označován jako sluneční cyklus a doba mezi dvěma minimy výskytu slunečních skvrn je zhruba 11 let. Sluneční cykly jsou pravidelně sledovány a číslovány od roku 1760 (Vanýsek 1980). Jas noční oblohy byl sledován při 22. slunečním cyklu od září 1985 do srpna 1996 na observatoři Mauna Kea na Havaji. Hodnoty jasů se pohybovaly v rozmezí od 21,3 do 21,9 mag/arcsec² (obr. 12) a byla nalezena závislost, kdy se zvyšujícím se slunečním tokem energie se zvyšuje jas oblohy (obr. 13, Krisciunas 1997). Obdobné výsledky přinesl výzkum Herdiwijayay a kol. (2020) při 24. slunečním cyklu mezi lety 2010 a 2019. Nejnižší počet slunečních skvrn (7) byl pozorován v roce 2014, naopak nejvyšší počet (113) v roce 2018, kdy byly noci nejjasnější (obr. 11). Průměrný roční jas oblohy v zenitu vykazoval během slunečního cyklu odchylku 5 % (Herdiwijaya a kol. 2020).



Obrázek 12 (vlevo): Vývoj průměrného ročního jasů oblohy v zenitu během 22. slunečního cyklu. Převzato z Krisciunas (1997).

Obrázek 13 (vpravo): Závislost jasů noční oblohy na toku sluneční energie. Převzato z Krisciunas (1997).

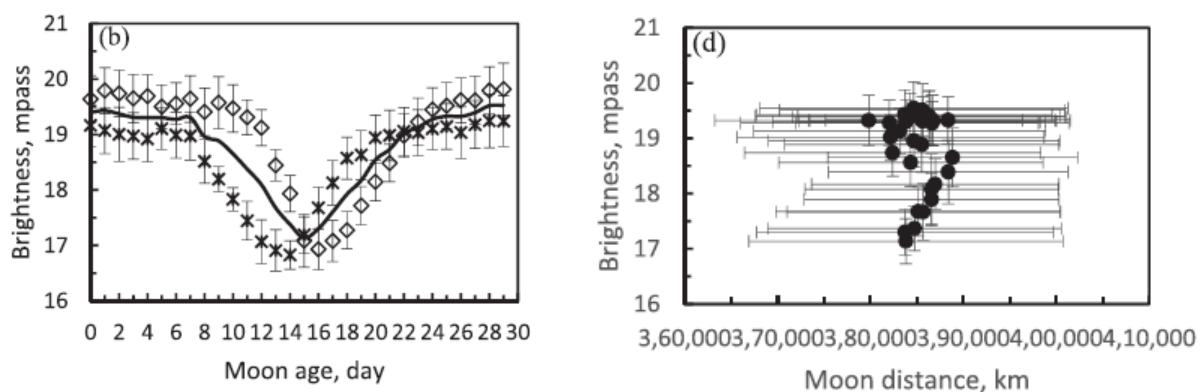
Nepřehlédnutelným kosmickým tělesem na noční obloze bývá **Měsíc**. Jas noční oblohy v zenitu je ovlivněn fází Měsíce a jeho polohou na nebeské sféře, respektive výškou nad horizontem. Tyto dvě proměnné mají silnou korelaci, neboť fáze Měsíce určuje, jak vysoko nad obzor se může dostat. Vývoj zenitového jasů oblohy v závislosti na výšce a fázi Měsíce (počtu dní po novu) zachycuje obr. 14. Jako vlivnější faktor se projevila výška, respektive zenitový úhel Měsíce. Při úplňcích byl pozorován rozdíl jasů v zenitu až 2,8 mag/arcsec² vzhledem k rozdílné výšce. Kvůli výraznému rozjasnění oblohy se pozorování čerenkovské astronomie omezují na bezměsíčné noci (Nievas 2013). Stejně souvislosti vyjádřili pomocí modelu Pun a kol. (2013), kdy byla určena odchylka 0,6 mag/arcsec² pro Měsícem neovlivněný jas v zenitu (obr. 15).



Obrázek 14 (vlevo): Závislost jasů noční oblohy v zenitu na poloze Měsíce a jeho fázi. Poloha Měsíce je vyjádřena zenitovým úhlem a jeho fáze je vyjádřena počtem dní po novu. Převzato z Nievase (2013).

Obrázek 15 (vpravo): Závislost odchylky jasů noční oblohy v zenitu na výšce Měsíce nad obzorem a jeho fázi. Pod přerušovanou čarou se nachází oblast jasů v zenitu neovlivněná svitem Měsíce (absolutní odchylka menší než $0,6 \text{ mag/arcsec}^2$), šrafy se vyznačena oblast kombinace fáze a polohy Měsíce na obloze, která nemůže nastat v nočních hodinách. Převzato z Pun a kol. (2013).

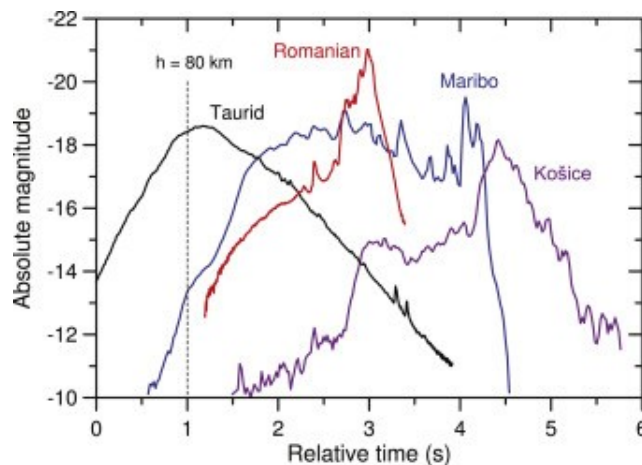
Vztah zenitového jasů oblohy a fází Měsíce byl sledován také na observatoři Bosscha v Indonésii. Při úplňku byl jas oblohy téměř 25krát vyšší než při novu, nejvyšší rozdíl dosahoval hodnoty $3,5 \text{ mag/arcsec}^2$. Asymetrie jasů oblohy před púlnocí a po púlnoci je způsobena rozdílnou výškou Měsíce nad horizontem (obr. 16). Vyhodnocen byl také vztah jasů oblohy a vzdálenosti Měsíce, nicméně žádná závislost se neprokázala (obr. 17) na rozdíl od vztahu jasů se vzdáleností ke Slunci (obr. 10). Jas noční oblohy je ale ovlivněn elongací, tedy úhlovou vzdáleností, kterou svírají pomyslné spojnice mezi Zemí a Sluncem a Zemí a Měsícem. Nejvyšší jas v zenitu byl zjištěn při opozici, když se Země nachází na přímce Slunce–Měsíc, naopak nejtemnější obloha byla sledována při konjukci, tedy ve chvíli, se Měsíc ocitá mezi Zemí a Sluncem (Herdiwijaya a kol. 2020). S ohledem na vlivy Slunce a Měsíce, které navyšují jas noční oblohy, doporučují Lolkema a kol. (2010) provádět měření jasů oblohy při poloze Slunce více než 15° pod obzorem a poloze Měsíce více než 0° pod obzorem.



Obrázek 16 (vlevo): Vztah jasů oblohy v zenitu a měsíční fáze. Fáze Měsíce je vyjádřena počtem dnů po novu. Kosočtverci jsou vyznačeny hodnoty jasů před púlnocí a křížky jsou vyznačeny hodnoty jasů po púlnoci. Převzato z Herdiwijaya a kol. (2020).

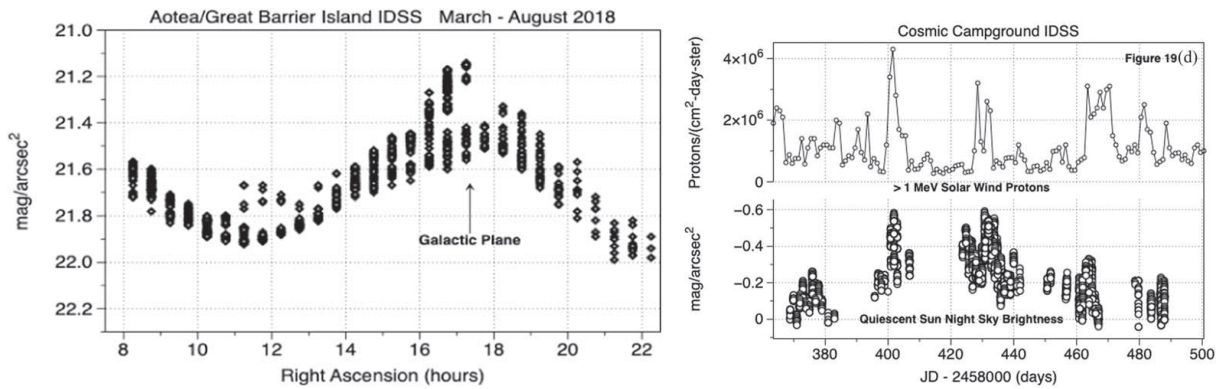
Obrázek 17 (vpravo): Vztah jasů oblohy v zenitu a vzdálenosti Měsíce. Převzato z Herdiwijaya a kol. (2020).

Významným zdrojem světla na noční obloze jsou také **bolidy**. Bolid je označení pro světelný efekt, který vzniká při průletu kosmického tělesa (přirozeného či umělého původu) zemskou atmosférou. Nezáří ale samotné těleso, nýbrž ionizovaný vzduch v jeho blízkosti. Bolidem je pak každý takový úkaz disponující jasněji než Venuše (magnituda -4; Vanýsek 1980). Nejvýraznější bolidy jsou jasnější než Měsíc v úplňku. Bolidy s jasněji než -17 mag se nazývají superbolidy. Mezi nejjasnější bolidy pozorované nad Českem patří např. bolid Šumava s nejvyšší absolutní magnitudou -21,5 +/- 1 (dne 4. prosince 1974) a bolid Benešov s nejvyšší maximální magnitudou -19,5 +/- 1 (dne 7. května 1991; Borovička, Spurný 1996). Ačkoliv je bolid velmi silným zdrojem světla, rozjasnění oblohy trvá vzhledem k vysokým rychlostem průletu tělesa pouze v řádu jednotek sekund. Závislost magnitudy na výšce tělesa nad horizontem či času je znázorněna pomocí světelných křivek (obr. 18; Borovička a kol. 2017).



Obrázek 18: Světelné křivky vybraných superbolidů. Převzato z Borovičky a kol. (2017).

Mnohem méně zřetelným kosmickým vlivům se věnovali Grauer a kol. (2019) v oblasti tmavé oblohy na Velkém bariérovém ostrově. Ve své studii uvádí přirozený jas noční oblohy v rozmezí od 21,14 do 21,99 mag/arcsec². Změny jasu jsou dány do souvislosti s průchodem Mléčné dráhy, respektive galaktické roviny, přes zenit. Zobecněním je vztah jasu oblohy v zenitu s rektascenzí, nicméně změny jasu jsou pouze v řádu desetin mag/arcsec² (obr. 19). Další zjištění přinesl monitoring slunečního větru. Bylo detekováno zvýšení jasu společně s vyšším tokem protonů od Slunce (obr. 20), které vstoupily do atmosféry kvůli poškozenému magnetickému poli Země. Nepříliš velké změny jasu vyvolané vzdálenými kosmickými zdroji záření jsou uplatňovány jen v rámci přirozeného jasu noční oblohy (Grauer a kol. 2019), který je popsán výše v podkapitole 3.1.



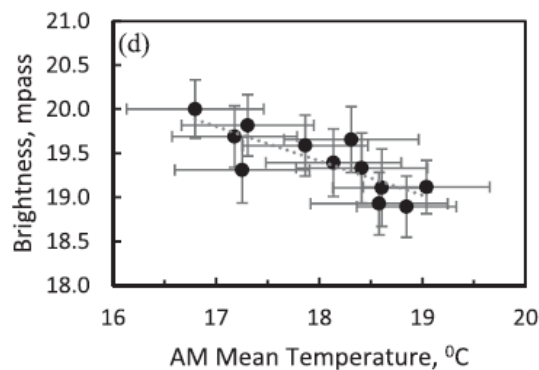
Obrázek 19 (vlevo): Vztah jasů oblohy v zenitu a rektascenze v období od března do srpna 2018 na Velkém bariérovém ostrově. Převzato z Grauera a kol. (2019).

Obrázek 20 (vpravo): Odchylka jasů oblohy v zenitu a hustota toku protonů ve slunečním větru. Převzato z Grauera a kol. (2019).

3.2.2 Meteorologické faktory

Většina meteorologických prvků je dávana do souvislosti s jasnem noční oblohy jen sporadicky. Vliv některých faktorů je zatím pouze spekulativní, respektive mění jiné charakteristiky atmosféry (např. teplota vzduchu, tlak vzduchu), zatímco jiné faktory (např. oblačnost, sněhová pokrývka) mají na jas oblohy jednoznačně přímý vliv. Velkou roli hraje také vysoká vzájemná provázanost některých meteorologických prvků.

Teplotu vzduchu a jas noční oblohy dávají do souvislosti Herdiwijaya a kol. (2020). Společně s rostoucí teplotou vzduchu se dle jejich studie zvyšuje i jas oblohy (obr. 21). Nicméně zvyšující teplota vzduchu je činitelem, díky kterému se ve výzkumné lokalitě zvyšuje i relativní vlhkost vzduchu, a vzniká pak oblačnost, jejíž význam je detailněji popsán dále v textu. Takový proces zvyšuje atmosférický rozptyl, a tudíž i jas noční oblohy. Nejtemnější obloha byla pozorována na observatoři Bosscha v Indonésii okolo třetí hodiny v noci (Herdiwijaya a kol. 2020). Ściężor (2020) také zmiňuje teploty pod bodem mrazu, při kterých se ve vzduchu vytváří aerosoly rozptylující světlo.

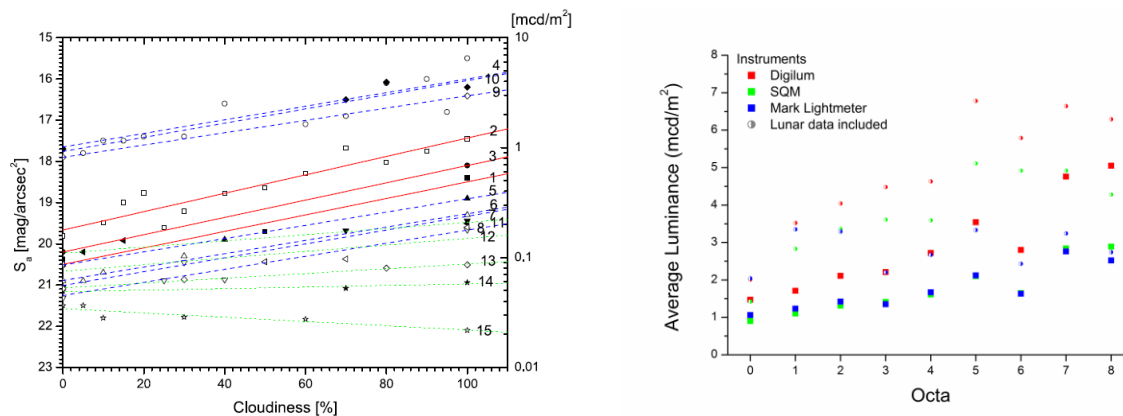


Obrázek 21: Závislost jasů noční oblohy v zenitu a průměrné teploty mezi polednem a půlnocí na astronomické observatoři Bosscha v Indonésii. Převzato z Herdiwijaya a kol. (2020).

Monitoring jasů noční oblohy na Krymské astrofyzikální observatoři (600 m n. m.) a observatoři Paranal (2600 m n. m.) vykazoval rozdíly během soumraku asi o 30 % (obr. 6). Tmavší obloha byla pozorována na observatoři Paranal, kde je díky vyšší nadmořské výšce nižší atmosférická extinkce a nižší mnohonásobný rozptyl světla. Závěrem pozorování je domněnka, že při západu Slunce se jas oblohy úměrně zvyšuje s **atmosférickým tlakem**, respektive s hustotou atmosférického sloupce nad pozorovatelem. Příčinou tak může být nižší hustota molekul vzduchu, menší množství přízemních aerosolů, případně kombinace obojího, nicméně je třeba vést další výzkumy a porovnání s pozorováními ve vyšších nadmořských výškách (Patat, Ugolnikov, Postilyakov 2006). Hodnoty atmosférického tlaku vzduchu a jasů noční oblohy analyzovala v bakalářské práci také Hrnčířová (2015), nicméně získaná data vykazovala nulovou korelaci.

Atmosférická **vlhkost vzduchu**, respektive relativní vlhkost, která vyjadřuje stupeň nasycení vzduchu vodní parou (ČMES 1993), není v odborné literatuře často zmiňovaná ve vztahu k jasům noční oblohy, nicméně Herdiwijaya a kol. (2020) ji uvádějí v souvislosti s teplotou vzduchu a vznikem oblačnosti. Z měření Hrnčířové (2015) vyplývá slabá závislost zenitového jasů noční oblohy na vlhkosti vzduchu.

Jedním z meteorologických prvků, které mají velmi vysoký vliv na jas noční oblohy a intenzitu světelného znečištění, je **oblačnost** (Ścieżor 2020). Oblaky jsou tvořeny vodními kapičkami, ledovými krystaly nebo jejich směsí, na kterých dochází k rozptylu světla (tzv. Mieův rozptyl; ČMES 1993). Vliv oblačnosti lze k jasům noční oblohy vztáhnout v několika rovinách. Jedná se o podíl oblohy zakryté oblačností, výšku základny oblaku a druhu oblaku. Efekt podílu zakrytí oblohy oblačností je nejsilnější v centrech měst. Směrem do oblastí méně zasažených světelným znečištěním závislost jasů oblohy na zakrytí slabne a byl také zaznamenán případ tmavnutí oblohy se zvyšujícím se zakrytím oblačností (obr. 22; Ścieżor 2020). Rostoucí jas oblohy se zakrytím oblohy oblačností potvrdil i výzkum v Nizozemsku (obr. 23). Při vysokém podílu zakrytí oblohy oblačností vykazují hodnoty jasů velký rozptyl, zatímco při nižším zakrytí je jas oblohy víc koncentrovaný okolo jedné hodnoty (Lolkema a kol. 2010).

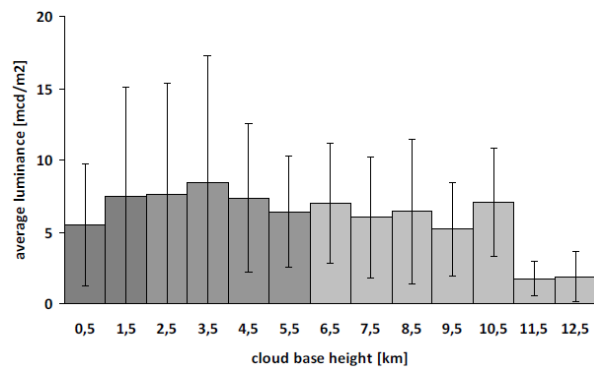
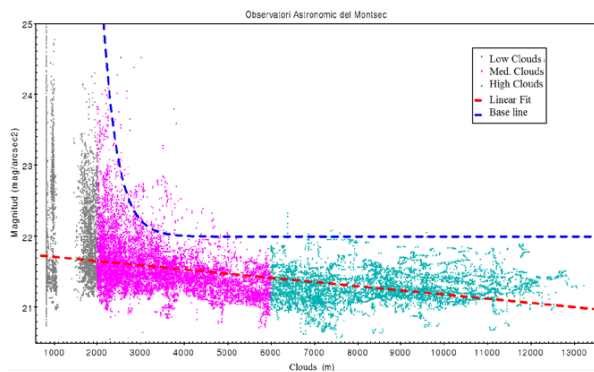


Obrázek 22 (vlevo): Vztah jasů oblohy v zenitu a podílu zakrytí oblohy oblačností na vybraných stanovištích v okolí polského Krakova. Modře jsou znázorněny trendy stanovišť v centrech měst, červeně jsou znázorněny trendy stanovišť v izolovaných sídlech méně postižených světelným znečištěním a zeleně jsou znázorněny trendy stanovišť u sídel s nízkou hustotou zalidnění neovlivněné světelným znečištěním. Převzato z Ściężor (2020).

Obrázek 23 (vpravo): Vztah jasů oblohy a podílu zakrytí oblohy oblačností vyjádřeného v osminách. Barvami jsou rozlišeny měřicí přístroje. Převzato z Lolkema a kol. (2010).

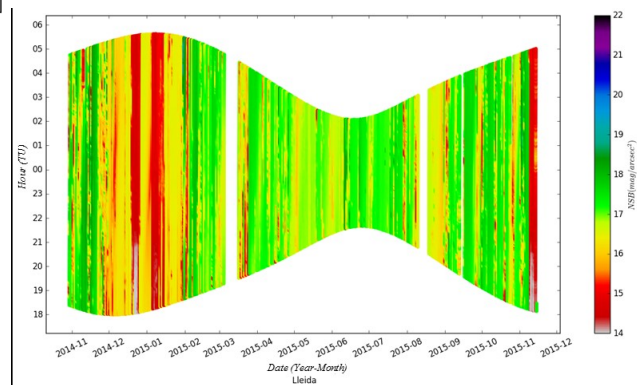
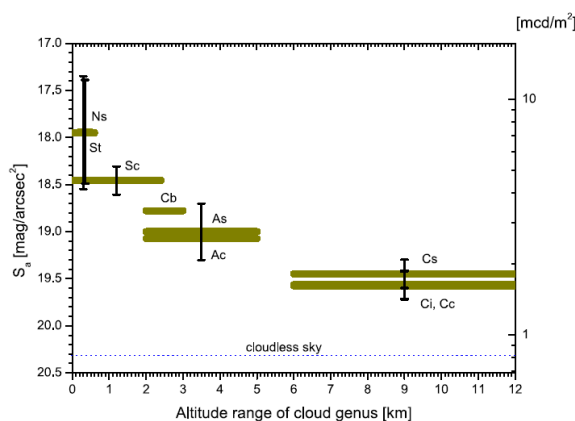
Výška základny oblaku udává nejnížší bod oblaku nad terénem a zpravidla se zjišťuje ceilometrem. Na základě výšky základny je oblačnost kategorizována na oblaky nízkého patra (do 2 km nad povrchem), oblaky středního patra (2–7 km nad povrchem) a oblaky vysokého patra (5–13 km nad povrchem) a v každém patře se tvoří rozdílné druhy oblaků (ČMES 1993). Obecně k jasům oblohy nejvíce přispívají oblaky nízkého patra, nižší mírou přispívají oblaky středního patra a nejnížší vliv na změnu jasů oblohy mají oblaky vysokého patra, na čemž se shodují Ribas a kol. (2016) i Ściężor (2020). Nízká oblačnost v zenitu přinesla průměrné zvýšení jasů o 0,88 mag/arcsec², střední oblačnost zvýšení o 0,60 mag/arcsec² a vysoká oblačnost zvýšení o 0,21 mag/arcsec² při měření v Barceloně (obr. 24; Ribas a kol. 2016). Výsledky měření v Nizozemsku jednoznačnou souvislost mezi výškou základny oblaku a jasnem oblohy nepřinesla (obr. 25; Lolkema a kol. 2010).

Každý druh oblaku má svoji specifickou strukturu, výšku základny, ale i odrazivost. Vysoké rozjasnění oblohy bylo zjištěno společně s výskytem druhu *Stratocumulus* (o 2,0 mag/arcsec²), *Cumulonimbus* (o 1,9 mag/arcsec²), *Altostratus* (o 1,1 mag/arcsec²) a *Cirrocumulus* (o 0,8 mag/arcsec²). Žádné výrazné změny jasů nepřinesla přítomnost druhu *Cirrostratus*. Nejnížší vliv na jas oblohy vykazoval výskyt druhu *Cirrus*, kdy byl jas v zenitu až do 60% pokrytí oblohy neměnný, až poté se zvýšil o 1,6 mag/arcsec² (Ściężor 2020). Souvislosti jasů noční oblohy v zenitu, druhu oblaku a jeho vertikálním rozsahem jsou znázorněny na obr. 26. Hrnčířová (2015) popisuje zvýšení míry světelného znečištění s výskytem druhů *Cumulus*, *Stratocumulus* a *Stratus*, které patří mezi oblaky nízkého patra.



Obrázek 24 (vlevo): Vztah jas oblohy v zenitu a výšky základny oblaku nad povrchem. Šedě jsou znázorněny hodnoty získané při nízké oblačnosti, růžově hodnoty při střední oblačnosti a modře hodnoty při vysoké oblačnosti. Převzato z Ribas a kol. (2016).

Obrázek 25 (vpravo): Vztah jas oblohy a výšky základny oblaku nad povrchem. Tmavě šedě jsou znázorněny hodnoty získané při nízké oblačnosti, šedě hodnoty při střední oblačnosti a světle šedě hodnoty při vysoké oblačnosti. Převzato z Lolkema a kol. (2010).



Obrázek 26 (vlevo): Souvislost mezi jasnem noční oblohy v zenitu, druhem oblaku a jeho vertikálním rozsahem v blízkosti polského Krakova. Převzato z Ściężor (2020).

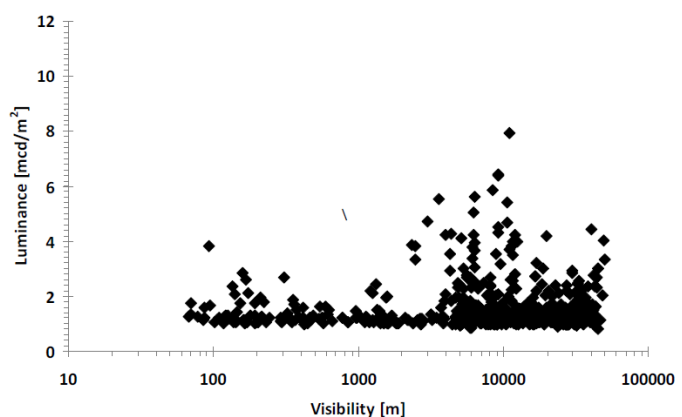
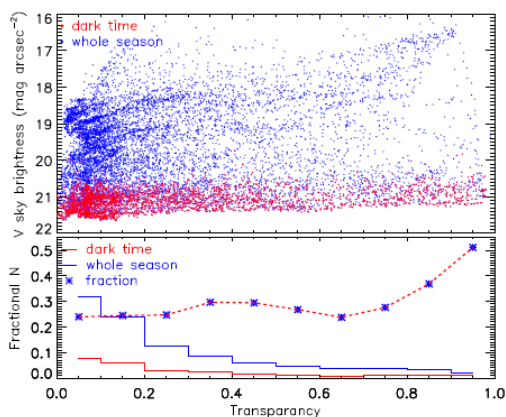
Obrázek 27 (vpravo): Změna jasnoční oblohy při epizodách mlhy nad španělským městem Lleida. Převzato z Ribase a kol. (2016).

Mlha je specifickým případem oblačnosti, která snižuje dohlednost pod 1 km (ČMES 1993). V případě výskytu mlhy v lokalitě disponující zdrojem osvětlení výrazně navyšuje jas oblohy. Při výskytu nad městem s 140 tisíci obyvateli vystoupal jas oblohy až ke 14 mag/arcsec² (obr. 27). Efekt mlhy nebyl rozpoznán v horské lokalitě vzdálené od zdrojů světelného znečištění (Ribas a kol. 2016). Hrnčířová (2015) tvrdí, že mlha zvyšuje intenzitu světelného znečištění v místě zdroje světla, ale okolí zůstává chráněno. Tuto domněnku potvrzují Ściężor a Czaplicka (2020). Výzkum v jihovýchodním Polsku prokázal rozjasnění oblohy v městském prostředí vlivem rozptylu světla na vodních kapičkách a ledových krystalcích mlhy, zatímco v horách s jasnem oblohy nepoškozeným světelným znečištěním výskyt mlhy tlumil záření přirozených kosmických zdrojů a jas noční oblohy tak klesl (Ściężor, Czaplicka 2020).

Oblačnost zejména nízkého patra má silný efekt na nárůst jasu noční především ve městech postižených světelným znečištěním (Kubala a kol. 2009; Ribas a kol. 2016) vzhledem k tomu, že tvoří odraznou vrstvu pro světlo vyzařované na povrchu Země (Hrnčířová 2015). Ačkoliv mnoho studií potvrzuje nárůst nočního jasu oblohy s přibývajícím oblačností (např. Kubala a kol. 2009; Kyba a kol. 2012; Ribas a kol. 2016; Ściężor 2020), Jechow, Hölker a Kyba (2019) upozorňují na tlumící efekt oblačnost na základě měření provedených ve venkovském a přírodním prostředí. Zároveň jsou při zatažených nocích potlačeny vzdálenější zdroje světelného znečištění, ale zvýrazněny ty místní (Jechow, Hölker, Kyba 2019).

Schopnost atmosféry propouštět elektromagnetické záření udává její **propustnost** (také *průzračnost*). Jedná se o podíl záření, které prošlo atmosférou, ku počáteční intenzitě záření (ČMES 1993). Propustnost silně ovlivňuje světelné podmínky a šíření světla v atmosféře, které mohou být narušeny např. přítomností přirozených či antropogenních aerosolů. Na základě výzkumu v Antarktidě nebyla prokázána závislost jasu noční oblohy na propustnosti atmosféry ve viditelné části spektra (obr. 28; Yang a kol. 2017).

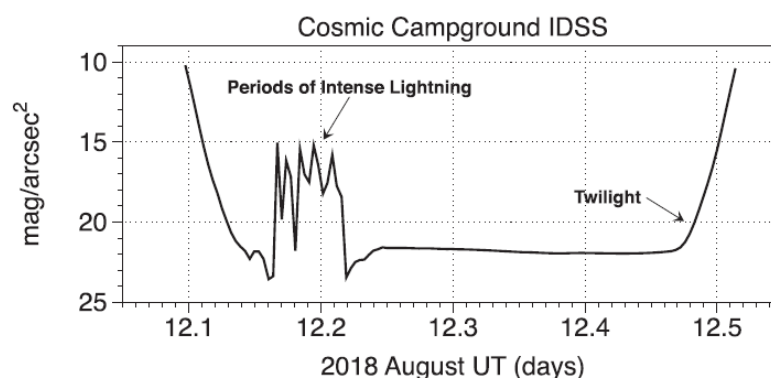
Obdobným ukazatelem odrážejícím optické podmínky v atmosféře je **dohlednost** (také *viditelnost*). Dohlednost je definována jako největší vzdálenost, na kterou lze vidět a rozeznat černý předmět vhodných rozměrů umístěný u země (ČMES 1993). Z měření v Nizozemsku nevyplývá závislost zenitového jasu noční oblohy na dohlednosti, nicméně je odkazováno na chybějící výzkum vlivu zátěže atmosféry aerosoly na zenitový jas noční oblohy (obr. 29; Lolkema a kol. 2010).



Obrázek 28 (vlevo): Horní část diagramu zobrazuje vztah jasu noční oblohy a propustnosti atmosféry na stanici Dome A v Antarktidě. Modře jsou znázorněny hodnoty získané během celé sezóny, červeně jsou zobrazeny hodnoty získané v tmavé části roku. Dolní část diagramu zobrazuje normalizované histogramy jasu noční oblohy v zenitu během celé sezóny (modře) a tmavé části roku (červeně), modré hvězdičky symbolizují poměr obou histogramů. Převzato z Yang a kol. (2017).

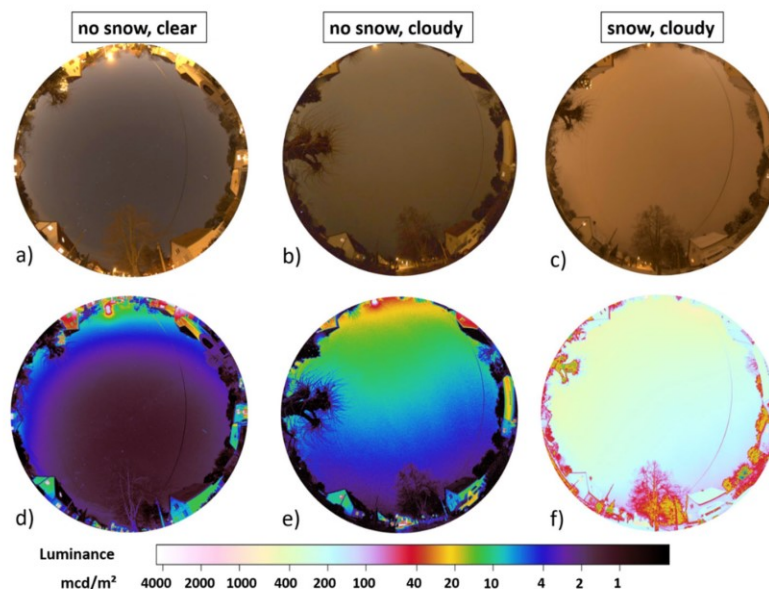
Obrázek 29 (vpravo): Vztah mezi jasem noční oblohy v zenitu a dohledností. Převzato z Lolkema a kol. (2010).

Podobně jako bolidy způsobují **blesky** několikasekundové rozjasnění noční oblohy. Blesk je komplex elektrických výbojů, které vznikají mezi kladnými a zápornými náboji v oblacích nebo na povrchu Země. Blesk tak může vzniknout mezi oblaky, mezi oblakem a zemí či mezi oblakem a okolním vzduchem (ČMES 1993). Na Vídeňské univerzitní observatoři bylo při bouřce zaznamenáno zvýšení nočního jasu oblohy k 11 mag/arcsec², což by v místě bez vlivu světelného znečištění znamenalo 10000násobné zvýšení jasu oblohy! Vzhledem k tomu, že blesk disponuje extrémní svítivostí, ale zabírá pouze zlomek oblohy, je doporučeno měřit jeho jas v luxech (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Monitoring nočního jasu oblohy v oblasti tmavé oblohy v Novém Mexiku detekoval nejprve pokles jasu z 22 mag/arcsec² na 24 mag/arcsec² způsobený pravděpodobně vlivem bouřkové oblačnosti, poté se působením bleskové aktivity obloha rozjasnila až na 15 mag/arcsec² (obr. 30; Grauer a kol. 2019). Extrahování kanálů blesku z fotografie a jejich převod na jednotky jasu dokázaly, že se zvyšujícím se elektrickým proudem klesá jas kanálu a naopak. Nejjasnější kanál blesku dosahoval magnitudy 0 (Shimoji, Kuninaka, Izumi 2017).



Obrázek 30: Dočasné zvýšení jasu noční oblohy v zenitu vlivem bleskové aktivity. Převzato z Grauer a kol. (2019). Jas noční oblohy je kromě stavu atmosféry ovlivňován také charakterem zemského povrchu. Vlastnosti povrchu mění **sněhová pokrývka**, která výrazně zvyšuje jeho odrazivost (také *albedo*). Odrazivost je podíl odraženého množství záření ku množství záření dopadajícího. Odrazivost čistého čerstvého sněhu převyšuje 70 % (ČMES 1993). Světlo, které je směřováno pouličními lampami k zemi, je pak odraženo zpátky k noční obloze (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Přímá úměra mezi zenitovým jasnem noční oblohy a podílem sněhové pokrývky byla zjištěna nedaleko polského Krakova (Kubala a kol. 2009). Neobvykle vysoký jas noční oblohy nastává v případě společného výskytu sněhové pokrývky a zatažené oblohy. Například na Vídeňské univerzitní observatoři byl za takových podmínek změřen zenitový jas 13,99 mag/arcsec². Obloha tak byla 6. února 2012 1570krát jasnější vzhledem k přirozenému jasu, což převyšuje jas oblohy při úplňku (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Zvýšený jas

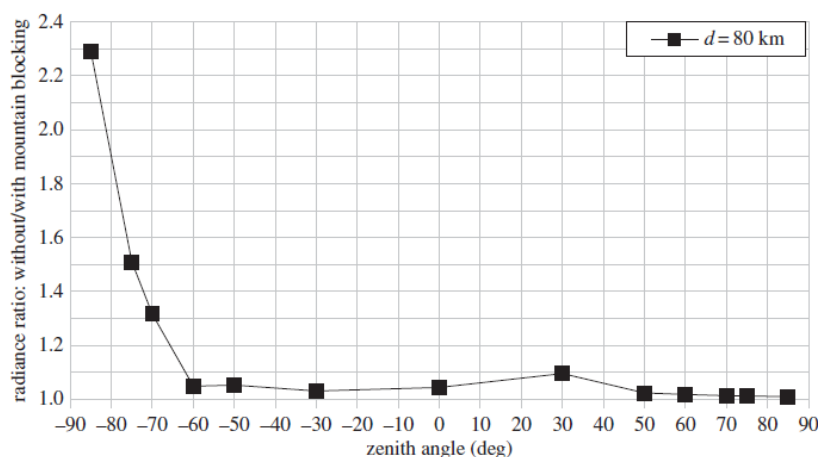
doprovázený sněhovou pokrývkou je v literatuře označován jako sněhová záře (*snowglow*; obr. 31) a účinným řešením k její redukci jsou osvětlovací technologie schopné při výskytu sněhové pokrývky tlumit či úplně vypínat intenzitu svícení (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014; Jechow, Hölker 2019).



Obrázek 31: Změna jasu noční oblohy důsledkem oblačnosti a sněhové pokrývky nedaleko Berlína. Snímky v horní řadě zachycují jasnou noční oblohu (a), zataženou noční oblohu (b) a zataženou noční oblohu v kombinaci se sněhovou pokrývkou (c), snímky v dolní řadě (d–f) představují ekvivalentní jasové mapy. Hodnoty jasu jsou znázorněny pomocí barevné stupnice. Převzato z Jechow, Hölker (2019).

3.2.3 Charakter krajiny

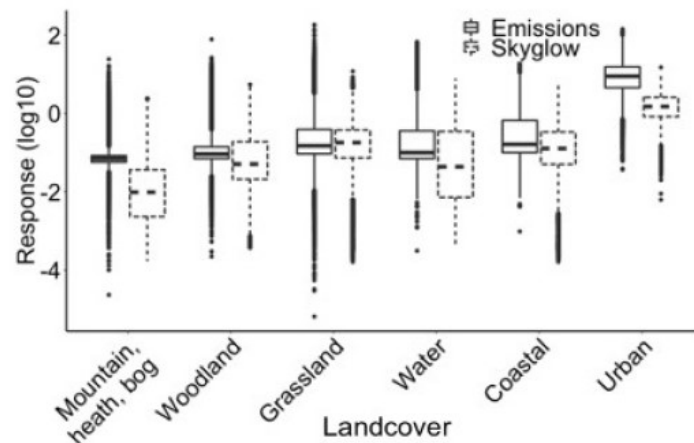
Reliéf krajiny, respektive jeho výšková členitost, ovlivňuje průchod světla krajinou svým stínícím efektem. Dle Garstanga (1989) odstiňují hory zdroje světelného znečištění jen v případě, když stojí v jeho blízkosti. Jeho model šíření světelného znečištění aplikovaný na pozorování oblohy z hory Mount Graham uvádí snížení jasu při horizontu o 7 % a jasu v zenitu jen o 2 % ($0,001 \text{ mag/arcsec}^2$) vlivem stínění (Garstang 1989). V místech s nižší nadmořskou výškou, jakými jsou například hluboká horská údolí, zakrývají vysoké hory významnou část nebeské sféry, která může přispívat k navýšení jasu noční oblohy způsobeném např. světelným znečištěním (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001a). Efekt stínění zkoumal také Aubé (2015). Ve svém modelu vytvořil 2000 metrů vysokou horu ve vzdálenosti 30 km od centra města. Pozorovatel stál 80 km od města ve směrech zastíněných a nestíněných horou. Z porovnání vyplývá redukce záře emitované městem při horizontu zhruba na polovinu vlivem stínění, zatímco v zenitu se stínění téměř neprojevovalo (obr. 32; Aubé 2015). Jas noční oblohy měřil v lokalitách zastíněných a nezastíněných vůči zdroji světelného znečištění Šén (2018). Úbytek intenzity jasu noční oblohy vlivem zastínění reliéfem nemohl být bezpečně potvrzen (Šén 2018).



Obrázek 32: Podíl záře bez vlivu stínění reliéfu a záře ovlivněné stíněním v závislosti na zenitovém úhlu. Převzato z Aubé (2015).

Prostorovou variabilitu jasů noční oblohy lze také spatřovat v souvislosti s **krajinnou mozaikou**. Světelná záře byla kvantifikována na území Velké Británie pomocí dálkového průzkumu. Nejintenzivnější byla světelná záře sledována nad obydlenými oblastmi, méně intenzivnější pak byla nad pobřežními zónami, vodními plochami, travními porosty a lesy. Horské oblasti, vřesoviště a mokřady se vyznačovaly nejslabší světelnou září na obloze (obr. 33; Cox a kol. 2020). Obdobným způsobem porovnávali Karpínska a Kunz (2019) jas noční oblohy nad městem Toruń se zhruba 200 tisíci obyvateli. Nejjasnější obloha byla zjištěna nad hustou zástavbou v centru města, obytnou zástavbou rodinných domů a průmyslovými areály. Naopak nejnižší jas oblohy byl zjištěn nad zahrádkářskými koloniemi, zatravněnými plochami, lesními porosty, písčítými a štěrkovými plochami (Karpínska, Kunz 2019).

Podstatným rozdílem oproti výše uvedeným faktorům je charakter některých kategorií krajinného pokryvu (např. zastavěné oblasti, průmyslové areály) jakožto přímých zdrojů světla a světelného znečištění. Od využití krajiny se odvíjí intenzita činností člověka, s čím souvisí např. hustota lamp veřejného osvětlení (Hale a kol. 2013). Jas noční oblohy nad jednotlivými kategoriemi krajinného pokryvu ale může také modifikovat odrazivost jeho povrchu již zmiňovaná v souvislosti se sněhovou pokrývkou či produkce aerosolů (viz následující podkapitola 3.3). Vysokou odrazivostí povrchu (přes 60 %) se vyznačují sněhem a ledem pokryté oblasti, střední odrazivostí (20–60 %) pouště, travní porosty, oblasti tundry a trvale zmrzlé půdy, orná půda a městská zástavba, nízkou odrazivostí (10–20 %) lesy, křoviny a odhalené půdy a velmi nízkou odrazivostí (pod 10 %) oceány a vnitrozemské vodní plochy (Wang a kol. 2011).



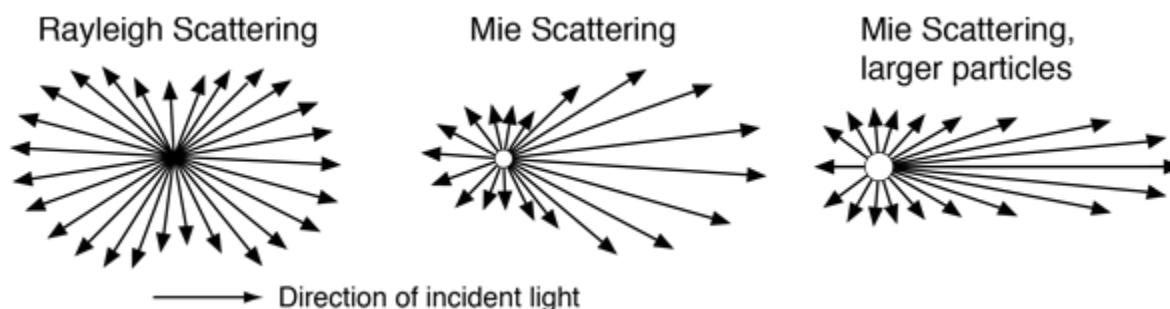
Obrázek 33: Emise záření a světelná záře v závislosti na krajinném pokryvu. Převzato z Cox a kol. (2020).

Šíření světla a světelného znečištění, které navyšuje jas oblohy a negativně ovlivňuje noční prostředí, usměrňují vertikální **bariéry v krajině**. Bariérami jsou jednak hory a pohoří, jejichž vliv byl popsán výše. Další přirozenou bariérou pro světlo jsou také lesy. Bujalský (2010, s. 53) ve své diplomové práci považuje krkonošské smrkové porosty za „*velmi efektivní bariéru*“. Vliv lesa na šíření světelného znečištění byl zkoumán v okolí středně velkého českého města Kladna, které bylo považováno za plošný zdroj světelného znečištění. Bariérový efekt nemohl být spolehlivě prokázán vzhledem k vlivu Prahy jakožto zdroje světelného znečištění na všechna měřicí stanoviště (Klauda 2019). Vysoký bariérový efekt působí v lokalitách, kde vegetace převyšuje zdroje osvětlení. Ve centrech měst také dochází k blokování světla výškovými budovami, které jsou zároveň zdroji světelného znečištění. Důsledkem bariérového efektu je pak snížení jasů oblohy blízko horizontu v oblastech daleko od zdrojů světelného znečištění (Luginbuhl a kol. 2009b).

3.3 Aerosoly

Aerosoly jsou pevné a kapalné částice přítomné v zemské atmosféře. Mohou být přírodního původu (např. vodní kapičky, ledové částice, částice mořské soli, atmosférický prach, vulkanický popel, pylová zrna) či vznikat činností člověka (kouř, popílek průmyslového původu a jiné zplodiny spalovacích, mechanických a chemických procesů). Dobu setrvání aerosolu v atmosféře určuje především velikost a tvar část. Suspendované částice jsou ty částice, které se dokáží volně vznášet v atmosféře i několik dnů. Pevné částice aerosolu (vyjma ledových krystalků) se rozdělují do frakcí na základě velikosti. Zpravidla se uvažují velikostní frakce PM10 (*particular matter*) pro částice s aerodynamickým průměrem do 10 μm a PM2,5 pro částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm (ČMES 1993, ČMES 2015).

S aerosoly je úzce spjato atmosférické zeslabování (*extinkce*). Složkami atmosférického zeslabování jsou rozptyl (*difuze*) a pohlcování (*absorpce*, ČMES 1993). Rozptyl v atmosféře probíhá dvojího druhu. Molekulový rozptyl (také Rayleighův) probíhá za předpokladu, že velikost částice, na které je rozptýleno záření, je menší než vlnová délka přicházejícího záření a záření ovlivněného průchodem částice. Záření s kratšími vlnovými délkami je rozptylováno intenzivněji. Aerosolový rozptyl (také Mieův) není vázán na vlnovou délku záření a mění se na tzv. difúzní odraz, při kterém se nemění spektrální složení záření (obr. 34). Důsledkem je pak bílá až šedá barva oblaků a mlhy. Pohlcování atmosféry není ve srovnání s rozptylem tak významné. Jednotlivé plyny, které jsou přirozenou součástí atmosféry, zcela nebo zčásti pohlcují záření určitých vlnových délek. Při poloze Slunce v zenitu je intenzita záření snížena vlivem pohlcování o 6 až 8 % (Netopil a kol. 1984). Míra zeslabování je závislá na meteorologických podmínkách. Atmosférické zeslabování roste se zvyšující se relativní vlhkostí, přičemž klesá viditelnost. Společně s rychlostí větru také roste i míra zeslabování (Nilson 1994). Zároveň se potvrdila vyšší míra zeslabování v městském prostředí vlivem vyšší koncentrace aerosolů (Bridgman 1979).



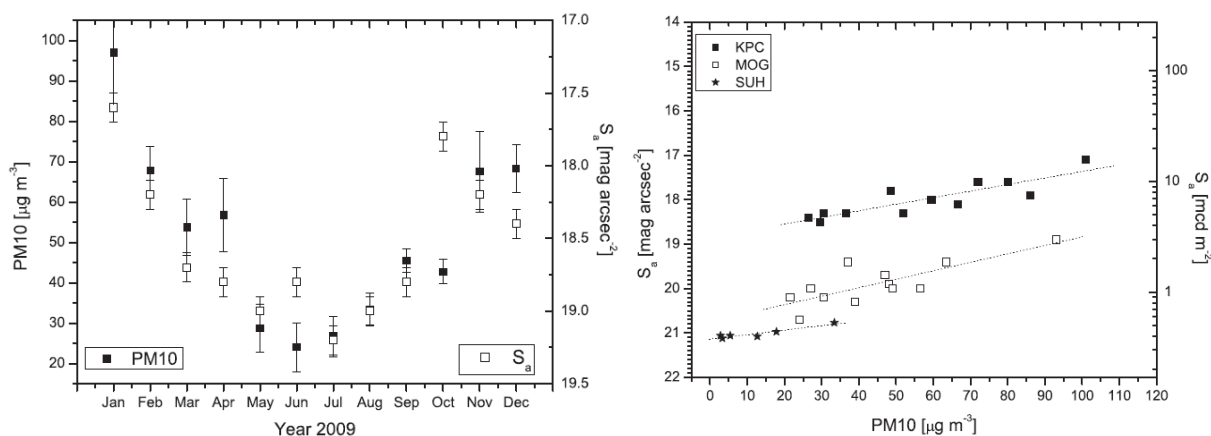
Obrázek 34: Změna směru záření po průchodu částicí při molekulovém rozptylu (vlevo), aerosolovém rozptylu na malých částicích (uprostřed) a aerosolovém rozptylu na velkých částicích (vpravo; převzato z Nave 2017).

Aerosoly, mezi které patří i kapičky vody a ledové krystalky tvořící oblačnost popsanou výše v textu, ovlivňují výrazně průchod světla atmosférou a pozměňují i jas noční oblohy. Působení vulkanického a pouštního prachu začlenil do svého modelu šíření světelného znečištění Garstang (1991). Zjistil, že vrstva prachu v atmosféře záření částečně pohlcuje, což celkový jas oblohy snižuje, a částečně rozptyluje, což celkový jas oblohy zvyšuje. Pohlcování bylo v tomto případě vyhodnoceno jako významnější (Garstang 1991). Koncentraci pevných částic (frakce PM10 a celkové suspendované pevné částice) a jas noční oblohy za bezměsíčných nocí sledovali Ścieżor a Kubala (2014) v Krakově a okolí. Nejvyšší koncentrace pevných částic byly zjištěny během zimních měsíců (obr. 35) vlivem spalování tuhých paliv v domácnostech

za účelem vytápění. Společně s rostoucí koncentrací pevných částic se zvyšoval i pozorovaný jas oblohy (obr. 36). Vztah byl vyhodnocen jako jasně lineární a byl vyjádřen předpisem:

$$S_a = PMS \cdot PM10 + S_b$$

kde S_a je zjištěný jas oblohy v mag/arcsec^2 , S_b je nejnižší možný jas oblohy v mag/arcsec^2 v dané lokalitě, $PM10$ je koncentrace částicové frakce v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a PMS je koeficient závislý na typu a velikosti pevné částice. Ačkoliv z pozorování vyplynul takto jednoznačný vztah mezi jasnem noční oblohy a koncentrací pevných částic, autoři upozorňují na koncentraci částic do výšky zhruba 200 metrů nad povrchem, zatímco světlo je rozptýlováno v nejvyšších vrstvách atmosféry, a apelují na další výzkum problematiky v různých prostředích (Ściężor, Kubala 2014).



Obrázek 35 (vlevo): Vývoj průměrných měsíčních koncentrací $PM10$ a jasů noční oblohy v průběhu roku 2019 v Krakově a okolí. Převzato z Ściężor, Kubala (2014).

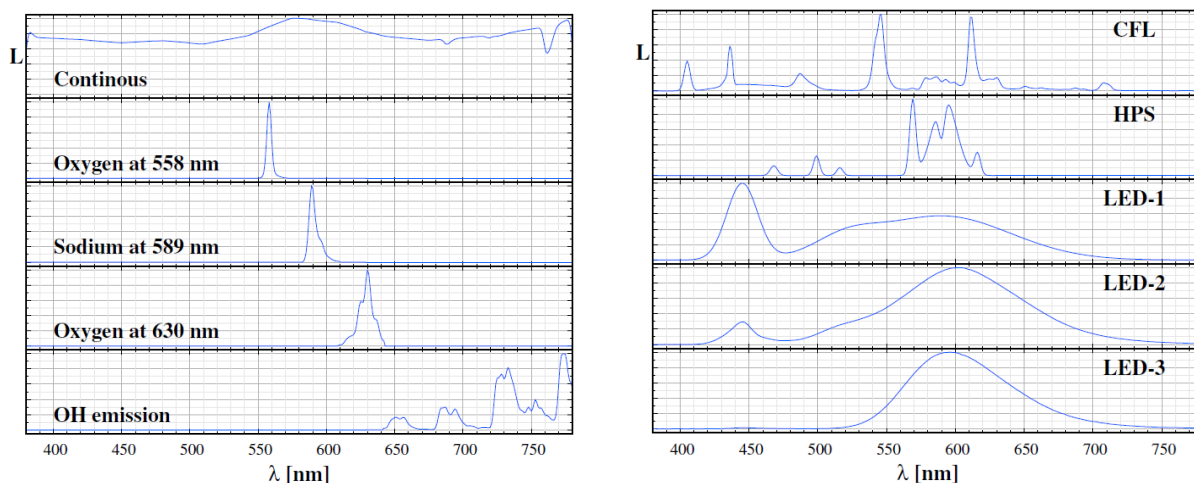
Obrázek 36 (vpravo): Závislost jasů noční oblohy na koncentraci částic $PM10$ v atmosféře. Převzato z Ściężor, Kubala (2014).

Studii rozšířenou o působení nejen antropogenních, ale i přirozených aerosolů předložili Ściężor a Czaplicka (2020). V práci diskutují vliv pevných částic $PM10$, výšky atmosférických vrstev nad povrchem, mlhy a kouřma a pouštního a vulkanického prachu. Potvrzuje se zásadní vliv rozptylu, kdy se zvyšující se koncentrací částic se zvyšuje i jas noční oblohy. Snížení jasů bylo pozorováno pouze za přítomnosti mlhy, která v prostředí neovlivněném světelným znečištěním tlumí vliv kosmických zdrojů světla a snižuje jas oblohy. Zvýšení jasů noční oblohy přinesl také výskyt pouštního a vulkanického prachu v atmosféře (Ściężor, Czaplicka 2020), což je v rozporu s výzkumem Garstanga (1991). Rozdíl ve výsledcích obou studií ovšem pravděpodobně souvisí s úrovní světelného znečištění obou výzkumných lokalit.

3.4 Barva noční oblohy

Barva oblohy v noci je proměnnou veličinou stejně jako je jí jas noční oblohy. Vzhled noční oblohy je výsledkem mnoha faktorů, k nejzásadnějším patří oblačnost a sněhová pokrývka. Dále jas a barvu oblohy ovlivňuje přítomnost aerosolů, vlhkost vzduchu, chování obyvatelstva, změny odrazivost povrchu či listová pokrývnost (Kyba a kol. 2012). Dle Kollátha a kol. (2020b) má jasná noční bezměsíčná obloha nezátížená světelným znečištěním osvětlovaná pouze přirozenými kosmickými zdroji záření zhruba okrový odstín. Skutečná barva noční oblohy není lidským okem pozorovatelná vzhledem k nefunkčnosti barevného vidění při velmi nízkém jasu (Kolláth a kol. 2020b).

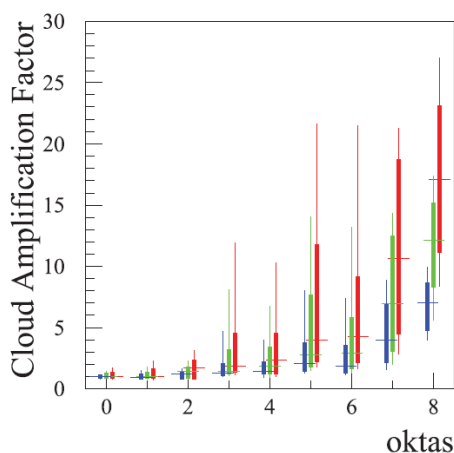
Barvu noční oblohy ovlivňují samotné světelné zdroje, které ji osvětlují. Emisní spektra přirozených i umělých zářičů představili Kolláth a kol. (2020b). K přirozeným zdrojům světla na noční obloze, které představuje zvířetníkové světlo, rozptýlený hvězdný svit a zbytkový svit oblohy, patří zářiče spojitého spektra, kyslíkové zářiče s maximy na vlnových délkách 558 nm (zelenožlutá) a 630 nm (červená), sodíkové zářiče s maximem na vlnové délce 589 nm (žlutooranžová) a hydroxylové zářiče (obr. 37). K umělým zdrojům osvětlení rozpoznávaných maďarské oblasti tmavé oblohy Zselic patří kompaktní fluorescenční zářivky (CFL), vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS) a LED diody vyzařující především bílé světlo (obr. 38, Kolláth a kol. 2020).



Obrázek 37 (vlevo): Emisní spektrum přirozených zářičů na noční obloze. Převzato z Kollátha a kol. (2020b).

Obrázek 38 (vpravo): Emisní spektrum umělých zářičů rozpoznávaných v oblasti tmavé oblohy Zselic v Maďarsku. Převzato z Kollátha a kol. (2020b).

Významným faktorem měnícím noční barvu oblohy je také oblačnost. Zároveň je vzhled oblohy ovlivněn také lokalitou, respektive mírou světelného znečištění, kde se oblačnost vyskytne. V přírodní a v příměstské krajině byla rozpoznána změna barvy pomocí analýzy barevných složek (RGB systém) i barevnou teplotou extrahovaných z celooblohových snímků. Bezoblačná noční obloha vykazovala namodralou až modrozelenou barvu, po zatažení oblačností dostala obloha žlutavý nádech (Jechow, Hölker, Kyba 2019). Vztah barvy oblohy a míry pokrytí oblohy oblačností v městském prostředí zkoumali Kyba a kol. (2012) v Berlíně. Pomocí jasoměrů SQM osazených barevnými filtry byly zkoumány intenzity červené, zelené a modré složky světla. Zvyšující zakrytí oblohy oblačností (vyjádřené v osminách) s sebou přineslo vyšší jas oblohy (viz oddíl 3.2.2), ale také intenzivnější odraz červené složky světla od oblaků směrem k povrchu (obr. 39). Zatažená noční obloha v městských oblastech tak dostává načervenalý nádech (Kyba a kol. 2012). Studie, která byla provedena na transektu začínajícím v centru Berlína a končícím zhruba 60 km na jih od Berlína uprostřed venkovské krajiny, potvrdila na všech lokalitách potvrdila barevný posuv směrem k červené při zakrytí oblohy oblačností a upozornila na nejintenzivnější změny barvy v zenitu při porovnání bezoblačných a oblačných nocí (Jechow, Kyba, Hölker 2020).



Obrázek 39: Zesílení modré, zelené a červené složky světla při zakrytí oblohy oblačností na měřicím stanovišti v Berlíně. Převzato z Kyba a kol. (2012).

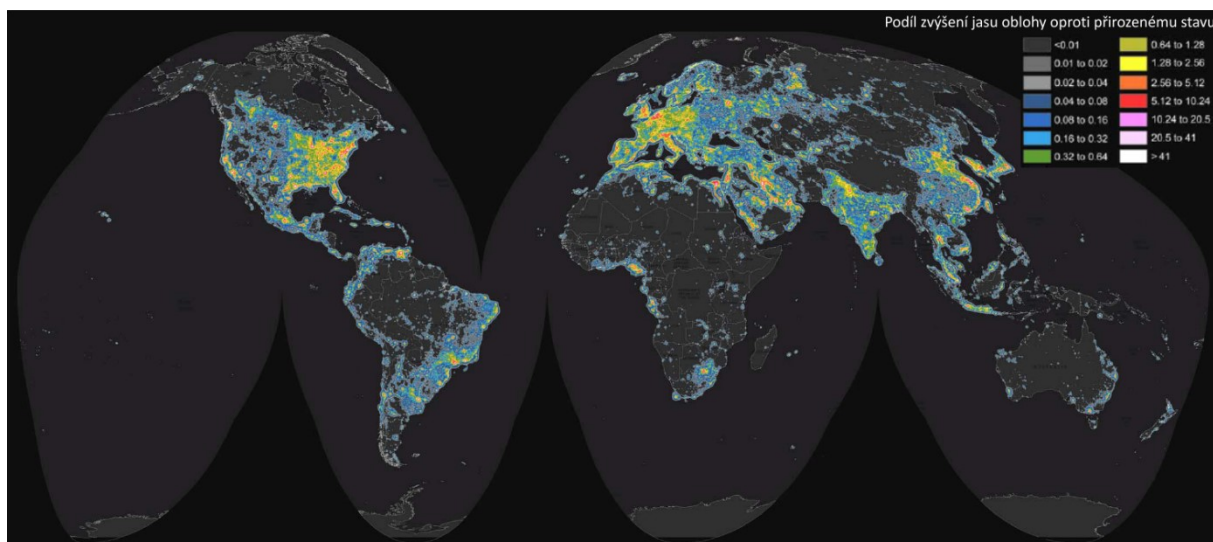
4 Změny světelného znečištění v čase

Stejně jako lidská společnost se vyvíjí i světelné znečištění, potažmo jas oblohy ovlivněný činnostmi člověka. Kapitola 4 popisuje změnu jasu noční oblohy v dlouhodobém časovém měřítku celosvětově, v jednotlivých typech prostředí i regionech, změnu jasu noční oblohy během jedné noci ovlivněnou charakterem lokality, ale i přírodními faktory představenými v podkapitole 3.2, a účinky jednotlivých událostí jako např. oslavy příchodu Nového roku, Hodina Země či pandemie covid-19 na jas noční oblohy.

4.1 Víceleté trendy

The first World Atlas of the artificial night sky brightness (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001b) přinesl unikátní celosvětový přehled o intenzitě a rozšíření světelného znečištění. V letech 1996 a 1997 žily dvě třetiny světové populace a 99 % obyvatelstva Spojených států amerických a Evropské unie pod noční oblohou poškozenou světelným znečištěním. Více než jedna čtvrtina světové populace, 80 % populace Spojených států amerických a dvě třetiny populace Evropské unie trávila noci pod oblohou s jasnem vyšším, než je při úplňku. Kvůli takto rozšířenému světelnému znečištění ztratila jedna pětina obyvatel světa, dvě třetiny obyvatel Spojených států amerických a zhruba polovina obyvatel Evropské unie možnost pozorovat Mléčnou dráhu v místě svého bydliště (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001b).

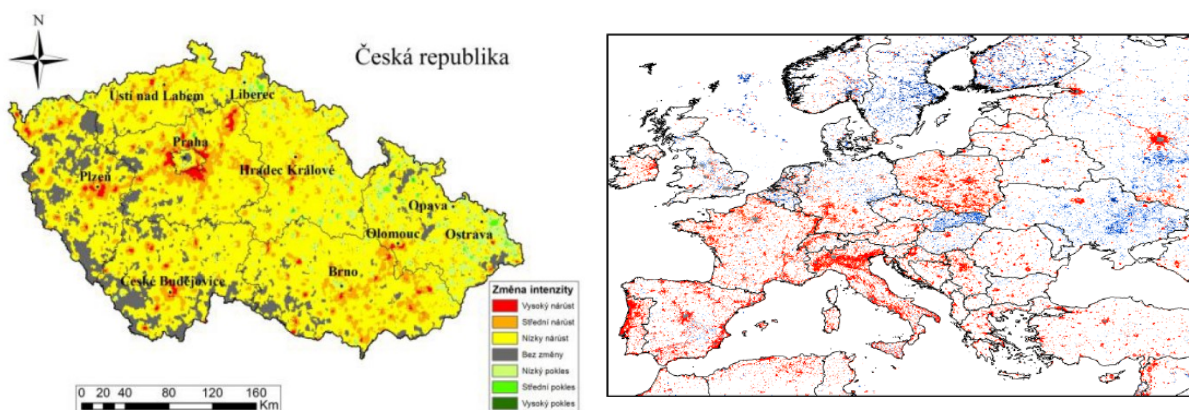
Navazující prací stejného rozsahu byl *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi a kol. 2016), který představil světelné znečištění ve světě v roce 2014 (obr. 40). Oproti předchozí studii (Cinzano, Falchi, Elvidge 2001) je pozorován citelný nárůst zatížení obyvatelstva světelným znečištěním. Pod oblohou narušenou světelným znečištěním žilo přes 80 % světové populace a více než 99 % populace Spojených států a Evropské unie. Mléčnou dráhu nemohlo z místa bydliště pozorovat více než jedna třetina světové populace, 60 % Evropanů a téměř 80 % Severoameričanů. V roce 2014 byla na 3,6 % území Česka, kde žilo zhruba 42,8 % obyvatelstva, byla noční obloha jasnější než 20,5 mag/arcsec². A 0,2 % území Česka, kde žilo zhruba 7,3 % obyvatelstva, bylo postiženo jasnem noční oblohy převyšujícím jas o hodnotě 18,9 mag/arcsec² (Falchi a kol. 2016).



Obrázek 40: Rozšíření a intenzita světelného znečištění ve světě v roce 2014. Legenda byla zvětšena pro lepší čitelnost. Převzato z Falchi a kol. (2016).

Globální nárůst intenzity a rozšíření světelného znečištění potvrzuje kromě *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi a kol. 2016) také řada regionálně zaměřených studií. V posledních desetiletích byl nejintenzivnější nárůst v rozvíjejících se zemích, zejména v Africe a v Asii. Např. v deltě Nilu se mezi lety 1992 a 2009 rozrostly osvětlené plochy desetinásobně (Pestalozzi, Cauwels, Sornette 2014). Výrazný nárůst světelného znečištění byl pozorován také mezi lety 1992 a 2012 v Číně (Zhang a kol. 2016) a mezi lety 1993 a 2013 v Indii (Kumar a kol. 2019). Kumar a kol. (2019) odůvodňují nárůst světelného znečištění exponenciálním růstem obyvatelstva, rychlým tempem urbanizace, industrializací a rostoucím znečištěním ovzduší. Mírnější nárůst, případně i stagnace, světelného znečištění se projevil zejména ve vyspělých státech Severní Ameriky (Pestalozzi, Cauwels, Sornette 2014) a Evropy (obr. 42; Bennie a kol. 2014). V Česku se nejvyšší nárůst světelného znečištění potvrdil v zázemí velkých měst, pravděpodobně z důvodů suburbanizace a rostoucího znečištění ovzduší (obr. 41; Sokolík 2015).

S růstem světelného znečištění se nepotýkají pouze urbanizované oblasti. Nejintenzivnější nárůst byl detekován v mediteránních ekosystémech, které patří ke světovým centřům biodiverzity, a v ekosystémech mírného pásu. Jen nepatrný nárůst světelného znečištění byl pozorován v horských a arktických ekosystémech (Bennie a kol. 2015). Studie (např. Guetté a kol. 2018; Jiang a kol. 2018) také upozorňují na růst světelného znečištění v chráněných oblastech a jejich nejbližším okolí. Nejintenzivnější nárůst se projevil při hranicích vně chráněných území, kde může vlivem umělého osvětlení vznikat ekologická past (Guetté a kol. 2018).



Obrázek 41 (vlevo): Vývoj světelného znečištění v Česku mezi lety 1992 a 2013. Převzato ze Sokolika (2015).

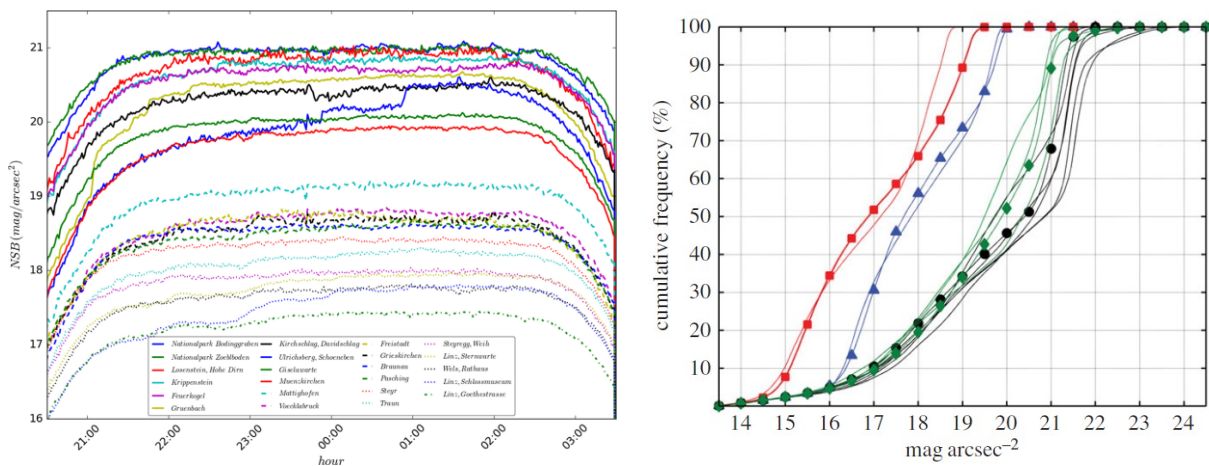
Obrázek 42 (vpravo): Vývoj světelného znečištění v Evropě mezi obdobími 1995-2000 a 2005-2010 se zvyšujícím se (červeně) a snižujícím se trendem (modře). Převzato z Bennie a kol. (2014).

Ačkoliv světelné znečištění vykazuje ve světě především rostoucí trend, existují oblasti, kde během posledních desetiletí došlo k jeho redukci. Pokles byl pozorován např. v Jemenu a v Sýrii, které byly zničeny válkou (Kyba a kol. 2017). V Evropě byl pokles světelného znečištění (obr. 42) ovlivněn především útlumem těžkého průmyslu v postsovětských státech (Ukrajina, Moldavsko) a tlakem na úspory nákladů na osvětlení na Slovensku a ve státech Skandinávie. Pokles světelného znečištění v jihozápadní Anglii je odůvodňován útlumem či úplnou redukcí těžby nerostných surovin, reorganizací vojenské a státní infrastruktury či změně technologie veřejného osvětlení, především výměnou původních vysokotlakých sodíkových výbojek (Bennie a kol. 2014). Monitoring noční oblohy ve španělské Galicii prokázal pokles jasu noční oblohy způsobený pravděpodobně dlouhodobou změnou koncentrace aerosolů v atmosféře (Bará, Lima, Zamorano 2019).

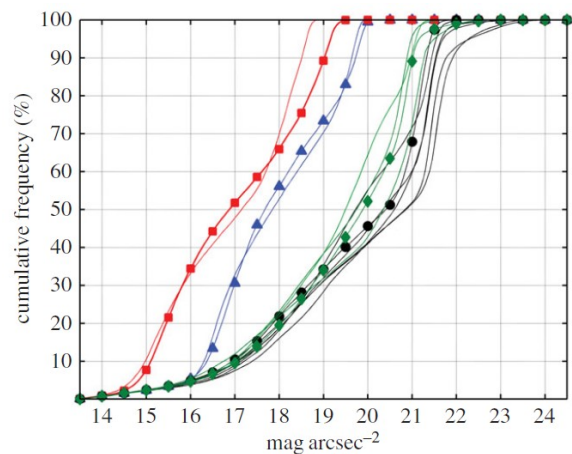
4.2 Změny během jedné noci

Změna světelného znečištění během jedné noci, respektive průběh jasu noční oblohy od soumraku do svítání, je ovlivněna jednak polohou měřicího stanoviště, jednak mnoha astronomickými, meteorologickými a antropogenními faktory a jejich kombinacemi (viz kapitulu 3). Nejvyšším jasem oblohy se vyznačují městská stanoviště, přes příměstské a venkovské lokality se jas snižuje. Nejnižším jasem se vyznačuje obloha v odlehlých a člověkem neovlivněných lokalitách (např. v horách).

Jas noční oblohy byl sledován v Rakousku v letech 2015 a 2016 na 26 měřících stanovištích zahrnující různé typy prostředí (obr. 43). Průměrný nejnižší noční jas v zenitu nabýval hodnot v rozmezí od 17,7 do 21,1 mag/arcsec², respektive od 19,0 do 21,9 mag/arcsec² pro jasné bezměsíčné noci. Nejtemnější částí noci byl vyhodnocen časový úsek mezi 22. a 2. hodinou, kdy se jas oblohy téměř nemění. Nejvyšší průměrný gradient změny nočního jasu v této době dosahoval hodnoty 0,14 mag/arcsec² za hodinu. Modifikace nočního jasu oblohy meteorologickými faktory má největší účinky v městských oblastech. Např. ve Štýrském Hradci se při zatažené obloze rozjasní v průměru o 2,7 mag/arcsec² (Posch, Binder, Puschnig 2018). Rozdíl 3,0 mag/arcsec², tedy 16krát vyšší jas než za bezměsíčné a bezoblačné oblohy, uvádějí v souvislosti s oblačností také Puschnig a kol. (2014) při měření jasu na observatoři v Postupimi.



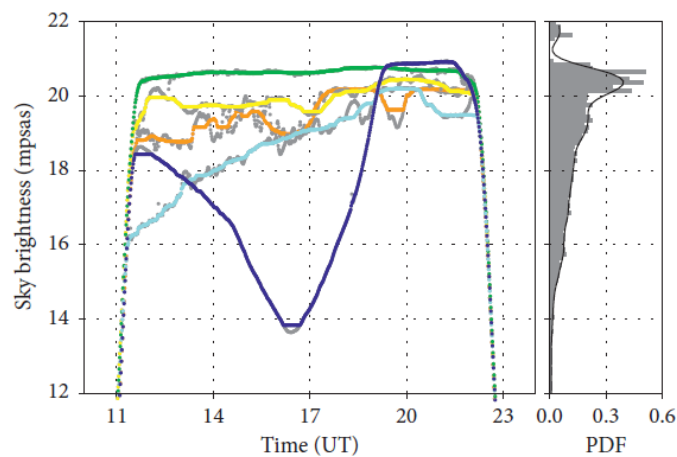
Obrázek 43 (vlevo): Průměrný vývoj jasu noční oblohy v městských (tečkované), příměstských (přerušovanou čarou) venkovských a přírodních lokalitách (plnou čarou) v Rakousku. Převzato z Posch, Binder, Puschnig (2018).



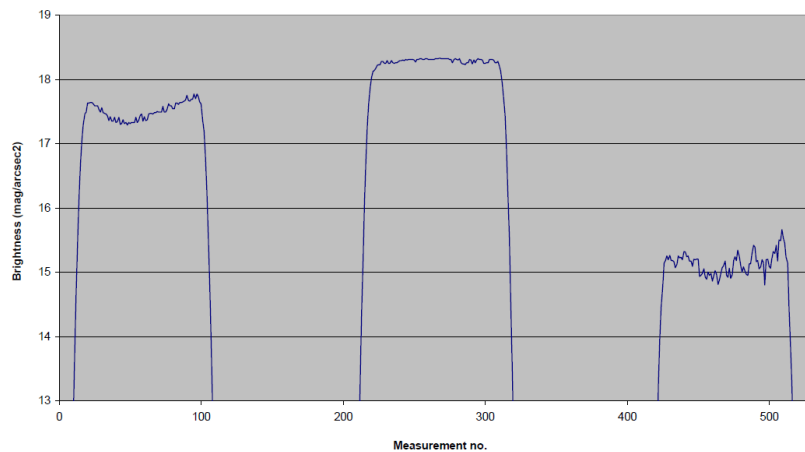
Obrázek 44 (vpravo): Kumulativní histogram jasu noční oblohy v zenitu v městských (červeně), příměstských (modře), přechodných (zeleně) a venkovských oblastech (černě) ve španělské Galicii. Převzato z Bará (2016).

Jasu noční oblohy v městských, příměstských a venkovských lokalitách se ve španělské Galicii věnoval také Bará (2016). Noční obloha v městském prostředí je 14krát až 23krát jasnější než je přirozená noční tma, v příměstských lokalitách pak 7krát až 8krát jasnější, v přechodných oblastech 1,6krát až 2,5krát jasnější a ve venkovských a horských oblastech jen 0,8krát až 1,6krát jasnější (obr. 44). Vliv oblačnosti je nejsilnější ve městě, kde dokáže vlivem rozptylu zvýšit jas noční oblohy až 25krát. Vliv osvětlení oblohy Měsícem je nejlépe rozpoznatelný ve venkovských a přechodových oblastech, zatímco v městských a příměstských oblastech není téměř znát (Bará 2016).

1250 křivek změn jasu noční oblohy v zenitu z osmi měřících stanic v Indonésii bylo vyhodnoceno a klasifikováno metodou náhodného lesa (*Random Forest Classifier*) do šesti tříd. První třída zastřešovala data, která nevyhovovala ostatním třídám, dále byly rozlišeny noci zatažené, oblačné, jasné, zatažené s Měsícem a jasné s Měsícem (obr. 45). K rozhodování byly využity koeficienty fáze a výšky Měsíce a statistický popis jednotlivých datasetů (např. 5% percentil, medián, 95% percentil, šikmost, křivost, směrodatná odchylka, mezikvartilová odchylka apod.) doplněný o váhy. Nejhladším průběhem jasu se vyznačují jasné noci bez vlivu oblačnosti a Měsíce, hodnoty jsou pak v histogramu koncentrované okolo jedné hodnoty. Zatažené a oblačné noci se vyznačují vyšší rozkolísaností hodnot jasu a zkosením doleva. Hodnoty jasu mají také širší rozložení na histogramu. Noci s Měsícem na obloze mají nejvíce rozkolísaný průběh a nejvyšší rozptyl hodnot. Výskyt oblačnosti na obloze tlumí vliv měsíčního svitu, takže vyšší rozdíly jasu jsou pozorovatelné při jasné obloze s Měsícem (Priyatikanto a kol. 2020).



Obrázek 45: Příklady průběhu jasu noční oblohy v zenitu za různých typů nocí – jasná (zeleně), oblačná (žlutě), zatažená (oranžově), zatažená s Měsícem (světle modře) a jasná s Měsícem (tmavě modře). Šedě jsou znázorněny konkrétní hodnoty z měření. Převzato z Priyatikanto a kol. (2020).



Obrázek 46: Průběh jasu noční oblohy v zenitu při osvětlení oblohy Měsícem (vlevo), jasné bezměsíčné noci (uprostřed) a zatažené noci (vpravo) na měřícím stanoviště v Záhřebu. Převzato z Andreić (2018).

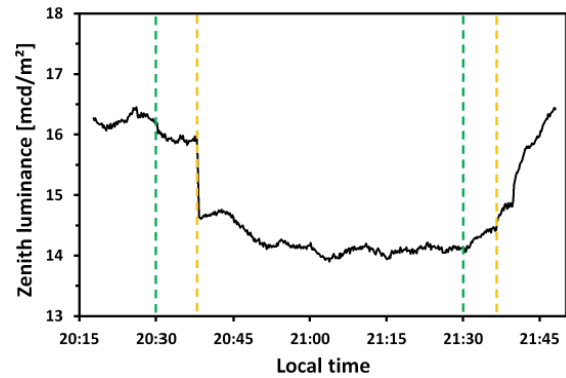
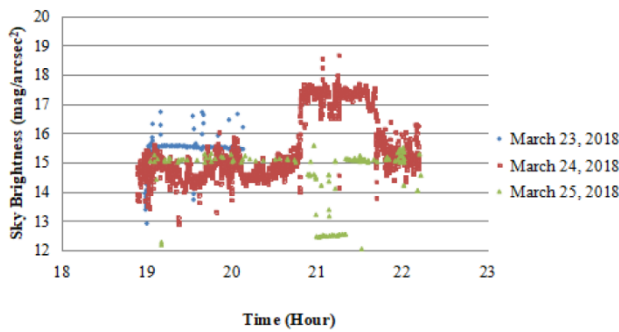
Průběh jasů noční oblohy během bezměsíčné noci, oblačné noci a noci s Měsícem (obr. 46) představil také Andreić (2018) jako výsledek monitoringu noční oblohy nad Záhřebem. Opět se potvrdilo výraznější zvýšení jasů ve městě při zakrytí oblohy oblačností než při osvětlení Měsícem. Jas oblohy je při zatažené obloze o 3 mag/arcsec² či vyšší než při jasné obloze (Andreić 2018).

4.3 Vliv jednotlivých událostí

K proměně jasů noční oblohy také dochází se změnou chování společnosti. Intenzita světelného znečištění se mění vlivem předvídatelných i nepředvídatelných událostí různého trvání.

Každoroční **oslavy příchodu Nového roku** s sebou přináší také krátkodobé rozjasnění oblohy. Odpalování zábavní pyrotechniky má podobný účinek na jas noční oblohy jako např. průchod letní bouřky. S příchodem Nového roku bylo na Vídeňské univerzitní observatoři pozorováno zvýšení jasů oblohy v zenitu z běžných 18 mag/arcsec² na 16 mag/arcsec² (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014).

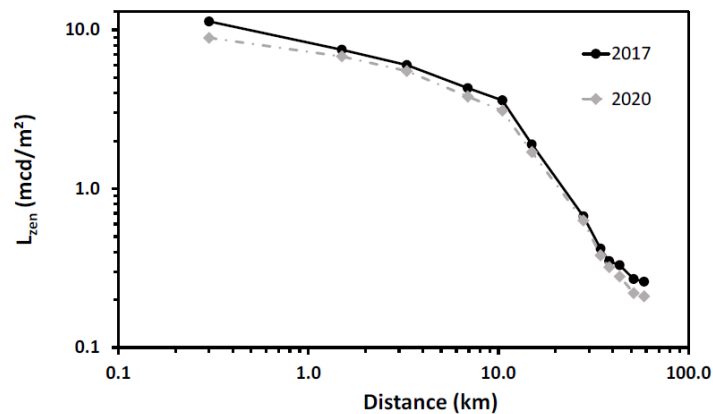
Hodina Země je mezinárodní akce zavedená Světovým fondem na ochranu přírody a probíhá každoročně poslední sobotu v březnu již od roku 2007. Cílem akce je upozornit na změnu klimatu a apelovat na změnu spotřebního chování společnosti. Zvyklostí při Hodině Země je vypínání osvětlení památek, firem, bytů a domů ve večerních hodinách (Ledvina 2021). Vypínání osvětlení má příznivý vliv na snížení intenzity a rozsahu světelného znečištění. V roce 2008 proběhla Hodina Země v indonéské Jogyakartě v běžný pracovní den při zatažené obloze. Jas oblohy se tehdy snížil o zhruba 2 mag/arcsec² (obr. 54; Sukma a kol. 2019). Stejný rok v Berlíně se za jasné oblohy snížila intenzita osvětlení v zenitu zhruba o 8 % (obr. 55) a při horizontu zhruba o 11 % (Jechow 2019). Monitoring noční oblohy v přírodních parcích ve španělské Valencii (Marco, Morales Rubio, Bullón 2013) a zastavěné oblasti Barcelony (Devesa 2016) nepřinesl významné rozdíly jasů oblohy při Hodině Země oproti standardním podmínkám. Jako důvod je zmiňován především vliv oblačnosti a postupné vypínání reklamního osvětlení (Devesa 2016).



Obrázek 47 (vlevo): Změna jasu noční oblohy v zenitu během Hodiny Země dne 24. března 2018 v Jogyakartě. Převzato z Sukma a kol. (2019).

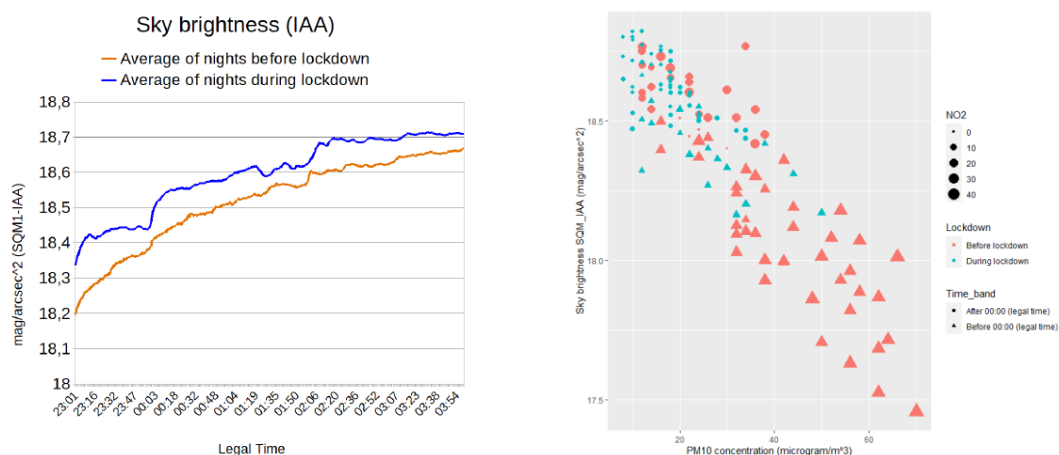
Obrázek 48 (vpravo): Změna jasu noční oblohy v zenitu během Hodiny Země dne 24. března 2018 v centru Berlína. Převzato z Jechow (2019).

Významné změny chování společnosti jdoucí ruku v ruce s proměnou životního prostředí přišly na začátku roku 2020 vlivem **pandemie covid-19**. Zavedení tzv. lockdownu v mnohých státech mělo za úkol omezit setkávání lidí a utlumit přenos viru mezi lidmi. Ve výsledku byla omezena řada soukromých, veřejných a komerčních aktivit na minimum, včetně např. cestování. Výzkum zenitového jasu noční oblohy na transektu z centra Berlína směrem do venkovské krajiny potvrdil nižší světelné znečištění na jaře 2020 oproti předchozím rokům. Nejvyšší pokles nočního jasu (o 0,3 mag/arcsec²) byl zaznamenán ve středu Berlína. Na všech stanovištích poklesl jas v zenitu ve srovnání se stejným obdobím v roce 2017 o 6 % až 21 %. Nejmenší změny byly zaznamenány v příměstské krajině (obr. 49). Mezi hlavní příčiny autoři uvádějí snížení průmyslové činnosti a drastické omezení dopravy (Jechow, Hölker 2020).



Obrázek 49: Porovnání jasu noční oblohy v zenitu v roce 2017 a během lockdownu v roce 2020. Převzato z Jechow, Hölker (2020).

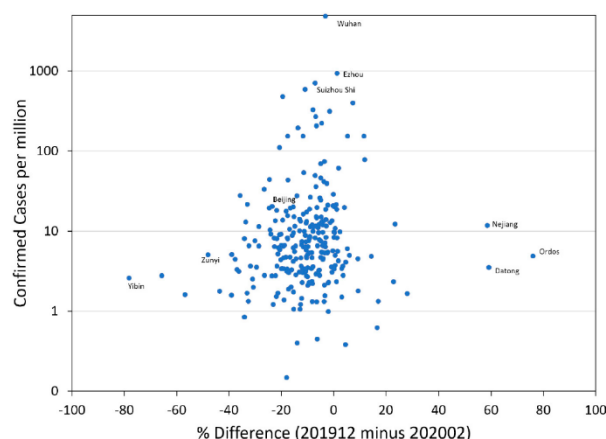
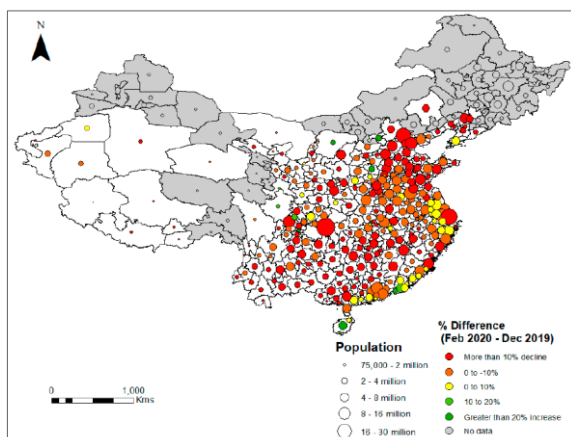
Během lockdownu byl jas noční oblohy sledován také ve španělské Granadě. Byl zjištěn pokles jasu oblohy v zenitu o několik desetin mag/arcsec² (obr. 50). Snížení jasu oblohy v Granadě je přičítáno světelnému toku města nižšímu o 20 % a nižší koncentrací pevných částic PM10 v atmosféře (obr. 51). Zároveň autoři poukazují na neefektivní využití osvětlení města, jehož obyvatelé byli nuceni omezit venkovní aktivity o 90 % (Bustamante-Calabria a kol. 2020).



Obrázek 50 (vlevo): Průměrný vývoj nočního jasu před lockdownem (oranžově) a během lockdownu (modře) v Granadě. Převzato z Bustamante-Calabria a kol. (2020).

Obrázek 51 (vpravo): Vztah jasu noční oblohy v zenitu a koncentrace pevných částic PM10 v atmosféře před lockdownem (červeně) a během lockdownu (modře). Převzato z Bustamante-Calabria a kol. (2020).

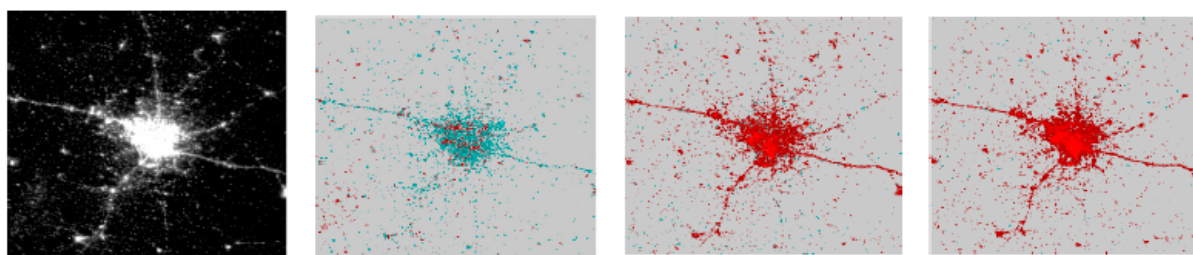
Narušení dlouhodobého trendu nárůstu světelného záření na území Číny vlivem lockdownu popisují Elvidge a kol. (2020). Z porovnání družicových snímků mezi prosincem 2018 a březnem 2019 vyplývá, že 62 % čínské populace žilo ve správních jednotkách se zvyšující se mírou světelného znečištění. Naopak mezi prosincem 2019 a únorem 2020 zažilo 82 % populace pokles světelného záření (obr. 52), jako důsledek pandemie covid-19. Statistická významnost poklesu emitovaného záření v únoru 2020 byla potvrzena na příkladu Peking. Z vybraných metropolí kleslo světelné záření nejvíce v hlavním městě Peking (o 24 %), naopak nejnižší pokles byl detekován ve Wuhanu (o 3 %). Sledováno bylo také osvětlení v areálu šanghajského Disneylandu, kde se po opětovném otevření vrátila intenzita osvětlení na 81 % předpandemického stavu. Srovnána byla také změna intenzity vyzařovaného světla ve správních jednotkách s potvrzenými počty nákazy na 1 milion obyvatel (obr. 53), nicméně závislost zde nebyla nalezena (Elvidge a kol. 2020).



Obrázek 52 (vlevo): Změna světelného záření ve správních jednotkách Číny. Pokles označuje žlutá, oranžová a červená barva, nárůst zelená barva. Převzato z Elvidge a kol. (2020).

Obrázek 53 (vpravo): Vztah změny světelného záření mezi prosincem 2019 a únorem 2020 s potvrzenými počty nákazy na 1 milion obyvatel podle správních jednotek. Převzato z Eldvidge a kol. (2020).

Obdobnou studii zpracoval stejný autorský kolektiv i pro území Indie. Celostátní lockdown byl v Indii nařízen vládou 24. března 2020, tedy později než v Číně. Byly analyzovány dvojice satelitních snímků v předpandemické době (únor a březen 2019) a v období lockdownu (únor a březen 2020 a únor a duben 2020). První dvojice prokázala navyšování světelné záře na většině území Indie s výjimkou severovýchodních oblastí (např. Západní Bengálsko). Odlíšné chování vykazoval severovýchod Indie i při analýze druhé a třetí dvojice snímků, kdy se zde navzdory celostátnímu poklesu světelného znečištění záření mírně navýšilo. Lockdown způsobil také razantní pokles světelného znečištění v indických metropolích. Největší pokles byl mezi únorem a dubnem 2020 zjištěn v Hyderabadu (o 32 %; obr. 54), nejnižší pak v Pune (o 7 %). Závislost mezi intenzitou změny světelného znečištění a počtem potvrzených případů nákazy se stejně jako v případě Číny nepotvrdila (Ghosh a kol. 2020).



Obrázek 54: Noční snímek Hyderabadu (úplně vlevo) a změna světelného záření mezi únorem a březnem 2019 (spíše vlevo), únorem a březnem 2020 (spíše vpravo) a únorem a dubnem 2020 (úplně vpravo). Modrou barvou je označen nárůst záření, červenou barvou pokles. Převzato z Ghosh a kol. (2020).

5 Světelné znečištění v mapách

Účinným nástrojem, jak představit výsledky průzkumu noční oblohy nejen odborníkům ale i laické veřejnosti, jsou mapové výstupy. Pomocí mapy lze přehledně znázornit rozšíření a intenzitu světelného znečištění, potažmo hodnoty jasu noční oblohy, v prostoru i v čase. K jednoznačným výhodám znázornění světelného znečištění v mapách oproti např. tabulkovým záznamům patří přehlednost i odvození kontextu. Samotné provedení mapy vychází z metody monitoringu světelného znečištění, zda jsou hodnoty získány pozemním měřením či pomocí dálkového průzkumu Země. Kapitola 5 představuje mapové výstupy z vybraných odborných a kvalifikačních prací a způsoby znázorňování světelného znečištění v některých webových aplikacích a online databázích. U všech zmiňovaných prací ovšem nejsou splněny všechny náležitosti mapy dle zásad kartografie jako je např. měřítko, severka či legenda.

5.1 Mapy z pozemního sběru dat

Jednu z prvních map světelného znečištění publikoval americký astronom Merle F. Walker začátkem 70. let 20. století jako výsledek hledání lokality pro novou astronomickou observatoř. Na mapě sídel v jižní části Kalifornie ohraničil oblasti, kde se vlivem světelného znečištění zvýšil jas noční oblohy v zenitu o 0,1 mag a více a o 0,2 mag a více ve výšce 45° nad zdrojem světla. Zakresleno bylo také předpokládané rozšíření světelného znečištění v roce 1985 (obr. 55; Walker 1970). O tři roky později vymezil Walker (1973) stejným způsobem oblasti světelného znečištění pro celé státy Kalifornie a Arizona.



Obrázek 55: Výřez z mapy světelného znečištění v jižní části Kalifornie. Plnou čarou jsou ohraničeny oblasti, kde v roce 1970 zvýšený jas v zenitu o 0,1 mag a více a 0,2 mag a více ve výšce 45° nad zdrojem světla. Přerušovanou čarou jsou ohraničeny předpokládané oblasti rozšíření světelného znečištění v roce 1985. Převzato z Walkera (1970).

Základním kartografickým vyjadřovacím prostředkem, kterým se v mapě prezentují výsledky pozemního měření jasu noční oblohy, jsou bodové znaky. Bodový znak je zanesen na podkladovou mapu vytvořenou autorem či převzatou mapu do lokality pozemního měření. Rozdílné hodnoty jasu noční oblohy z různých lokalit (případně jiné sledované veličiny) jsou uspořádány do intervalů, kterým je přiřazena barva. Zpravidla se lokality s nejjasnější oblohou označují nejsvětějšími odstíny, lokality s nejtemnější oblohou pak nejtmavšími odstíny (např. od světle modré po černou). Bodové znaky odlišené barevnou stupnicí poskytují čtenáři mapy rychlý a intuitivní přehled o stavu světelného znečištění v daném území a mohou být doplněny popisem s hodnotou sledované veličiny.

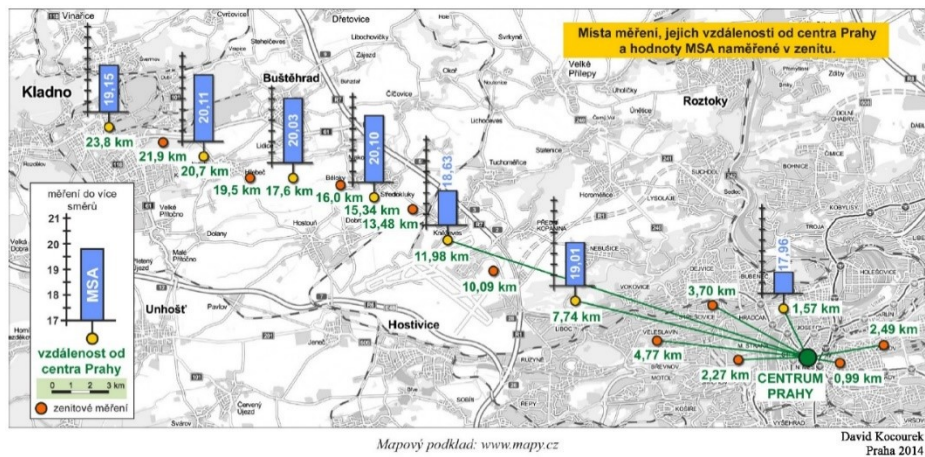
Popsanou metodu využili např. Ścieżor a Balcerzak (2015) či Klauda (2019) v bakalářské práci *Světelné znečištění Kladenska* (obr. 56). Metoda bodových znaků je využívána také v online databázích, kam průběžně přispěvatelé zanáší výsledky svých měření. Český projekt SkyQuality.com (<http://skyquality.cz/#map>) zobrazuje průměrný zenitový jas noční oblohy jednotlivých lokalit pozemního měření na podkladové mapě od společnosti Google. Společně s hodnotami jasu v zenitu lze do záznamu také přidat i výsledky směrových měření, meteorologické podmínky měření (teplotu, oblačnost, průzračnost atmosféry) a odhad mezní hvězdné velikosti a jasu oblohy dle Bortleovy stupnice. Ačkoliv jde o český projekt, lze přidávat měření na kterémkoliv místě na světě (Moudrá 2021a). Mezinárodní projekt Globe at Night (<https://www.globeatnight.org/>) je databází, kam pozorovatelé přidávají hodnoty mezní hvězdné velikosti, tedy zdánlivé hvězdné velikosti nejslaběji zářícího objektu na noční obloze. Výsledky jsou pak prezentovány na podkladové mapě od společnosti Google pro každý rok pozorování zvlášť (AURA 2021).



Obrázek 56: Výřez z mapy světelného znečištění v okolí Kladna. Výsledky měření jsou prezentovány bodovým znakem rozlišeným dle hodnoty zenitového jasu noční oblohy barevnou stupnicí. Převzato z Klauda (2019).

Vyjádřením intenzity světelného znečištění nemusí být jen barevná stupnice bodového znaku.

Kocourek (2014) ve své bakalářské práci odlišuje zenitový jas noční oblohy jednotlivých stanovišť pomocí lokalizovaných diagramů (obr. 57). Rozšířit informaci o jasu noční obloze a zdrojích světelného znečištění okolo lokality lze pomocí směrových diagramů, které představují výsledky směrových měření jasu noční oblohy. Směrové diagramy lze umístit přímo do mapového pole (např. Hrnčířová 2015, Žibera 2016) nebo dále do textu práce (např. Kocourek 2017, Klauza 2019). Světelné poměry na noční obloze v dané lokalitě lze také přiblížit pomocí celooblohových fotografií (např. Žibera 2016, Kocourek 2017), ze kterých je možné následně zjistit jas i barevnou teplotu oblohy (např. Jechow, Hölker, Kyba 2019).



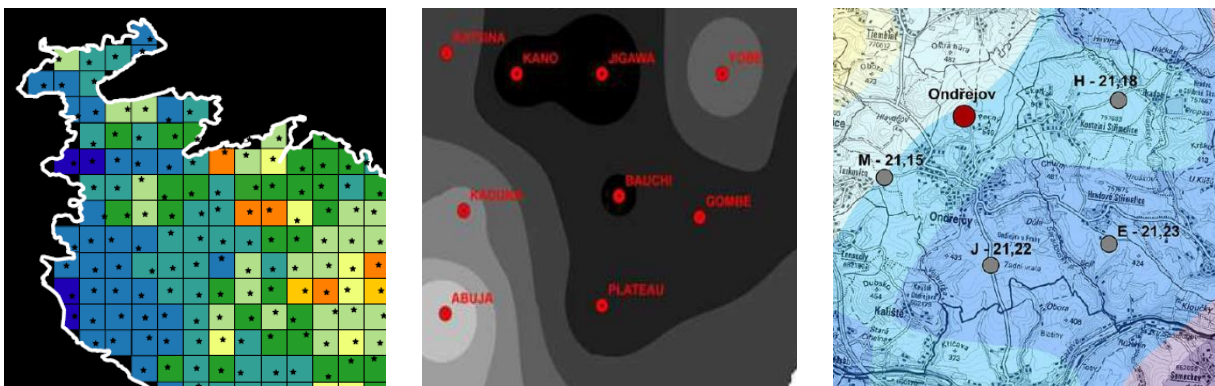
Obrázek 57: Mapa jasu noční oblohy v transektu mezi Prahou a Kladnem. Jas oblohy v jednotlivých měřicích stanovištích je znázorněn pomocí lokalizovaných kartodiagramů. Převzato z Kocourka (2014).

Vzhledem k tomu, že jas oblohy je spojitý jev stejně jako např. nadmořská výška terénu či teplota vzduchu, nelze jej dostatečně reprezentovat na mapě pouze bodovým znakem pro vybrané lokality. Pokrytí celé plochy zájmového území by při pozemním měření jasu znamenalo zjišťovat jas na nekonečném počtu stanovišť, což je prakticky nemožné. Hodnoty jasu oblohy jsou pak dopočítávány pro každý bod zájmového území pomocí tzv. interpolace.

Interpolace je nástrojem k zjištění hodnot uvnitř polygonu ohraničeného měřícími stanovišti. Pokud jde o dopočítávání hodnot vně tohoto polygonu, jedná se o extrapolaci. Snadnou aplikaci interpolačních metod v současnosti zajišťují geografické informační systémy (GIS).

Existuje řada interpolačních metod, proto je vždy nutné posoudit, zda její výsledek je vhodný pro reprezentaci daného jevu v prostoru. Caruana a kol. (2020) pokryli zájmové území pravidelnou čtvercovou sítí a v každém čtverci provedli pozemní měření jasu noční oblohy. Hodnotu získanou pozemním měření pak přiřadili ploše celého čtverce, ve kterém se nacházelo měřící stanoviště. Vzhledem k charakteru a chování jasu noční oblohy se zdá použití **metody nejbližšího** souseda jako nevhodné (obr. 58).

Metoda vážené inverzní vzdálenosti (*inverse distance weighting, IDW*) patří k nejjednodušším a nejpoužívanějším interpolačním metodám. Hodnota v jakémkoliv bodě území je výsledkem výpočtu z hodnot několika nejbližších známých bodů (typicky 10 až 30 bodů) váženými převrácenou hodnotou vzdálenosti. Síla váhy tedy klesá s rostoucí vzdáleností (Mitas, Mitasova 2005). Metodu inverzní vážené vzdálenosti považují Caruana a kol. (2020) za jednu z nejlepších interpolačních metod pro znázornění jasu noční oblohy v prostoru. Popsanou metodu použili pro tvorbu mapy velkého měřítka např. Albulahi a kol. (2017), kdy výsledek pro rozsáhlou oblast pokrytý relativně nízkým počtem bodů není příliš uspokojivý (obr. 59). Ke tvorbě mapy středního měřítka použil metodu např. Kocourek (2017) v diplomové práci *Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov* (obr. 60).



Obrázek 58 (vlevo): Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou nejbližšího souseda. Převzato z Caruana a kol. (2020).

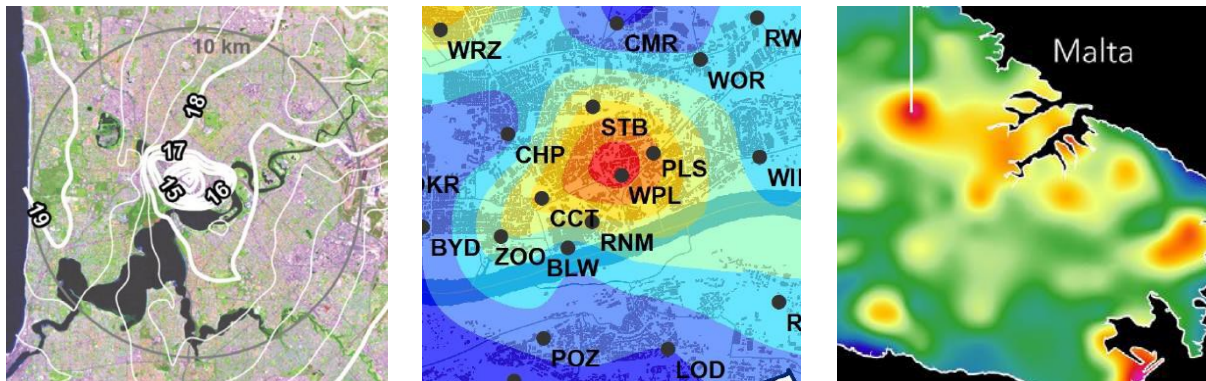
Obrázek 59 (uprostřed): Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou vážené inverzní vzdálenosti. Převzato z Albulahi a kol. (2017).

Obrázek 60 (vpravo): Výřez z mapy jasu noční oblohy vytvořené metodou vážené inverzní vzdálenosti. Převzato z Kocourka (2017).

Kriging je metoda využívající geostatistický přístup k modelování spojité proměnné. Kriging využívá konceptu náhodných funkcí, kdy je průběh proměnné považován za náhodnou funkci s určitou prostorovou kovariancí. Kriging je ceněn díky kvalitám statistických předpovědí a schopnosti předvídatí rozložení nejistot v prostoru. Méně úspěšný je v úlohách, kde je klíčová lokální geometrie a hladkost (Mitas, Mitasova 2005). Dle Caruana a kol. (2020) extrémně vyhlazuje data a odstraňuje detaily. Interpolační metodu kriging použili při tvorbě map např. Biggs a kol. (2012; obr. 61) a Karpínska a Kunz (2019; obr. 62).

Interpolační metoda **spline** je založena na variačním přístupu, který vychází z předpokladu průchodu či blízkosti známých bodů a co nejhladšího průběhu. Výsledná funkce má minimální odchylky od známých bodů a hladký průběh. Spline je často využíván k modelování terénu povrchu a mořského dna, pro klimatická a půdní data či koncentrace chemických látek. Konkrétní metodu *thin plate spline* si lze představit jako plát oceli, který je proložen známými

body. Tuhost oceli způsobuje minimální změny ve zakřivení plátu (Mitas, Mitasova 2005). Metodu *thin plate spline* vyhodnotili Caruana a kol. (2020) při tvorbě mapy jako nejlepší, jelikož nemění trendy a vzorce jasů noční oblohy v prostoru a nepotlačuje extrémní hodnoty (obr. 63).



Obrázek 61 (vlevo): Výřez z mapy jasů noční oblohy vytvořené metodou kriging. Převzato z Briggse a kol. (2012).

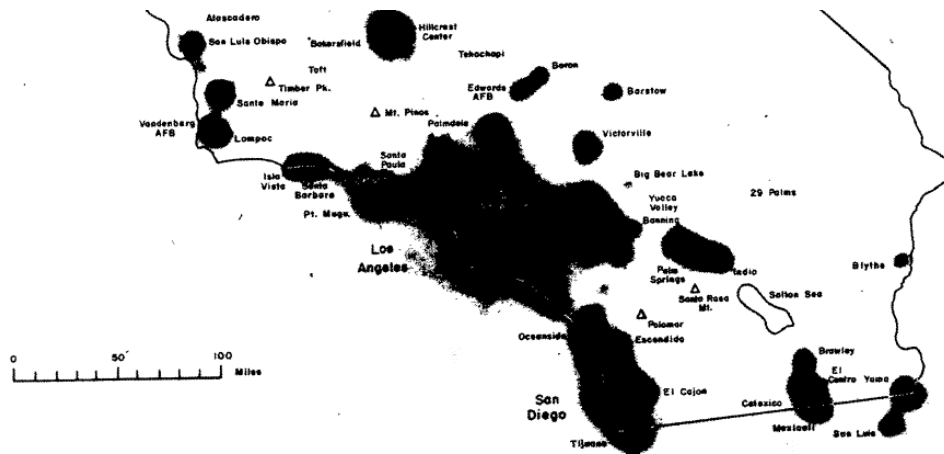
Obrázek 62 (uprostřed): Výřez z mapy jasů noční oblohy vytvořené metodou kriging. Převzato z Karpińska, Kunz (2019).

Obrázek 63 (vpravo): Výřez z mapy jasů noční oblohy vytvořené metodou *thin plate spline*. Převzato z Caruana a kol. (2020).

Výsledkem interpolace je spojitá plocha pokrytá mřížkou vypočtených hodnot s předem určeným rozlišením. Při vizualizaci interpolovaných dat lze vytvořit intervaly hodnot, kdy je každé třídě přiřazena jedna barva z barevné stupnice (např. obr. 59, 60, 62), nebo přiřadit spojitou barevnou škálu celému datasetu (obr. 63). Pro hlubší kontext je také možné ponechat bodové znaky znázorňující měřicí stanoviště (obr. 60, obr. 62). Další možností vizualizace světelného znečištění je použití izolinií (obr. 61), k určení jejichž geometrie lze docílit opět interpolací. Obdobně jako nadmořskou výšku vhodně popisují izohypsy (vrstevnice), úroveň světelného znečištění lze efektivně popsat izofotami, tedy spojnicemi stejných hodnot jasů noční oblohy v zenitu. Izolinie nejsou typickým příkladem znázornění světelného znečištění v prostoru, neboť nepodtrhují tolik prostorový význam problematiky jako znázornění plošným znakem. Vhodné je jejich použití, pokud je kladen důraz na podkladovou mapu.

5.2 Mapy z distančního sběru dat

Jednu z prvních map světelného znečištění vytvořenou pomocí dálkového průzkumu Země publikoval opět americký astronom Walker. Na základě fotografií z meteorologické družice americké armády zakreslil do obrysových map Kalifornie a Arizony oblasti, kde se vlivem světelného znečištění zvýšil jas noční oblohy v zenitu o 0,8 mag a více a 1,5 mag a více ve výšce 45° nad zdrojem světelného znečištění (obr. 64; Walker 1973).

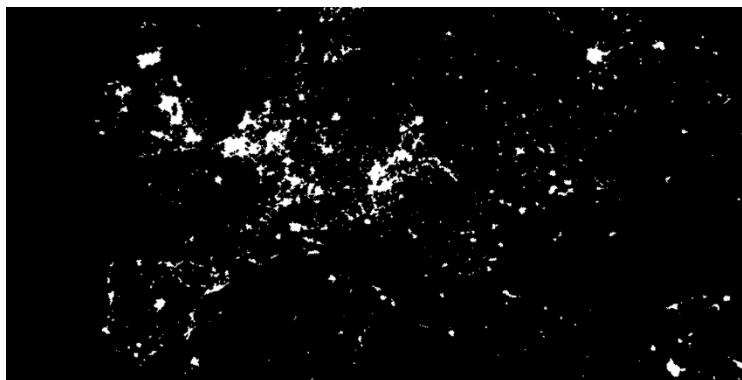


Obrázek 64: Výřez z mapy světelného znečištění v jižní části Kalifornie. Černě jsou vyznačeny oblasti, kde se zvýšil jas noční oblohy v zenitu o 0,8 mag a více a 1,5 mag a více ve výšce 45° nad zdrojem světelného znečištění. Převzato z Walkera (1973).

Družicové snímky se staly nedoceněným nástrojem pro průzkum světelného znečištění v globálním měřítku. Již počátkem 70. let 20. století byly **družice programu DMSP** vybaveny senzory OLS, které jsou schopné zachytávat denní a noční záření na Zemi. Senzory OLS snímají zemský povrch v pruhu o šíři zhruba 3000 km. Zorné pole snímače je 2,2 km v nadiru a rozšiřuje se až k 5,4 km ve vzdálenosti 1500 km od nadiru. Vzdálenost mezi pixely je stabilně 0,56 km. Snímač je schopný detekovat viditelné záření o vlnových délkách 500 až 900 nm, které je v noci posilováno pomocí fotonásobiče. Přínosem tohoto systému je vysoká citlivost na oblačnost, městské osvětlení a požáry v nočních hodinách (Eldvidge a kol. 1997).

Snímkům noční Země se věnoval již v 70. letech 20. století Croft (1978). Na snímcích družicového programu DMSP poukazuje na hořící výrony plynu v Perském zálivu a na Sibíři, oblačnost osvětlenou Měsícem, polární záři nad Kanadou, rybářské flotily v blízkosti Japonska, ale i městské osvětlení v západní Evropě a Spojených státech amerických. Světelné znečištění ve Spojených státech amerických pak dává do souvislosti s hustotou zalidnění (Croft 1978).

První celosvětový přehled rozšíření světelného znečištění představil Sullivan (1989; obr. 65). Ze snímků družicového programu DMSP z období 1974 až 1984 sestavil obraz Země v noci, kde lze v 10km rozlišení rozpoznat městské osvětlení, vypalování pastvin a spalování zemního plynu na ropných plošinách (Sullivan 1989).



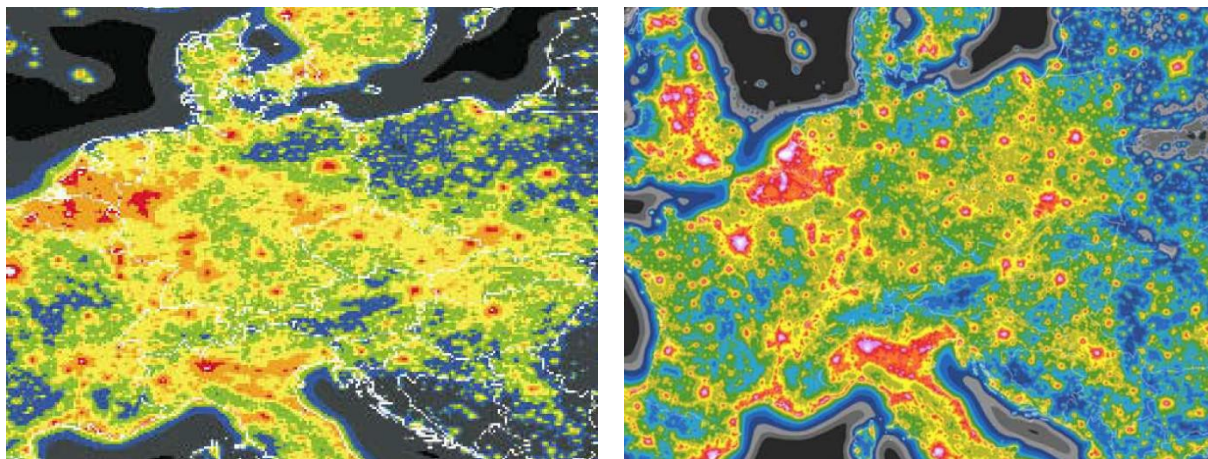
Obrázek 65: Výřez z mozaiky snímků noční Evropy z období 1974 až 1984. Převzato z Sullivan (1991).

Výhodou družicových dat je kromě jejich široké pokrývnosti také možnost dalšího zpracování a hlubší analýzy. Metodu, jak lze pomocí světelného toku získaného ze snímačů OLS vypočítat zenitový jas noční oblohy, představili Cinzano a kol. (2000). Metodiku aplikovali na kompozity družic DMSP z let 1996 a 1997 a vytvořili *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. Rozlišení celosvětového atlasu je 30 úhlových sekund čtverečních, což na rovníku činí 927 metrů. Intenzita světelného znečištění je vyjádřena ve 12 kategoriích dle zenitového jasu noční oblohy. Byla zvolena barevná stupnice od černé pro nejméně zasažené oblasti světelného znečištění přes šedou, modrou, zelenou, žlutou, oranžovou, červenou až po bílou barvu symbolizující nejvyšší intenzitu světelného znečištění (obr. 66). Zároveň bylo kvantifikováno světelné znečištění zvláště pro každý stát dle vymezených kategorií (Cinzano, Falchi, Eldvidge 2001b).

Kromě tvorby map a kvantifikace světelného znečištění umožňují data z družic DMSP také porovnávat úroveň světelného znečištění v jednotlivých letech díky časovým řadám archivovaným od 90. let 20. století. Na základě snímání zemského povrchu senzory OLS byl vyhodnocen vývoj světelného znečištění v Evropě (Benie a kol. 2014), Číně (Han a kol. 2014; Xiang, Tan 2017) či Indii (Kumar a kol. 2019). Změnu světelného znečištění v Česku analyzoval na základě dat DMSP v diplomové práci Sokolík (2015).

V říjnu 2011 byla vypuštěna na heliosynchronní dráhu ve výšce 834 km nad povrchem Země **družice Suomi NPP** jako výsledek spolupráce amerického Ministerstva obrany, Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) a Národního úřadu pro oceán a atmosféru (NOAA). Družice je vybavena radiometrem VIIRS schopným snímat záření o vlnových délkách 400 až 1300 nm ve 22 pásmech. Družice snímá pás země o šíři 3000 km. Součástí radiometru VIIRS je senzor Day/Night Band (DNB), který detekuje slabé záření vlnových délek 505 až 890 nm s prostorovým rozlišením 740 metrů. Citlivější senzor DNB tak umožnil zkoumat záření povrchu Země a zemské atmosféry ve vyšším rozlišení (Miller a kol. 2012).

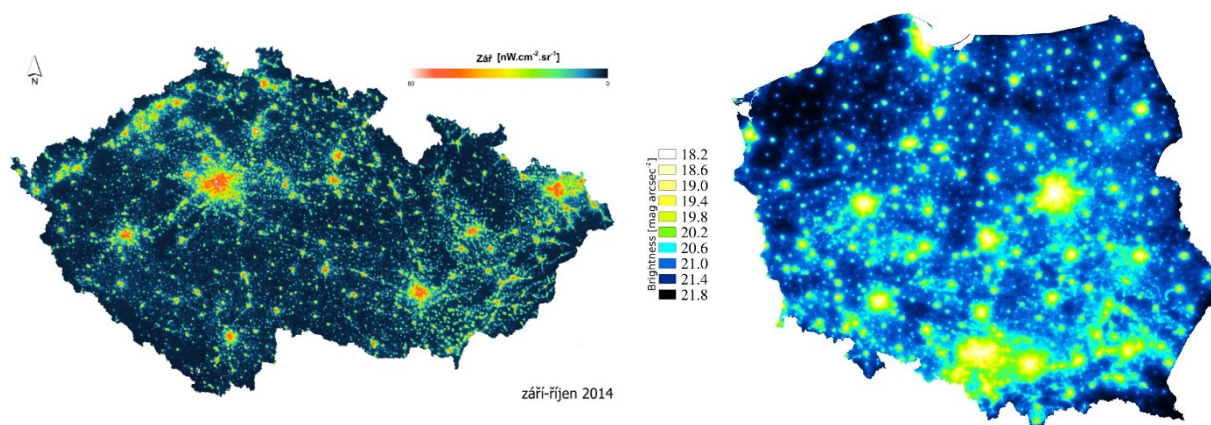
Autorský kolektiv *The first World Atlas of the artificial night sky brightness* navázal v mapování světelného znečištění s použitím dat z VIIRS/DNB. Pro analýzu byly vybrány družicové snímky z roku 2014. Kvantifikovaný světelný tok byl přepočten na jas noční oblohy v zenitu a byl určen podíl k přirozenému jasu noční oblohy o hodnotě 22 mag/arcsec². Vypočtený zenitový jas byl uspořádán do 14 intervalů a doplněn barevnou stupnicí od černé barvy přes šedou, modrou, zelenou, žlutou, oranžovou, červenou, fialovou po bílou, která symbolizuje nejintenzivněji zasažené oblasti světelným znečištěním (obr. 67). Součástí *The new world atlas of artificial night sky brightness* je také vyčíslení intenzity světelného znečištění pro každý stát (Falchi a kol. 2016).



Obrázek 66 (vlevo): Výřez z *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. Převzato z Cinzano, Falchi, Elvidge (2001b).

Obrázek 67 (vpravo): Výřez z *The new world atlas of artificial night sky brightness*. Převzato z Falchi a kol. (2016).

Mapu světelného znečištění Česka s použitím dat družice Suomi NPP vytvořila Moudrá (2015) v rámci své bakalářské práce, kde hodnotila intenzitu světelného znečištění v chráněných oblastech, národních parků a oblastech tmavé oblohy. Na mapě (obr. 68) jsou znázorněny hodnoty záře (Moudrá 2015). Stejná data posloužila také pro vznik mapy světelného znečištění v Polsku (obr. 69). Mapa znázorňuje jas noční oblohy v $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ a má 100metrové rozlišení. Při srovnání s *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi a kol. 2016) podává stejné výsledky jasu noční oblohy. Autoři nicméně poukazují na rychlejší výpočetní metodu (Netzel, Netzel 2018).



Obrázek 68 (vlevo): Mapa světelného znečištění v Česku v roce 2014. Převzato z Moudrá (2015).

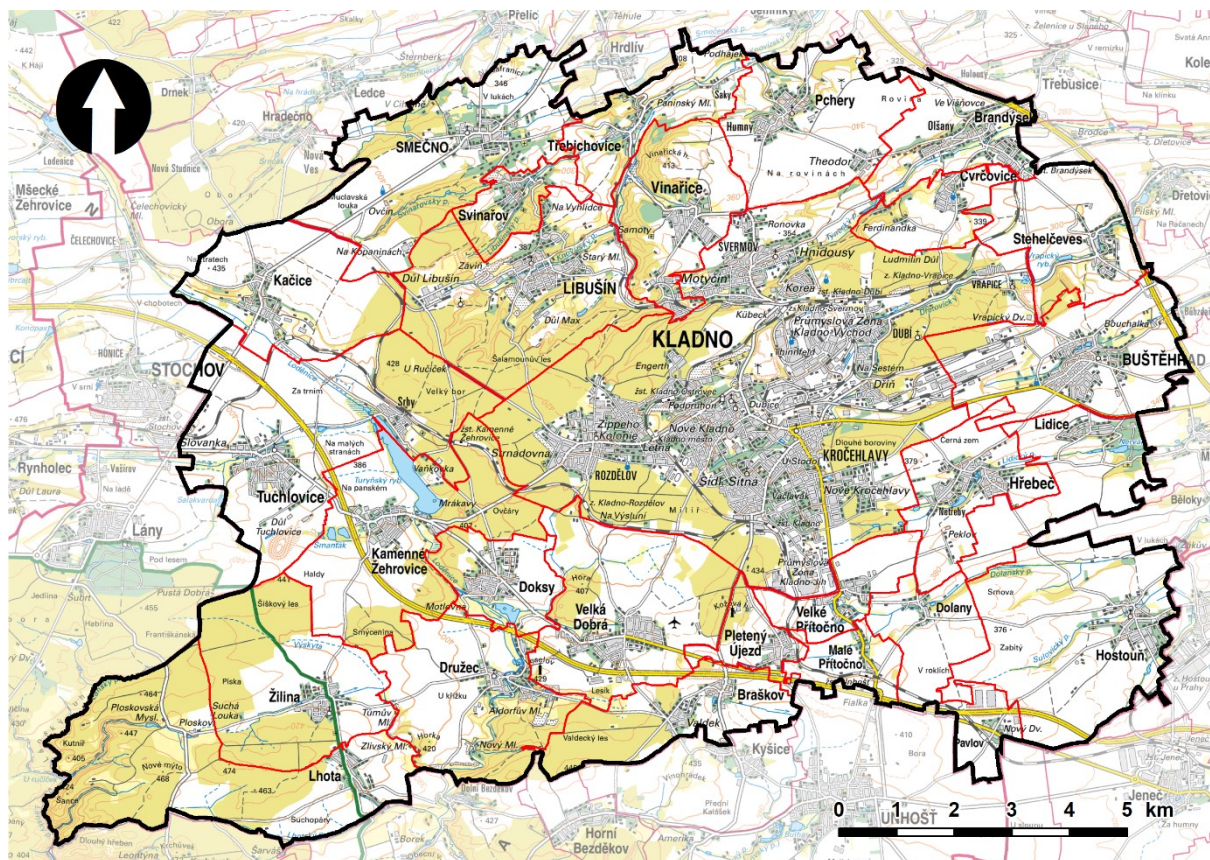
Obrázek 69 (vpravo): Mapa světelného znečištění v Polsku. Převzato Netzel, Netzel (2018).

Družicová data světelného znečištění jsou dostupná i široké veřejnosti přes webové rozhraní. Aplikace **Radiance Light Trends** (<https://lighttrends.lightpollutionmap.info>) je databází, která umožňuje zobrazit a analyzovat produkty dálkového průzkumu Země. Přístupná jsou surová data z družic DMSP v ročním intervalu mezi lety 1992 a 2013, kalibrovaná data z družic DMSP s nepravidelnou frekvencí mezi lety 1996 a 2010 a data z družice Suomi NPP v měsíčním intervalu od dubna 2012. Na podklad silniční či satelitní mapy od společnosti Microsoft se zobrazuje vrstva celkové záře z vybraného datového zdroje a časového období s celosvětovým pokrytím. Nastavit lze průhlednost vrstvy a barevnou stupnici, na výběr jsou odstíny šedi, duhová a zelenožlutá stupnice. Aplikace umožňuje analyzovat časovou řadu na území, které si uživatel vymezí vytvořením polygonu v mapě. Vybrat lze datové zdroje a analyzovanou veličinu (celková či průměrná záře). Výstupem je graf s hodnotami vyneseny na časovou osu, kterými lze proložit lineární či exponenciální spojnicí trendu s uvedeným předpisem, koeficientem determinace a meziroční změnou. Graf i vstupní data je možné exportovat v několika formátech (Stare 2020).

5.3 Kombinace pozemního a distančního sběru dat

Možnost zobrazení výsledků dálkového průzkumu Země a pozemních měření v jedné mapě umožňuje aplikace **Light Pollution Map** (<https://www.lightpollutionmap.info>), která je dostupná jak na webovém rozhraní, tak je ji možné stáhnout jako mobilní aplikaci pro Android, iOS a Huawei. Podkladová mapa od společnosti Microsoft je překryta vrstvou světelného znečištění. Vrstva světelného znečištění je produktem družicových dat senzoru VIIRS/DNB, který zobrazuje hodnoty záře, respektive jas noční oblohy převzatý z *The new world atlas of artificial night sky brightness* (Falchi a kol. 2016), a pokrývá celý svět. Vrstvy světelného znečištění jsou dostupné od roku 2012 pro každý rok. Poklikem na libovolné místo mapy se zobrazí jeho souřadnice, nadmořská výška a hodnota záře s grafem vývoje záře od roku 2012. Aplikace také umožňuje zobrazit aktuální stav oblačnosti a předpověď polární záře. Doplňující informací jsou také lokality pozemního měření jasu noční oblohy. Do databáze lze přidat výsledky vlastního měření jasoměrem Sky Quality Meter. Součástí aplikace i seznam států a závislých území s uvedeným počtem obyvatel, rozlohou, celkovou září, trendem, průměrnou září na 1000 obyvatel a hustotou zalidnění (Stare 2021).

6 Zájmové území



Obrázek 70: Přehledová mapa zájmového území. Hranice zájmového území je znázorněna černou linií, hranice obcí jsou znázorněny červeně. Vytvořeno autorem s použitím Základní mapy 1 : 100 000 (ČÚZK 2021e) a vektorové vrstvy obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).

Zájmové území se nachází v Česku ve středních Čechách západně od Prahy. Přirozený střed území tvoří město Kladno, které je obklopeno téměř třemi desítkami obcí. Rozloha území je 193,61 km² a má přibližně oválný tvar s rozměry zhruba 20 km v rovnoběžkovém směru a 14 km v poledníkovém směru (obr. 70).

Studijní oblast byla vymezena již při zpracování bakalářské práce *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019), přičemž byla rozšířena pro účely předložené práce o území dvou obcí (Lhota a Žilina). Uvnitř zájmového území jsou rozmístěna měřící stanoviště jasu noční oblohy (viz podkapitulu 7.2), z nichž získané výsledky jsou podkladem pro tvorbu mapy světelného znečištění (viz podkapitulu 8.6). Celá studovaná oblast se nachází na území Středočeského kraje a okresu Kladno a je složena z 28 obcí. Jmenovitě se jedná o obce Brandýsek, Braškov, Buštěhrad, Cvrčovice, Doksy, Dolany, Družec, Hostouň, Hřebeč, Kačice, Kamenné Žehrovice, Kladno, Lhota, Libušín, Lidice, Malé Přítočno, Pavlov, Pchery, Pletený

Újezd, Smečno, Stehelčevy, Svinařov, Třebichovice, Tuchlovice, Velká Dobrá, Velké Přítočno, Vinařice a Žilina (obr. 70).

Zájmové území však nelze vnímat jako oblast izolovanou od okolního prostředí. Vzhledem k charakteru světelného znečištění a jeho šíření atmosférou je třeba zohledňovat i zdroje světelného znečištění vně zájmového území. Kladenský region je pod silným vlivem Prahy jakožto zdroje světelného znečištění (Kocourek 2014; Klauda 2019), jejíž světelná záře je na západní okraji zesilována osvětlením areálu letiště Václava Havla (Kocourek 2014). Město Praha rozjasňuje noční oblohu desítky kilometrů daleko (Kocourek 2017).

Vznik a šíření světelného znečištění je úzce spjato pouze s některými geografickými charakteristikami území, zatímco u jiných nebyl přímý vliv dosud prokázán. Vznik světelného znečištění přímo ovlivňuje krajinná mozaika a využití krajiny, kdy jsou vybrané typy ploch (např. městská zástavba, průmyslové a komerční areály, dopravní infrastruktura) potenciálním zdrojem světelného znečištění, zatímco jiné typy ploch (trvalé travní porosty, lesy, vodní plochy) ke vzniku světelného znečištění nepřispívají (Kapiňská, Kunz 2019; Cox a kol. 2020). Vliv stínění reliéfem (Šén 2018) a blokování lesními porosty (Klauda 2019) na šíření světelného znečištění nebyl prakticky ověřen. Zásadní roli hraje při vzniku světelného znečištění rozmístění obyvatelstva a hustota zalidnění. K významným vlivům patří také rozmístění a charakter komerčních a průmyslových podniků a charakter dopravní infrastruktury (Cox a kol. 2020).

6.1 Fyzickogeografická charakteristika

Kladensko je součástí Českého masívu, který vznikl působením hercynského vrásnění, a rozkládá se v oblasti bohemia (Kachlík 2003). Geologické podloží zájmové oblasti tvoří především sedimentární horniny, v menší míře pak metamorfity a výjimečně vyvřeliny (ČGS 2021a). Unikátní geologickou strukturou je Vinařická hora (413 m n. m.), která se nachází 5 km severně od Kladna. Vinařická hora je pozůstatkem terciárního vulkanismu Českého masívu. Dodnes jsou zde patrné lávové proudy a stopy po erupcích havajského, strombolského a freatomagmatického typu (Rapprich 2012). Vývoj zdejší krajiny výrazně ovlivnila těžba černého uhlí. Radnická uhelná sloj se v oblasti skládá hlavní kladenské sloje o mocnosti 5 až 11 metrů a základní kladenské sloje o mocnosti 3 až 6 metrů. První zmínky o těžbě v zájmovém území pochází z roku 1570 a těžba probíhala až do roku 2002 (Hájek, Suchomel 2014).

Geomorfologicky Kladensko náleží do provincie České vysočiny a Poberounské subprovincie. Zájmové území je rozděleno mezi tři geomorfologické celky – Pražskou plošinu, Křivoklátskou vrchovinu a Džbán. Reliéf zájmového území tvoří převážně členitá pahorkatina (ČÚZK, Demek 2015). Nejvyšším přirozeným bodem zájmového území je Žilinský vrch (469 m n. m.), který je součástí Křivoklátské vrchoviny a nachází se na hranici obcí Lhota a Žilina. Naopak nejnižším položeným bodem území je místo, kde opouští Knovízský potok obci Třebichovice (247 m n. m.). Dědictvím po těžbě černého uhlí zůstala v krajině Kladenska řada antropogenních tvarů (např. Buštěhradská halda, Tuchlovická halda, odval dolu Ronna). Právě Tuchlovická halda, jejíž rekultivace byla dokončena roku 2011 (Polívka 2011), se stala místní dominantou a její vrchol (484 m n. m.) je nejvyšším bodem zájmového území (ČÚZK 2021a). Klimaticky lze zájmové území zařadit do mírného oceánického podnebí s teplými léty (Cfb) dle Köppenovy klasifikace. Dle české Quittovy klasifikace klimatu patří převážná část zájmového území k teplé oblasti (T2) překrývající se s Kladenskou tabulí. Jihozápadní část území je chladnější a náleží částečně mírně teplým oblastem typu MT7 a MT11 (Tolasz a kol. 2007). Na základě vyhodnocení klimatického normálu 1981 až 2010 se průměrná roční teplota pohybuje mezi 8 a 9 °C, na severovýchodním okraji může být až 10 °C. Západní část zájmového území je srážkově bohatší, průměrné roční úhrny srážek se pohybují mezi 551 a 600 mm, ve východní části je to pouze 501 až 550 mm. V rámci Česka se jedná o srážkově podprůměrnou oblast (Trnka a kol. 2021).

Studované území se nachází v povodí Vltavy a je odvodňováno do Severního moře. Z území odtékají vodní toky 4. řádu nebo vyšší. Západní část zájmového území je odvodňována řekami Klíčavou a Loděnicí, která je zároveň nejvodnějším tokem zájmového území, do Berounky. Východní část pak odvodňují přítoky Zákolanského potoka, který se vlévá do Vltavy. Největší vodní plochou je Turyňský rybník (lidově *Záplavy*) o výměře 43 hektarů v katastru obcí Kamenné Žehrovice a Tuchlovice (Vlček 1984).

Půdní pokryv ve východní části zájmového území, která je intenzivně zemědělsky využívána, tvoří zejména hnědozemě a pararendziny na sprašovém podkladu, místy se zde vyvinuly také černozemě. Hnědozemě jsou zastoupeny také v západní části v okolí obcí Tuchlovice, Kamenné Žehrovice, Družec a Velká Dobrá. Pod lesními porosty, které se rozkládají ve střední části v okolí města Kladna a v západní části území, se vyskytují převážně dystrické kambizemě a rankery (ČGS 2021b; Státní pozemkový úřad 2021).

Studovaná oblast se rozkládá v hercynské biogeografické podprovincii. Východní a severní část zájmového území zaujímá Řipský bioregion, centrální a západní část zaujímá Džbánský bioregion a jihozápadní část zaujímá Křivoklátský bioregion (Culek a kol. 2013). Z fyto geografického hlediska spadá převážná část území do Českého termofytika, pouze jihozápadní okrajová část náleží k Českomoravskému mezofytiku. Zájmové území je rozděleno do čtyř fyto geografických okresů – Slánská tabule, Bělohorská tabule, Džbán a Křivoklátsko (Skalický 1988). Západní okraj zájmového území náleží do chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko. Dále byly uvnitř zájmového území vyhlášeny dvě přírodní rezervace a devět přírodních památek (AOPK ČR 2021).

Krajinný pokryv zájmové oblasti byl analyzován na základě dat Corine Land Cover (Copernicus 2018). Největší podíl zájmového území zaujímá nezavlažovaná orná půda (46,50 %), smíšené lesy (15,36 %) a nesouvislá městská zástavba (13,73 %). Zájmové území se skládá z 54,30 % zemědělských ploch, 25,91 % lesních porostů, 18,25 % zastavěných ploch, 1,21 % ostatních ploch (těžební oblasti, skládky, městská zeleň a sportovní zařízení) a 0,33 % vodních ploch.

Dle typologického členění krajin Löwa a Nováka (2008) je zájmové území složeno ze zemědělských, lesozemědělských, lesních a urbanizovaných krajin z hlediska využití krajiny a kombinaci krajin rozřezaných tabulí a krajin vrchovin Hercynika z hlediska reliéfu. Typologie současné krajiny Romportla, Chumana a Lipského (2013) zájmové území řadí na pomezí teplých krajin nížin a mírně teplých krajin pahorkatin a vrchovin z hlediska přírodního prostředí. V zájmovém území lze rozpoznat krajiny polní, krajiny polní s heterogenními zemědělskými oblastmi a krajiny listnatých a smíšených lesů z hlediska jejich funkčních typů (Romportl, Chuman, Lipský 2013).

6.2 Sociogeografická charakteristika

Dle Českého statistického úřadu (2021a) bylo v obcích zájmového území k 1. 1. 2021 evidováno 106 573 obyvatel. K nejlidnatějším obcím patří Kladno s 68 896 obyvateli, Buštěhrad s 3638 obyvateli a Libušín s 3369 obyvateli. Hustota zalidnění zájmového území činila 323,12 obyvatel na km². Ve srovnání s republikovým průměrem (135,69 obyv./km²) disponuje zájmové území nadprůměrnou hustotou zalidnění (ČSÚ 2021a). Správní obvod obce s rozšířenou působností Kladno (SO ORP Kladno), kam spadají všechny obce zájmového území kromě Smečna, se vyznačuje dlouhodobě kladným přírůstkem obyvatel. Přírůstek

obyvatel tvoří především přistěhovalí obyvatelé. V roce 2020 bylo v SO ORP Kladno dokončeno 419 nových bytů (ČSÚ 2021b).

Kladensko je typickým postindustriálním regionem, který se proměnil ve dvou minulých století pod vlivem těžkého průmyslu. Po objevu hlavní kladenské uhelné sloje v roce 1846 se začalo rozvíjet hornictví. Útlum hornictví přišel během 20. století s ubývajícimi zásobami černého uhlí a hlavním ekonomickým odvětvím regionu se stalo hutnictví a slévárenství. Po politických změnách v roce 1990 došlo k útlumu těžkého průmyslu a přechodu pracovníků do rychle rostoucího sektoru služeb (Bičík a kol. 2022).

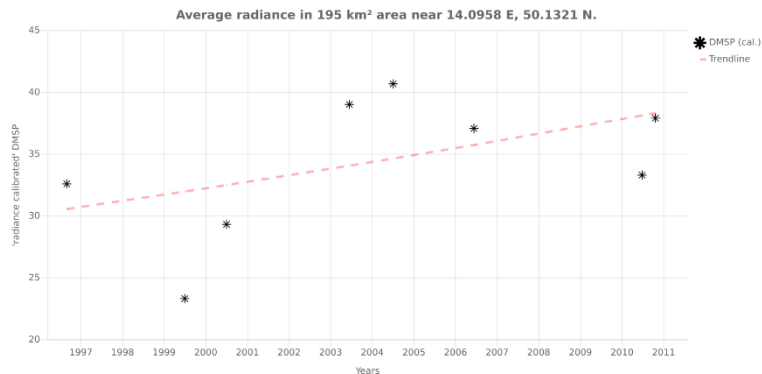
Ke konci roku 2020 se na území SO ORP Kladno věnovalo 2,7 % ekonomických subjektů zemědělství, lesnictví a rybářství, 11,4 % průmyslu, 12,4 % stavebnictví a 28,4 % obchodu, ubytování, stravování a pohostinství. V SO ORP bylo evidováno 21 velkých podniků s 250 a více zaměstnanci (ČSÚ 2021b). K největším zaměstnavatelům v oblasti patří výrobce hraček Lego, oblastní nemocnice, spediční společnost Dachser a pekárna La Lorraine (ČSÚ 2022).

Jihozápadní částí zájmového území prochází dálnice D6 z Prahy do Chebu a dále do Německa. Severovýchodní hranici zájmového území lemuje dálnice D7 z Prahy do Chomutova a dále do Německa. Obě dálnice jsou propojeny silnicí 1. třídy I/61, která prochází skrz město Kladno. Zájmovým územím prochází dvě jednokolejné neelektrifikované tratě – č. 120 z Prahy do Rakovníka a č. 093 z Kladna do Kralup nad Vltavou. Dále se v zájmovém území nachází rozsáhlá síť vleček vybudovaná v době rozmachu těžkého průmyslu, z nichž již většina není provozuschopná. Významnou stavbou přiléhající k jihovýchodní hranici zájmového území je mezinárodní letiště Václava Havla v Praze-Ruzyni. Město Kladno disponuje vlastní městskou autobusovou dopravou, která je zapojena do systému Pražské integrované dopravy. Vyjíždka za prací a do škol z obcí zájmového území je orientována zejména na Kladno a Prahu, jak potvrzují data ze Sčítání lidu, domů a bytů 2011 (ČSÚ 2013). Zpracovaná data o dojíždce za prací a do škol za Sčítání lidu, domů a bytů 2021 zatím nejsou k dispozici (leden 2022).

6.3 Světelné znečištění v zájmovém území

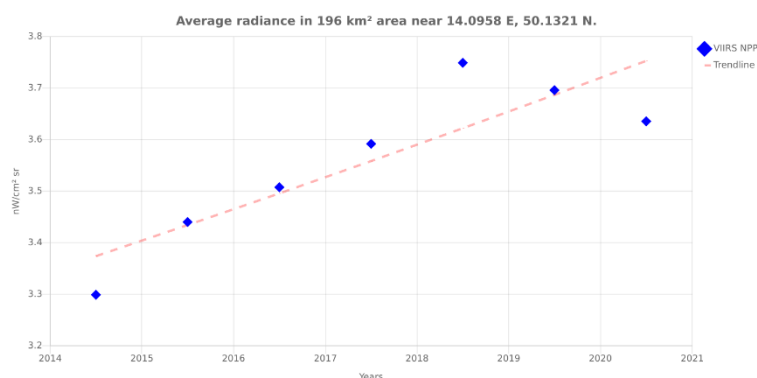
Stav světelného znečištění v zájmovém území byl zpracován na základě analytického online nástroje Radiance Light Trends (<https://lighttrends.lightpollutionmap.info/>) představeného v podkapitole 5.2, kvalifikačních prací *Geografické aspekty světelného znečištění* (Kocourek 2014) a *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019), jejichž studijní oblasti se překrývají se zájmovým územím, a vlastními poznatky autora. Další poznatky o světelném znečištění plynou z praktické části této diplomové práce a jsou uvedeny ve Výsledcích.

Vývoj světelného znečištění byl analyzován v online aplikaci Radiance Light Trends (Stare 2020). Nejprve bylo polygonem v mapě vymezeno zájmové území, poté vybrán časový interval a datový zdroj. Hodnocen byl vývoj průměrné záře. Kalibrovaná data z družic DMSP byla dostupná v časovém intervalu mezi roky 1996 a 2011 s nepravidelnou periodicitou. Ačkoliv je patrný významný pokles záře v letech 1999 a 2000, zdrojová data proložená exponenciální křivkou vykazují v celém období nárůst (obr. 71). Meziroční nárůst záře v zájmovém území činí 1,61 %, surová data DMSP poukazují na meziroční nárůst 1,78 %.



Obrázek 71: Vývoj průměrné záře v zájmovém území mezi lety 1996 a 2010 na základě kalibrovaných dat družic DMSP. Zpracováno autorem v online aplikaci Radiance Light Trends (Stare 2020).

Kalibrovaná data ze snímače VIIRS družice Suomi NPP vykazují mezi lety 2014 a 2018 nárůst hodnot záře až k $3,75 \text{ nW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$, poté dochází k opět k poklesu až do roku 2020 (obr. 72). Exponenciální křivka, která byla daty proložena, vykazuje mezi lety 2014 a 2020 průměrný meziroční nárůst 1,78 %. V roce 2014, kdy průměrná záře zájmového území činila $3,30 \text{ nW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$, vyčíslila Moudrá (2015) průměrnou záři pro území Česka na $1,22 \text{ nW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$. Světelné znečištění v zájmovém území bylo tedy ve srovnání se zbylým územím Česka nadprůměrné.



Obrázek 72: Vývoj průměrné záře v zájmovém území mezi lety 2014 a 2020 na základě kalibrovaných dat družice Suomi NPP. Zpracováno autorem v online aplikaci Radiance Light Trends (Stare 2020).

Nejintenzivnější světelné znečištění bylo detekováno nad Kladnem, které je největším sídlem zájmového území. V centru Kladna byl zjištěn zenitový jas noční oblohy – 19,15 mag/arcsec² na okraji průmyslového areálu Poldi (Kocourek 2014) a 19,10 mag/arcsec² v městském parku Sítenské údolí (Klauda 2019). Na okrajích města umělý jas noční oblohy přirozeně klesá. Na východním okraji městské části Kročehlavy byl detekován zenitový jas 19,41 mag/arcsec² (Kocourek 2014), na výšině mezi průmyslovým areálem Poldi a městskou částí Švermov pak 20,22 mag/arcsec².

Světelné znečištění mimoměstské části zájmového území je závislé na poloze vůči Praze. Hlavní město je zdrojem světelného znečištění, které ovlivňuje jas noční oblohy desítky kilometrů daleko (Kocourek 2017). Světelné znečištění Prahy je ještě zintenzivňováno osvětlením letiště Václava Havla, které stojí na západním okraji Prahy. Kocourek (2014) detekoval zenitový jas oblohy v blízkosti letiště o hodnotě 19,01 mag/arcsec². Obecně se jasnější noční oblohou vyznačuje východní část zájmového území, která je blíže k Praze. Při porovnávání zenitového jasu noční oblohy na dvojicích stanovišť stejné vzdálených od Kladna, kdy se jedno nacházelo západně od města a druhé východně, byl zjištěn rozdíl zenitového jasu noční oblohy až 0,71 mag/arcsec² při 10km rozdílu vzdálenosti od centra Prahy. Stanoviště východně od Kladna (Brandýsek, Lidice, Hostouň) se vyznačují zenitovým jasnem v rozmezí od 20,27 do 20,66 mag/arcsec², zatímco na stanovištích západně od Kladna (Smečno, Tuchlovice, Družec) v odpovídající vzdálenosti od středu města byl detekován zenitový jas v rozmezí od 20,93 do 20,98 mag/arcsec². Analyzován byl také jas noční oblohy ve světových směrech. Měření jasu ve výšce 30° nad obzorem na stanovištích Brandýsek, Lidice a Hostouň prokázalo, že Praha je významnějším zdrojem světelného znečištění než Kladno (Klauda 2019). Jedním z největších zdrojů světelného znečištění v zájmovém území je veřejné osvětlení Kladna, které je rovnoměrně rozprostřeno po celém území intravilánu města. Veřejné osvětlení menších obcí je spíše marginálním zdrojem. Velký příspěvek ke světelnému znečištění mají obchodní areály a osvětlení přidružených parkovišť (zejména obchodní domy Oaza a Tesco). Intenzivním osvětlením se vyznačují také čerpací stanice (např. MOL, OMV či Shell) a samoobslužné automyčky. Problematická jsou bezpečnostní svítidla umístěná na halách průmyslových a skladových areálů (např. sochorová válcovna, Lego či sklady v Pavlově), která v noci svítí daleko do krajiny. Silné oslňující světlo, které je vidět z velké dálky, produkují také reflektory určené k osvětlování drážních pozemků na kladenském nádraží. Noční osvětlení výloh obchodů a kanceláří není v zájmové oblasti příliš rozšířené.

7 Metodika

Světelné znečištění a jeho kvantifikace je v této diplomové práci vyhodnocováno na základě **sky-down přístupu**. Zástupným ukazatelem intenzity světelného znečištění je jas noční oblohy. K měření jasu noční oblohy v terénu je používán jasoměr **Sky Quality Meter** typu L (SQM-L). Jednotkou jasu je **magnituda na čtvereční úhlovou sekundu** [mag/arcsec²], která je běžně používaná astronomickou veřejností a v odborných pracích. Metodika praktické části diplomové práce sestává z přípravy měřicí aparatury, výběru měřících stanovišť a vhodných termínů měření, postupu při terénním měření, zpracování, vizualizace a interpretace získaných dat. Metodika tak vychází ze zkušeností získaných při zpracování bakalářské práce *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019).

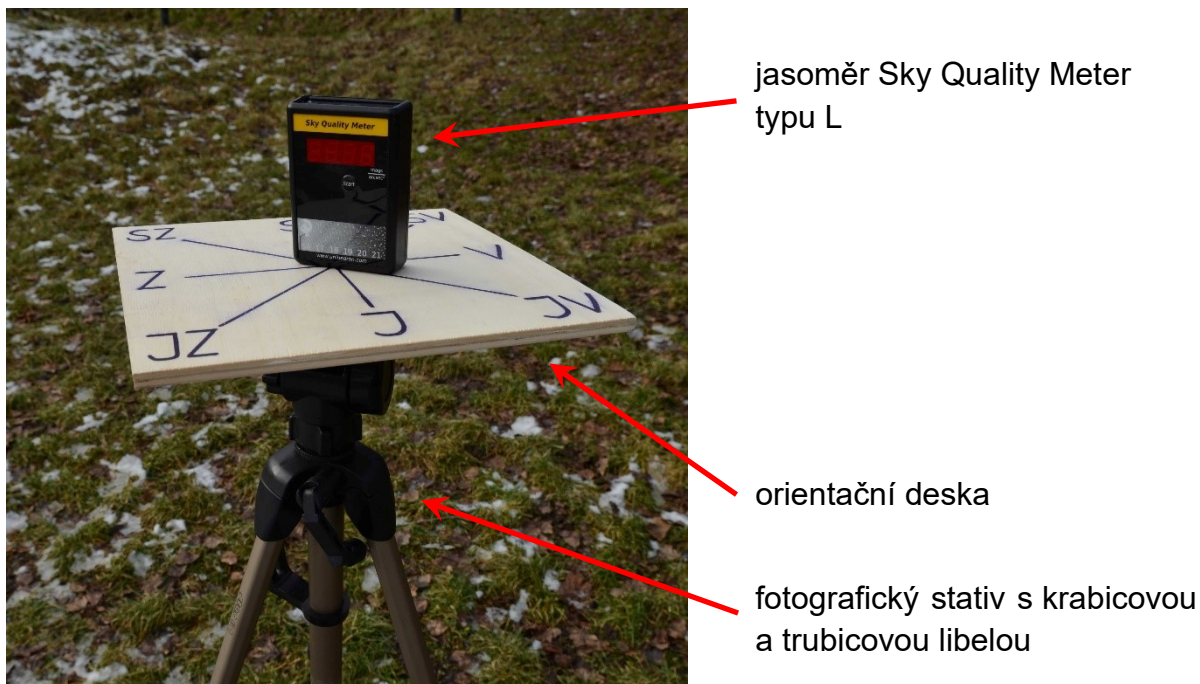
7.1 Měřicí aparatura

Prvním krokem k úspěšnému měření jasu noční oblohy v terénu je příprava měřicí aparatury (obr. 73), která zajišťuje stabilní a bezpečné uložení jasoměru a jeho požadované nasměrování.

Základem měřicí aparatury je **fotografický stativ** značky Hama. K přednostem stativu patří nízká hmotnost, rychlé rozkládání a snadné přenášení. Stativ je tripodem, jehož nohy mají nastavitelnou délku. Vybaven je také krabicovou a trubicovou libelou, které umožňují seřízení hlavy stativu do vodorovné polohy na nerovném terénu. Z hlavy stativu byla sejmuta rychloupínací destička a byla nahrazena orientační deskou pro účely měření.

Orientační deska má tvar čtverce s hranou o délce 25 cm. Hlavní funkcí orientační desky je zajištění vztažné vodorovné roviny, která je nezbytná ke správnému zaměření zenitu čočkou jasoměru. S ohledem na zpětnou vazbu na bakalářskou práci (Klauda 2019) byla vyrobena z překližky, která zajišťuje pevnost i v nepříznivých povětrnostních podmínkách. Na desku byla narýsována směrová růžice se všemi osmi světovými směry. Nicméně vzhledem k charakteru praktické části diplomové práce neměla směrová růžice uplatnění. Na spodní stranu orientační desky byla přilepena kruhová kovová forma (původně určená k vykrajování vánočního cukroví), která umožňuje připnutí orientační desky do rychloupínáku na hlavě stativu. Zároveň zamezuje vratkosti orientační desky při poryvech větru.

Jasoměr **Sky Quality Meter** je umístěn do středu orientační desky tak, aby při její vodorovné poloze směřovala čočka jasoměru přímo k zenitu – nadhlavníku.



Obrázek 73: Aparatura pro měření zenitového jasu noční oblohy v terénu. Vyfotografováno autorem.

Kromě měřicí aparatury nezbytné pro měření jasu oblohy je další nutnou výbavou v terénu tablet vybavený GPS lokátorem, mapovou aplikací Mapy.cz a tabulkovým editorem Excel, kam byly průběžně zapisovány získané hodnoty jasu. Práce v nočním prostředí také vyžaduje vhodné osvětlení (čelovka a velká svítilna).

7.2 Výběr a charakteristika měřících stanovišť

Hodnocení světelného znečištění bylo zasazeno do kontextu české krajiny. Vymezení zájmového území diplomové práce (viz kapitolu 6) vychází ze zpracování bakalářské práce (Klauda 2019). Stanoviště terénního měření byla lokalizována do středočeského města Kladna a jeho okolí.

Vznik světelného znečištění a jeho intenzita je v krajině úzce spjata s hustotou osídlení a rozmístěním sídel. Jas noční oblohy ovlivňuje také využití krajiny – *land use* (více v oddílu 3.2.3). Měřící stanoviště byla v rámci regionu Kladenska zvolena s ohledem na charakter okolního prostředí. Při výběru stanovišť byla posuzována vzdálenost nejbližší zástavby, její charakter (funkce zástavby, její výška a hustota) a využití okolí krajiny. Každé měřící stanoviště je tak charakterizováno svým nejbližším okolím. Celkově byla pro měření jasu noční oblohy vybrána tři stanoviště zasazená do městské, předměstské/příměstské a venkovské krajiny. Měřicí aparatura byla umístována na volná prostranství tak, aby bylo zamezeno odleskům světla na krytce jasoměru či stínění jasoměru stromy, sloupy vysokého napětí, budovami

a dalšími objekty. Dalším faktorem pro umístění měřicího stanoviště byla jeho dostupnost pěšky či prostředky veřejné dopravy. Nadmořská výška stanoviště nebyla brána v potaz.

Tři zvolená stanoviště terénního měření a jejich poloha jsou společně s typem krajiny a vzdáleností nejbližší zástavby zanesena v tabulce 1. Prostorové uspořádání stanovišť v zájmovém území je znázorněno na mapě (obrázek 88). Ke každému stanovišti byl vypracován popis umístění a nejbližších zdrojů světelného znečištění. Byla provedena analýza využití krajiny (*land use*, LU) v kilometrovém okruhu okolo každého měřicího stanoviště (viz Výsledky) na základě vlastní vektorizace aktuálních leteckých snímků (ČÚZK 2021c). Symbolizace ploch využití krajiny byla zvolena po vzoru datasetu Urban Atlas (Copernicus 2020).

Symbol	Název stanoviště	Souřadnice	Typ krajiny	Nejbližší zástavba
A	Kladno, Habešovna	N50.1377, E14.1000	městská	50 m
B	Velké Přítočno, Na Radkovech	N50.1109, E14.1252	příměstská	350 m
C	Lhota, Na Bukovkách	N50.0879, E13.9733	venkovská	710 m

Tabulka 1: Stanoviště terénního měření pro tvorbu časových řad jasů noční oblohy. Zpracováno autorem.

7.3 Výběr termínů měření

Jas noční oblohy je kromě intenzity světelného znečištění závislý i na dalších podmínkách prostředí. Kromě přirozených zdrojů světla a modifikátorů jasů oblohy, mají svůj podíl na změně a šíření světelného znečištění také aerosoly přirozeného i antropogenního původu. Faktory, které mění přirozený jas noční oblohy, byly popsány v kapitole 3. Pro korektní vyhodnocení světelného znečištění a zejména porovnání terénních měření z různých stanovišť je nezbytné dbát na dodržení stejných podmínek prostředí. Vzhledem k charakteru praktické části byla žádoucí jejich neměnnost během celé noci. Dostupnost dat a možnost předpovědi tak vedly ke zohledňování jen vybraných astronomických a meteorologických podmínek.

Zásadním krokem pro dodržení **astronomických podmínek** měření bylo vyvarování se vlivu dvou nejjasnějších objektů na obloze – Slunce a Měsíce. I v době kdy již Slunce není na obloze, může stále zvyšovat její jas. Vliv slunečního svitu na zenitový jas oblohy byl potvrzen po západu až do pozice Slunce 15° pod obzorem, poté zůstává jas neměnný (Lolkema a kol. 2010). Měření jasů byla naplánována tak, aby Slunce bylo hlouběji než 15° pod obzorem, reálně tedy mezi astronomickým soumrakem a astronomickým rozbřeskem, kdy se Slunce nachází 18° nebo hlouběji pod obzorem. Vzhledem k absenci astronomického soumraku během léta mohla být terénní měření uskutečněna v období od podzimu do jara. Vliv Měsíce je proměnný během jednotlivých měsíců, kdy se střídají jeho fáze a kulminuje v různé výšce nad obzorem. Ideální situace pro měření jasů noční oblohy nastává při novu, kdy je Měsíc zastíněn

Zemí a zároveň nevystupuje nad obzor. V kombinaci s ostatními podmínkami je však uskutečnění takového měření velice obtížně proveditelné. Vybírány byly termíny od poslední do první čtvrti, kdy má Měsíc zanedbatelný až nulový vliv na zenitový jas noční oblohy (Nievas 2013). Pozice Slunce a Měsíce a měsíční fáze jsou známy na dlouhé období dopředu. Takové údaje jsou pro území Česka publikované pravidelně v Hvězdářských ročenkách (Rozehnal a kol. 2019, Rozehnal a kol. 2020), což usnadňuje plánování termínů terénních měření. Vliv svitu hvězd, planet, galaxií a dalších kosmických objektů nebyl při měření zohledňován, stejně tak jako vzdálenosti od Země k Měsíci a Slunci a fáze slunečního cyklu. Jas noční oblohy vhodný ke kvantifikaci pro účely diplomové práce, který nebyl ovlivněn světelným znečištěním, tak odpovídá přirozenému jasu noční oblohy definovanému Leinertem a kol. (1998), viz podkapitulu 3.1.

Kromě astronomických podmínek je nutné provádět měření za odpovídajících **meteorologických podmínek**. K jejich nevýhodám patří zejména jejich velká prostorová a časová variabilita a obtížná předpověď na několik dnů dopředu. Měření byla prováděna při absenci sněhové pokrývky, která zvyšuje odrazivost povrchu Země a zvyšuje jas noční oblohy (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2014). Ke zvýšení jasu také přispívá výskyt oblačnosti, proto bylo nezbytné provádět měření za bezoblačných nocích. Nežádoucí byl také výskyt mlhy v lokalitě měření. Další meteorologické prvky, jejichž vliv na jas noční oblohy je popsán v oddíle 3.2.2, nebyly při výběru vhodných termínů zohledňovány. Výchozí předpovědi počasí pro plánování termínu terénního měření byl numerický model ALADIN (ČHMÚ 2022), jehož výsledky prezentuje Český hydrometeorologický ústav ve formě map a meteogramů na nadcházející tři dny. Nadcházející meteorologické podmínky byly ověřovány v mapové aplikaci Ventusky (<https://www.ventusky.com/>; Inmeteo 2022), která nabízí předpověď počasí dle několika výpočetních modelů s různým prostorovým rozlišením.

Potřeba měření nezávislého na vnějších podmínkách prostředí vyžadovala vytipovat termíny, kdy dochází k průniku všech výše vyjmenovaných požadavků. Další přítěžující okolností byla nutnost udržení příhodných astronomických a meteorologických podmínek během celé noci. Splnění těchto přísných podmínek omezilo možnost terénního měření na několik nocí během celého roku. Nedostatek vhodných termínů pro měření jasu noční oblohy byl nejvíce limitujícím faktorem pro zpracování předložené diplomové práce.

7.4 Postup měření na stanovišti

V případě vyhovujících astronomických podmínek a předpovědi počasí poukazující na nadcházející uspokojivé meteorologické podmínky bylo podniknuto terénní měření.

Lokalita terénního měření byla dosažena za pomoci aplikace Mapy.cz, která zobrazuje aktuální polohu dle GPS. Předem vybrané umístění měřicí aparatury bylo podle místních podmínek pozměněno v případě, kdy by byl jasoměr přímo ovlivněn svítidly nebo zastíněn stromy či jinými objekty. Na stanovišti byl nejprve rozložen a usazen fotografický stativ tak, aby nedošlo k jeho převrácení. Hlava stativu byla zarovnána do vodorovné polohy pomocí zabudovaných libel a poté k ní byla připnuta orientační deska. Do středu orientační desky byl usazen jasoměr. Čočka jasoměru postaveného kolmo na vodorovnou orientační desku směřuje přímo k zenitu.

Měřicí aparatura byla na stanovišti připravena několik minut před začátkem měření. Jasoměr SQM-L musí při měření řádně vytemperovaný, jeho teplota by měla být shodná s teplotou vzduchu. Dále byla zkontrolována krytka jasoměru, zda není poškozená, zaprášená či orosená. První tři měření jasoměrem byla ignorována, jelikož dle Moudré (2021a) vykazují nižší jas oblohy, než je skutečnost. Ovládání jasoměru SQM-L je velice snadné. Po zaměření a stisknutí tlačítka START se na displeji jasoměru zobrazí hodnota jasu oblohy s přesností na setiny mag/arcsec². Po druhém stisknutí tlačítka se zobrazí teplota vzduchu ve stupních Celsia a po třetím stisknutí teplota vzduchu ve stupních Fahrenheita.

Po nezbytné přípravě měřicí aparatury, kontrole a kalibraci jasoměru mohlo být zahájeno samotné měření. Zaznamenávání zenitového jasu oblohy v průběhu noci bylo prováděno v intervalu 15 minut, každou hodinu v 0., 15., 30. a 45. minutu. Každou čtvrt hodinu byla nejprve zkontrolována krytka jasoměru, zda není orosená, případně se na ní nenachází námraza, a po jejím očištění byl během jedné minuty pětkrát změřen zenitový jas oblohy. Zjištěna byla teplota vzduchu a odchylky od stanovených astronomických a meteorologických podmínek pro měření, jako např. výskyt oblačnosti či vliv Měsíce. Všechny zjištěné údaje byly okamžitě přepisovány do předem připravené tabulky v tabletu. Uvedeny jsou v přílohách 5 až 12.

Celkový čas měření jasu noční oblohy probíhal na stanovišti během celé noci v době mezi soumrakem a svítáním tak, aby měření nebylo narušeno vlivem Slunce. V případě náhlé změny počasí, kdy nemohl být následně zjištěn jas noční oblohy za dodržení vhodných meteorologických podmínek, bylo měření jasu ukončeno předčasně. Na každém stanovišti byla provedena alespoň dvě celonoční měření jasu, aby bylo zajištěno dostatek dat pro následnou analýzu a vyhodnocení.

7.5 *Statistická analýza dat*

Získané hodnoty zenitového jasu noční ze třech stanovišť terénního měření byly podrobeny statistické analýze. Cílem bylo zpracovat popisnou statistiku jasu noční oblohy z jednotlivých stanovišť a prokázat odlišnost jasu noční oblohy na různých stanovištích. Statistické analýzy a vizualizace dat byly provedeny v tabulkovém editoru Excel a statistickém softwaru SPSS Statistics.

Hodnoty jasu noční oblohy byly rozříděny do statistických souborů dle stanovišť do tří skupin dat a byla pro ně vypracována **popisná statistika**. Vynechány byly hodnoty naměřené v době, kdy byly porušeny stanovené astronomické a meteorologické podmínky (viz předchozí podkapitolu). U každé skupiny dat byl zjištěn počet záznamů (n), které mohly být dále analyzovány. Nejprve byla popsána poloha dat na číselné ose. Určeny byly minimum (x_{\min}), dolní kvartil ($x_{0,25}$), střední hodnoty – aritmetický průměr (\bar{x}), medián (\tilde{x}), modus (\hat{x}), poté horní kvartil ($x_{0,75}$) a maximum (x_{\max}), které se označují jako charakteristiky polohy. Vypočteny byly charakteristiky variability vypovídající o koncentraci dat v souboru – rozpětí (R), mezikvartilové rozpětí (R_q), směrodatná odchylka (s), rozptyl (s^2) a střední chyba průměru (s_x). Tvary souboru dat byly odvozeny pomocí charakteristik tvaru, které jsou popsány koeficientem šikmosti (g_1) a koeficientem špičatosti (g_2). Vzhledem k tomu, že se jedná o výběrové statistiky, byla k označování statistických veličin zvolena latinská abeceda. Pro snadnější interpretaci polohy dat na číselné ose, jejich koncentraci a rozdělení byly hodnoty jasu noční oblohy z jednotlivých stanovišť vyneseny do histogramů. K porovnání souborů dat mezi sebou byla vytvořena společná tabulka s popisnými statistikami a krabicový graf (*boxplot*) s hodnotami jasu noční oblohy vyneseny na jednu číselnou osu. Pravděpodobnosti výskytu hodnotu jasu noční oblohy na stanovištích byly znázorněny pomocí empirických distribučních funkcí.

U jednotlivých souborů dat byla zjišťována jejich podobnost s normálním rozdělením. Ověření rozdělení bylo provedeno pomocí **testů normality dat** a grafu. Nulová hypotéza předpokládající normální rozdělení dat byla na hladině statistické významnosti $\alpha = 5\%$ testována použitím Kolmogorovova-Smirnovova a Shapiro-Wilkova testu normality. Grafické posouzení normality dat bylo provedeno pomocí kvantil-kvantilového grafu (*Q-Q plot*), které znázorňuje odchylky souboru dat od teoretického normálního rozdělení.

V dalších krocích byly ověřovány rozdíly hodnot jasu noční oblohy ve třech typech prostředí pomocí statistických parametrických testů. Předpokladem pro použití parametrických testů je nezávislost vstupních dat a jejich normální rozdělení. Normalitu dat lze u velkých vzorků dat (obvykle kde $n > 30$) obejít díky platnosti centrální limitní věty, podle které konverguje výběrový průměr při dostatečně velkém počtu měření k normálnímu rozdělení bez ohledu na rozdělení původního souboru dat (Institut biostatistiky a analýz LF MU 2022).

Před testováním rozdílů průměrného jasu v městské, příměstské a venkovské krajině bylo potřeba ověřit rovnost rozptylů pomocí **F testu**. Shoda rozptylů byla testována u všech možných dvojic, tedy městská a příměstská krajina (A–B), příměstská a venkovská krajina (B–C) a venkovská a městská krajina (C–A). Shoda rozptylů byla testována na hladině statistické významnosti $\alpha = 5 \%$. Vzhledem k ověřování rovnosti byl použit oboustranný test. Nulová hypotéza testu předpokládá rovnost rozptylu jasu noční oblohy v různých typech prostředí:

$$H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$$

$$H_0: \sigma_B^2 = \sigma_C^2$$

$$H_0: \sigma_C^2 = \sigma_A^2$$

Alternativní hypotéza předpokládá nerovnost rozptylu jasu noční oblohy v různých typech prostředí:

$$H_A: \sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$$

$$H_A: \sigma_B^2 \neq \sigma_C^2$$

$$H_A: \sigma_C^2 \neq \sigma_A^2$$

Ověření platnosti nulové hypotézy bylo provedeno na základě zjištění pravděpodobnosti hodnoty testové statistiky vycházející ze vstupních dat (tzv. p-hodnota). Pokud p-hodnota převyšuje hladinu významnosti α (v případě oboustranného testu hodnotu $\alpha/2$), není možné zamítnout nulovou hypotézu. Pokud je p-hodnota menší než hladina významnosti α (respektive $\alpha/2$), není možné přijmout nulovou hypotézu a platí hypotéza alternativní. Výpočet p-hodnoty byl proveden v Excelu pomocí funkce F.TEST.

Rozdíly mezi průměrným jasnem noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině byly ověřeny pomocí Studentova **T testu**. Testovány byly opět všechny možné dvojice souborů dat jako v případě předcházejícího F testu (A–B, B–C, C–A) na hladině statistické významnosti $\alpha = 5 \%$. Vzhledem k tomu, že byla ověřována rovnost průměrů, byl použit oboustranný test.

Nulová hypotéza předpokládá rovnost průměrného jasů oblohy ve všech typech prostředí:

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_0: \mu_B = \mu_C$$

$$H_0: \mu_C = \mu_A$$

Alternativní hypotéza naopak předpokládá rozdíly průměrného jasů noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině:

$$H_A: \mu_A \neq \mu_B$$

$$H_A: \mu_B \neq \mu_C$$

$$H_A: \mu_C \neq \mu_A$$

Stejně jako v případě F testu byla platnost nulové hypotézy ověřována pomocí výpočtu p-hodnoty. P-hodnota pro T test byla zjištěna v Excelu pomocí funkce T.TEST.

Charakter stupnice jasů oblohy v **magnitudách na úhlovou sekundu čtvereční**, ve které interpretuje jas oblohy jasoměr Sky Quality Meter, neumožňuje efektivně porovnávat hodnoty jasů oblohy mezi sebou. Stupnice jasů je převrácená – vyšší hodnoty jasů v mag/arcsec² znamenají nižší jas oblohy – a logaritmická – změna jasů oblohy o jednu jednotku mag/arcsec² znamená jeho zhruba 2,5násobný nárůst. Pro porovnávání hodnot jasů je vhodnější stupnice v **kandelách na metr čtvereční**, která je dekadická a není převrácená. Procentuální změnu jasů oblohy v cd/m² lze vyčíslit snadno jejich vydělením. Vybrané statistické ukazatele byly převedeny na vhodnější stupnici použitím vztahu (Unihedron 2022a):

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot M)}$$

kde je L rovno jasů oblohy v cd/m² a M je rovno jasů oblohy v mag/arcsec². Vzhledem k příliš nízkým hodnotám jasů v cd/m², byly výsledky vynásobeny tisícem a převedeny na **milikandela na metr čtvereční** [mcd/m²].

7.6 Změny jasu noční oblohy

Změny jasu noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině byly popsány pomocí získaných časových řad. Před samotnou interpretací časových řad bylo nezbytné upravit vstupní data. Na základě poznámek z terénního měření byly označeny časy, kdy bylo měření rušeno nevhodnými astronomickými a meteorologickými podmínkami. Trvání astronomického soumraku a rozbřesku bylo pro konkrétní stanoviště a termín měření ověřeno v literatuře (Rozehnal a kol. 2019; Rozehnal a kol. 2020).

Během celonočního měření jasu oblohy bylo každých 15 minut zjištěno a zapsáno pět hodnot jasu. Z těchto pěti hodnot byl pro každý čas měření stanoven průměrný jas. Pro výpočet byla použita metoda osekaného průměru (*trimmed mean*). Z pěti hodnoty byly vynechány hodnoty nejnižšího a nejvyššího jasu a ze zbylých tří hodnot byl stanoven aritmetický průměr. V případě, kdy byla stejná okrajová hodnota zaznamenána při dvou (či více) měřeních, byla jedna z dvojice hodnot navýšena o jednu setinu mag/arcsec^2 a druhá hodnota z dvojice naopak snížena o jednu setinu mag/arcsec^2 tak, aby právě průměr těchto dvou hodnot byl stejný jako v případě jejich rovnosti. Následně byl aplikován stejný postup s vyloučením okrajových hodnot z pěti měření.

Zpracované časové řady jasu noční oblohy byly vyneseny do bodového grafu pro jednotlivá stanoviště. Pro každé stanoviště byl určen charakteristický chod jasu noční oblohy stanovený průměrem vypočteným z předchozích průměrů časových řad jednotlivých termínů měření. Charakteristický chod jasu oblohy byl průměrován alespoň ze dvou časových řad. V případě, kdy byl jas oblohy ovlivněn oblačností, svitem Slunce či Měsíce, a nemohl být průměrný jas oblohy vyčíslen z nejméně dvou hodnot, nebyl průměr počítán.

Po zpracování časových řad byly interpretovány změny jasu oblohy během noci. Jednotlivé časové řady byly sdruženy do kategorií na základě podobnosti křivek změn jasu oblohy. Průměrné změny jasu oblohy byly převedeny na stupnici jasu v mcd/m^2 pro snadnější interpretaci. Změny jasu noční oblohy byly porovnány navzájem pro všechna stanoviště. Taktéž byly interpretovány změny jasu v různých časových úsecích a diskutovány jejich možné příčiny.

7.7 Příprava dat a tvorba mapy světelného znečištění

Posledním úkolem praktické části diplomové práce je tvorba a interpretace mapy světelného znečištění v zájmovém území. Mapa světelného znečištění Kladenska shrnuje výsledky terénních měření bakalářské práce *Světelné znečištění Kladenska* (Klauda 2019) a diplomové práce a atraktivně je prezentuje čtenáři.

Mapa světelného znečištění je koncipována jako poster formátu A1 (594 x 841 mm) s hlavním mapovým polem a doplňujícími informacemi o světelném znečištění v zájmovém území. Ke zpracování prostorových dat a tvorbě mapy byl použit GIS software ArcMap 10.4.1.

Stěžejní součástí mapy světelného znečištění je vrstva jasu noční oblohy pokrývající celé zájmové území. Podkladem pro tvorbu rastrové vrstvy byly hodnoty jasu noční oblohy v zenitu získané při terénních měření, které byly následně interpolovány v zájmovém území. Z terénních měření na stanovištích A, B a C, kde byly hodnoceny změny jasu noční oblohy v čase, byla použita hodnota mediánu. Medián byl zvolen s ohledem na vysoký počet hodnot a také jeho vyšší odolnost vůči extrémním hodnotám oproti průměru. Dále byly použity hodnoty jasu noční oblohy získané při vypracování bakalářské práce (Klauda 2019) na stanovištích a–k, kde byla prováděna směrová měření jasu. Vzhledem k řídkému pokrytí zájmového území stanovišti terénního měření bylo provedeno dalších šest měření na stanovištích 1–6 (příloha 4), které zhušťují síť měřících stanovišť výhradně pro účely tvorby mapy. Hodnoty jasu noční oblohy v zenitu byly na stanovištích a–k a 1–6 určeny metodou osekaného průměru z původních pěti naměřených hodnot. Všechna měření jasu byla prováděna za dodržení vybraných astronomických a meteorologických podmínek (viz oddíly 3.2.1 a 3.2.2). Stanoviště terénního měření, jejich poloha, typ a hodnota jasu noční oblohy vstupující do následné interpolace byly zaneseny do tabulky 2. Prostorové rozložení všech měřících stanovišť v zájmovém území je zobrazeno v mapě (příloha 3).

Při tvorbě rastrové vrstvy jasu noční oblohy bylo zvažováno použití interpolačních metod vážené inverzní vzdálenosti (*inverse distance weighting*, IDW) a kriging. Vzhledem k neuspokojivým výsledkům metody IDW (příloha 13), zejména výrazným změnám hodnot na lokální úrovni, bylo rozhodnuto pro použití metody kriging (příloha 14). Interpolační metodu kriging zvolili při tvorbě map jasu noční oblohy také např. Briggs a kol. (2012) a Karpińska a Kunz (2019). Pro výpočet rastru byla zvolena metoda běžného krigingu (*Ordinary Kriging*). Pro každou buňku rastru byla vypočítána hodnota jasu ze všech 18 vstupních bodů. Prostorové rozlišení rastrové vrstvy bylo nastaveno na 50 metrů.

Symbol	Název stanoviště	Souřadnice	Typ měření	Hodnota	Jas oblohy [mag/arcsec ²]
A	Kladno, Habešovna	N50.1377, E14.1000	časové řady	medián	19,82
B	Velké Přítočno, Na Radkovech	N50.1109, E14.1252	časové řady	medián	20,18
C	Lhota, Na Bukovkách	N50.0879, E13.9733	časové řady	medián	21,06
a	Smečno, V Lípách	N50.1857, E14.0285	směrová měření	průměr	20,93
b	Brandýsek, Důl Michal	N50.1840, E14.1672	směrová měření	průměr	20,66
c	Tuchlovice, Záplavy	N50.1385, E14.0061	směrová měření	průměr	20,94
d	Lidice	N50.1459, E14.1836	směrová měření	průměr	20,36
e	Družec, V Průhonu	N50.1064, E14.0345	směrová měření	průměr	20,98
f	Hostouň, Zabítý	N50.1091, E14.1758	směrová měření	průměr	20,27
g	Velká Dobrá, Pod Lapákem	N50.1212, E14.0821	směrová měření	průměr	20,55
h	Kladno, Na Cikánce	N50.1608, E14.1078	směrová měření	průměr	20,22
k	Kladno, Sítenské údolí	N50.1392, E14.1031	směrová měření	průměr	19,10
1	Pchery, Humna	N50.1845, E14.1030	zenitová měření	průměr	20,47
2	Kladno, Zvoneček	N50.1338, E14.0658	zenitová měření	průměr	20,26
3	Kladno, u nemocnice	N50.1429, E14.0838	zenitová měření	průměr	19,69
4	Kladno, u pivovaru	N50.1407, E14.1147	zenitová měření	průměr	18,99
5	Kladno, Růžové pole	N50.1271, E14.1298	zenitová měření	průměr	19,48
6	Hřebeč, Netřeby	N50.1369, E14.1451	zenitová měření	průměr	19,53

Tabulka 2: Stanoviště terénního měření a hodnoty jasu noční oblohy použité pro tvorbu mapy. Zpracováno autorem.

Hlavní mapové pole představuje mapa světelného znečištění Kladenska. Jedná se o ostrovní mapu, která zachycuje jevy pouze v zájmovém území, nikoliv mimo něj. S ohledem na rozměry posteru bylo nastaveno měřítko 1 : 30 000 a kartografické zobrazení „WGS 1984 UTM Zone 33N“. Tematickým základem hlavní mapy je rastrová vrstva jasu noční oblohy, která vznikla interpolací mezi stanovišti terénního měření a extrapolací. Rastrová vrstva jasu byla symbolizována spojitou barevnou stupnicí. Nastavena byla černá barva pro nejtmaší oblohu nejméně ovlivněnou světelným znečištěním přes tmavě modrou až po světle žlutou barvu pro rozjasněnou městskou oblohu. Funkcí *Contour* byly z rastrové vrstvy extrahovány izolinie spojující místa stejné úrovně jasu noční oblohy (tzv. izofoty) v intervalu 0,50 mag/arcsec². Do mapy byla také zanesena bodová vrstva stanovišť terénního měření s hodnotou jasu noční oblohy a bodová vrstva odkazující na fotografie ve spodní části posteru. Přiložené fotografie zachycují příklady nevhodného osvětlení a významné zdroje světelného znečištění v zájmovém území.

Tematický základ mapy byl doplněn topografickými vrstvami popisující charakter území. Symbolizace byla citlivě volena tak, aby byly všechny vrstvy kontrastní s podkladovou vrstvou jasu noční oblohy v celé barevné škále a zároveň ji příliš nezakrývaly. Hlavním zdrojem vektorových vrstev byl volně dostupný Digitální geografický model území ČR – Data50 (ČÚZK 2021b). Databáze byla použita pro znázornění výškopisu (výškové kóty a vrstevnice),

krajinného pokryvu (lesy a zastavěné území) a dopravní infrastruktury (silnice včetně uliční sítě a dálnic a železnice). Pro znázornění vodních toků a vodních ploch postačovala méně podrobná data z Topografické databáze České republiky – Data200 (ČÚZK 2021d). Do mapy byla zanesena také bodová vrstvy čerpacích stanic, které jsou většinou v provozu dlouho do večera či celou noc a častou jsou kvůli intenzivnímu osvětlení významným zdrojem světelného znečištění. Vrstva čerpacích stanic byla exportována ze serveru OpenStreetMap (2022) a aktualizována podle současného stavu.

Dolní část posteru byla vyplněna fotografiemi, které upozorňují na nevhodně navržené osvětlení a zdroje světelného znečištění v zájmovém území. Polohu nešetrných světelných zdrojů zachycuje bodová vrstva v hlavním mapovém poli.

Pravá část posteru byla vyčleněna pro vedlejší mapová pole. Vložena byla přehledová mapka znázorňující polohu zájmového území v rámci Česka. Do přehledové mapky byly doplněny také české národní parky (AOPK ČR 2021) a oblasti tmavé oblohy (vlastní vektorizace).

Druhá doplňková mapa představuje klasifikaci noční oblohy v zájmovém území do tříd Bortleovy stupnice. Ačkoliv Bortle (2001) při popisu úrovní světelného znečištění konkrétní stupnici jasů oblohy neuvádí, řada autorů Bortleovu stupnici interpretuje také pomocí hodnot jasů noční oblohy. Noční obloha v zájmovém území byla klasifikována do tříd Bortleovy stupnice dle její interpretace Caruana a kol. (2020). V mapě byla znázorněna mez viditelnosti Mléčné dráhy. Hodnotu nejvyššího jasů oblohy, při kterém lze pouhým okem rozeznat alespoň náznaky Mléčné dráhy v zenitu, stanovili Falchi a kol. (2016) na 20,49 mag/arcsec².

Třetí doplňková mapa dává do souvislosti průměrný jas noční oblohy a hustotu zalidnění k 1. 1. 2021 v jednotlivých obcích zájmového území. Průměrný jas noční oblohy byl vypočten funkcí *Zonal Statistics as Table* na základě hodnot spojitého rastru jasů noční oblohy. Hustota zalidnění byla vypočtena z dat Českého statistického úřadu (ČSÚ 2021a). Jas noční oblohy a hustota zalidnění v obcích byla představena pomocí kartogramu. Hodnoty obou jevů byly rozděleny do šesti intervalů. Intervaly stupnice jasů noční oblohy byly stanoveny rovnoměrně po 0,2 mag/arcsec². Intervalová stupnice hustoty zalidnění byla stanovena pomocí algoritmu *Natural Brakes* (Jenks).

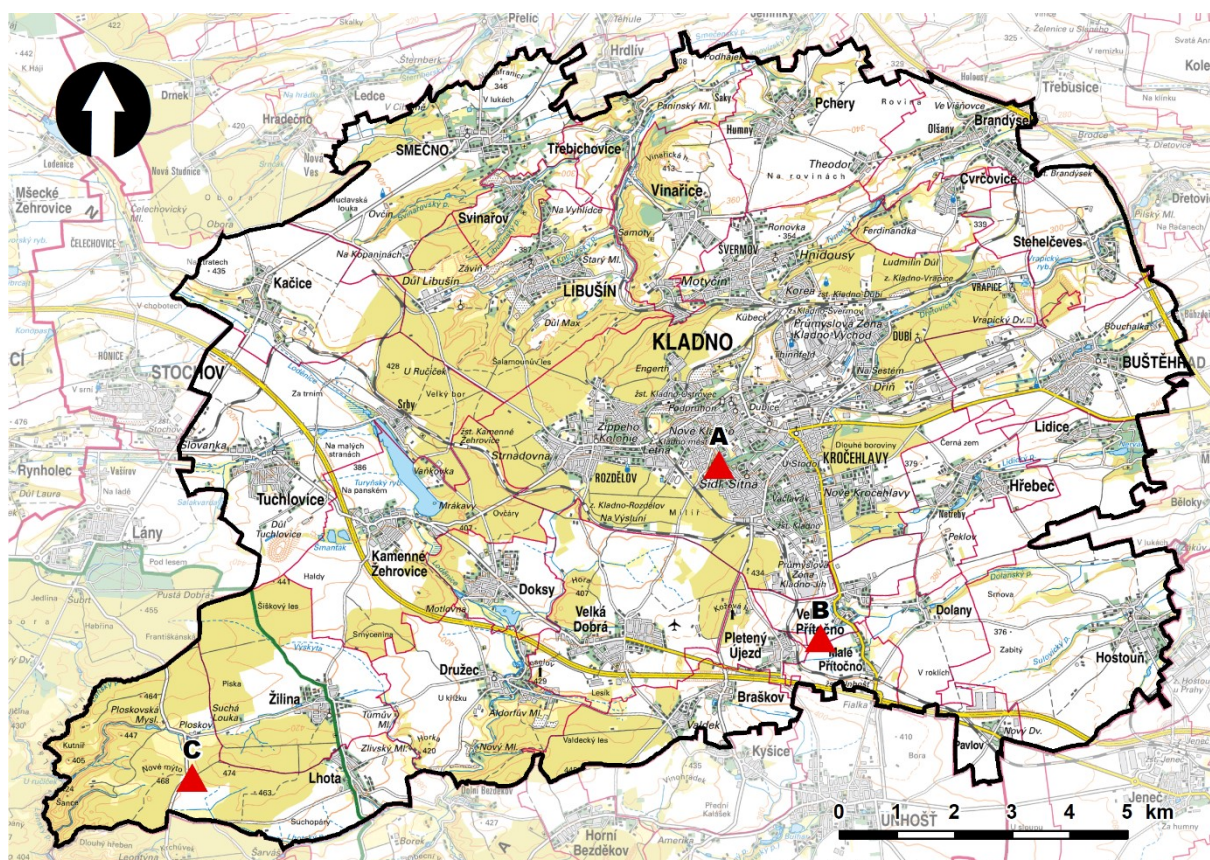
Ke mapovým polím byly doplněny nezbytné kartografické náležitosti – grafické měřítko, severka a legenda. K doplňujícím informacím na posteru patří také stručný úvod do problematiky světelného znečištění, loga Přírodovědecké fakulty a Univerzity Karlovy, seznam literatury a zdrojů dat a tiráž.

Interpretace mapy se věnuje úrovním světelného znečištění v zájmovém regionu, rozložením hodnot jasů noční oblohy a jejich rozdílům v jednotlivých částech území. Jas noční oblohy je klasifikován do tříd Bortleovy stupnice. Popsány jsou lokality, odkud je možné pozorovat Mléčnou dráhu. Do souvislosti je dán průměrný jas noční oblohy a hustota zalidnění v jednotlivých obcích. Součástí interpretace je také popis nepřesností v mapě.

8 Výsledky

Světelné znečištění a jeho změny byly vyhodnocovány na základě terénního měření jasu noční oblohy. Pro měření jasu noční oblohy byla vybrána tři stanoviště reprezentující městskou, příměstskou a venkovskou krajinu. Rozmístění stanovišť v zájmovém území je zachyceno na přiložené mapě (obr. 74). Dohromady bylo na třech stanovištích provedeno jedenáct celonočních měření jasu oblohy. Nicméně kvůli nevyhovujícím měřicím podmínkám mohlo být použito k dalšímu vyhodnocení osm celonočních měření, viz přílohy 5 až 12.

V kapitole 8 jsou představeny charakteristiky měřicích stanovišť ve vztahu ke světelnému znečištění a využití krajiny v okolí stanovišť. Dále jsou statisticky analyzována data z každého stanoviště, představeny a interpretovány časové řady jasu noční oblohy. O odlišnosti jasu noční oblohy v různých prostředích bylo rozhodnuto pomocí statistických testů, popsány jsou rozdíly chodu jasu oblohy v průběhu noci. Obecně jsou popsány změny jasu oblohy během jedné noci v městské, příměstské a venkovské krajině. Intenzita světelného znečištění a jeho rozložení v zájmovém území je vyhodnoceno na základě mapy vytvořené mapy světelného znečištění.



Obrázek 74: Rozmístění měřicích stanovišť uvnitř zájmového území. Vytvořeno autorem s použitím Základní mapy 1 : 100 000 (ČÚZK 2021e) a vektorové vrstvy obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).

8.1 Městská krajina

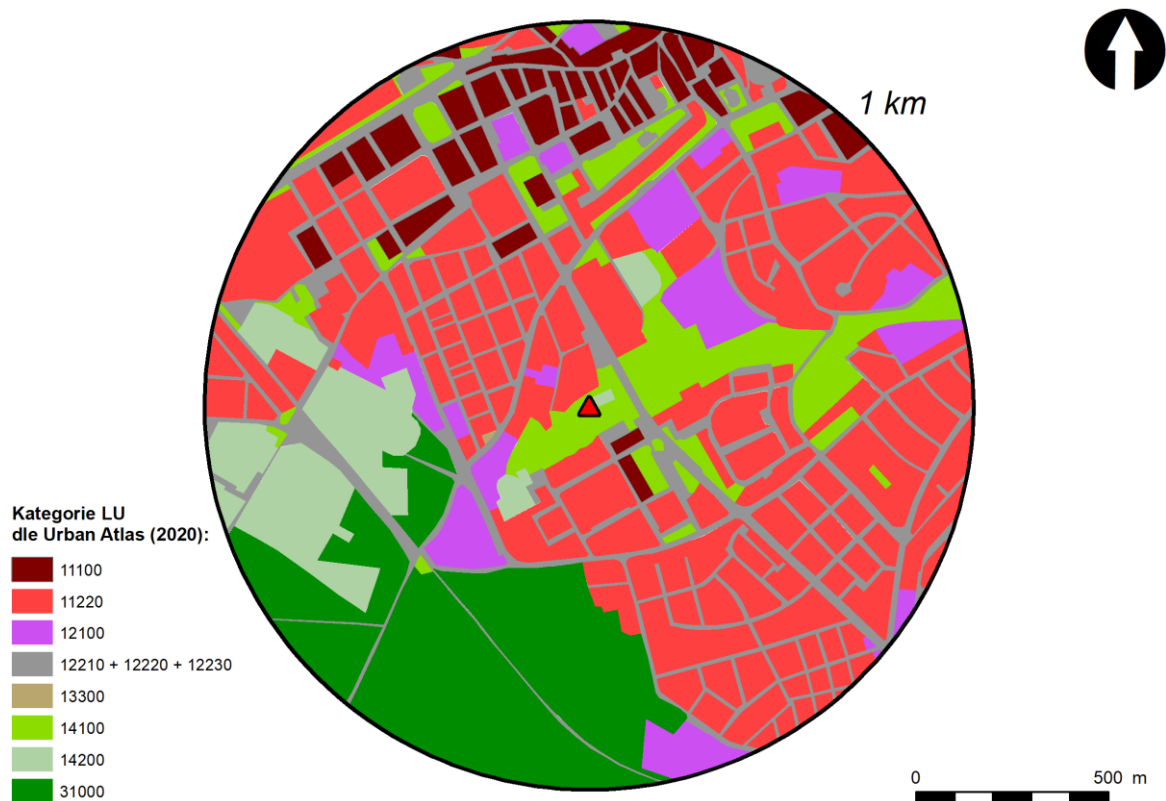
Měřicí stanoviště **Kladno, Habešovna (A)** se nachází uprostřed města (zhruba 69 tisíc obyvatel) v městském parku Sítenské údolí (obr. 75 a 76). Nejbližší zástavbou jsou vily stojící 50 metrů od stanoviště. Park je obklopen zástavbou rodinných domů na severním okraji a zástavbou panelových domů na jižním okraji. Sítenské údolí překlenuje 15 metrů vysoký silniční most. Prostorově nejrozsáhlejším zdrojem světelného znečištění je veřejné osvětlení nad městskou uliční sítí, ale i nad cestami v parku. Nešetrné k nočnímu prostředí je v nejbližším okolí osvětlení čerpací stanice Shell (120 m), areálu pekárny Kompek (350 m), fotbalového stadionu Františka Kloze (600 m) a areálu autobusových garáží (900 m). Výrazně ke vzniku světelného znečištění přispívají také světelné reklamy na fasádách hotelu Kladno (120 m), Všeobecné zdravotní pojišťovny (390 m) a obchodních domů Central (550 m) a Billa (750 m). Mírnějším, avšak velmi rozšířeným, zdrojem světelného znečištění je osvětlení interiérů obytných domů, obchodů a dalších budov (kulturní dům, posluchárny Českého vysokého učení technického).



Obrázek 75 (vlevo): Stanoviště Kladno, Habešovna (A) v Sítenském údolí. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

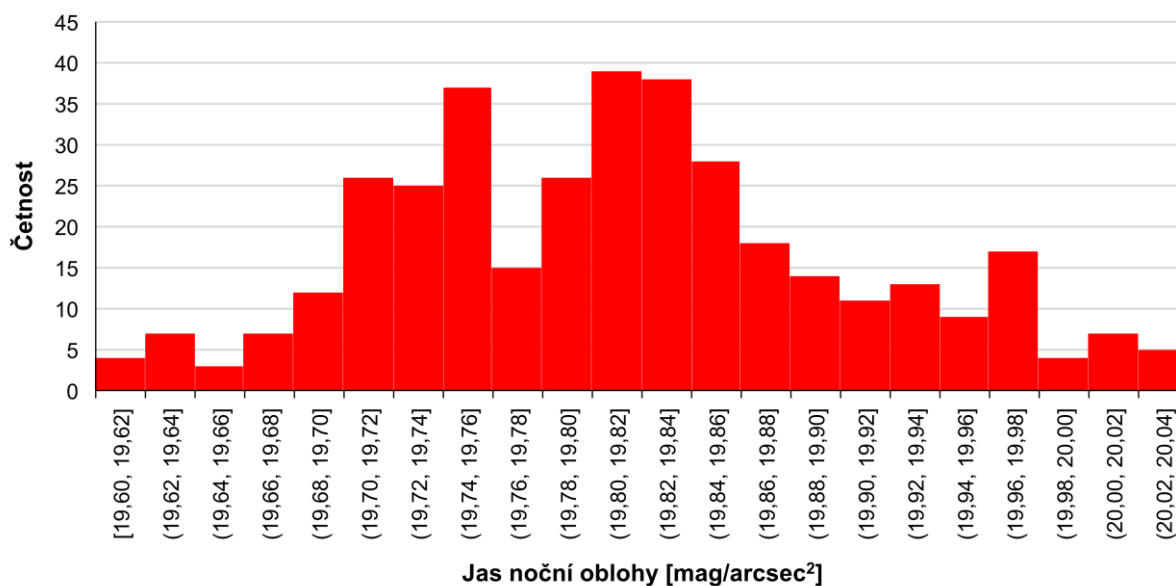
Obrázek 76 (vpravo): Pohled na stanoviště Kladno, Habešovna (A) ze Sítenského mostu. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

Dle vlastní analýzy využití krajiny v okruhu do 1 km okolo měřicího stanoviště (obr. 77), která je založená na vektorizaci leteckých snímků (ČÚZK 2021c), je nejrozšířenější nesouvislá městská zástavba (37,72 % plochy). Dopravní infrastruktura zaujímá 18,57 % plochy a lesy 15,60 % plochy blízkého okolí. Méně než 10 % zabírají kategorie parky a městská zeleň (8,39 %), areály sportovišť (6,85 %), obchodní a průmyslové areály (6,77 %) a souvislá městská zástavba (6,08 %). Staveniště zabírají pouhých 0,02 % plochy.



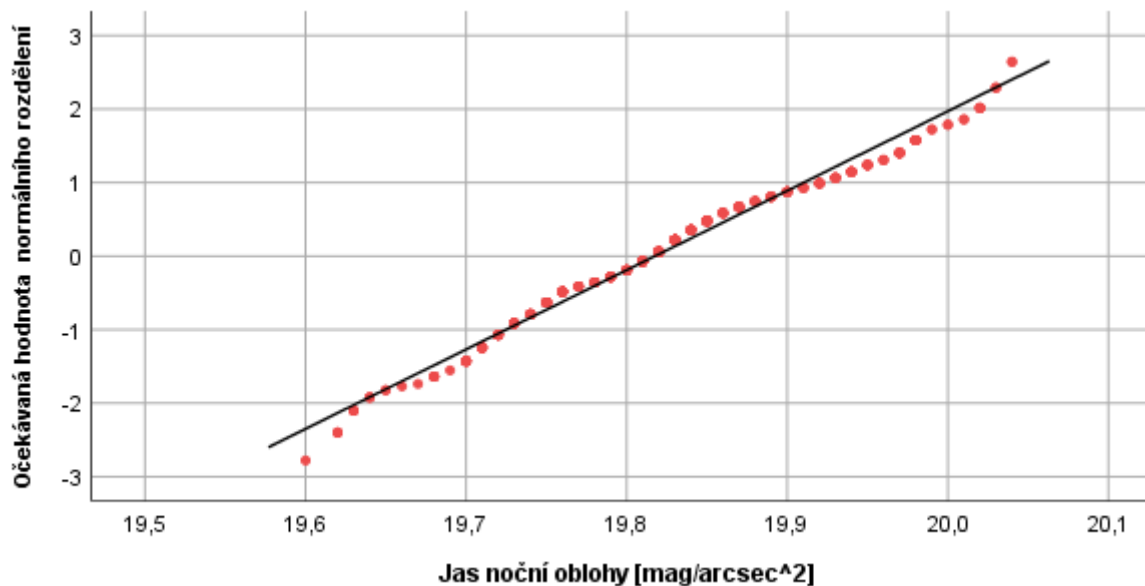
Obrázek 77: Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Kladno, Habešovna (A). Souvislá městská zástavba (11100), nesouvislá městská zástavba (11220), obchodní a průmyslová zástavba (12100), dopravní infrastruktura (12210 + 12220 + 12230), staveniště (13300), parky a městská zeleň (14100), areály sportovišť (14200) a lesy (31000). Vlastní vektorizace autora dle ortofota (ČÚZK 2021c).

Během tří nočních měření bylo na stanovišti Kladno, Habešovna (A) získáno 365 hodnot jasu noční oblohy při stanovených meteorologických a astronomických podmínkách. Jas noční oblohy nabýval hodnot od 19,60 do 20,04 mag/arcsec², rozpětí hodnot činí 0,44 mag/arcsec². Průměrný jas noční oblohy na stanovišti dosahoval 19,82 mag/arcsec². Medián souboru je shodný s průměrem. Nejčastěji zjištěnou hodnotou (*modus*) je 19,83 mag/arcsec². Směrodatná odchylka souboru, tedy průměrná vzdálenost naměřených hodnot od průměru, činí 0,0925 mag/arcsec². Kladný koeficient šikmosti (0,28) poukazuje na koncentraci hodnot v levé části histogramu (obr. 78), nicméně rozložení průměru, mediánu a modu na číselné ose toto zjištění rozporuje. Dle záporného koeficientu špičatosti (-0,34) je rozložení hodnot plošší než v případě normálního rozdělení (tzv. platykurtické rozdělení).



Obrázek 78: Distribuce hodnot jasu noční oblohy ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) na stanovišti Kladno, Habešovna (A). Zpracováno autorem.

Na hladině statistické významnosti $\alpha = 5\%$ byly provedeny dva testy normality souboru dat. Kolmogorovovův-Smirnovův i Shapiro-Wilkův test normality zamítly nulovou hypotézu o normálním rozdělení jasu noční oblohy na stanovišti Kladno, Habešovna (A). Odchyly pozorovaného jasu noční oblohy od normálního rozdělení zobrazuje kvantil-kvantilový graf (obr. 79).

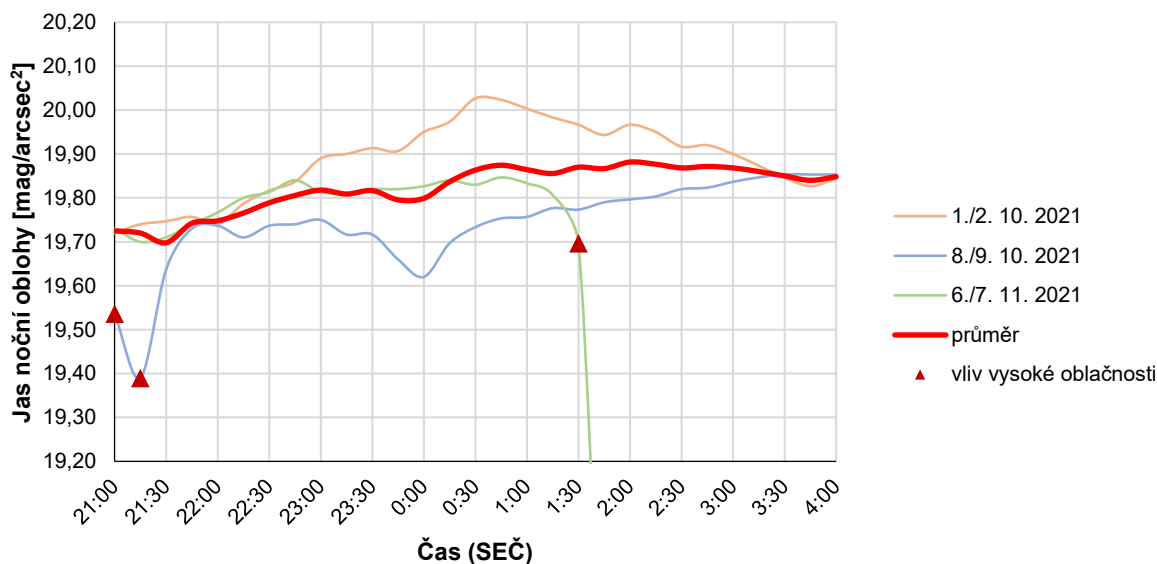


Obrázek 79: Odchyly hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Kladno, Habešovna (A). Zpracováno autorem.

Na stanovišti Kladno, Habešovna (A) proběhla tři úspěšná celonoční měření jasu noční oblohy v zenitu (obr. 80). První celonoční měření proběhlo v noci z 1. na 2. října 2021 mezi 22. a 5. hodinou (příloha 7). Jas oblohy plynule klesal od hodnoty 19,72 mag/arcsec² v 21:00 SEČ a k 20,03 mag/arcsec² v 0:30 SEČ, kdy byl jas oblohy nejnižší. Poté se jas oblohy zvyšoval a hodnoty klesaly až k 19,83 mag/arcsec² téměř u konce měření. Změna jasu noční oblohy se projevila překvapivě symetricky okolo nejnižšího zjištěného jasu v 0:30 SEČ.

Druhé měření proběhlo v noci z 8. na 9. října 2021 mezi 22. a 5. hodinou (příloha 8). Vysoká oblačnost ovlivnila měření jasu v 21:00 SEČ (19,54 mag/arcsec²) a v 21:15 SEČ (19,39 mag/arcsec²), kdy byl detekován vyšší jas oblohy. Poté se již jas oblohy snižoval od 19,64 mag/arcsec² v 21:30 SEČ až do ranních hodin, kdy byl jas oblohy nejnižší – 19,85 mag/arcsec² ve 4:00 SEČ. Výrazné zvýšení jasu bylo zjištěno v 0:00 SEČ, kdy jeho hodnota klesla k 19,62 mag/arcsec². Příčiny této změny však nejsou známy.

Třetí měření se uskutečnilo v noci ze 6. na 7. listopadu 2021 od 21. hodiny (příloha 11). Hodnoty jasu noční oblohy se pozvolna zvyšovaly od 21:15 SEČ (19,70 mag/arcsec²) až do 0:45 SEČ (19,85 mag/arcsec²), kdy jas noční oblohy dosáhl svého minima. Následně začal jas oblohy růst, v 1:30 SEČ se již v zenitu vyskytovala vysoká oblačnost. Po příchodu nízké oblačnosti a poklesu hodnot pod 19 mag/arcsec² bylo měření v 2:00 SEČ předčasně ukončeno.



Obrázek 80: Změny jasu noční oblohy v zenitu na stanovišti Kladno, Habešovna (A). Zpracováno autorem.

8.2 Příměstská krajina

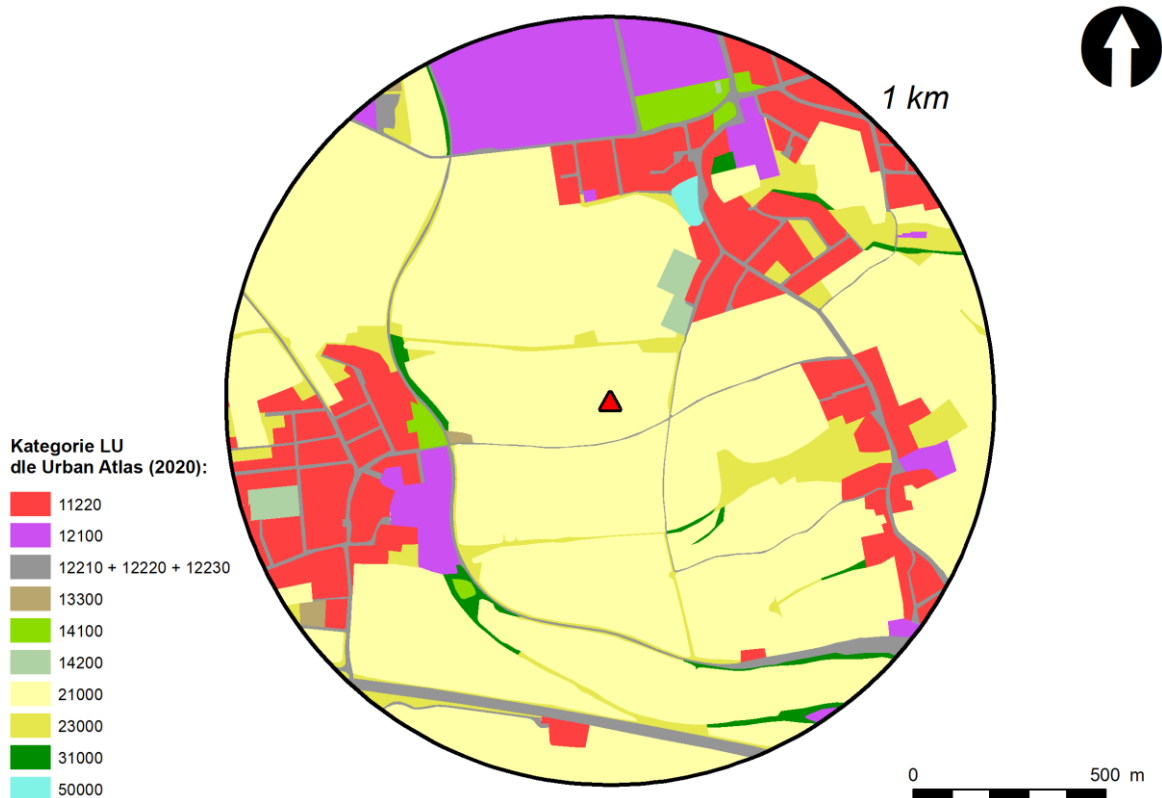
Měřicí stanoviště **Velké Přítočno, Na Radkovech (B)** se nachází v zázemí města Kladna (obr. 81 a 82), které je charakterizováno mozaikou zemědělské půdy, obytné zástavby a průmyslových areálů. Stanoviště stojí na orné půdě v trojúhelníku mezi obcemi Malé Přítočno (255 obyvatel), Pletený Újezd (621 obyvatel) a Velké Přítočno (1038 obyvatel). Nejbližší stanoviště se nachází zástavba Velkého Přítočna (350 m), která je tvořena zejména jedno- a dvoupodlažními rodinnými domy. Blízkým zdrojem světelného znečištění je veřejné osvětlení a osvětlení interiérů domů ve vyjmenovaných obcích. Výrazným způsobem narušuje noční prostředí oslňující bezpečnostní osvětlení na fasádách podniků Aerosol (500 m) v Pleteném Újezdě, LEGO Production (750 m), Hanon Systems Thermal Production (900 m) a pekárny La Lorraine (1100 m) na jižním okraji Kladna. Světlomety aut projíždějících na nedaleké silnici I/61 a dálnici D6 nejsou v nočních hodinách výrazným zdrojem světelného znečištění. Na severu až severozápadě rozjasňuje noční oblohu záře produkovaná městem Kladnem. Intenzivní světelné znečištění lze pozorovat východním až jihovýchodním směrem nad Prahou.



Obrázek 81 (vlevo): Stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B) od východu. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

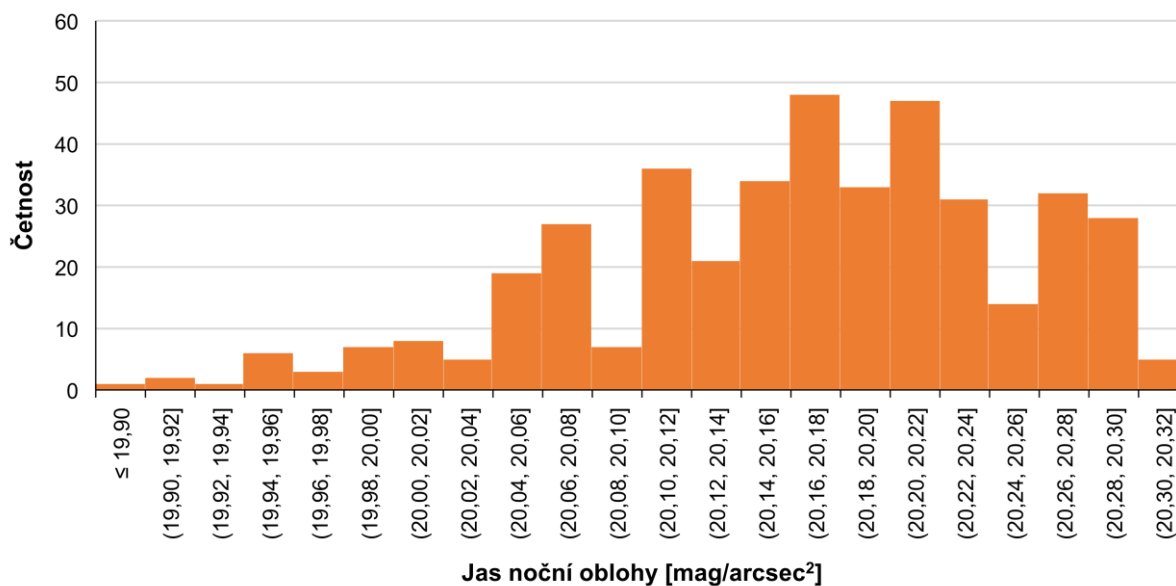
Obrázek 82 (vpravo): Stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B) od jihovýchodu. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

Většinu plochy v okruhu do 1 km okolo měřicího stanoviště (obr. 83) zaujímá orná půda (61,43 %). Velkou část území zabírá také nesouvislá městská zástavba (14,82 %). Na 8,21 % území se rozkládají obchodní a průmyslové plochy, na 6,15 % travní porosty a pastviny a na 5,89 % dopravní infrastruktura. Méně než 5 % blízkého okolí stanoviště zabírají lesy a skupiny dřevin (1,20 %), parky a městská zeleň (1,08 %), areály sportovišť (0,79 %), staveniště (0,22 %) a vodní plochy (0,21 %).



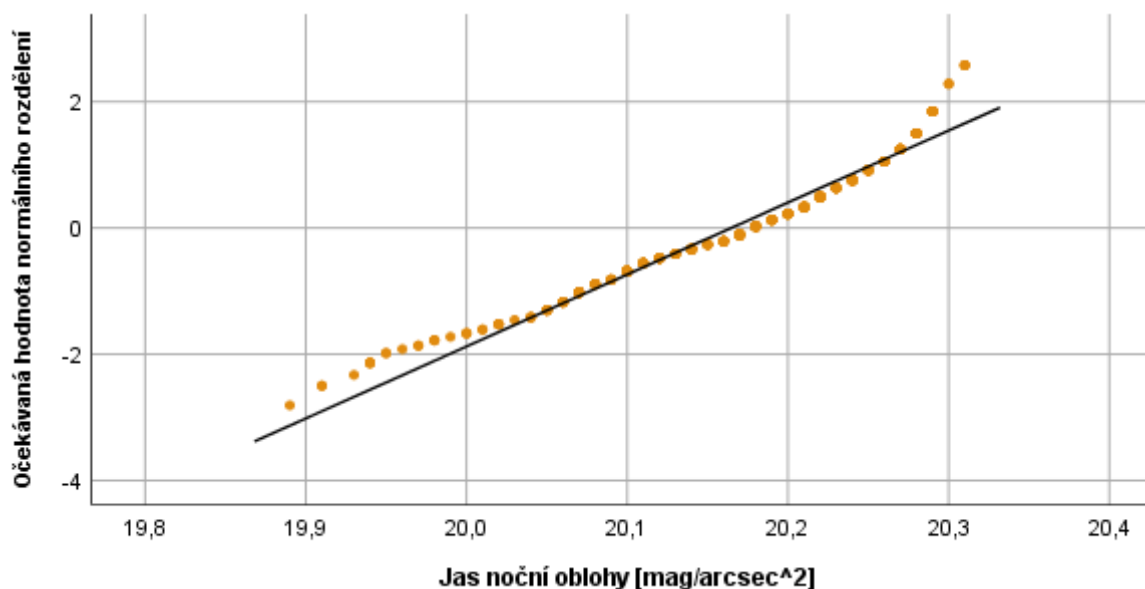
Obrázek 83: Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B). Nesouvislá městská zástavba (11220), obchodní a průmyslová zástavba (12100), dopravní infrastruktura (12210 + 12220 + 12230), staveniště (13300), parky a městská zeleň (14100), areály sportovišť (14200), orná půda (21000), travní porosty a pastviny (23000), lesy a skupiny dřevin (31000) a vodní plochy (50000). Vlastní vektorizace autora dle ortofota (ČÚZK 2021c).

Na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B) bylo během tří nocí získáno 400 hodnot jasu noční oblohy, které vyhovují stanoveným měřicím podmínkám. Jas noční oblohy se v příměstské krajině pohyboval v rozpětí od 19,89 do 20,31 mag/arcsec². Rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty je 0,42 mag/arcsec². Průměrný jas oblohy činil 20,16 mag/arcsec², medián 20,18 mag/arcsec² a modus 20,22 mag/arcsec². Směrodatná odchylka souboru je rovna 0,0876 mag/arcsec², což je průměrná vzdálenost naměřených hodnot od průměru. Situace, kdy je medián vyšší než průměr a modus je vyšší než medián, poukazuje na levostrannou asymetrii dat – hodnoty jsou v histogramu koncentrované do pravé části (obr. 84). Tuto asymetrii dat potvrzuje i záporný koeficient šikmosti (-0,60). Záporný koeficient špičatosti (-0,15) poukazuje na plošší rozdělení, než je rozdělení normální (tzv. platykurtické rozdělení).



Obrázek 84: Distribuce hodnot jasu noční oblohy ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B). Zpracováno autorem.

Normalita dat ze stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B) byla testována na hladině statistické významnosti $\alpha = 5\%$. Na základě výsledků Kolmogorovova-Smirnovova a Shapiro-Wilkova testu byla zamítnuta nulová hypotéza o normálním rozdělení hodnot jasu noční oblohy. Kvantil-kvantilový graf (obr. 85) zachycuje odchylky souboru dat od normálního rozdělení.

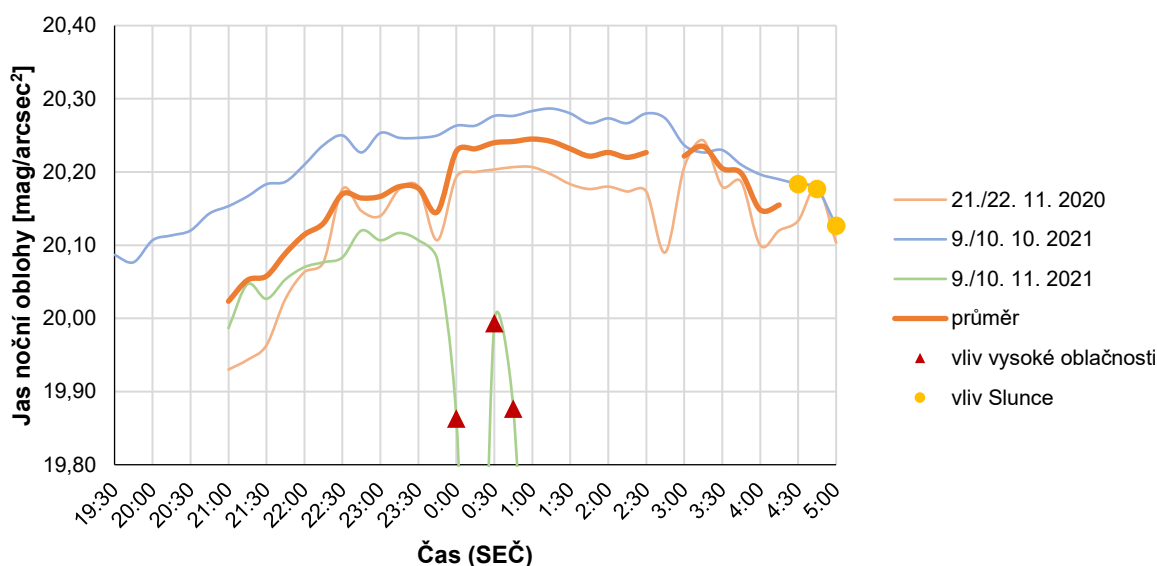


Obrázek 85: Odchylky hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B). Zpracováno autorem.

Na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B) byla provedena tři úspěšná celonoční měření jasů oblohy v zenitu (obr. 86). První měření proběhlo v noci z 21. na 22. listopadu 2020 mezi 21. a 5. hodinou (příloha 6). Výsledky měření poukazují na velice rozkolísaný vývoj jasů noční oblohy, nicméně mezi 21:00 SEČ a 0:00 SEČ lze pozorovat výrazné snížení jasů oblohy (od 19,93 mag/arcsec² k 20,19 mag/arcsec²). Mezi 0:00 SEČ a 5:00 SEČ vykazuje jas oblohy mírný nárůst (od 20,19 mag/arcsec² k 20,10 mag/arcsec²).

Měření v noci z 9. na 10. října 2021 začalo již ve 20:30 letního času (příloha 9), brzy po skončení astronomického soumraku v 20:12. Jas noční oblohy vykazoval výrazný pokles od 19:30 SEČ (20,09 mag/arcsec²) do zhruba 22:30 SEČ (20,25 mag/arcsec²), pak jas oblohy klesal mírnějším tempem až do 1:15 SEČ (20,29 mag/arcsec²), kdy byla zjištěn nejnižší jas. Dále se projevoval rostoucí trend jasů až k 20,19 mag/arcsec² v 4:15 SEČ. V následujících 45 minutách jas oblohy stále rostl, nicméně měření již byla ovlivněna začínajícím astronomickým rozbřeskem, kdy Slunce vystoupalo nad 18° pod obzor. Chod jasů noční oblohy prokázal symetrii okolo nejnižší hodnoty jasů 20,29 mag/arcsec² v 1:15 SEČ.

Třetí celonoční měření jasů oblohy v zenitu proběhlo v noci z 9. na 10. listopadu 2021 (příloha 12). Mezi 21:00 SEČ (19,99 mag/arcsec²) a 23:15 SEČ (20,12 mag/arcsec²) vykazoval jas oblohy klesající trend, poté začal jas opět mírně růst. Výrazný pokles hodnot jasů pod 20 mag/arcsec² způsobil průchod vysoké oblačnosti. Vzhledem ke zhoršení meteorologických podmínek muselo být měření v 1:00 SEČ ukončeno.



Obrázek 86: Změny jasů noční oblohy v zenitu na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B). Zpracováno autorem.

8.3 Venkovská krajina

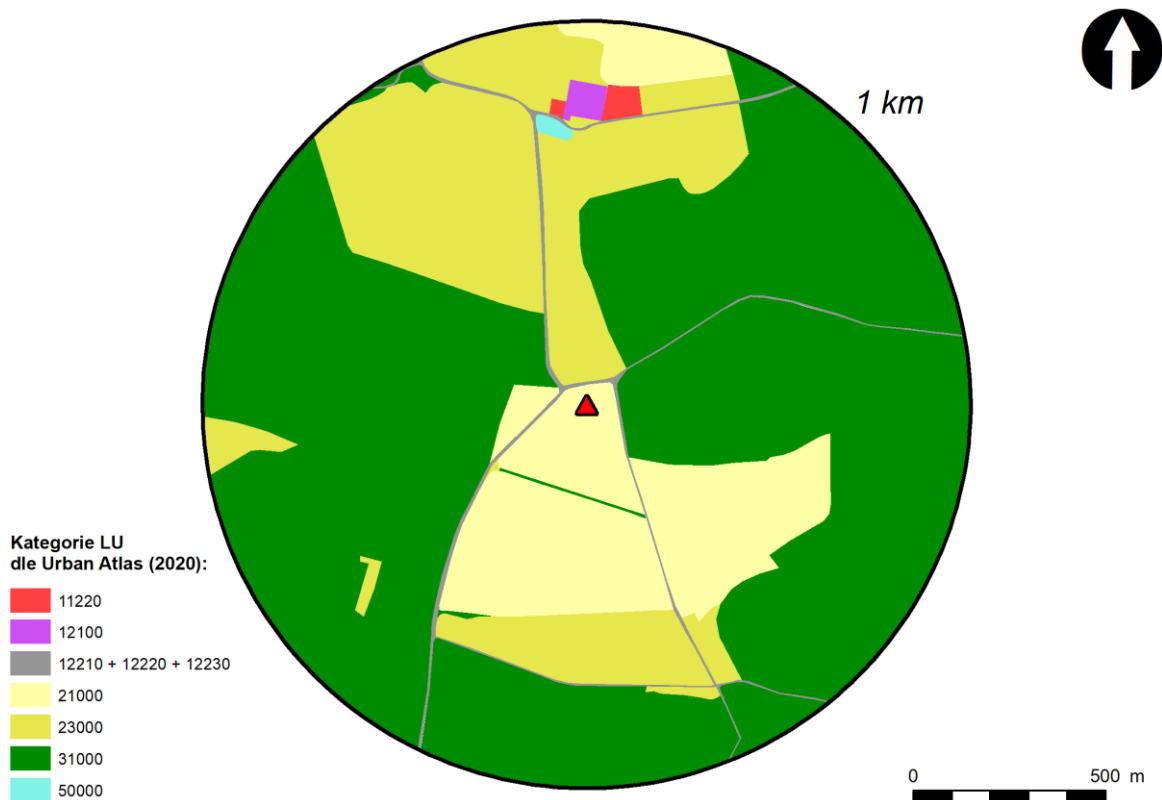
Měřicí stanoviště **Lhota, Na Bukovkách (C)** je vzdálené 9 km jihozápadním směrem od kladenské části Rozdělův (obr. 87 a 88). Stanoviště se nachází v sedle mezi vrchem Nové Mýto (467 m n. m.) a Žilinským vrchem (469 m n. m.) v Křivoklátské vrchovině. Měřicí lokalita se nachází na orné půdě a je téměř ze všech stran obklopena lesem. Osada Ploskov (710 m) je nejbližším zdrojem místního světelného znečištění. Vzhledem k tomu, že se v Ploskově nachází pouze osm adresních bodů a několik lamp veřejného osvětlení, nejde o příliš významný zdroj světelného znečištění. Nejbližší obce Lhota (660 obyvatel) a Žilina (859 obyvatel), které produkují více umělého světla, leží zhruba 2,5 km východním směrem od lokality. Pouhým okem lze rozeznat slabou světelnou záři nad severním obzorem, kterou produkují obce na ose Nové Strašecí – Stochov – Kladno. Přímo na východě mírně rozjasňuje noční oblohu nad horizontem Praha. Na jihu narušuje tmavou noční oblohu pouze červené orientační světlo vysílače na vrchu Krchůvek (472 m).



Obrázek 87 (vlevo): Stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) od jihu. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

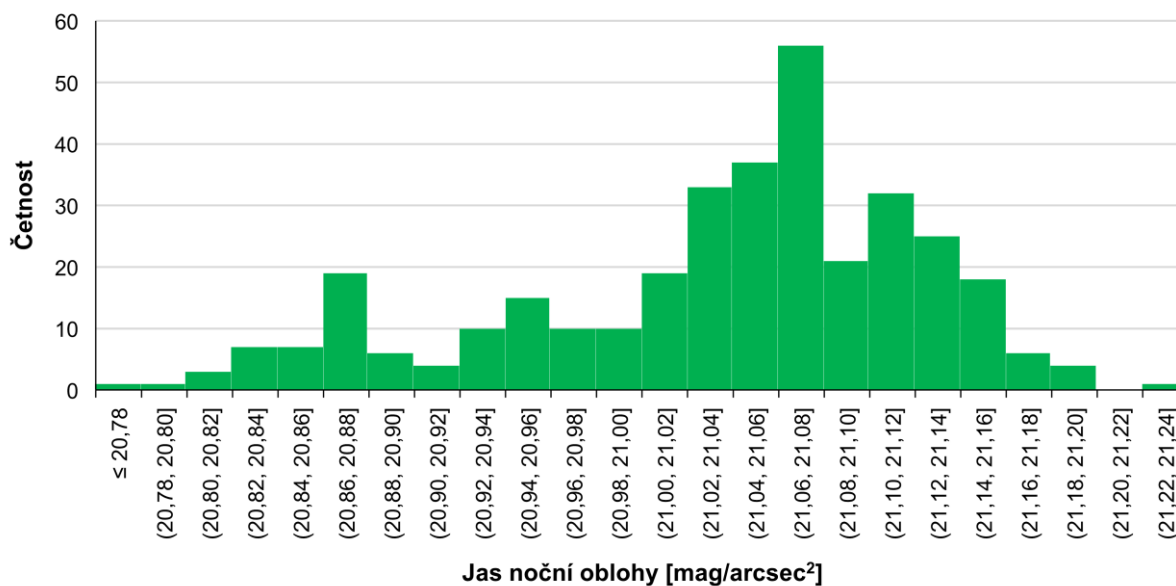
Obrázek 88 (vpravo): Stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) od západu. Umístění měřicí aparatury označeno červeným křížkem. Vyfotografováno autorem.

Okolí měřicího stanoviště (obr. 89) je v okruhu do 1 km pokryto převážně lesy (63,05 %). Významnými krajinnými složkami v okolí jsou pastviny a travní porosty (20,70 %) a orná půda (14,17 %). Malý podíl okolí zaujímá dopravní infrastruktura (1,36 %), nesouvislá městská zástavba (0,30 %), obchodní a průmyslové areály (0,30 %) a vodní plochy (0,13 %).



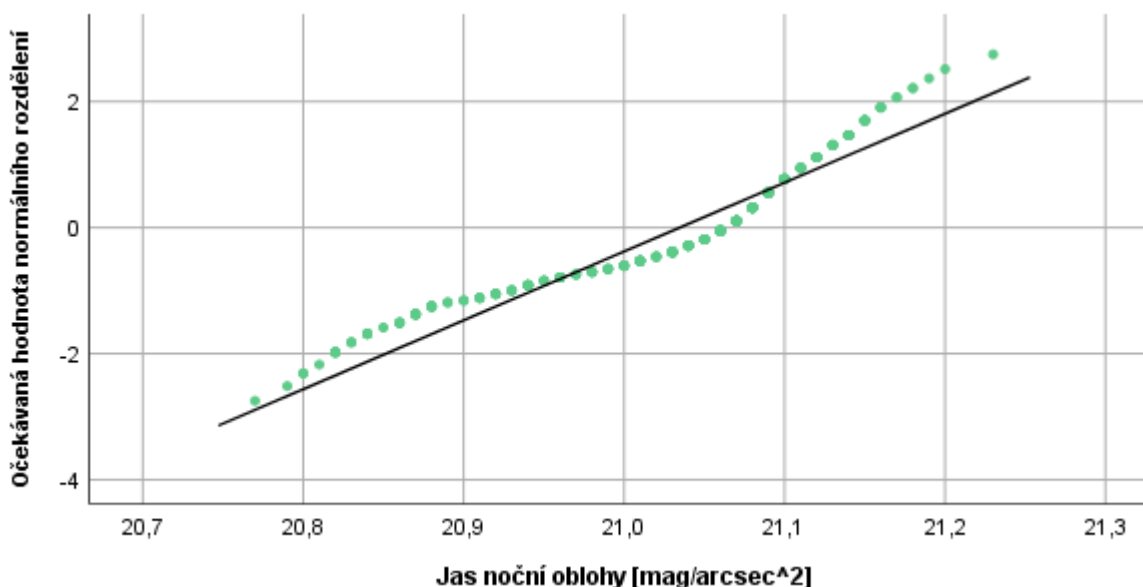
Obrázek 89: Využití krajiny v okruhu do 1 km od stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C). Nesouvislá městská zástavba (11220), obchodní a průmyslová zástavba (12100), dopravní infrastruktura (12210 + 12220 + 12230), orná půda (21000), travní porosty a pastviny (23000), lesy a skupiny dřevin (31000) a vodní plochy (50000). Vlastní vektorizace autora dle ortofota (ČÚZK 2021c).

Jas oblohy byl na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C) kvantifikován během dvou nocí, kdy měřicí podmínky umožnily další zpracování získaných hodnot. Celkem bylo získáno 335 hodnot jasu noční oblohy. Jas noční oblohy nabýval hodnot od 20,77 do 21,23 mag/arcsec². Rozpětí souboru hodnot je 0,46 mag/arcsec². Průměrná hodnota jasu oblohy je 21,06 mag/arcsec², uprostřed datového souboru (*medián*) se nachází hodnota 21,06 mag/arcsec² a nejčastěji zastoupenou hodnotou (*modus*) je 21,08 mag/arcsec². Směrodatná odchylka je rovna 0,0914 mag/arcsec². Záporný koeficient šikmosti (-0,89) poukazuje na levostrannou asymetrii dat, hodnoty se tedy koncentrují do pravé části histogramu (obr. 90). Ve shodě je i rozložení průměru, mediánu a modu na číselné ose, kdy je průměr nejnížší a modus nejvyšší hodnotou. Špičatost rozdělení datového souboru je srovnatelná s normálním rozdělením, koeficient špičatosti je roven -0,04.



Obrázek 90: Distribuce hodnot jasu noční oblohy ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C). Zpracováno autorem.

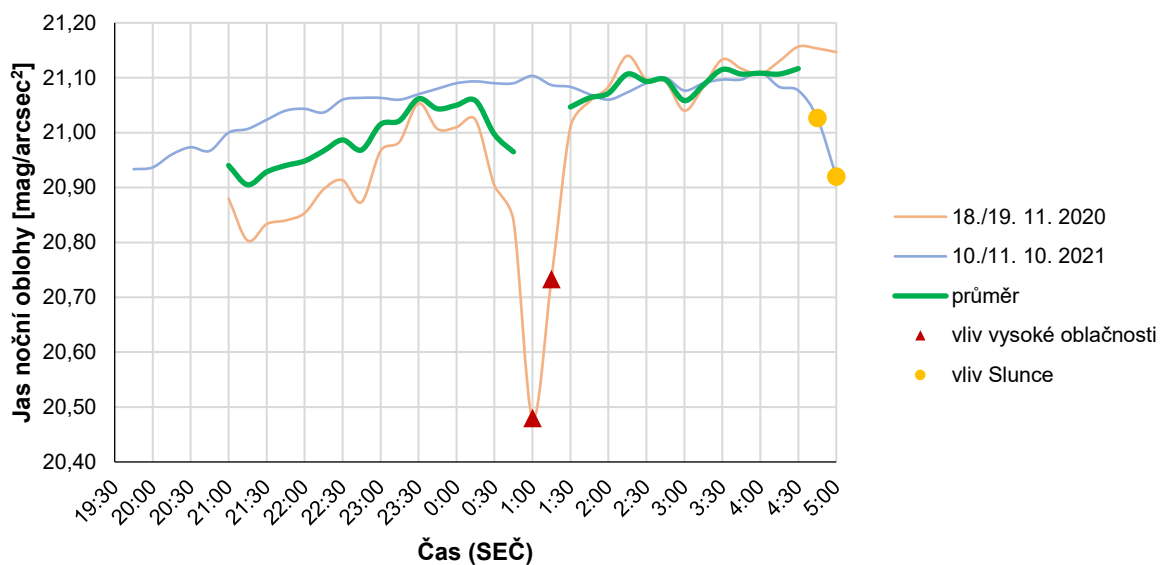
Na hladině statistické významnosti $\alpha = 5\%$ byly provedeny dva testy normality rozložení hodnot jasu noční oblohy ze stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C). Po aplikaci Kolmogorovova-Smirnovova a Shapiro-Wilkova testu normality byla zamítnuta nulová hypotéza o normálním rozdělení dat jasu oblohy. Odchyly rozložení hodnot jasu oblohy od normálního rozdělení zobrazuje přiložený kvantil-kvantilový graf (obr. 91).



Obrázek 91: Odchyly hodnot jasu noční oblohy od normálního rozdělení na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C). Zpracováno autorem.

Na měřicím stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C) proběhla dvě úspěšná celonoční měření jasu oblohy v zenitu (obr. 92). První měření se uskutečnilo v noci z 18. na 19. listopadu 2020 (příloha 5). Výsledky přinesly relativně rozkolísaný chod jasu noční oblohy, nicméně je rozeznatelný mírně klesající trend jasu mezi 21:00 SEČ (20,88 mag/arcsec²) a 5:00 SEČ (21,15 mag/arcsec²). Nejnižší jas oblohy byl detekován v 4:30 SEČ (21,16 mag/arcsec²). Pozvolné klesání jasu oblohy přerušil přechod vysoké oblačnosti, které mezi 1:00 a 1:15 SEČ způsobilo zvýšení jasu až k 20,48 mag/arcsec²).

Druhé celonoční měření proběhlo v noci z 10. na 11. října 2021 (příloha 10). Měření bylo zahájeno ve 20 hodin a 45 minut letního času. Jas noční oblohy pozvolně klesal od 19:45 SEČ (20,93 mag/arcsec²) do zhruba 0:00 SEČ (21,09 mag/arcsec²), kdy se ustálil. Až do 4:30 SEČ nevykazoval jas oblohy žádný trend, jeho hodnoty se pohybovaly mezi 21,06 a 21,11 mag/arcsec². Po 4:30 SEČ došlo k zvýšení jasu oblohy, které bylo způsobeno astronomickým rozbřeskem.



Obrázek 92: Změny jasu noční oblohy v zenitu na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C). Zpracováno autorem.

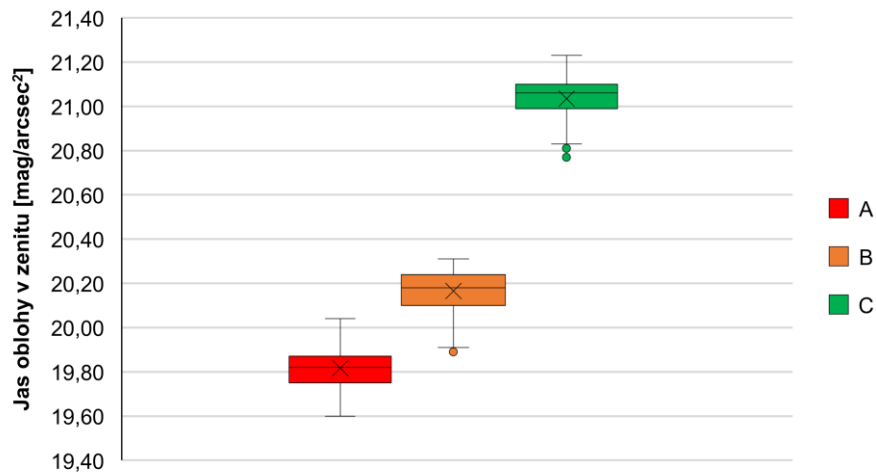
8.4 Statistické rozdíly

Porovnání statistických charakteristik jasu noční oblohy ze všech tří stanovišť umožňuje tabulka 3. Rozložení hodnot jasu je graficky znázorněno pomocí krabicových grafů (obr. 93).

Nejjasnější noční oblohu lze pozorovat přirozeně v městské krajině. Na stanovišti Kladno, Habešovna (A) byl detekován jas noční oblohy v rozmezí od 19,60 do 20,04 mag/arcsec² s průměrnou hodnotou 19,82 mag/arcsec². Nižším jasem se vyznačuje příměstská krajina, kde byl zjištěn jas noční oblohy v rozmezí od 19,89 do 20,31 mag/arcsec². Průměrný jas na stanovišti Velké Přítočno, Na Radkovech (B) činil 20,16 mag/arcsec² a byl tedy o 27,36 % nižší než v městské krajině. Nejtemnější noční obloha byla pozorována na stanovišti Lhota, Na Bukovkách (C) ve venkovské krajině. Hodnoty jasu se pohybovaly v rozmezí od 20,77 do 21,23 mag/arcsec². Průměrný jas na stanovišti byl roven 21,03 mag/arcsec². Jedná se tedy o 55,12 % nižší jas než v příměstské krajině a o 67,40 % nižší jas než v městské krajině. Rozpětí hodnot jasu bylo na všech stanovištích srovnatelné (od 0,42 do 0,46 mag/arcsec²), nicméně po přepočtu na dekadickou stupnici se největším rozpětím hodnot vyznačuje městská krajina (0,52 mcd/m²), nejmenším rozpětím pak venkovská krajina (0,18 mcd/m²). Podíl nejvyššího a nejnižšího jasu je na všech stanovištích vyrovnaný a činí zhruba 150 %.

Charakteristika	Typ krajiny (stanoviště)					
	Městská (A)		Příměstská (B)		Venkovská (C)	
Počet hodnot (n)	365		400		335	
	Charakteristiky polohy [mag/arcsec ² → mcd/m ²]					
Minimum (x _{min})	19,60	1,56	19,89	1,20	20,77	0,53
Dolní kvartil (x _{0,25})	19,75	1,36	20,10	0,98	20,99	0,43
Aritmetický průměr (\bar{x})	19,82	1,28	20,16	0,93	21,03	0,42
Medián (\tilde{x})	19,82	1,27	20,18	0,92	21,06	0,41
Modus (\hat{x})	19,83	1,26	20,22	0,88	21,08	0,40
Horní kvartil (x _{0,75})	19,87	1,22	20,24	0,87	21,10	0,39
Maximum (x _{max})	20,04	1,04	20,31	0,81	21,23	0,35
	Charakteristiky variability [mag/arcsec ² → mcd/m ²]					
Rozpětí (R)	0,44	0,52	0,42	0,38	0,46	0,18
Mezikvartilové rozpětí (R _q)	0,12	0,14	0,14	0,12	0,11	0,04
Směrodatná odchylka (s)	0,0925		0,0876		0,0914	
Rozptyl (s ²)	0,0086		0,0077		0,0084	
Variační koeficient (k)	0,0047		0,0043		0,0043	
Střední chyba průměru (s _x)	0,0048		0,0044		0,0050	
	Charakteristiky tvaru					
Koeficient šikmost (g ₁)	0,28		-0,60		-0,89	
Koeficient špičatosti (g ₂)	-0,34		-0,15		-0,04	

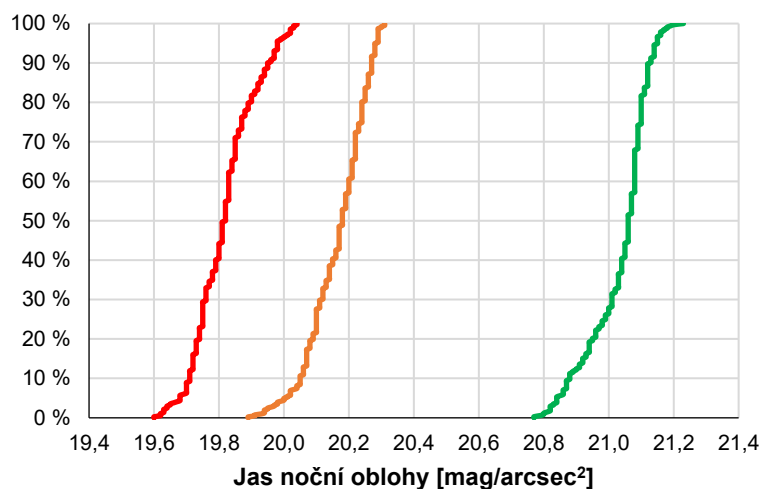
Tabulka 3: Statistické charakteristiky jasu noční oblohy na stanovištích. Hodnoty jasu přepočítané na stupnici v mcd/m² jsou zvýrazněny kurzívou. Zpracováno autorem.



Obrázek 93: Srovnání hodnot jasu noční oblohy v městské (A), příměstské (B) a venkovské (C) krajině. Zpracováno autorem.

Koncentrace hodnot jasu, kterou popisuje rozptyl, je srovnatelná ve všech typech prostředí. Rovnost rozptylů souborů dat je dále v textu ověřována pomocí F testů. Nejvyšší koncentrace hodnot okolo průměru byla zjištěna v příměstské krajině, kde je směrodatná odchylka rovna $0,0876 \text{ mag/arcsec}^2$. Naopak nejnižší koncentrací hodnot okolo průměru se vyznačuje městská krajina, kde je směrodatná odchylka rovna $0,0925 \text{ mag/arcsec}^2$. Nejvyšší symetrií se vyznačují hodnoty jasu získané v městské krajině, jejichž koeficient šikmosti je roven $0,28$. Nejbližše normálnímu rozdělení z hlediska špičatosti má rozdělení dat z venkovské krajiny, kdy je koeficient špičatosti roven $-0,04$.

Pravděpodobnosti výskytu hodnot jasu noční oblohy v mag/arcsec^2 za dodržení astronomických a meteorologických ve všech typech prostředí zachycují empirické distribuční funkce v příloženém grafu (obr. 94).



Obrázek 94: Empirické distribuční funkce jasu noční oblohy v městské (A), příměstské (B) a venkovské (C) krajině. Zpracováno autorem.

Rovnost rozptylů jasu noční oblohy byla ověřena pomocí F testu pro dvojice městské a příměstské krajiny (A–B), příměstské a venkovské krajiny (B–C) a venkovské a městské krajiny (C–A), viz tabulku 4. Ve všech případech p-hodnota převyšuje hladinu významnosti α a pravděpodobnost testové statistiky padla od intervalu mezi $\alpha/2$ a $1-\alpha/2$. Nulová hypotéza tak nebyla zamítnuta. Přijetím nulové hypotézy pro všechny dvojice byla **potvrzena rovnost rozptylů** jasu noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině.

Dvojice souborů dat	A–B	B–C	C–A
Hladina statistické významnosti (α)	0,05	0,05	0,05
p-hodnota (p)	0,2887	0,4152	0,8278
Výsledek testu	$p > \alpha/2$	$p > \alpha/2$	$p > \alpha/2$

Tabulka 4: Testování shody rozptylů souborů dat. Zpracováno autorem.

Rovnost průměrného jasu noční oblohy byla ověřena pomocí Studentova T testu pro dvojice městské a příměstské krajiny (A–B), příměstské a venkovské krajiny (B–C) a venkovské a městské krajiny (C–A), viz tabulku 5. Ve všech případech je p-hodnota menší než hladina významnosti α , respektive $\alpha/2$ pro oboustranný test. Nulovou hypotézu lze tedy pro všechny dvojice zamítnout a přijmout alternativní hypotézu o nerovnosti průměrů. Mezi průměrným jasem noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině **existuje statisticky významný rozdíl**. Nutné je ovšem poznamenat, že hodnoty jasu oblohy ve venkovské krajině se neprolínají s hodnotami jasu ve městské a příměstské krajině. Není proto důvodné podezření na rovnost průměrné hodnoty jasu dvojic B–C a C–A.

Dvojice souborů dat	A–B	B–C	C–A
Hladina statistické významnosti (α)	0,05	0,05	0,05
p-hodnota (p)	4,1199E-259	0,00	0,00
Výsledek testu	$p < \alpha/2$	$p < \alpha/2$	$p < \alpha/2$

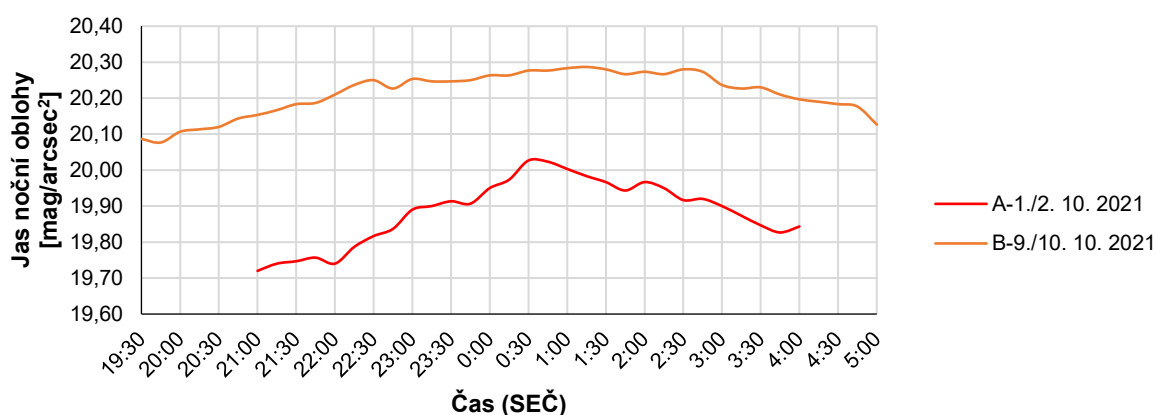
Tabulka 5: Testování shody průměrů souborů dat. Zpracováno autorem.

8.5 Změny jasu oblohy během noci

8.5.1 Chod jasu noční oblohy

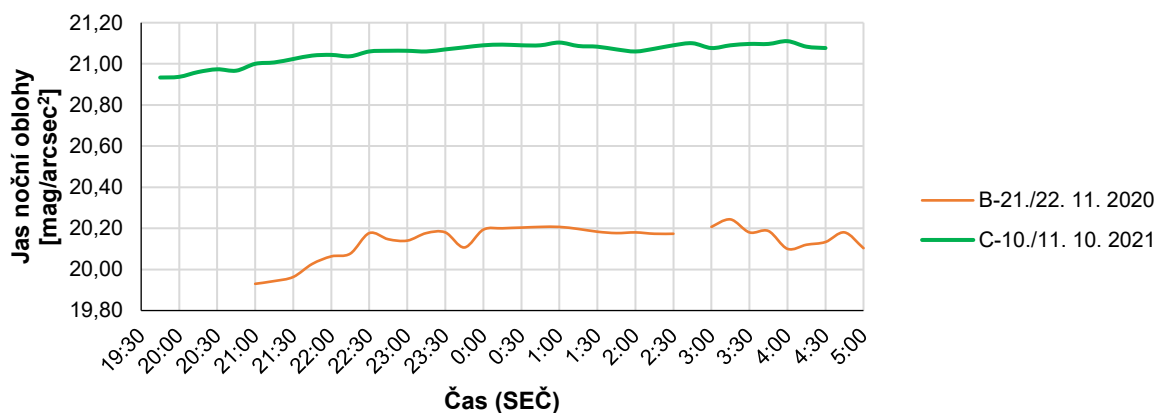
Na třech měřicích stanovištích byly identifikovány tři rozdílné typy chodu jasu noční oblohy v zenitu. Charakteristický je pro všechna provedená měření pokles jasu noční oblohy v první části noci do zhruba 1:00 SEČ.

První typ (obr. 95) chodu jasu noční oblohy se vyznačuje poklesem jasu v první části noci až k minimu okolo 1:00 SEČ s následujícím plynulým nárůstem až do ranních hodin. Popsaný chod jasu vykazuje jistou symetrii okolo hodnoty nejnižšího jasu. První typ se projevil při měřeních A-1./2. 10. 2021 a B-9./10. 10. 2021.



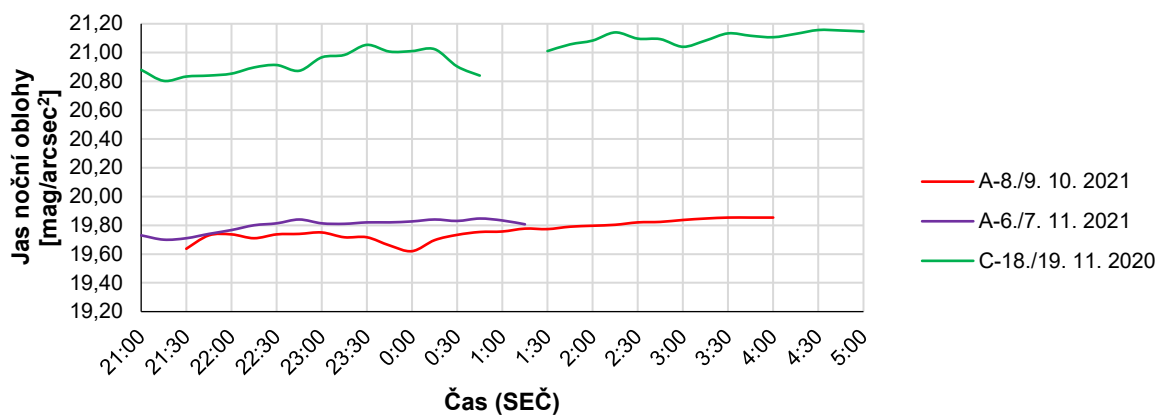
Obrázek 95: První typ chodu jasu noční oblohy. Zpracováno autorem.

Druhý typ (obr. 96) chodu jasu noční oblohy je charakteristický poklesem v první části noci až do zhruba 1:00 SEČ, kdy dosáhne svého minima. V druhé části noci jas oblohy stagnuje (měření C-10./11. 10. 2021), popřípadě mírně klesá (měření B-21./22. 11. 2020). Výraznější pokles jasu oblohy byl pozorován v příměstské krajině (B-21./22. 11. 2020) oproti venkovské krajině.



Obrázek 96: Druhý typ chodu jasu noční oblohy. Zpracováno autorem.

Třetí typ (obr. 97) se vyznačuje pozvolným poklesem jasu noční oblohy od večera až do ranních hodin. Nejnižší jas oblohy je detekován brzy ráno před začátkem astronomického rozbřesku. Třetí typ chodu jasu byl identifikován při měřeních A-8./9. 10. 2021 a C-18./19. 11. 2020. Stejný vývoj jasu lze předpokládat i při měření A-6./7. 11. 2021, kdy došlo v 1:30 SEČ k náhlému zatažení oblohy.

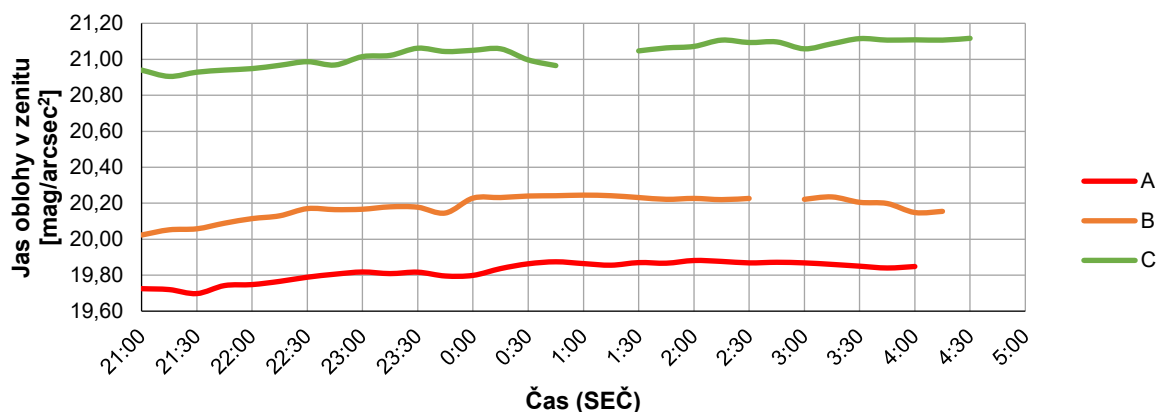


Obrázek 97: Třetí typ chodu jasu noční oblohy. Zpracováno autorem.

Souvislost mezi charakterem měřicího stanoviště, intenzitou světelného znečištění a chodem jasu noční oblohy se neprojevila. K měření B-9./10. 11. 2021 nebyl vzhledem k brzkému ukončení přiřazen žádný z uvedených typů chodu jasu noční oblohy.

8.5.2 Intenzita změn jasu noční oblohy

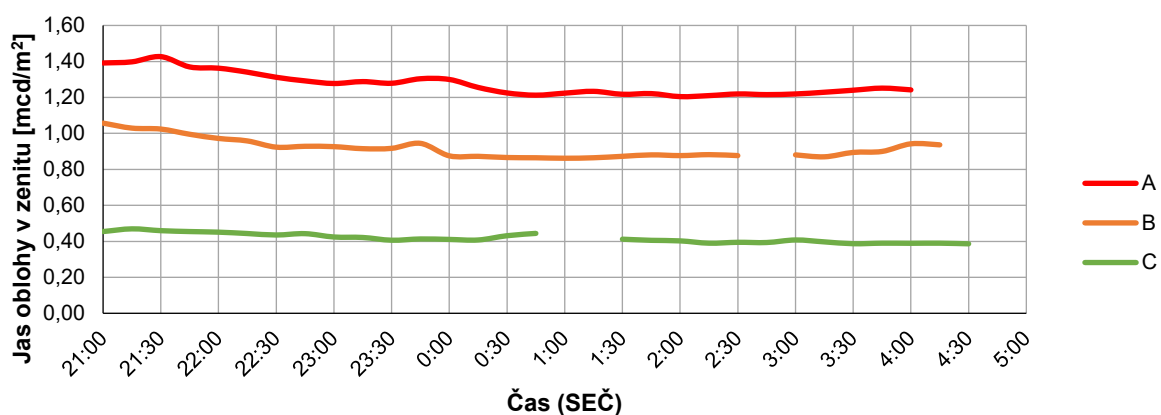
Porovnat průměrné změny jasu noční oblohy v zenitu na třech stanovištích umožňuje přiložený graf (obr. 98). S ohledem na obtížnou interpretaci změn jasu v mag/arcsec^2 byly jeho hodnoty přepočteny na stupnici mcd/m^2 , která je dekadická. Chod jasu oblohy v zenitu v mcd/m^2 byl znázorněn v následujícím grafu (obr. 99).



Obrázek 98: Průměrná změna jasu noční oblohy na stanovištích (mag/arcsec^2). Zpracováno autorem.

Přirozeně nejnižší jas noční oblohy byl zjištěn ve venkovském prostředí. Vyšším jsem se vyznačuje příměstská krajina, nejvyšším pak městská krajina (obr. 99, tab. 3). Průměrný vývoj jasu noční oblohy vykazuje podobnost na stanovištích Kladno, Habešovna (A) a Velké Přítočno, Na Radkovech (B). Jas na obou stanovištích vykazuje klesající trend do zhruba 0:30 SEČ, poté se neprojevuje žádný výrazný trend a po 3:00 SEČ začíná jas mírně růst. Mezi 21:00 SEČ a 0:30 SEČ poklesl jas oblohy o 11,96 % (z 1,39 na 1,22 mcd/m²) v městském prostředí a o 18,09 % (z 1,06 na 0,87 mcd/m²) v příměstském prostředí. Ranní nárůst jasu mezi 3:00 SEČ a 4:00 SEČ se projevil výrazněji v příměstském prostředí – jas vzrostl o 6,99 % (z 0,88 na 0,94 mcd/m²). V městském prostředí vzrostl jen o 1,86 % (z 1,22 na 1,24 mcd/m²). Pozoruhodná je také anomálie krátkodobého vzrůstu a opětovného poklesu jasu před půlnocí, která se projevila v městském (nárůst o 1,96 % – z 1,28 na 1,30 mcd/m²) i příměstském prostředí (nárůst o 3,01 % - 0,92 na 0,94 mcd/m²).

Odlišné chování chodu jasu noční oblohy se projevuje ve venkovském prostředí. Během celé noci jas oblohy pozvolna klesá bez významnějších výkyvů. Pro porovnání – mezi 21:00 SEČ a 0:30 SEČ klesl jas oblohy o 8,10 % (z 0,45 na 0,43 mcd/m²). Během celé noci (mezi 21:00 SEČ a 4:00 SEČ) pak jas poklesl 14,36 % (z 0,45 na 0,39 mcd/m²).



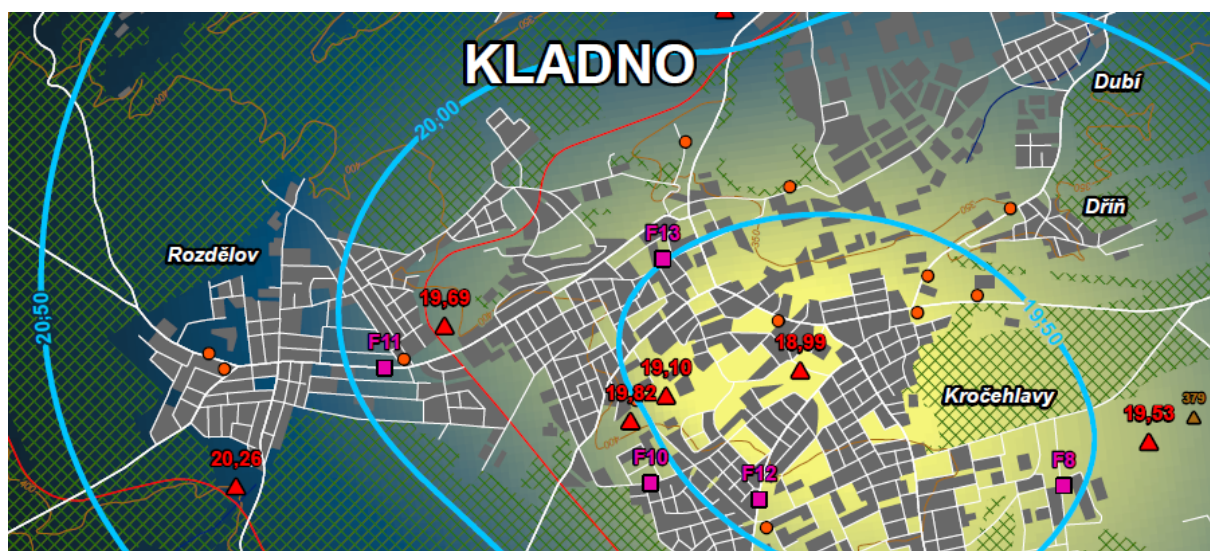
Obrázek 99: Průměrná změna jasu noční oblohy v zenitu na stanovištích (mcd/m²). Zpracováno autorem.

8.6 Mapa světelného znečištění Kladenska a její interpretace

Mapa světelného znečištění Kladenska byla vytvořena jako součást posteru o formátu A1. Poster je elektronickou přílohou diplomové práce a je uložen na CD. Ukázkou mapy je obrázek 100. Kromě samotné interpretace hodnot jasu noční oblohy a jejich rozdílů v zájmovém území byly vytvořeny doplňkové analýzy světelného znečištění. Noční obloha byla klasifikována do tříd Bortleovy stupnice a byly vymezeny oblasti, odkud lze pozorovat Mléčnou dráhu. Vypočten byl také průměrný jas oblohy v obcích a posouzena závislost na hustotě zalidnění.

Světelným znečištěním je nejvíce postižena centrální část zájmového území. Jde o střed města Kladna, kde hodnoty jasu noční oblohy klesají až k 18,99 mag/arcsec² na stanovišti Kladno, u pivovaru (4), respektive 19,14 mag/arcsec² (výsledek interpolace). Nejnižší mírou je světelným znečištěním ovlivněná noční obloha na západním okraji území. Jedná se o území obcí Lhota a Žilina s vysokým podílem lesů, nízkým podílem zastavěných ploch a nízkou hodnotou zalidnění. Absolutně nejnižším jasnem noční oblohy se vyznačuje stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) – 21,06 mag/arcsec². Nejnižší interpolovaná hodnota činila 21,02 mag/arcsec².

Jas noční oblohy klesá rovnoměrně od středu zájmového území k jeho okrajům. Město Kladno je tedy dominantním zdrojem světelného znečištění. Úroveň světelného znečištění však není na území města vyrovnaná. Nejjasnější noční oblohou se vyznačuje centrum města a městské části Kročehlavy a Dříň na východním okraji, kde je kromě obytné zástavby také řada průmyslových a obchodních areálů. Nižší úroveň světelného znečištění byla rozpoznána ve Švermově na severu města a v Rozdělově na západě města, kde převažuje obytná zástavba.



Obrázek 100: Výřez z mapy světelného znečištění Kladenska. Datové zdroje jsou uvedeny v Metodice a na posteru. Zpracováno autorem.

Rozdíly jasů noční oblohy mezi středem a okraji zájmového území nejsou stejné. Největší gradient změny jasů byl rozpoznán mezi středem zájmového území a jeho jihozápadním okrajem. Rozdíl jasů noční oblohy v zenitu mezi stanovišti Kladno, u pivovaru (4) a Lhota, Na Bukovkách (C) činí $2,07 \text{ mag/arcsec}^2$. Nejmenší gradient byl detekován mezi středem zájmového území a jeho jihovýchodním okrajem. Rozdíl jasů noční oblohy v zenitu mezi stanovišti Kladno, u pivovaru (4) a Hostouň, Zabitý (f) činí $1,28 \text{ mag/arcsec}^2$. Nejjasnější noční oblohou mimo město se vyznačuje jihozápadní část zájmového území. Jedná se oblast, která se nachází za hranicemi hlavního města Prahy.

Na jihovýchodní část území, která je vyjma Kladna oblastí nejvíce zasaženou světelným znečištěním, upozorňují v mapě izofoty – spojnice stejného jasů noční oblohy. Izofoty s hodnotami jasů $19,50$, $20,00$ a $20,50 \text{ mag/arcsec}^2$ mají protáhlý zhruba oválný tvar a jejich těžiště se nachází přibližně ve východní části města Kladna. Izofoty jsou uzavřené a uzavírají území protáhlé od severozápadu k jihovýchodu.

Vliv Prahy jakožto významného zdroje světelného znečištění lze spatřovat i v porovnání výsledků terénních měření. Stanoviště Družec, V Průhonu (e) a Hostouň, Zabitý (f) se nachází ve stejné vzdálenosti od středu Kladna a lze tedy předpokládat srovnatelný vliv světelného znečištění produkovaného městem Kladnem. Zároveň se obě stanoviště nachází přibližně na jedné ose vycházející ze středu Prahy. Vyšší jas oblohy byl zjištěn na stanovišti Hostouň, Zabitý (f) – $20,27 \text{ mag/arcsec}^2$, které je vzdálené zhruba 18 km od centra Prahy. Nižší jas oblohy ($20,98 \text{ mag/arcsec}^2$) byl zjištěn na vzdálenějším stanovišti Družec, V Průhonu (e), které se nachází zhruba 28 km od centra Prahy.

Noční obloha v zájmovém území byla klasifikována do tříd Bortleovy stupnice. V zájmovém území byly rozpoznány dvě třídy z celkem devíti tříd Bortleovy stupnice. Výrazněji zasažená oblast světelným znečištěním spadá do třídy 5 s „příměstskou oblohou“. Při nejlepších pozorovacích podmínkách jsou vidět náznaky zodiakálního světla. Mléčná dráha je bledá v zenitu a velmi slabá až neviditelná při obzoru. Ve všech směrech lze pozorovat světelné zdroje (Bortle 2001). Noční obloha třídy 5 se vyskytuje ve 35% zájmového území. Jedná se o 17 obcí se střední a jihozápadní části zájmového území. Noční obloha třídy 4 je popisována jako „venkovská až příměstská přechodná obloha“. Odsud jsou pozorovatelné kopule světelného znečištění produkovaného sídly v okolí. Pozorovatelné je zodiakální světlo i Mléčná dráha, ve které však nelze rozpoznat jemnější strukturu (Bortle 2001). Pod noční oblohou třídy 4 se nachází 65% zájmového území. Jde o 19 obcí rozmístěných v okrajových částech zájmového území od severovýchodu přes severozápad až po jihozápad a část jižního okraje.

Viditelnost pásu Mléčné dráhy byla v zájmovém území posuzována na základě mezní hodnoty jasu noční oblohy. Alespoň slabé náznaky Mléčné dráhy lze pozorovat z oblastí, kde jsou hodnoty jasu noční oblohy $20,49 \text{ mag/arcsec}^2$ a vyšší. Jedná se o 58 % zájmového území. Mléčná dráha je za bezoblačných a bezměsíčných nocí vidět z území obcí při severním a západním okraji zájmového území (např. Brandýsek, Smečno, Kačice, Lhota, Žilina, Družec). Mléčnou dráhu není možné pozorovat z oblastí výrazněji zasažených světelným znečištěním. Oblast, kde hodnoty jasu noční oblohy nedosahují $20,49 \text{ mag/arcsec}^2$, se rozkládá na 42 % zájmového území. Mléčnou dráhu nelze kvůli světelnému znečištění pozorovat z území města Kladna a obcí ve východní a jihovýchodní části zájmového území (např. Buštěhrad, Hřebeč, Velké Přítočno, Pavlov, Pletený Újezd).

Pro území každé obce byl vypočten průměrný jas noční oblohy. Následně byla prověřena souvislost s hustotou zalidnění. Pearsonův koeficient (-0,4433) i Spearmanův pořadový koeficient (-0,2839) poukazují na slabou zápornou korelaci mezi průměrnými hodnotami jasu noční oblohy a hustotou zalidnění v obcích. Společně s rostoucí hustotou zalidnění se mírně zvyšuje i jas noční oblohy (hodnoty jasu v mag/arcsec^2 však klesají). Přehled hustoty zalidnění k 1. 1. 2021, průměrný jas noční oblohy a třídy noční oblohy dle Bortleovy stupnice byl zanesen do tabulky 6.

Ačkoliv je mapa světelného znečištění cenným zdrojem informací o noční obloze v zájmovém území, lze v ní rozpoznat několik nepřesností, které jsou způsobeny prostorovým rozložením vstupních dat a použitím interpolační metody kriging. Vzhledem k tomu, že metoda kriging extrémně vyhlazuje data (Caruana a kol. 2020), má podkladová vrstva jasu noční oblohy menší rozpětí hodnot, než jsou vstupní hodnoty z terénních měření. Hodnoty vrstvy jasu noční oblohy se v mapě vyskytují v rozpětí od 19,14 do 21,02 mag/arcsec^2 , zatímco nejnižší hodnota jasu zjištěná v terénu činí 18,99 mag/arcsec^2 a nejvyšší pak 21,06 mag/arcsec^2 . Ve dvou případech lze také nalézt chybné vedení izofot vůči stanovištím terénního měření. Hodnoty jasu oblohy ze stanovišť Velká Dobrá, Pod Lapákem (g) a Kladno, Růžové pole (5) padly do nesprávného intervalu hodnot mezi izofotami, které byly generovány z podkladové vrstvy jasu oblohy. I přes výše zmíněné nepřesnosti v mapě podala interpolační metoda kriging přesvědčivější výsledky rozložení světelného znečištění v prostoru, zejména plynulé přechody hodnot jasu noční oblohy než v případě použití interpolace metodou IDW. Výsledky obou interpolačních metod lze porovnat na základě příloh 13 a 14.

Obec	Hustota zalidnění k 1. 1. 2021	Průměrný jas noční oblohy [mag/arcsec ²]	třídy Bortleovy stupnice
Brandýsek	528,58	20,64	4
Braškov	229,97	20,65	4; 5
Buštěhrad	478,10	20,39	4; 5
Cvrčovice	305,82	20,47	4; 5
Doksy	585,93	20,76	4
Dolany	100,70	20,11	5
Družec	151,34	20,93	4
Hostouň	135,37	20,36	4; 5
Hřebeč	495,65	19,89	5
Kačice	194,54	20,79	4
Kamenné Žehrovice	188,55	20,84	4
Kladno	1863,77	19,92	4; 5
Lhota	56,42	20,92	4
Libušín	355,36	20,57	4; 5
Lidice	119,84	20,26	4; 5
Malé Přítočno	137,81	20,22	5
Pavlov	130,78	20,42	4; 5
Pchery	289,81	20,58	4; 5
Pletený Újezd	369,52	20,27	4; 5
Smečno	203,43	20,82	4
Stehelčeves	213,17	20,60	4; 5
Svinařov	378,79	20,73	4
Třebichovice	155,64	20,67	4
Tuchlovice	210,92	20,82	4
Velká Dobrá	217,50	20,52	4; 5
Velké Přítočno	431,02	19,89	5
Vinařice	420,89	20,44	4; 5
Žilina	109,27	20,96	4

Tabulka 6: Hustota zalidnění, průměrný jas noční oblohy a úroveň světelného znečištění dle Bortleovy stupnice v obcích zájmového území. Zpracováno autorem.

9 Diskuse

9.1 Úrovně světelného znečištění

Pro vyhodnocení změn světelného znečištění v městském prostředí bylo zvoleno stanoviště Kladno, Habešovna (A) v městském parku uprostřed intravilánu města Kladna. Kladno s 69 tisíci obyvateli patří ke středně velkým městům Česka. Průměrný zenitový jas noční oblohy zde za bezoblačné a bezměsíčné oblohy dosáhl hodnoty $19,82 \text{ mag/arcsec}^2$. Jas noční oblohy je přirozeně nižší než v centru hlavního města Prahy ($17,55 \text{ mag/arcsec}^2$; Kocourek 2014) a takřka neporovnatelný s centry světových metropolí. Např. v nejméně postižené části Hongkongu byl zjištěn jas noční oblohy o hodnotě $13,2 \text{ mag/arcsec}^2$ (Pun, So 2011). Úroveň světelného znečištění je tak na diskutovaném stanovišti nižší než v mnohem větších sídlech. Vyšším jasem noční oblohy však disponují nedaleká stanoviště v Sítenském údolí ($19,10 \text{ mag/arcsec}^2$; Klauda 2019), u kladenského pivovaru ($18,99 \text{ mag/arcsec}^2$; viz Výsledky) či v průmyslovém areálu Poldí ($19,15 \text{ mag/arcsec}^2$; Kocourek 2014). Pravděpodobnou příčinou tohoto rozdílu může být relativně hustá vegetace v okolí stanoviště Kladno, Habešovna (A), která omezuje šíření světla z pouličního osvětlení a jiných světelných zdrojů na větší vzdálenosti.

Stanoviště Velké Přítočno, Na Radkovech (B), které reprezentuje příměstskou krajinu, disponuje průměrným zenitovým jasem noční oblohy o hodnotě $20,16 \text{ mag/arcsec}^2$. V blízkosti měřicího stanoviště se nachází zemědělská půda, obytná zástavba i průmyslové areály. Úroveň světelného znečištění je za bezoblačných a bezměsíčných nocí srovnatelná s centry malých měst s populací do 20 tisíc obyvatel – Braunau ($20,2 \text{ mag/arcsec}^2$), Griesenkirchen ($20,2 \text{ mag/arcsec}^2$), Freistadt ($20,2 \text{ mag/arcsec}^2$) či stanovišť v blízkosti obytných a obchodních zón – Pasching ($20,1 \text{ mag/arcsec}^2$) a Steyr ($20,3 \text{ mag/arcsec}^2$), jak uvádí studie Posche, Bindera a Puschniga (2018) z Rakouska. Jas noční oblohy v zázemí 200tisícového Lince je však výrazně vyšší ($19,5 \text{ mag/arcsec}^2$; Posch, Binder, Puschnig 2018). Úroveň světelného znečištění v příměstské krajině tak úzce souvisí s populační velikostí blízkého města jakožto zdroje světelného znečištění a charakterem jeho zástavby.

Pro kvantifikaci světelného znečištění ve venkovské krajině bylo zvoleno stanoviště Lhota, Na Bukovkách (C) vzdálené zhruba 11 km od centra Kladna a 32 km od centra Prahy. Byla zjištěna průměrná hodnota zenitového jasu noční oblohy $21,06 \text{ mag/arcsec}^2$ s vyloučeným vlivem oblačnosti, měsíčního a slunečního svitu. Úroveň jasu oblohy je zde obdobná jako na stanovištích vzdálených zhruba 30 km jihovýchodně od Prahy okolo města Mnichovice, jak

zjistil Kocourek (2017). Srovnatelný jas noční oblohy nebo nižší (21,2 mag/arcsec² a více) byl zjištěn na stanovištích, které reprezentují venkovskou krajinu v Rakousku, v málo zalidněných a hustě zalesněných oblastech (Posch, Binder, Puschnig 2018). Mírně nižší úroveň světelného znečištění (21,3 mag/arcsec² a více) charakterizuje venkovská stanoviště ve španělské Galicii (Bará 2016).

Úroveň světelného znečištění a jeho změny v přírodní krajině s oblohou minimálně zasaženou světelným znečištěním nebyla v předložené diplomové práci vyhodnocena. Lokality odlehle od osídlených oblastí se ve vymezeném zájmovém území nenachází. Srovnání světelného znečištění a jeho změn v přírodní krajině (např. v národních parcích či oblastech tmavé oblohy) může být předmětem dalšího studia.

9.2 Statistické rozložení dat

Rozložení hodnot jasu noční oblohy očištěných od hodnot ovlivněných nevyhovujícími astronomickými a meteorologickými podmínkami není podobné normálnímu rozdělení. Hodnoty jasu noční oblohy v městské krajině se v histogramu koncentrují spíše do levé části (tzv. pravostranná asymetrie), zatímco hodnoty z příměstské a venkovské krajiny jsou koncentrované do pravé části histogramu (tzv. levostranná asymetrie). Studie z Rakouska (Posch, Binder, Puschnig 2018) poukazuje na koncentraci hodnot do pravé části histogramu v přírodních a venkovských oblastech málo postižených světelným znečištěním směrem doprava (resp. na levostrannou asymetrii), zatímco rozložení hodnot jasu noční oblohy z městských stanovišť je přibližně symetrické. Levostrannou asymetrií se ovšem vyznačují filtrovaná data jasu noční oblohy v Madridu (Robles a kol. 2021). Bará (2016) prezentuje histogramy hodnot jasu noční oblohy zahrnující měření veškeré astronomických i povětrnostních podmínkách. Histogramy z městských a příměstských stanovišť se vyznačují dvěma výraznými maximy, které představují jas noční oblohy při jasné bezoblačné noci (vyšší hodnoty) a při zatažené obloze (nižší hodnoty). Ve venkovském a přírodním prostředí již takový rozdíl není příliš výrazný a oblačnost oblohu spíše ztmavuje (Bará 2016). Lze tedy konstatovat, že rozložení hodnot jasu noční oblohy odpovídá výsledkům výše uvedených studií.

9.3 Charakter a intenzita změn světelného znečištění

Na základě výsledků celonočních měření jasu noční oblohy na třech stanovištích byly rozpoznány tři různé typy chodu jasu noční oblohy. Všechny tři typy jsou ve shodě s pracovní hypotézou diplomové práce, která nepředpokládá výrazné změny jasu oblohy během noci (v době mezi soumrakem a rozbřeskem) za dodržení stanovených astronomických a meteorologických podmínek.

Nejprve jsou diskutovány příčiny změn jasu noční oblohy u třetího typu, který je nejsnáze interpretovatelný. Třetí typ chodu jasu noční oblohy se vyznačuje pozvolným poklesem jasu od večerních až do ranních hodin. Křivky jasu mají srovnatelný tvar s křivkou jasu jasné a bezměsíčné oblohy, jak ji klasifikovali Priyatikanto a kol. (2020). Priyatikanto a kol. (2020) sice popisují křivku jako „plochou“, nicméně z grafu (obr. 45) je rozeznatelný nepatrný pokles jasu v průběhu celé noci. Plynulý pokles jasu oblohy během nočních hodin potvrzuje několikaleté pozorování na observatořích u Vídně (Puschnig, Posch, Uttenhalter 2013) a u Postupimi (Puschnig a kol. 2013). Nižší jas oblohy v brzkých ranních hodinách oproti večeru zdůvodňují Puschnig, Posch, Uttenhalter (2013) nižší intenzitou dopravy a nižší intenzitou světelného znečištění. Dále zmiňují průměrný pokles jasu oblohy o $0,1 \text{ mag/arcsec}^2$ za hodinu, což je ve srovnání s výsledky práce mnohem výraznější změna. Méně pravděpodobnou příčinou pozvolného poklesu jasu oblohy během noci je postupné vypínání světelných zdrojů a snižování intenzity světelného znečištění od večera do ranních hodin. Jako pravděpodobnější příčina se jeví pozvolný pokles koncentrace antropogenních aerosolů v atmosféře produkovaných dopravními prostředky. Se snižující koncentrací pevných částí v ovzduší se v důsledku atmosférického rozptylu snižuje i jas noční oblohy (Ściężor, Kubala 2014).

Druhý typ chodu jasu noční oblohy se vyznačuje poklesem jasu v první části noci (zhruba do půlnoci), zatímco v druhé části noci jas oblohy stagnuje. Obdobný charakter změn jasu oblohy během noci byl pozorován na několika stanovištích v Linci a Traunu (Posch, Binder, Puschnig 2018) a v Madridu (Robles a kol. 2021). Snižování jasu oblohy ve večerních hodinách Robles a kol. (2021) vysvětlují ustávajícími činnostmi člověka, zejména klesající intenzitou dopravy, postupným opouštěním kancelářských budov, zavíráním obchodů, vypínáním veřejného a dekorativního osvětlení. Podobný scénář probíhá také v Kladně a okolí, kdy během večera uzavírá provoz a vypíná osvětlení řada obchodních a průmyslových objektů. Postupně se také vypíná interiérové osvětlení domů a bytů obyvatel, kteří jdou spát. Naopak veřejné osvětlení, bezpečnostní osvětlení na fasádách průmyslových objektů či osvětlení některých čerpacích stanic funguje nepřetržitě celou noc.

První typ chodu jasu oblohy je typický poklesem jasu v první části noci a jeho nárůstem v druhé části noci. Křivka změny jasu je tak přibližně symetrická okolo nejnižší hodnoty, která nastává přibližně okolo jedné hodiny. Změna jasu oblohy podobného charakteru nemá podporu v odborné literatuře. Pokles jasu ve večerních hodinách lze snadno odůvodnit jako v případě druhého typu chodu jasu noční oblohy útlumem činností člověka a postupným vypínáním osvětlení. Příčiny postupného rozjasňování oblohy v druhé části noci lze pouze odhadovat. Nabízí se hypotéza opírající se o relativní vlhkost vzduchu. Během noci zpravidla klesá teplota vzduchu až do východu Slunce, kdy dosáhne svého minima. Relativní vlhkost vzduchu se během noci vyvíjí opačně, s klesající teplotou roste relativní vlhkost vzduchu (Quitt 1982). Vzduch se tak během noci postupně sytí vodními parami, které jsou náchylnější ke kondenzaci. Se snižující se teplotou vzduchu tak vznikají přirozené aerosoly, které rozptylují umělé světlo v atmosféře. Popsaný proces může stát za postupným zvyšováním jasu oblohy již během nočních hodin. Takový trend může být podpořen v brzkých ranních hodinách (přibližně od čtvrté hodiny) opětovným rozsvěcením osvětlení a zvyšováním aktivity člověka.

Výše byly popsány pozorované změny jasu noční oblohy a diskutovány jejich možné příčiny. Ověření příčin a sledování příslušných meteorologických veličin se nabízí jako další stupeň výzkumu světelného znečištění.

Po výpočtu průměrných změn jasu noční oblohy v městské, příměstské a venkovské krajině byly tyto výsledky navzájem porovnány. Nejintenzivnější změny jasu probíhají na příměstské obloze, naopak nejslabší změny jasu na venkovské obloze. Noční obloha na venkově je nejméně zasažená světelným znečištěním, proto se zde nejméně projevují změny způsobené umělým osvětlením. Průměrná změna jasu noční oblohy ve venkovské krajině se projevila pozvolným poklesem jasu od večerních do ranních hodin, podobně jako v případě třetího typu chodu jasu. Nejintenzivněji se změny jasu během noci projevují v příměstské krajině. Podobně jako ve městě je v příměstské krajině patrný výraznější pokles jasu během večera až do půlnoci, poté stagnace až do zhruba třetí hodiny ranní, kdy jas opět mírně vzroste. O neměnnosti jasu mezi 0:30 a 2:00 píše také Kocourek (2017). Nejpravděpodobnější příčinou večerního poklesu jasu oblohy je útlum činností člověka a vypínání zdrojů světelného znečištění. Vyšší intenzita změn jasu na příměstském stanovišti oproti městskému stanovišti může být ovlivněna jeho polohou. Stanoviště v příměstské krajině se nachází blíže k centru Prahy než stanoviště ve městě. Vzhledem k tomu, že světelné znečištění produkované Prahou ovlivňuje noční oblohu v zenitu i desítky kilometrů za hranicí města (Kocourek 2017), se změny intenzity světelného znečištění v Praze projevují v zenitovém jasu oblohy na příměstském stanovišti. Stanoviště reprezentující

příměstskou krajinu je pod vlivem světelného znečištění měst Kladna i Prahy, proto se změny osvětlení obou měst projevují intenzivněji na jasu oblohy než v případě městského stanoviště, kde je vliv Prahy slabší. Dále je nutné připomenout, že běžná úroveň jasu noční oblohy v příměstské krajině nižší než ve městě, proto lze očekávat větší výkyvy jasu oblohy způsobené změnami intenzity osvětlení v přilehlých městech.

Na stanovištích v městské i příměstské krajině se projevil krátkodobý nárůst a opětovný pokles jasu oblohy těsně před půlnocí. O konkrétních příčinách takového výkyvu lze pouze spekulovat, nicméně je pravděpodobné, že vznikl v důsledku změn intenzity světelného znečištění ve městě, zároveň se může jednat o chybu v datech.

9.4 Světelné znečištění v zájmovém území

Nejvíce postiženou oblastí světelným znečištěním je město Kladno, které se nachází ve středu zájmového území. Nejvyšší jas noční oblohy se podle vytvořené mapy koncentruje ve východní části města, kde se nachází řada obchodních a průmyslových areálů, zatímco západní část města, kde stojí převážně obytná zástavba, se vyznačuje tmavší noční oblohou. Intenzita světelného znečištění se snižuje rovnoměrně k méně zalidněným okrajům zájmového území. Nejmírnější pokles jasu je patrný směrem k jihovýchodními okraji zájmového území, za kterým se rozkládá hlavní město Praha. Rostoucí jas noční oblohy s klesající vzdáleností k centru Prahy popisoval již Kocourek (2014, 2017). Vytvořená mapa světelného znečištění i přes drobné chyby způsobené interpolační metodou vhodně popisuje světelné poměry na noční obloze a odráží skutečný vliv zdrojů světelného území v zájmovém území.

Diskutabilní je však snižování jasu noční oblohy od centra Kladna směrem k jihovýchodnímu okraji zájmového území. Jak již bylo zmíněno, jihovýchodní část zájmového území sousedí s územím hlavního města Prahy, které je významným zdrojem světelného znečištění. Světelná záře Prahy je na jejím severozápadním okraji zesilována intenzivním osvětlením mezinárodního letiště Václava Havla v Praze-Ruzyni. V případě, že by byla měřící stanoviště umístěna i za hranicemi zájmového území, by se do mapy vykreslil opětovný nárůst jasu noční oblohy v jihovýchodním směru od centra Kladna. Ve skutečnosti tak pravděpodobně vzniká pomyslná brázda nižšího jasu oblohy přibližně na ose mezi obcemi Pavlov a Hostouň, kde se rovnoměrně štěpí vliv světelného znečištění Kladna a Prahy. Zakreslená izofota o hodnotě $20,50 \text{ mag/arcsec}^2$, která je v mapě uzavřená, by pak byla pravděpodobně otevřená směrem ku Praze.

9.5 Celkové zhodnocení a nejistoty

Jasoměr Sky Quality Meter představuje vhodný nástroj ke kvantifikaci světelného znečištění. K jeho nesporným výhodám patří malé rozměry, nízká hmotnost a snadné ovládání. Zároveň poskytuje relativně přesné výsledky, jas oblohy udává na setiny mag/arcsec^2 , a přístroj vybavený optickou čočkou (SQM-L) umožňuje díky zornému úhlu 15° zaměřit zdroje světelného znečištění. Bateriové napájení přístroje umožňuje měření jasu na terénních stanovištích. Drobné omezení při terénních měření představuje absence ukládání hodnot jasu do přístroje a nutnost jejich bezprostředního zapisování. Manuální ovládání jasoměru SQM-L vyžaduje fyzickou přítomnost obsluhy, proto není SQM-L nejvhodnějším typem jasoměru pro tvorbu časových řad jasu noční oblohy. Pro automatický sběr dat jsou přizpůsobeny příbuzné typy jasoměrů – SQM-LE, SQM-LU, SQM-LU-DL a SQM-LR, které disponují připojením k počítači. Typy SQM-LE, SQM-LU a SQM-LR jsou napájeny kabelem z elektrické sítě, a neumožňují tak terénní měření na různých stanovištích. Nejvhodnějším typem jasoměru pro vytváření časových řad jasu noční oblohy v terénu z řady Sky Quality Meter je SQM-LU-DR, který má bateriové napájení a umožňuje ukládání hodnot jasu do vlastní paměti (Unihedron 2022b).

Samotná terénní měření byla provázena několika známými nejistotami. Ačkoliv byly dopředu stanoveny a během měření dodržovány přísné astronomické a meteorologické podmínky, nelze zaručit stabilní stav atmosféry v celém čase nočního měření a mezi jednotlivými celonočními měření navzájem. Meteorologické veličiny se přirozeně mění v čase i v prostoru, což může ovlivňovat hodnoty jasu noční oblohy. Souvislost se změnami jasu noční oblohy mohou mít změny teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu či atmosférického tlaku, nicméně jejich vztah k jasem noční oblohy nebyl dosud uspokojivě vysvětlen (viz oddíl 3.2.2). Teplota byla během měření sledována a měřena pomocí teplotního senzoru zabudovaného v jasoměru. Vzhledem k omezené přesnosti teplotního senzoru ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) nelze odvozovat závislost mezi teplotou vzduchu a jasem noční oblohy. Vlhkost vzduchu ani atmosférický tlak nebyl během měření sledován. Obdobně nebyla sledována koncentrace pevných částic (aerosolů) v atmosféře, jejichž vliv na jas noční oblohy popsali Ściężor a Kubala (2014). Odvození vztahů mezi teplotou vzduchu, relativní vlhkostí vzduchu, atmosférickým tlakem a jasem noční oblohy může být předmětem budoucích výzkumů světelného znečištění, stejně tak jako ověření závislosti jasu noční oblohy na koncentraci pevných částic v atmosféře.

K nejistotám provázející výsledky terénních měření patří také nevyrovnaný světelný tok v čase produkovaný sídly v okolí. Intenzita světelného znečištění se odvíjí od činností člověka. Velikost světelného toku (zejména měst Kladna a Prahy) může ovlivnit řada faktorů, od vlivu denní doby a pořadí dne v týdnu, přes konání společenských akcí až po technické poruchy osvětlení či provoz vánočního osvětlení. V důsledku nastavených astronomických a meteorologických podmínek nebylo možné určit termíny měření, které by umožnily porovnat např. vliv dne v týdnu na intenzitu světelného znečištění. Zároveň nebylo možné zmapovat provoz a intenzitu všech světelných zdrojů v zájmovém území v průběhu měření jasu noční oblohy. K redukci nejistot (zejména velikost světelného toku) při měření jasu noční oblohy by přispělo měření na několika terénních stanovištích ve stejný čas. Takový postup však vyžaduje více měřících přístrojů a v případě absence automatických jasoměrů i vyšší počet obsluhujících pozorovatelů. Proměnlivost stavu atmosféry v prostoru by tak zůstala i nadále přetrvávající nejistotou.

Velkou otázkou zůstává dopad snížené mobility obyvatelstva v důsledku pandemie covid-19 na intenzitu světelného znečištění. Některé souvislosti již byly popsány v podkapitole 4.3. Během listopadu 2020, kdy byla provedena terénní měření C-18./19. 11. 2020 a B-21./22. 11. 2020, platil zákaz nočního vycházení mezi devátou hodinou večer a pátou hodinou ráno, provoz obchodů a restaurací byl omezen do osmé hodiny večer, zcela byla uzavřena divadla a kina. Noční život byl tak výrazně omezen. Dle Ritchie a kol. (2022), kteří analyzovali data Google Mobility Trends, poklesla mobilita obyvatelstva na území Česka v listopadu 2020 až o 60 % v provozovnách maloobchodu a služeb, o 45 % ve stanicích veřejné dopravy a o 37 % na pracovištích, zatímco stoupla v obytných oblastech až o 15 % oproti stavu před pandemií. V říjnu a listopadu 2021, kdy proběhla zbylá terénní měření, žádná z výše jmenovaných opatření neplatila. Největší pokles mobility byl v daném období detekován na pracovištích – až o 24 %, v provozovnách maloobchodu a služeb, stanicích veřejné dopravy a obytných oblastech nepřesahovala odchylka 5 % oproti předpandemické době (Ritchie a kol. 2022).

Vliv na podobu konečných výsledků může mít také množství vstupních dat, jejich kvalita a metody zpracování dat. Analyzovat větší množství hodnot jasů noční oblohy však nebylo možné vzhledem k omezenému času na vypracování a nastaveným astronomickým a meteorologickým podmínkám (viz podkapitulu 7.3), které umožnily měření jasů noční oblohy pouze během několika nocí v roce. Měření jasů za nevyhovujících podmínek by vedlo k výraznému zkreslení výsledků a nemožnosti následné interpretace rozdílů. Větší množství dat získaných za vyhovujících podmínek by pak mohlo zdůraznit dosud neznámé fenomény projevující se při změnách světelného znečištění během noci. Zároveň by ovšem rostl vliv nejistot popsanych výše (stav atmosféry, světelný tok sídel). Vyšší počet měřících stanovišť by pak přispěl k věrohodnějšímu vykreslení světelného znečištění v zájmovém území. Významná nejistota pramení ze změn světelného znečištění v delším časovém měřítku (viz podkapitulu 4.1). Pro tvorbu mapy světelného znečištění byly použity hodnoty jasů noční oblohy získané v letech 2019 až 2021.

Metody zpracování dat získaných v terénu byly zvoleny tak, aby jejich výsledek byl reprezentativní pro daný čas a místo. Dalším účelem metod zpracování dat bylo potlačovat vliv extrémních hodnot na výsledek. Proto byla zvolena metoda osekávaného průměru pro výpočet hodnoty jasů noční oblohy reprezentující konkrétní čas měření. Podkladem pro tvorbu mapy posloužila hodnota mediánu jasů noční oblohy, která je vzhledem k vysokému počtu hodnot ovlivněna nižší mírou extrémními hodnotami než aritmetický průměr. Použité metody tak zmírňují rozdíly ve výsledcích, což ovšem usnadňuje jejich interpretaci.

10 Závěr

Teoretická část diplomové práce shrnula poznatky o světelném znečištění, přirozených i umělých vlivech na jas noční oblohy, změnách světelného znečištění v čase a znázorňování světelného znečištění v mapách. Popsáno bylo také zájmové území z fyzicko- i sociogeografického hlediska a úroveň světelného znečištění v zájmovém území.

Úkolem praktické části diplomové práce bylo vyhodnotit změny světelného znečištění během noci a posoudit vliv prostředí na tyto změny. Pracovní hypotézy byly formulovány tak, že za stabilních astronomických a meteorologických podmínek nedochází k velkým změnám jasu oblohy během noci, různé typy prostředí se vyznačují různou úrovní světelného znečištění a typ prostředí přímo neovlivňuje charakter změn jasu během noci.

V zájmovém území Kladenska bylo na třech stanovištích reprezentující městskou, příměstskou a venkovskou krajinu provedeno celkem osm celonočních měření jasu noční oblohy v zenitu pomocí jasoměru SQM-L. Měření byla prováděna v průběhu celé astronomické noci, kdy je poloha Slunce 18° a více pod obzorem, a hodnoty jasu oblohy byly zaznamenávány každých 15 minut. Změny jasu oblohy při soumraku a rozbřesku nebyly předmětem výzkumu. Při měření bylo nezbytné dodržet astronomické a meteorologické podmínky – vyvarovat se vlivu svitu Slunce a Měsíce, přítomnosti oblačnosti a sněhové pokrývky. Na dalších šesti stanovištích byla provedena jednorázová měření jasu noční oblohy v zenitu jako podklad pro tvorbu mapy světelného znečištění.

Soubory dat získané na třech terénních stanovištích byly nejprve statisticky analyzovány. Mezi hodnotami průměrného jasu v městské, příměstské a venkovské krajině byl nalezen statisticky významný rozdíl. Úroveň světelného znečištění se tak v různých typech prostředí skutečně odlišuje. Na základě časových řad jasu noční oblohy byly rozpoznány tři typy chodu jasu noční oblohy. První typ se vyznačuje poklesem jasu oblohy zhruba do poloviny noci a následným nárůstem jasu oblohy až do ranních hodin. Druhý typ se vyznačuje poklesem jasu ve večerních hodinách, po půlnoci se hodnoty jasu oblohy příliš nemění. Třetí typ se vyznačuje plynulým poklesem jasu od večerních až do ranních hodin. Vzhledem k tomu, že tři typy chodu jasu byly rozpoznány na různých měřicích stanovištích, nelze charakteristické změny jasu spojovat s konkrétním prostředím. Po zprůměrování všech celonočních měření na stanovištích byla vyhodnocena průměrná intenzita změn jasu noční oblohy na každém ze stanovišť. Nejintenzivnější změny byly rozpoznány v příměstské krajině, kde během večera klesl jas

oblohy o 18 %. Mírnější změny byly pozorovány v městské krajině, nejmírnější pak ve venkovské krajině. U všech detekovaných změn jasů noční oblohy byl diskutován vliv samotného světelného znečištění a jiných faktorů ovlivňující hodnoty jasů. Mapa světelného znečištění potvrdila, že je město Kladno nejsilnějším zdrojem světelného znečištění v zájmovém území a intenzita světelného znečištění přirozeně klesá k méně zalidněným okrajům území. Noční obloha v zájmovém území byla na základě hodnot jasů klasifikována do tříd Bortleovy stupnice a vymezeny oblasti, odkud lze pozorovat Mléčnou dráhu na obloze. Předložená diplomová práce se zabývá nepříliš často diskutovanými změnami světelného znečištění během noci. Po stanovení úrovně světelného znečištění pomocí zenitových měření jasů oblohy a identifikaci zdrojů světelného znečištění vyhodnocovaných pomocí směrových měření a celoblohových snímků představují časové řady jasů noční oblohy další stupeň výzkumu světelných poměrů na noční obloze. Diplomová práce prohlubuje poznání světelného znečištění v kontextu české krajiny, a kromě prostorových změn světelného znečištění popisuje i změny v čase.

Budoucí výzkum světelného znečištění může být zaměřen na identifikaci příčin změn jasů noční oblohy, ať již přirozeného či umělého původu. Nastávající výzkumy by však měly upevnit téma světelného znečištění v rámci geografických věd. Jas noční oblohy je komplexním ukazatelem zrcadlící procesy ve vesmíru, v atmosféře i na zemském povrchu. Porozumění zákonitostem jasů noční oblohy tudíž poskytuje řadu příležitostí následujícím studiím.

11 Seznam zdrojů

11.1 Literatura

- ABDULLAHI, M. G., KAMARUDIN, M. K. A., UMAR, R., ENDUT, A., KHALIT, S. I., JUAHIR, H (2017): Night sky brightness assessment in Nigeria using envirometric and GIS technique. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technologi*, 7, 1, 28–34.
- ACEITUNO, J., SANCHEZ, S. F., ACEITUNO, F. J., GALADI-ENRIGUEZ, D., NEGRO, J. J., SORIGUER, R. C., GOMEZ, G. S. (2011): An All-Sky Transmission Monitor: ASTMOM. *Publications of the Astronomical Society of The Pacific*, 123, 907, 1076–1086.
- AL-NAGGAR, R. A., ANIL, S. (2016): Artificial light at night: global study. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17, 10, 4661–4664.
- ANDREIĆ, Ž. (2018): Night sky brightness above Zagreb. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 33, 3, 85–94.
- AUBÉ, M. (2015): Physical behavior of antropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 370, 1667, 1–15.
- BARÁ, S. (2016): Anthropogenic disruption of the night sky darkness in urban and rural areas. *Royal Society Open Science*, 3, 10, 1–14.
- BARÁ, S., LIMA, R. C., ZAMORANO, J. (2019): Monitoring long-term trends in the antropogenic night sky brightness. *Sustainability*, 11, 1–15.
- BARENTINE, J. C. (2019): Methods for assesment and monitoring of light pollution around ecologically sensitive sites. *Journal of Imaging*, 5, 5, 1–17.
- BENNIE, J., DAVIES, T. W., CRUSE, D., GASTON, K. J. (2016): Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104, 611–620.
- BENNIE, J., DAVIES, T. W., DUFFY, J. P., INGER, R., GASTON, K. J. (2014): Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*, 4, 1–6.
- BENNIE, J., DUFFY, J. P., DAVIES, T. W., CORREA-CANO, M. E., GASTON, K. J. (2015): Global trends in exposure to light pollution in natural terrestrial ecosystems. *Remote Sensing*, 7, 2715–2730.
- BIGGS, J. D., FOUCHÉ, T., BILKI, F., ZADNIK, M. G. (2012): Measuring and mapping the night sky brightness of Perth, Western Australia. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 2, 1450–1464.
- van BOMMEL, W., CRAWFORD, D., CASTRO, J. D., EBERSBACH, K., IIZUKA, T., MORI, A., POLLARD, N. E., ROBERGE, J., YATES, R. S., FISHER, A. J., JULIAN, W. (2003): Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting instalations. Technical report (150). Commission internationale de l'éclairage, Vienna.
- BOROVÍČKA, J., SPURNÝ, P. (1996): Radiation study of two very bright terrestrial bolides and an application to the comet S-L 9 collision with Jupiter. *Icarus*, 121, 484–510.

- BOROVÍČKA, J., SPURNÝ, P., GRIGORE, V. I., SVOREŇ, J. (2017): The January 7, 2015, superbolide over Romania and structural diversity of meter-sized asteroids. *Planetary and Space Science*, 143, 147–158.
- BORTLE, J. E. (2001): Introducing the Bortle dark-sky scale. *Sky & Telescope*, 101, 2, 126–129.
- BRIDGMAN, H. A. (1979): Aerosol extinction at 500 nm in urban and rural air at Milwaukee in April 1976. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 2, 105–116.
- BUJALSKÝ, L. (2010): Světelné znečištění způsobené umělým osvětlením sjezdovek v Krkonošském národním parku. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha.
- BUSTMANTE-CALABRIA, M., de MIGUEL, A. S., MARTÍN-RUIZ, S., ORTIZ, J. L., VÍLCHEZ, J. M., PELEGRINA, A., GARCÍA, A., ZAMORANO, J., BENNIE, J., GASTON, K. J. (2020): Effects of the COVID-19 lockdown on urban light emissions: ground and satellite comparison. *Remote Sensing*, 13, 2, 1–31.
- CAO, C., XIONG, X., WOLFE, R., de LUCCIA, F., LIU, Q., BLONSKI, S., LIN, G., NISHIHAMA, M., POGORZALA, D., OUDRARI, H., HILLGER, D. (2017): Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Sensor Data Record (SDR) User's Guide. Version 1.3. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D. C.
- CARUANA, J., VELLA, R., SPITERI, D., NOLLE, M., FENECH, S., AQUILINA, N. J. (2020): A photometric mapping of the night sky brightness of the Maltese Islands. *Journal of Environmental Management*, 261, 1-10.
- CASTIGLIONE, L., CONTICELLO, S. S., ESPOSITO, M., OLDENHUIS, R., MOON, S. G., NICOLAI, A., STOLTZ, S., DETTMANN, J. (2012): The Nightpod – an orbital motion compensation mechanism for ISS based imaging. *Proceedings of 63rd International Astronautical Congress, Neapol.*
- CINZANO, P. (2000): The growth of light pollution in north-eastern Italy from 1960 to 1995. *Journal of the Italian Astronomical Society*, 71, 1, 159–165.
- CINZANO, P. (2005): Night sky photometry with Sky Quality Meter. Internal report, first draft. Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Inquinamento Luminoso, Thiene.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C. D. (2001a): Naked-eye star visibility magnitude mapped from DMPS-OLS satellite data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 323, 1, 34–46.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C. D. (2001b): The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, 3, 689–707.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C., D., BAUGH, K. E. (2000): The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 318, 3, 641–657.
- CLAUSTRAT, B., LESTON, J. (2015): Melatonin: Physiological effects in humans. *Neurochirurgie*, 61, 2–3, 77–84.
- COX, D. T. C., de MIGUEL, A. S., DZURJAK, S. A., BENNIE, J., GASTON, K. J. (2020): National scale spatial variation in artificial light at night. *Remote Sensing*, 12, 10, 1–17.
- CRAWFORD, D. L. (1991): Light pollution – problem for all of us. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 17, 7–10.

- CRAWFORD, D. L. (2000): Light pollution, an environmental problem for astronomy and for mankind. *Journal of the Italian astronomical society*, 71, 1, 11–40.
- CROFT, T. A. (1978): Nighttime images of the Earth from space. *Scientific American*, 239, 1, 86–101.
- CRUMEY, A. (2014): Human contrast threshold and astronomical visibility. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442, 3, 2600–2619.
- CULEK, M., GRULICH, V., LAŠTŮVKA, Z., DIVÍŠEK, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno.
- ČAPEK, R. (1992): Planetární geografie. Karolinum, Praha.
- DEVESA, G. M. (2016): Light pollution in Barcelona: night sky brightness analysis. Bakalářská práce. Univerzita v Barceloně.
- ELVIDGE, C. D., BAUGH, K. E., KIHN, E. A., KROEHL, H. W., DAVIS, E. R. (1997): Mapping city with nighttime data from the DMSP operational linescan system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 6, 727–734.
- ELVIDGE, C. D., CINZANO, P., PETTIT, D. R., ARVESEN, J., SUTTON, P., SMALL, C., NEMANI, R., LONGCORE, T., RICH, C., SAFRAN, J., WEEKS, J., EBENER, S. (2007): The Nightsat mission concept. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 12, 2645–2670.
- ELVIDGE, C. D., GHOSH, T., HSU, F., ZHIZHIN, M., BAZILIAN, M. (2020): The dimming lights in China during the COVID-19 pandemic. *Remote Sensing*, 12, 17, 1–16.
- FALCHI, F., CINZANO, P., DURISCOE, D., KYBA, C. C. M., ELVIDGE, C. D., BAUGH, K., PORTNOV, B. A., RYBNIKOVA, N. A., FURGONI, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2, 6, 1–25.
- FALCHI, F., CINZANO, P., ELVIDGE, C. D., KEITH, D. M., HAIM, A. (2011): Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 92, 2714–2722.
- GARSTANG, R. H. (1986): Model for artificial night-sky illumination. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 98, 601, 364–375.
- GARSTANG, R. H. (1989): Night-sky brightness at observatories and sites. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 101, 637, 302–329.
- GARSTANG, R. H. (1991): Dust and light pollution. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 103, 668, 1109–1116.
- GHOSH, T., ELVIDGE, C. D., HSU, F., ZHIZHIN, M., BAZILIAN, M. (2020): The dimming lights in China during the COVID-19 pandemic. *Remote Sensing*, 12, 20, 1–17.
- GOMES, D. G. E. (2020): Orb-weaving spiders are fewer but larger and catch more prey in lit bridge panels from a natural artificial light experiment. *PeerJ*, 8, 5, 1–15.
- GRAUER, A. D., GRAUER, P. A., DAVIES, N., DAVIES, G. (2019): Impact of space weather on the natural night sky. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 131, 1005, 1–15.
- GUETTÉ, A., GODET, L., JUINGER, M., ROBIN, M. (2018): Worldwide increase in artificial light at night around protected areas and within biodiversity hotspots. *Biological Conservation*, 223, 97–103.
- HABEL, J. (2013): Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha.

- HALE, J. D., DAVIES, G., FAIRBRASS, A. J., MATTHEWS, T. J., ROGERS, C. D. F., SADLER, J. P. (2013): Mapping lightscapes: spatial patterning of artificial lighting in an urban landscapes. *PLOS One*, 8, 5, 1–9.
- HAN, P., HUANG, J., LI, R., WANG, L., HU, Y., WANG, J., HUANG, W. (2014): Monitoring trends in light pollution in China based on nighttime satellite imagery. *Remote Sensing*, 6, 5541–5558.
- HÄNEL, A., POSCH, T., RIBAS, S. J., AUBÉ, M., DURISCOE, D., JECHOW, A., KOLLATH, Z., LOLKEMA, D. E., MOORE, C., SCHMIDT, N., SPOELSTRA, H., WUCHTERL, G., KYBA, C. C. M. (2018): Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 205, 278–290.
- HERDIWIJAYA, D. (2016): Sky brightness and twilight measurements at Jogyakarta City, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 771, 1–4.
- HERDIWIJAYA, D., SATYANINGSIH, R., LUTHFIANDARI, PRASTYO, H. A., ARUMANINGTYAS, A. P., SULAEMAN, M., SETIAWAN, A., YULIANTI, Y. (2020): Measurement of sky brightness at Bosscha Observatory, Indonesia. *Heliyon*, 6, 8, 1–11.
- HRNČÍŘOVÁ, V. (2015). Vliv meteorologických podmínek na světelné znečištění. Bakalářská práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- JECHOW, A. (2019): Observing the impact of WWF Earth Hour on urban light pollution: a case study in Berlin 2018 using differential photometry. *Sustainability*, 11, 3, 1–16.
- JECHOW, A., HÖLKER, F. (2019): Snowglow – the amplification by snow and clouds can exceed full moon illuminance in suburban areas. *Journal of Imaging*, 5, 69, 1–13.
- JECHOW, A., HÖLKER, F. (2020): Evidence that reduced air and road traffic decreased artificial night-time skyglow during COVID-19 lockdown in Berlin, Germany. *Remote Sensing*, 12, 10, 1–23.
- JECHOW, A., HÖLKER, F., KYBA, C. C. M. (2019): Using all-sky differential photometry to investigate how nocturnal clouds darken the night sky in rural areas. *Scientific Reports*, 9, 1–14.
- JECHOW, A., KYBA, C. C. M., HÖLKER, F. (2020): Mapping the brightness and colour of urban to rural skyglow with all-sky photometry. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 250, 1–27.
- JIANG, W., HE, G., WANCHUN, L., LONG, T., WANG, G., LIU, H., PENG, Y., YIN, R., GUO, H. (2018): Characterizing light pollution trends across protected areas in China using nighttime light remote sensing data. *International Journal of Geo-Information*, 7, 1–18.
- KACHLÍK, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Správa úložišť radioaktivních odpadů, Praha.
- KARPIŇSKA, D., KUNZ, M. (2019): Light pollution in the night sky of Toruń in the summer season. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 17, 91–100.
- KLAUDA, O. (2019): Světelné znečištění Kladenska. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Praha.
- KOCOUREK, D. (2014): Geografické aspekty světelného znečištění. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Praha.

- KOCOUREK, D. (2017): Světelné znečištění v okolí hvězdárny Ondřejov. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha.
- KOLLÁTH, Z., DÖMENY, A. (2017): Night sky quality in existing and planned dark sky parks by digital cameras. *International Journal of Sustainable Lighting*, 19, 61–68.
- KOLLÁTH, Z., COOL, A., JECHOW, A., KOLLÁTH, K., SZÁZ, D., TONG, K. P. (2020a): Introducing the dark sky unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 253, 278–290.
- KOLLÁTH, Z., SZÁZ, D., TONG, K. P., KOLLÁTH, K. (2020b): The colour of the night sky. *Journal of Imaging*, 6, 90, 1–15.
- KRISCIUNAS, K. (1997): Optical night-sky brightness at Mauna Kea over the course of a complete sunspot cycle. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 109, 1181–1188.
- KUBALA, M., ŚCIEŻOR, T., DWORAK, T. Z., KASZOWSKI, W. (2009): Artificial sky glow in Cracow agglomeration. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 3A, 194–199.
- KUMAR, P., REHMAN, S., SAJJAD, H., TRIPATHY, B. R., RANI, M., SINGH, S. (2019): Analysing trend in artificial light pollution pattern in India using NTL sensor's data. *Urban Climate*, 27, 272–283.
- KYBA, C. C. M., KUESTER, T., de MIGUEL, A. S., BAUGH, K., JECHOW, A., HÖLKER, F., BENNIE, J., ELVIDGE, C. D., GASTON, K., GUANTER, L. (2017): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3, 11, 1–8.
- KYBA, C. C. M., RUTHZ, T., FISCHER, J., HÖLKER, F. (2012): Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 425, 1, 701–708.
- LARAKI, M., HAYAR, A. (2018): New mathematical model based on OFDM technique for smart lighting systems in smart city. *International Review of Electrical Engineering*, 13, 3, 1–12.
- LEINERT, CH, BOWYER, S., HAIKALA, L. K., HANNER, M. S., HAUSER, M. G., LAVASSEUR-REGOURD, A.-CH., MANN, I., MATTILA, K., REACH, W. T., SCHLOSSER, W., STAUDE, H. J., TOLLER, G. N., WEILAND, J. L., WEINBERG, J. L., WITT, A. N. (1998): The 1997 reference of diffuse night sky brightness. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 127, 1–99.
- LI, Y., LI, S., ZHOU, Y., MENG, X., ZHANG, J., XU, D., LI, H. (2017): Melatonin for the prevention and treatment of cancer. *Oncotarget*, 8, 24, 39896–39921.
- LOLKEMA, D. E., HAAIMA, M., DEN OUTER, P. N., SPOELSTRA, H. (2010): Effects of atmospheric conditions on sky brightness. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven.
- LONGCORE, T., RICH, C. (2004): Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and Environment*, 2, 4, 191–198.
- LÖW, J., NOVÁK, J. (2008): Typologie členění krajiny České republiky. *Urbanismus a územní rozvoj*, 11, 6, 19–23.

- LUGINBUHL, C. B., LOCKWOOD, G. W., DAVIS, D. R., PICK, K., SELDERS, J. (2009a): From the ground up I: Light pollution sources in Flagstaff, Arizona. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 121, 876, 185–203.
- LUGINBUHL, C. B., DURISCOE, D. M., MOORE, C. W., RICHMAN, A., LOCKWOOD, G. W., DAVIS, D. R. (2009b): From the ground up II: Sky glow and the near-ground artificial light propagation in Flagstaff, Arizona. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 121, 876, 204–212.
- MACGREGOR, C. J., EVANS, D. M., FOX, R., POCOCK, M. J. (2017): The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*, 23, 697–707.
- MAIXNER, T. (2005): Rušivé světlo Část 1. - Názvosloví a legislativa. *Světlo*, 5, 50–51.
- MARCO, E., MORALES RUBIO, A., BULLÓN, J. M. (2013): Light pollution in Valencian Natural Parks: where light not only annoys astronomers. In: Guirado, J. C., Lara, L. M., Quilis, V., Gorgas, J. (eds.): *Highlights of Spanish Astrophysics VII, Proceedings of the X Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA)*. Spanish Astronomical Society, Valencia.
- MAŠEK, M. (2017): Měření jasu noční oblohy a jeho geografické aspekty. *Bakalářská práce*. Technická univerzita, Liberec.
- de MIGUEL, A. S., AUBÉ, M., ZAMORANO, J., KOCIFAJ, M., ROBY, J., TAPIA, C. (2017): Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467, 3, 2966–2979.
- MILLER, S. D., MILLS, S. P., ELVIDGE, C. D., LINDSEY, D. T., LEE, T. F., HAWKINS, J. D. (2012): Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 39, 15706–15711.
- MILLER, S. D., STRAKA, W., MILLS, S. P., ELVIDGE, C. D., LEE, T. F., SOLBRIG, J., WALTHER, A., HEIDINGER, A. K., WEISS, S. C. (2013): Illuminating the capabilities of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. *Remote Sensing*, 5, 12, 6717–6766.
- MITAS, L., MITASOVA, H. (2005): Spatial interpolation. In: Longley, P. A., Goodchild, F. M., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (eds.): *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley, Hoboken.
- MIZON, B. (2012): *Light Pollution: Responses and Remedies*. Springer, New York.
- MOUDRÁ, M. (2014): Jak se hledá a měří tma. *Astropis*, 1, 17–19.
- MOUDRÁ, M. (2015): Světelné znečištění a ochrana nočního životního prostředí v České republice. *Bakalářská práce*. Univerzita Karlova, Praha.
- MORGAN-TAYLOR, M. (2015): Regulating Light Pollution in Europe: Legal Changes and Ways Forward. In: Meier, J., Hasernöhr, U., Krause, K., Pottharst (eds.): *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge, New York, London.
- MÜNCH, M., BROMUNDT, V. (2012): Light and chronobiology: implications for health and disease. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 14, 4, 448–453.
- NAKAMURA, T., YAMASHITA, S. (1997): Phototactic behavior of nocturnal and diurnal spiders: negative and positive phototaxis. *Zoological Science*, 14, 2, 199–203.

- NAWAR, S., MORCOS, A. B., EL AGMY, GAD, G. M. A., ELGOHARY, S. (2020): Sky twilight brightness at zenith expressed in magnitudes. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9, 1, 63–70.
- NETOPIL, R., BRÁZDIL, R., DEMEK, J., PROŠEK, P. (1984): *Fyzická geografie 1*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- NETZEL, H., NETZEL, P. (2018): High resolution map of light pollution. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 221, 300–308.
- NIEVAS, M. (2013): Absolute photometry and night sky brightness with all-sky cameras. Diplomová práce. Madridská univerzita.
- NILSON, B. A. (1997): Model of the relation between aerosol extinction and meteorological parameters. *Pergamon*, 28, 5, 815–825.
- OGDEN, L. J. E. (1996): Collision course: The hazards of lighted structures and windows to migrating birds. World Wildlife Fund Canada, Fatal Light Awareness Program Canada, Toronto.
- PATAT, F., UGOLNIKOV, O. S., POSTYLYAKOV, O. S. (2006): UBVRI twilight sky brightness at ESO-Paranal. *Astronomy & Astrophysics*, 455, 1, 385–393.
- PESTALOZZI, N., CAUWELS, P., SORNETTE, D. (2014): Dynamics and spatial distribution of global nighttime light. *EPJ Data Science*, 3, 1–42.
- POLÍVKA, V. (2011): Rekultivace odvalu dolu Tuchlovice. *Vesmír*, 90, 716.
- POSCH, T., BINDER, F., PUSCHNIG, J. (2018): Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 211, 144–165.
- PRIYATIKANTO, R., MAYANGSARI, L., PRIHANDOKO, R. A., ADMIRANTO, A. G. (2020): Classification of continuous sky brightness data using random forest. *Advances in Astronomy*, 2020, 1–11.
- PUN, C. S. J., SO, C. W. (2011): Night-sky brightness monitoring in Hong Kong – a city-wide light pollution assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 4, 2537–2557.
- PUN, C. S. J., SO, C. W., LEUNG, W. Y., WONG, C. W. (2013): Contribution of artificial lighting on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 139, 90–108.
- PUSCHNIG, J., POSCH, T., UTTENHALTER, S. (2014): Night sky photometry and spectroscopy performed at the Vienna University Observatory. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 17, 64–75.
- PUSCHNIG, J., SCHWOPE, A., POSCH, T., SCHWARZ, R. (2014): The sky brightness at Potsdam-Babelsberg including overcast and moonlit conditions. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 139, 76–81.
- QUITT, E. (1982): Voda v atmosféře. In: Horník, S., Chábera, S., Kříž, H., Mičian, L., Quitt, E.: *Základy fyzické geografie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 32–43.
- RAPPRICH, V. (2012): Nový pohled na vulkanologii Vinařické hory. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2011*, 45, 29–33.
- RCEP (2009): *Artificial Light in the Environment*. The Stationery Office, Norwich.

- RIBAS, S. J., TORRA, J., FIGUERRAS, F., PARICIO, S., CANAL-DOMINGO, R. (2016): How clouds are amplifying (or not) the effects of ALAN. *International Journal of Sustainable Lighting*, 35, 32–39.
- RIEGEL, K. W. (1973): Light pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy. *Science*, 179, 4080, 1285-1291.
- ROBLES, J., ZAMORANO, J., PASCUAL, S., de MIGUEL, A. S., GALLEGO, J., GASTON, J. G. (2021): Evolution of brightness and colour of the night sky brightness in Madrid. *Remote Sensing*, 13, 8, 1511.
- ROMPORTL, D., CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z. (2013): Typologie současné krajiny Česka. *Geografie*, 118, 1, 16–39.
- ROZEHNAL, J., ČERNÝ, J., FUCHS, M., HABUDA, P., PODDANÝ, S., PROSECKÝ, T., SOUMAROVÁ, L., ŠMELCER, L., VESELÝ, J., VONDRÁK, J., ZEJDA, M. (2019): Hvězdářská ročenka 2020. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Astronomický ústav AV ČR, Praha.
- ROZEHNAL, J., ČERNÝ, J., FUCHS, M., HABUDA, P., PODDANÝ, S., PROSECKÝ, T., SOUMAROVÁ, L., ŠMELCER, L., VESELÝ, J., VONDRÁK, J., ZEJDA, M. (2020): Hvězdářská ročenka 2021. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Astronomický ústav AV ČR, Praha.
- SALMON, M. (2003): Artificial light lighting and sea turtles. *Biologist*, 50, 4, 163–168.
- SENZAKI, M., BARBER, J. R., PHILLIPS, J. N., CARTER, N. H., COOPER, C. B., DITMER, M. A., FRISTRUP, K. M., MCCLURE, C. J. W., MENNITT, D. J., TYRRELL, L. P., VUKOMANOVIC, J., WILSON, A. A., FRANCIS, C. D. (2020): Sensory pollutants alter birds phenology and fitness across a continent. *Nature*, 587, 605–609.
- da SILVA, A., VALCU, M., KEMPENAERS, B. (2015): Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common Europeans songbirds. *Philosophical Transaction B*, 370, 1667, 1–9.
- SCHULTE-RÖMER, N., MEIER, J., SÖDING, M., DANNEMANN, E. (2019): The LED Paradox: how light pollution challenges experts to reconsider sustainable lighting. *Sustainability*, 11, 21, 1–17.
- SHIMOJI, N., KUNINAKA, S., IZUMI, K. (2017): Evaluation of the brightness of lightning channels and branches using the magnitude system: Application of astronomical photometry. *Results in Physics*, 7, 2085–2095.
- SKALICKÝ, V. (1988): Regionálně fytogeografické členění. In: Hejný, S., Slavík, B. (eds.): *Květena České socialistické republiky*. Academia, Praha.
- SOKANSKÝ, K., NOVÁK, T., BÁLSKÝ, M., BLÁHA, Z., CARBOL, Z., DIVIŠ, D., SOCHA, B., ŠNOBL, J., ŠUMPICH, J., ZÁVADA, P. (2011): *Světelná technika*. České vysoké učení technické, Praha.
- SOKOLÍK, J. (2015): Analýza časového vývoje světelného znečištění České republiky v posledních dvaceti letech prostřednictvím satelitních dat. Diplomová práce. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- STARÝ, J. (2013): Světelné znečištění ovzduší. Diplomová práce. Univerzita Palackého, Olomouc.

- SUCHAN, P. (2004): Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky. In: Hollan, J.: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita, Brno.
- SUKMA, M., PRAMUDYA, Y., MUCHLAS, OKIMUSTAVA (2019): Night sky brightness measurements during the March 2018 Earth Hour in Yogyakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 1231, 1–5.
- SULLIVAN, W. T. (1989): A 10-km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photographs in the 400-1100-nm band. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1, 1–15.
- SULLIVAN, W. T. (1991): Earth at night: an image of the nighttime Earth based on cloud-free satellite photographs. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 17, 11–17.
- ŚCIEŻOR, T. (2013): A new astronomical method for determining the brightness of the night sky and its application to study long-term changes in the level of light pollution. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 435, 1, 303–310.
- ŚCIEŻOR, T. (2020): The impact of clouds on the sky brightness of the night sky. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 247, 1–13.
- ŚCIEŻOR, T., BALCERZAK, W. (2015): Wpływ zanieczyszczenia świetlnego na eutrofizację zbiornika dobczyckiego. *Kosmos*, 64, 4, 599–610.
- ŚCIEŻOR, T., CZAPLICKA, A. (2020): The impact of aerosol atmospheric particles on the brightness of the night sky. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 254, 1–16.
- ŚCIEŻOR, T., KUBALA, M. (2014): Particulate matter as an amplifier for astronomical light pollution. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 444, 3, 2487–2493.
- ŠÉN, M. (2018): Světelné znečištění a vliv reliéfu. Diplomová práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- ŠKVARENINOVÁ, J., TUHÁRSKA, M., ŠKVARENINA, J., BALÁBOVÁ, D., SLOBODNÍKOVÁ, L., SLOBODNÍK, B., STŘEDOVÁ, H., MINĎAŠ, J. (2017): Effects of light pollution on tree phenology. *Moravian Geographical Reports*, 25, 4, 282–290.
- TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERIANOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2007): Atlas podnebí Česka. Univerzita Palackého v Olomouci. Český hydrometeorologický úřad, Praha.
- VANÝSEK, V. (1980): Základy astronomie a astrofyziky. Academia, Praha.
- VERHEIJEN, F. J. (1985): Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causation, remedies. *Experimental Biology*, 44, 1, 1–18.
- VLČEK, V. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže. Academia, Praha.
- VOJTĚCHOVSKÁ, K. (2014): Míra světelného znečištění v oblasti města Mělníka a jeho okolí. Bakalářská práce. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- WALKER, M. F. (1970): The California site survey. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 82, 487, 672–698.
- WALKER, M. F. (1973): Light pollution in California and Arizona. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 85, 508, 508–519.

WANG, H., ZHAO, T., ZHANG, X., GONG, S. (2011): Dust direct radiative effects on the earth-atmosphere system over east Asia: Early spring cooling and late spring warming. *Chinese Science Bulletin*, 56, 10, 1020–1030.

WILMOTT, N. J., HENNEKEN, J., SELLECK, C. J., JONES, T. M. (2018): Artificial light at night alters life history in a nocturnal orb-web spider. *PeerJ*, 6, 3, 1–17.

XIANG, W., TAN, M. (2017): Changes in light pollution and the causing factors in China's protected areas, 1992-2012. *Remote Sensing*, 9, 10, 1–16.

YANG, Y., MOORE, A. M., KRISCIUNAS, K., WANG, L., ASHLEY, M. C. B., FU, J., BROWN, P. J., CUI, X., FENG, L., GONG, X., HU, Z., LAWRENCE, J. S., LUONG-VAN, D., RIDDLE, R. L., SHANG, Z., SIMS, G., STOREY, J. W. V., SUNTZEFF, N. B., TOTHILL, N., TRAVOUILLON, T., YANG, H., YANG, Z., ZHOU, X., ZHU, Z. (2017): Optical sky brightness and transparency during the winter season at Dome A Antarctica from the Gattini-All-Sky camera. *The Astronomical Journal*, 154, 6, 1–16.

ZHANG, J. C., FAN, Z., YAN, J. Z., KUMAR, Y. B., LI, H. B., GAO, D. Y., JIANG, X. J. (2016): The night sky spectrum of Xinglong observatory: changes from 2004 to 2015. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 128, 968, 1–6.

ZIELIŃSKA-DABKOWSKA, D. M. (2014): Urban city lights. Light pollution as one of the effects of incorrectly designed external illumination. How can a successful lighting masterplan diminish its impact? 1st International Conference on Sustainable Lighting and Light Pollution.

ZIELIŃSKA-DABKOWSKA, D. M., XAVIA, K., BOBKOWSKA, K. (2020): Assessment of citizens' actions against light pollution with guidelines for future initiatives. *Sustainability*, 12, 12, 1–32.

ŽIBERNA, I. (2016): Svetlobna onesnaženost na območju Maribora. *Revija za geografijo*, 11, 2, 119–130.

11.2 Právní dokumenty

Vyhláška č. 4162, o mezních hodnotách světelného znečištění. In: *Uradni list Republike Slovenije* 7. 9. 2007.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: *Sbírka zákonů České republiky* 19. 2. 1992.

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

11.3 Internetové zdroje

AURA (2021): *Globe at Night*, <https://www.globeatnight.org/> (24. 2. 2021).

BIČÍK, I., BOUDNÝ, Z., BURDA, T., CHROMÝ, P., JANČÁK, V. (2022): *Kladensko: Charakteristika území*, <http://www.zaniklekrajiny.cz/atlas/charakteristika-uzemi-18/186-modelova-uzemi/kladensko/charakteristika-uzemi/957-soc-charakter-uzemi> (3. 1. 2022).

ČAS (2021): *Světelné znečištění*, <https://www.astro.cz/rady/svetelne-znecisten.html> (28. 2. 2021).

ČHMÚ (2022): *Předpovědi modelu ALADIN*, <https://www.chmi.cz/predpovedi/predpovedi-pocasi/aladin/aladin-mapy> (11. 1. 2022).

- ČMES (1993): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), <http://slovník.cmes.cz> (10. 2. 2021).
- ČMES (2015): Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), <http://slovník.cmes.cz> (12. 2. 2021).
- HÁJEK, R., SUCHOMEL, J. (2014): Historie dolování, <http://hornictvi.kladnominule.cz/historie-dolovaacuteniacute.html> (15. 4. 2021).
- IDA (2021): Glossary, <https://www.darksky.org/our-work/grassroots-advocacy/resources/glossary/> (28. 2. 2021).
- INMETEO (2022): Ventusky, <https://www.ventusky.com> (11. 1. 2022).
- INSTITUT BIOSTATISTIKY A ANALÝZ LÉKAŘSKÉ FAKULTY MASARYKOVY UNIVERZITY (2022): Centrální limitní věta, <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickych-a-biologickych-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--bodove-a-intervalove-odhady--teoreticke-pozadi-intervalovych-odhadu--centralni-limitni-veta> (7. 2. 2022).
- KRAMER, H. J. (2021): DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/-/dmsp> (12. 4. 2021).
- KUFFNER-STERNWARTE (2019): Lightmeter, <http://hms.sternhell.at/lightwiki/index.php/Lightmeter> (9. 4. 2021).
- LEDVINA, P. (2021): Hodina Země 2021, <https://www.veronica.cz/hodinazeme/> (22. 2. 2021).
- MEHMEDINOVIĆ, H., HEFFERNAN, G. (2020): Skyglow. <https://skyglowproject.com/> (7. 4. 2021).
- MOUDRÁ, M. (2021a): SkyQuality.com, <http://skyquality.cz/> (24. 2. 2021).
- MOUDRÁ, M. (2021b): Světelné znečištění, <https://svetelnezneistení.cz/> (12. 3. 2021).
- NAVE, C. R. (2017): Mie Scattering, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html> (16. 2. 2021).
- RITCHIE, H., MATHIEU, E., RODÉS-GUIRAO, L., APPEL, C., GIATTINO, C., ORTIZ-OSPINA, E., HASELL, J., MACDONALD, B., DATTANI, S., ROSER, M. (2022): Covid-19: Google Mobility Trends, <https://ourworldindata.org/covid-google-mobility-trends> (29. 3. 2022).
- STARE, J. (2020): Radiance light trends, <https://lighttrends.lightpollutionmap.info> (26. 2. 2021).
- STARE, J. (2021): Light pollution map, <https://www.lightpollutionmap.info> (26. 2. 2021).
- ŠAJDÍKOVÁ, M., MAĎA, P., FONTANA, J. (2018): Zrakový systém, <http://fbt.cz/skripta/xiii-smysly/1-zrakovy-system/> (7. 4. 2021).
- TARTA, A. (2020): Light pollution, <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/light-pollution> (17. 1. 2022).
- TRNKA, M., ŽALUD, Z., SEMERÁDOVÁ, D., BÁLEK, J., BARTOŠOVÁ, L., HLAVINKA, P., DUBROVSKÝ, M., BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., CUDLÍN, P., VAČKÁŘŮ, D., OULEHLE, F., HARMÁČKOVÁ, Z. V., PAVELKA, M., KRUPKOVÁ, L. (2021): Klimatická změna.cz, <https://www.klimatickazmena.cz/cs> (15. 4. 2021).

UNIHDRON (2017): Instruction sheet, http://unihedron.com/projects/darksky/Instruction_sheet.pdf (8. 4. 2021).

UNIHDRON (2022a): Sky Quality Meter – L, <http://www.unihedron.com/projects/sqm-l/> (10. 2. 2022).

UNIHDRON (2022b): Sky Quality Meter comparison, <http://www.unihedron.com/projects/darksky/comparison/> (4. 3. 2022).

11.4 Data a mapové podklady

AOPK ČR (2021): Otevřená data, <https://gis-aopkcr.opendata.arcgis.com/> (20. 4. 2021).

ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK (2016): ArcČR 500, verze 3.3, <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (14. 4. 2021).

COPERNICUS (2018): Corine Land Cover (2018) CLC, Version 2020_20u1, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=mapview> (15. 4. 2021).

COPERNICUS (2020): Urban Atlas 2018, <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018> (2. 2. 2022).

ČGS (2021a): Geologická mapa České republiky 1 : 500 000, https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa500/MapServer/WmsServer (15. 4. 2021).

ČGS (2021b): Půdní mapa 1 : 50 000, https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_typy50/MapServer/WmsServer (20. 4. 2021).

ČSÚ (2013): Dojíždka do zaměstnání a škol podle Sčítání lidu, domů a bytů – Středočeský kraj – 2011, https://www.czso.cz/csu/czso/23020-13-n-k3026_2013-12 (4. 1. 2022).

ČSÚ (2021a): Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2021, <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112021> (3. 1. 2022).

ČSÚ (2021b): Vývoj vybraných ukazatelů v SO ORP Kladno. <https://www.czso.cz/csu/xs/vyvoj-vybranych-ukazatelu-v-so-orp-kladno> (3. 1. 2022).

ČSÚ (2022): Registr ekonomických subjektů. https://www.czso.cz/csu/res/registr_ekonomickyh_subjektu (3. 1. 2022).

ČÚZK (2021a): Analýzy výškopisu, <https://ags.cuzk.cz/av/> (15. 4. 2021).

ČÚZK (2021b): Digitální geografický model území ČR (Data50), http://geoportal.cuzk.cz/ZAK_AZKY/Data50/vsechnyVrstvy.zip (10. 2. 2022).

ČÚZK (2021c): Prohlížečí služba WMS – Ortofoto, https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx (24. 1. 2022).

ČÚZK (2021d): Topografická databáze České republiky (Data 200), <http://geoportal.cuzk.cz/ZAKAZKY/Data200/vsechnyVrstvy.zip> (10. 2. 2022).

ČÚZK (2021e): Základní mapa České republiky 1:100 000, https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM100_PUB/WMSservice.aspx (14. 4. 2021).

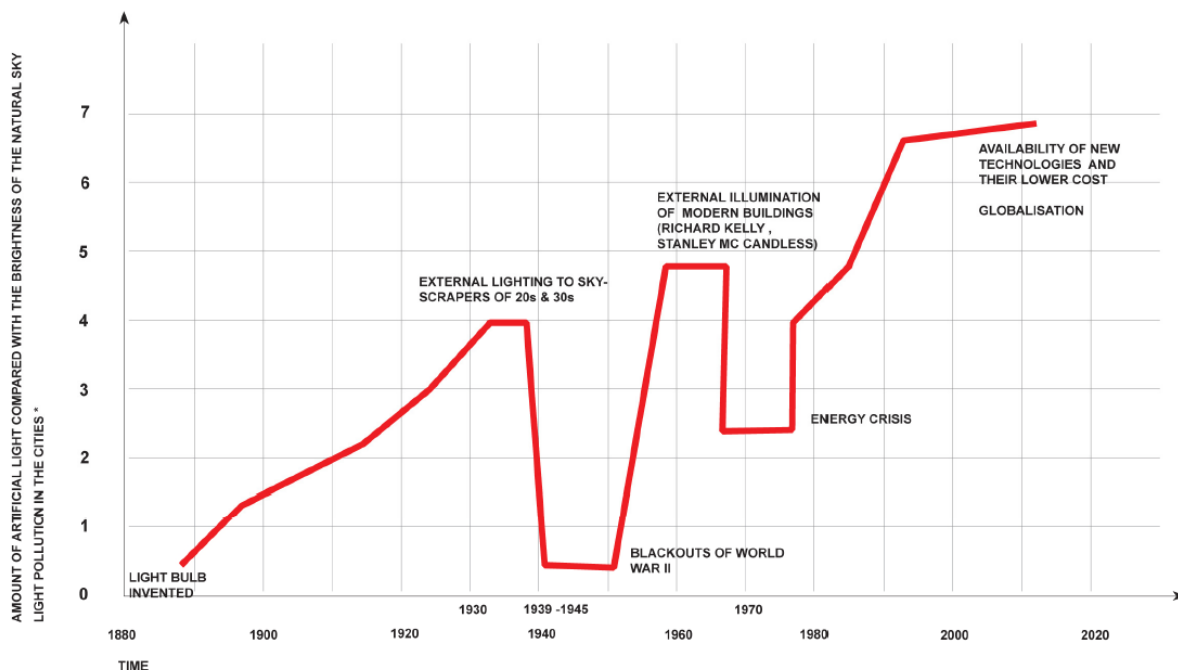
- ČÚZK, DEMEK, J. (2015): Geomorfologické jednotky ČR – 1998. <https://ags.cuzk.cz/ArcGIS/services/GeomorfologickeJednotky/MapServer/WMS/Server> (15. 4. 2021).
- EUROSTAT (2018): Countries, 2016 - Administrative Units – Dataset, <https://giscoservices.ec.europa.eu/distribution/v2/countries/download/ref-countries-2016-10m.shp.zip> (10. 2. 2022).
- OPENSTREETMAP (2022): Traffic, <https://download.geofabrik.de/europe/czech-republic-latest-free.shp.zip> (10. 2. 2022).
- STÁTNÍ POZEMKOVÝ ÚŘAD (2021): Celostátní databáze BPEJ, <https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej> (20. 4. 2021).

Seznam příloh

Příloha 1	Závislost světelného znečištění na technologii venkovního osvětlení	I
Příloha 2	Schéma vlivu světelného znečištění na noční oblohy dle tříd Bortleovy stupnice ..	I
Příloha 3	Rozmístění měřicích stanovišť určených pro tvorbu mapy světelného znečištění.	II
Příloha 4	Výsledky doplňkových terénních měření pro účely tvorby mapy.....	II
Příloha 5	Výsledky terénního měření C-18./19. 11. 2020	III
Příloha 6	Výsledky terénního měření B-21./22. 11. 2020	IV
Příloha 7	Výsledky terénního měření A-1./2. 10. 2021	V
Příloha 8	Výsledky terénního měření A-8./9. 10. 2021	VI
Příloha 9	Výsledky terénního měření B-9./10. 10. 2021	VII
Příloha 10	Výsledky terénního měření C-10./11. 10. 2021	VIII
Příloha 11	Výsledky terénního měření A-6./7. 11. 2021	IX
Příloha 12	Výsledky terénního měření B-9./10. 11. 2021	X
Příloha 13	Výsledek interpolační metody vážené inverzní vzdálenosti	XI
Příloha 14	Výsledek interpolační metody kriging	XI

Mapa světelného znečištění Kladenska je elektronickou přílohou diplomové práce a je uložena na přiloženém CD.

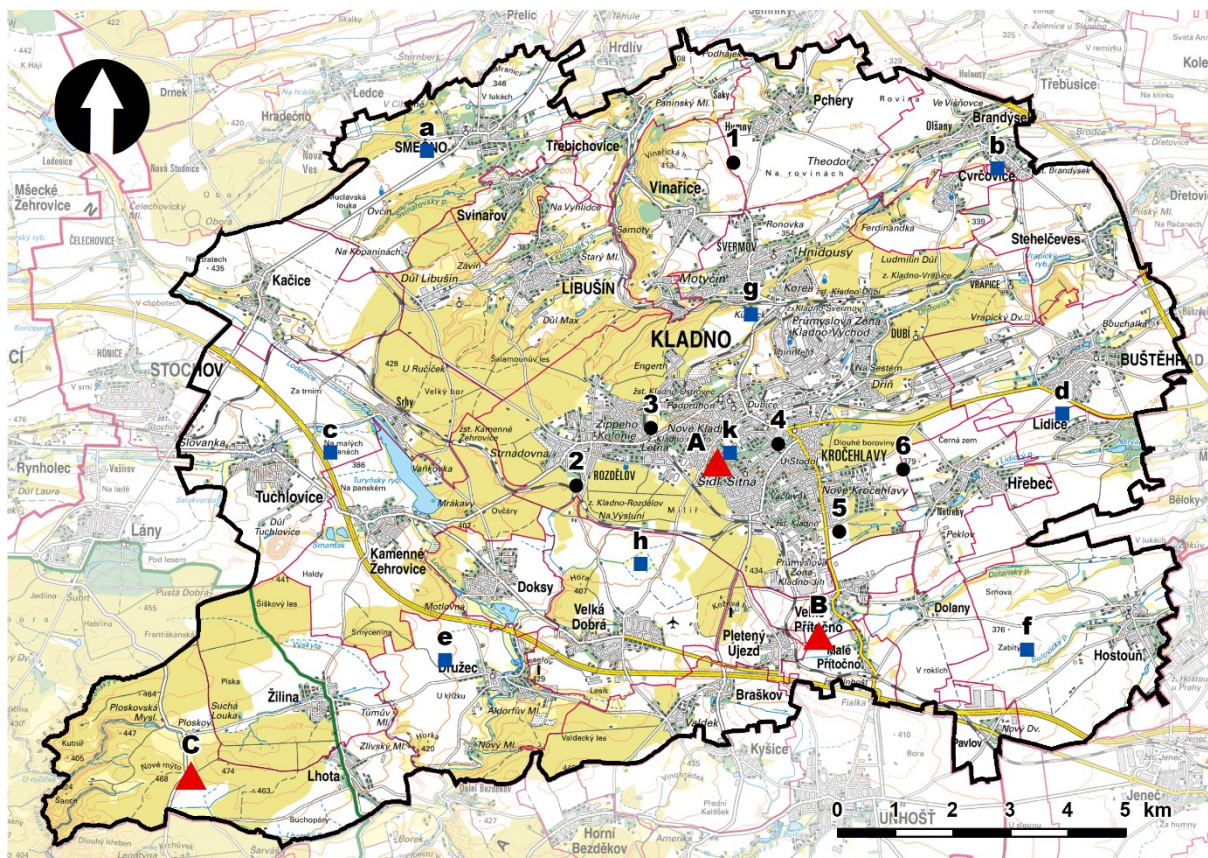
Přílohy



Příloha 1: Závislost světelného znečištění (poměr množství umělého světla k přirozenému jasů oblohy) na technologii venkovního osvětlení. Převzato z Zelińska-Dabkowska (2014).



Příloha 2: Schéma vlivu světelného znečištění na noční oblohu dle tříd Bortleovy stupnice. Převzato z Mehmedinović a Heffernan (2020).



Příloha 3: Rozmístění měřicích stanovišť určených pro tvorbu mapy světelného znečištění. Vytvořeno autorem s použitím Základní mapy 1 : 100 000 (ČÚZK 2021e) a vektorové vrstvy obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).

Stanoviště	(1) Pchery, Humna	(2) Kladno, Zvoneček	(3) Kladno, u nemocnice	(4) Kladno, u pivovaru	(5) Kladno, Růžové Pole	(6) Hřebeč, Netřeby	
Souřadnice	N50.1845, E14.1030	N50.1338, E14.0658	N50.1429, E14.0838	N50.1407, E14.1147	N50.1271, E14.1298	N50.1369, E14.1451	
Datum a čas měření	3. 12. 2021, 2:00	8. 4. 2021, 22:45	8. 4. 2021, 21:50	10. 3. 2021, 22:00	10. 3. 2021, 21:10	10. 3. 2021, 20:20	
Jas noční oblohy [mag/arcsec ²]	1.	20,46	20,26	19,70	19,00	19,49	19,54
	2.	20,39	20,26	19,70	19,00	19,49	19,52
	3.	20,45	20,23	19,73	19,00	19,47	19,53
	4.	20,39	20,27	19,68	18,97	19,48	19,53
	5.	20,45	20,25	19,65	18,98	19,45	19,54

Příloha 4: Výsledky doplňkových terénních měření pro účely tvorby mapy. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Lhota, Na Bukovkách (C)																
Termín měření:		18. – 19. 11. 2020																
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	
Teplota (°C)		4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	20,87	20,80	20,85	20,84	20,87	20,91	20,93	20,88	20,96	21,00	21,03	21,01	21,01	20,99	20,87	20,83	
	2.	20,90	20,84	20,82	20,87	20,87	20,86	20,91	20,84	20,94	20,94	21,07	20,96	20,96	21,03	20,92	20,82	
	3.	20,87	20,82	20,84	20,86	20,84	20,91	20,89	20,86	20,88	20,96	21,04	20,97	20,96	21,01	20,88	20,83	
	4.	20,88	20,79	20,84	20,82	20,86	20,87	20,93	20,90	21,03	21,03	21,09	21,05	21,07	21,06	20,94	20,87	
	5.	20,88	20,77	20,80	20,81	20,82	20,92	20,89	20,88	21,00	20,99	21,05	21,04	21,05	21,03	20,91	20,86	
Čas (SEČ)		1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00
Teplota [°C]		3	3	2	1	0	0	0	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1
Poznámky		v. o.	v. o.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	20,54	20,71	21,01	21,06	21,06	21,14	21,07	21,10	21,06	21,14	21,14	21,14	21,15	21,14	21,17	21,12	21,14
	2.	20,51	20,75	20,97	21,01	21,06	21,08	21,08	21,06	21,02	21,08	21,14	21,11	21,10	21,12	21,12	21,12	21,12
	3.	20,45	20,73	21,01	21,04	21,07	21,14	21,09	21,12	21,01	21,08	21,10	21,10	21,10	21,12	21,17	21,13	21,16
	4.	20,48	20,73	21,01	21,11	21,15	21,18	21,16	21,10	21,08	21,06	21,15	21,14	21,09	21,13	21,16	21,20	21,16
	5.	20,44	20,74	21,06	21,07	21,11	21,14	21,12	21,08	21,04	21,09	21,12	21,10	21,12	21,18	21,15	21,23	21,15

Příloha 5: Výsledky terénního měření C-18./19. 11. 2020. Měření označená „v. o.“ byla ovlivněna vysokou oblačností. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Velké Přítočno, Na Radkovech (B)																
Termín měření:		21. – 22. 11. 2020																
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	
Teplota (°C)		0	1	0	2	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	-2	-2	
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	19,95	19,93	19,97	20,04	20,06	20,09	20,21	20,17	20,17	20,23	20,21	20,14	20,19	20,20	20,22	20,24	
	2.	19,94	19,91	19,94	20,07	20,05	20,07	20,18	20,13	20,14	20,19	20,23	20,21	20,25	20,15	20,19	20,22	
	3.	19,89	20,00	19,97	20,02	20,05	20,07	20,17	20,15	20,17	20,10	20,26	20,11	20,07	20,21	20,20	20,19	
	4.	19,95	19,94	19,94	20,00	20,08	20,17	20,18	20,06	20,07	20,16	20,06	20,02	20,21	20,20	20,22	20,21	
	5.	19,91	19,96	20,01	20,02	20,07	20,06	20,16	20,17	20,12	20,18	20,10	20,07	20,18	20,21	20,17	20,17	
Čas (SEČ)		1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00
Teplota [°C]		3	3	2	1	0	0	0	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	v. o.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	20,19	20,19	20,21	20,22	20,18	20,18	20,19	20,08	20,22	20,22	20,20	20,18	20,08	20,14	20,14	20,17	20,12
	2.	20,22	20,19	20,24	20,21	20,17	20,16	20,16	20,10	20,20	20,31	20,12	20,21	20,17	20,17	20,04	20,22	20,07
	3.	20,22	20,21	20,20	20,15	20,17	20,17	20,17	20,08	20,20	20,14	20,22	20,14	20,12	20,08	20,17	20,17	20,10
	4.	20,22	20,18	20,21	20,17	20,20	20,17	20,14	20,11	20,19	20,22	20,11	20,20	20,10	20,14	20,14	20,13	20,10
	5.	20,18	20,22	20,14	20,14	20,18	20,21	20,21	20,08	20,27	20,29	20,27	20,18	20,03	20,06	20,12	20,20	20,11

Příloha 6: Výsledky terénního měření B-21./22. 11. 2020. Měření označená „v. o.“ byla ovlivněna vysokou oblačností. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Kladno, Habešovna (A)															
Termín měření:		1. – 2. 10. 2021															
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45
Teplota (°C)		10	9	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	19,72	19,76	19,78	19,79	19,76	19,80	19,85	19,87	19,90	19,93	19,94	19,94	19,97	20,00	20,04	20,03
	2.	19,70	19,73	19,75	19,79	19,75	19,79	19,81	19,83	19,89	19,92	19,95	19,93	19,95	19,98	20,02	20,03
	3.	19,74	19,75	19,74	19,75	19,72	19,80	19,83	19,82	19,90	19,89	19,90	19,88	19,88	19,98	20,02	20,02
	4.	19,74	19,72	19,71	19,72	19,68	19,77	19,81	19,82	19,89	19,85	19,90	19,90	19,98	19,95	20,04	19,97
	5.	19,71	19,74	19,75	19,74	19,75	19,78	19,80	19,85	19,87	19,89	19,89	19,89	19,92	19,96	20,02	20,03
Čas (SEČ)		1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00			
Teplota [°C]		6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5			
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	20,02	20,00	19,98	19,97	19,98	19,95	19,95	19,94	19,92	19,88	19,87	19,81	19,81			
	2.	20,01	19,99	19,97	19,94	19,98	19,94	19,91	19,92	19,90	19,87	19,85	19,80	19,83			
	3.	19,99	19,97	19,97	19,94	19,98	19,97	19,91	19,92	19,89	19,88	19,83	19,86	19,87			
	4.	19,98	19,98	19,96	19,95	19,93	19,93	19,90	19,91	19,88	19,83	19,83	19,84	19,85			
	5.	20,01	19,97	19,92	19,93	19,94	19,96	19,93	19,92	19,91	19,88	19,85	19,83	19,85			

Příloha 7: Výsledky terénního měření A-1./2. 10. 2021. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Kladno, Habešovna (A)															
Termín měření:		8. – 9. 10. 2021															
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45
Teplota (°C)		12	10	10	9	9	5	3	3	3	2	2	3	3	3	2	2
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	19,54	19,42	19,65	19,64	19,76	19,72	19,73	19,73	19,82	19,70	19,72	19,65	19,62	19,70	19,74	19,74
	2.	19,54	19,42	19,64	19,72	19,72	19,71	19,72	19,75	19,76	19,71	19,72	19,66	19,62	19,72	19,75	19,77
	3.	19,54	19,39	19,63	19,75	19,75	19,70	19,76	19,75	19,73	19,74	19,70	19,68	19,60	19,68	19,71	19,76
	4.	19,52	19,33	19,63	19,75	19,74	19,73	19,73	19,71	19,76	19,70	19,70	19,64	19,62	19,70	19,72	19,73
	5.	19,54	19,37	19,63	19,73	19,71	19,70	19,75	19,75	19,72	19,74	19,73	19,68	19,63	19,68	19,75	19,76
Čas (SEČ)		1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00			
Teplota [°C]		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0			
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Jas oblohy [mag/arcsec ²]	1.	19,79	19,77	19,78	19,78	19,80	19,80	19,81	19,83	19,83	19,84	19,86	19,85	19,85			
	2.	19,75	19,78	19,77	19,81	19,82	19,79	19,83	19,82	19,86	19,86	19,83	19,87	19,87			
	3.	19,75	19,75	19,76	19,77	19,78	19,80	19,83	19,82	19,85	19,85	19,87	19,85	19,87			
	4.	19,76	19,79	19,80	19,79	19,80	19,81	19,83	19,81	19,82	19,82	19,83	19,87	19,85			
	5.	19,75	19,79	19,77	19,80	19,78	19,82	19,80	19,86	19,82	19,85	19,87	19,84	19,84			

Příloha 8: Výsledky terénního měření A-8./9. 10. 2021. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Velké Přítočno, Na Radkovech (B)															
Termín měření:		9. – 10. 10. 2021															
Čas (SEČ)		19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15
Teplota [°C]		10	6	5	4	4	3	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	20,09	20,08	20,11	20,12	20,13	20,15	20,17	20,19	20,19	20,21	20,23	20,24	20,28	20,24	20,26	20,26
	2.	20,07	20,09	20,11	20,10	20,12	20,15	20,16	20,16	20,18	20,17	20,20	20,22	20,25	20,22	20,26	20,26
	3.	20,10	20,08	20,10	20,11	20,10	20,15	20,14	20,16	20,19	20,18	20,19	20,24	20,25	20,22	20,26	20,25
	4.	20,10	20,07	20,10	20,10	20,14	20,12	20,16	20,17	20,17	20,20	20,21	20,24	20,25	20,24	20,24	20,23
	5.	20,08	20,05	20,11	20,13	20,11	20,14	20,13	20,16	20,19	20,18	20,22	20,24	20,24	20,22	20,24	20,24
Čas (SEČ)		23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15
Teplota [°C]		0	-1	-2	0	0	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-1	-2	-2
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	20,27	20,27	20,29	20,28	20,29	20,29	20,30	20,31	20,31	20,29	20,30	20,29	20,29	20,29	20,23	20,23
	2.	20,24	20,23	20,24	20,27	20,28	20,27	20,28	20,29	20,27	20,26	20,28	20,26	20,28	20,28	20,25	20,22
	3.	20,24	20,27	20,25	20,28	20,26	20,29	20,27	20,27	20,26	20,29	20,28	20,24	20,28	20,25	20,25	20,24
	4.	20,22	20,26	20,27	20,24	20,28	20,28	20,27	20,27	20,28	20,25	20,26	20,27	20,29	20,27	20,21	20,22
	5.	20,26	20,22	20,27	20,24	20,26	20,25	20,29	20,29	20,29	20,25	20,25	20,27	20,25	20,27	20,24	20,22
Čas (SEČ)		3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00									
Teplota [°C]		-2	-2	-2	-3	-3	-2	-2									
Poznámky		-	-	-	-	sl.	sl.	sl.									
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	20,23	20,22	20,19	20,18	20,18	20,16	20,15									
	2.	20,23	20,21	20,22	20,21	20,20	20,18	20,14									
	3.	20,24	20,20	20,18	20,20	20,19	20,18	20,10									
	4.	20,24	20,20	20,18	20,17	20,17	20,18	20,13									
	5.	20,22	20,22	20,22	20,19	20,18	20,18	20,10									

Příloha 9: Výsledky terénního měření B-9./10. 10. 2021. Měření označená „sl.“ byla ovlivněna slunečním svitem. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Lhota, Na Bukovkách (C)															
Termín měření:		10. – 11. 10. 2021															
Čas (SEČ)		19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30
Teplota [°C]		8	4	0	0	0	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	20,94	20,94	20,99	21,01	21,00	21,02	21,03	21,05	21,06	21,06	21,07	21,08	21,08	21,09	21,10	21,10
	2.	20,93	20,92	20,94	20,96	20,95	20,97	20,99	21,01	21,03	21,03	21,03	21,04	21,04	21,05	21,05	21,06
	3.	20,92	20,93	20,94	20,98	20,94	21,03	21,03	21,05	21,02	21,06	21,03	21,10	21,06	21,04	21,08	21,09
	4.	20,98	20,95	20,98	20,94	21,00	20,98	21,00	21,01	21,06	21,04	21,04	21,05	21,09	21,09	21,05	21,05
	5.	20,92	20,94	20,95	20,98	20,96	21,00	20,99	21,01	21,02	21,04	21,03	21,04	21,04	21,06	21,04	21,05
Čas (SEČ)		23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30
Teplota [°C]		-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-1	-2	-1	1	0	0	0	0	1
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	21,11	21,11	21,09	21,12	21,09	21,12	21,12	21,12	21,06	21,10	21,10	21,14	21,12	21,08	21,12	21,15
	2.	21,07	21,07	21,08	21,08	21,08	21,08	21,08	21,08	21,10	21,06	21,06	21,08	21,09	21,09	21,08	21,10
	3.	21,08	21,10	21,13	21,08	21,19	21,13	21,07	21,07	21,06	21,06	21,07	21,08	21,13	21,07	21,07	21,08
	4.	21,08	21,08	21,10	21,10	21,09	21,10	21,10	21,09	21,08	21,06	21,08	21,10	21,08	21,06	21,12	21,10
	5.	21,07	21,09	21,10	21,08	21,09	21,09	21,08	21,08	21,06	21,05	21,07	21,08	21,08	21,09	21,07	21,09
Čas (SEČ)		3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00										
Teplota [°C]		0	0	0	0	0	0										
Poznámky		-	-	-	-	sl.	sl.										
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	21,12	21,12	21,12	21,10	21,08	21,12										
	2.	21,09	21,10	21,08	21,08	21,02	21,09										
	3.	21,11	21,15	21,07	21,10	21,04	21,11										
	4.	21,08	21,11	21,09	21,06	21,01	21,08										
	5.	21,08	21,08	21,07	21,05	21,02	21,08										

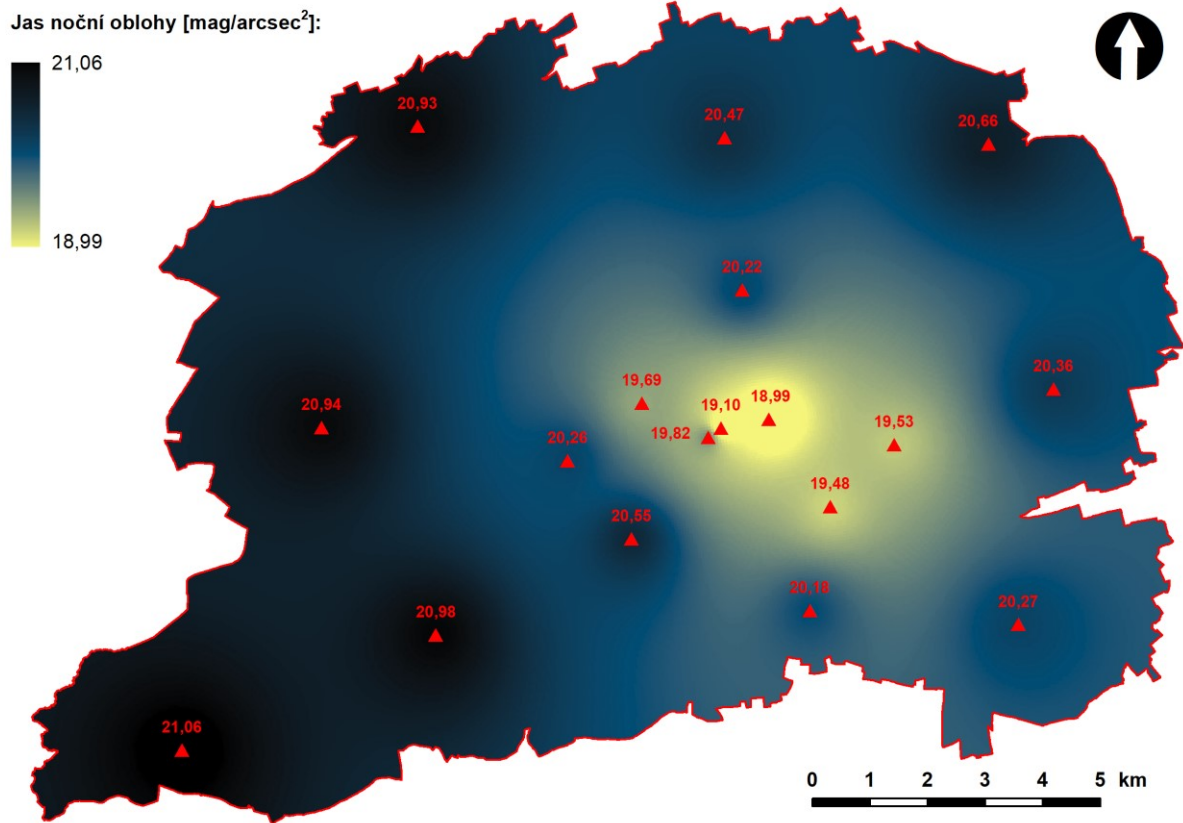
Příloha 10: Výsledky terénního měření C-10./11. 10. 2021. Měření označená „sl.“ byla ovlivněna slunečním svitem. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Kladno, Habešovna (A)																
Termín měření:		6. – 7. 11. 2021																
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	
Teplota (°C)		10	6	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	1	3	
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	19,73	19,72	19,71	19,75	19,79	19,79	19,83	19,83	19,81	19,81	19,82	19,83	19,84	19,85	19,84	19,84	
	2.	19,71	19,72	19,71	19,73	19,75	19,81	19,82	19,85	19,83	19,81	19,82	19,82	19,83	19,83	19,85	19,87	
	3.	19,73	19,69	19,68	19,75	19,76	19,76	19,75	19,85	19,81	19,78	19,81	19,84	19,83	19,84	19,82	19,86	
	4.	19,74	19,67	19,73	19,75	19,76	19,80	19,83	19,85	19,83	19,81	19,83	19,81	19,81	19,81	19,82	19,82	19,84
	5.	19,74	19,70	19,71	19,70	19,78	19,83	19,80	19,81	19,80	19,84	19,81	19,79	19,82	19,86	19,82	19,81	
Čas (SEČ)		1:00	1:15	1:30	1:45	2:00												
Teplota [°C]		1	1	0	1	2												
Poznámky		-	-	v. o.	n. o.	n. o.												
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	19,83	19,82	19,69	18,44	17,92												
	2.	19,85	19,81	19,70	18,50	17,94												
	3.	19,80	19,80	19,67	18,83	18,17												
	4.	19,83	19,81	19,70	18,79	18,28												
	5.	19,85	19,77	19,71	18,44	18,14												

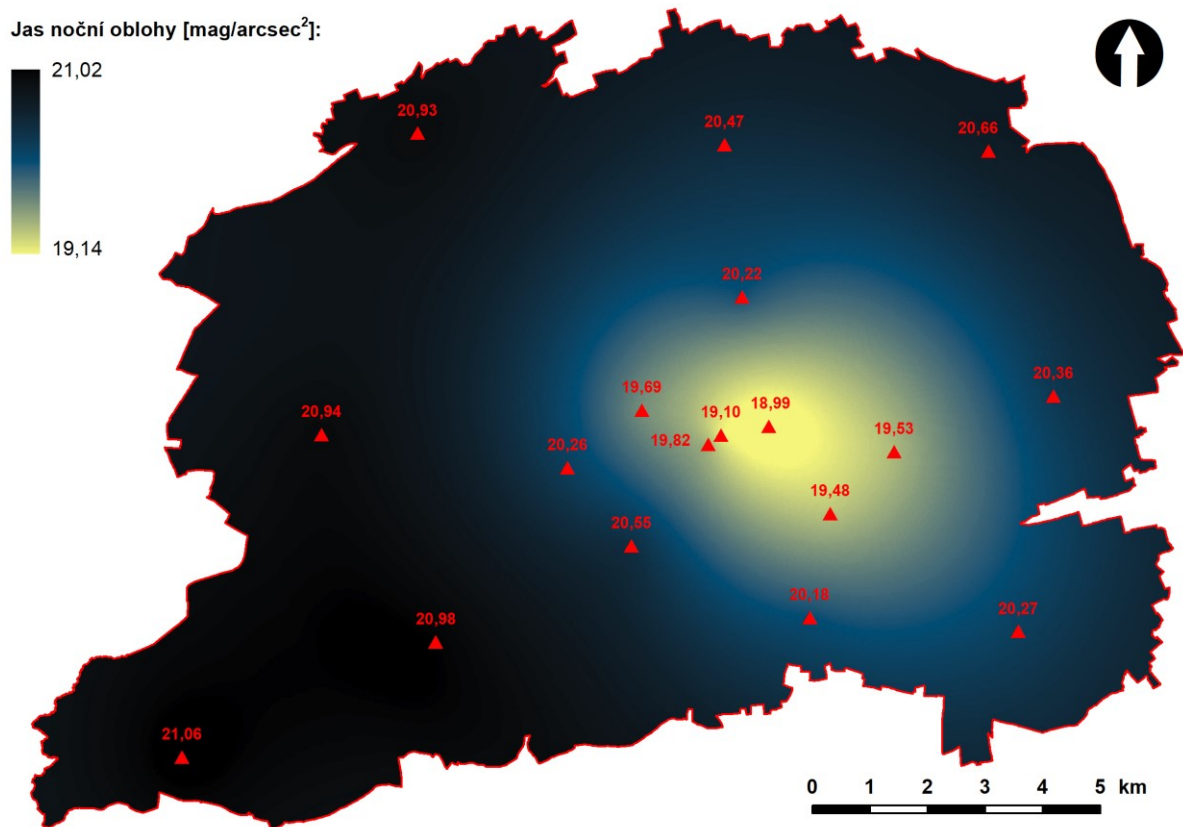
Příloha 11: Výsledky terénního měření A–6./7. 11. 2021. Měření označená „n. o.“ byla ovlivněna nízkou oblačností. Měření označená „v. o.“ byla ovlivněna vysokou oblačností. Zpracováno autorem.

Stanoviště:		Velké Přítočno, Na Radkovech (B)																
Termín měření:		9. – 10. 11. 2021																
Čas (SEČ)		21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00
Teplota (°C)		4	2	1	0	0	-1	-1	0	0	1	1	1	0	-1	1	0	0
Poznámky		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	v. o.	v. o.	v. o.	v. o.	v. o.
Jas oblohy [mag/arcsec²]	1.	19,98	20,06	20,02	20,05	20,07	20,07	20,07	20,10	20,10	20,13	20,10	20,08	19,87	19,29	19,99	19,91	19,39
	2.	19,99	20,05	20,05	20,07	20,09	20,10	20,10	20,12	20,12	20,13	20,10	20,10	19,89	19,25	19,98	19,89	19,37
	3.	19,98	20,05	20,02	20,04	20,06	20,06	20,08	20,14	20,15	20,10	20,11	20,06	19,87	19,24	20,00	19,85	19,33
	4.	20,00	20,02	20,01	20,05	20,05	20,07	20,07	20,13	20,08	20,12	20,12	20,07	19,85	19,28	19,98	19,89	19,35
	5.	19,98	20,04	20,05	20,07	20,09	20,10	20,09	20,10	20,10	20,10	20,10	20,09	19,83	19,27	20,01	19,83	19,36

Příloha 12: Výsledky terénního měření B-9./10. 11. 2021. Měření označená „v. o.“ byla ovlivněna vysokou oblačností. Zpracováno autorem.



Příloha 13: Výsledek interpolační metody vážené inverzní vzdálenosti (IDW). Vytvořeno autorem s použitím vektorové vrstvy obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).



Příloha 14: Výsledek interpolační metody kriging. Vytvořeno autorem s použitím vektorové vrstvy obcí (ARCDATA PRAHA, ČSÚ, ČÚZK 2016).