

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ochrana životního prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Bc. Denys Vershyhora

**Odhady světelného znečištění z městských oblastí a
průmyslových komplexů**

Estimates of light pollution from urban areas and industrial complexes

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha 2024

Poděkování

Děkuji svému školitelovi Ing. Luboš Matějček, Ph. D, své rodině a přátelům za celoživotní podporu ve studiu i mimoškolních aktivitách.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Tištěná verze je shodná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 09.12.2023

Denys Vershyhora

ABSTRAKT

Světelné znečištění již není vnímáno jako problém pouze pro astronomii Světelné znečištění je nově vznikající environmentální problém, který přichází spolu s intenzivnější urbanizací a industrializací. V posledních několika letech byl uznán jako vážný problém znečištění s negativními důsledky na životní prostředí a lidské zdraví. Ohrožení lidského zdraví světelným znečištěním se v posledních desetiletích dramaticky zvýšilo a odhaduje se, že dnes je více než 80 % světové populace zasaženo prevalencí světelného znečištění v různých formách. Hlavními producenty světelného znečištění jsou velká města a průmyslové komplexy, pouliční a reklamní osvětlení. Většina vyzařovaného světla je směřována nebo odrážena nahoru, což vytváří takzvané světelné kopule nad sídly. V noční obloze se v předměstském prostředí výrazně projevují změny jasu, zatímco na venkovské krajině jsou tyto změny méně patrné.

Tato diplomová práce zkoumá stav světelného znečištění a jeho dopad na jas noční oblohy v Česku a Ukrajině za období 2013-2021 pomocí dat družicových snímků VIIRS, které byly obdrženy z platformy Google Earth Engine. Pro tyto data byl vytvořen kód ve JavaScript, díky kterému bylo možné snímky seskupit a vytvářet mapu poškození světelným znečištěním za jeden kalendářní rok a klasifikovat světelné skvrny podle stupně znečištění. Poté všechna získaná data byly nahrané do ArcGIS Pro, kde jsem data vizualizoval a statisticky zpracoval.

Výsledky naznačují, že změny světelného znečištění nejsou spojeny se změnou ročního období, což odmítá moji první hypotézu, že intenzita světelného znečištění se mezi chladným a teplým obdobím liší. Dalším výsledkem bylo to že znečištění trvale roste a zvyšuje se o 7.6% plochy a 12.1 % jasu znečištění v České republice a 6.4 % plochy a 9.4 % síly jasu v Ukrajině. Pokud se udrží dnešní roční růst světelného znečištění, za 5 let dostaneme nárůst o 52 % plochy znečištění a 98 % jasu. Tato práce rovněž prezentuje detailní mapu intenzity světelného znečištění ve zkoumané oblasti, poskytující komplexní pohled na problematiku.

Klíčová slova: světelné znečištění, družicové snímky, jas noční oblohy, VIIRS, GIS.

ABSTRACT

Light pollution is no longer seen as a problem only for astronomy. Light pollution is an emerging environmental problem that comes along with more intensive urbanization and industrialization. In the last few years, it has been recognized as a serious pollution problem with negative consequences for the environment and human health. The threat to human health from light pollution has increased dramatically in recent decades, and it is estimated that today more than 80 % of the world's population is affected by the prevalence of light pollution in various forms. The main producers of light pollution are large cities and industrial complexes, street and advertising lighting. Most of the emitted light is directed or reflected upwards, creating so-called light domes above the residences. In the night sky, changes in brightness are prominent in suburban environments, while these changes are less noticeable in rural landscapes.

This thesis examines the state of light pollution and its impact on the brightness of the night sky in the Czech Republic and Ukraine for the period 2013-2021 using data from VIIRS satellite images received from the Google Earth Engine platform. JavaScript code was created for this data to group the images to create a map of light pollution damage per calendar year and classify light spots by degree of pollution. After that, all the obtained data were uploaded to ArcGIS Pro, where I visualized the data and processed it statistically.

The results indicate that the changes in light pollution are not associated with the change of season, rejecting my first hypothesis that the intensity of light pollution differs between the cold and warm seasons. Another result was that the pollution is constantly growing and increases by 7.6 % of the area and 12.1 % of the brightness of the pollution in the Czech Republic and 6.4 % of the area and 9.4 % of the intensity of the brightness in Ukraine. If today's annual growth of light pollution is maintained, in 5 years we will get an increase of 52 % of the area of pollution and 98 % of brightness. This work also presents a detailed map of the intensity of light pollution in the investigated area, providing a comprehensive view of the issue.

Keywords: light pollution, satellite images, night sky brightness, VIIRS, GIS.

SEZNÁM ZKRATEK

ALAN –Artificial Light at Night.

DMSp – Defense Meteorological Satellite Program.

DSLR – Digital Single-Lens Reflex Camera.

DNB – Day/Night Band.

EU – Evropská Unie.

GEE – Google Earth Engine.

GIS – Geografický Informační Systém či Geographical Information System.

HDP – Hrubý domácí produkt.

IDA –International Dark Association.

LED – Light Emitting Diode.

NPP – National Polar-Orbiting Partnership.

NASA – National Aeronautics and Space Administration.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration.

OLS – Operational Linescan System.

SQM – Sky Quality Meter.

USA – United State America.

VIIRS – Visible Infrared Imaging Radiometer Suite.

V Seznamu použitých zkratk nejsou zahrnuty označení jednotek základních a odvozených fyzikálních veličin v soustavě SI, jež se běžně vyskytují v diplomové práci.

OBSAH

1.1.	Definice světelného znečištění a jeho formy	9
1.1.1.	Astronomický aspekt světelného znečištění	11
1.1.2.	Ekologický aspekt světelného znečištění.....	12
1.1.3.	Zdravotní aspekt světelného znečištění	13
1.2.	Metody měření a monitorování světelného znečištění.....	15
1.3.	Průmyslové komplexy jako zdroj světelného znečištění	17
1.4.	Legislativa	17
1.4.1.	Právní předpisy v zahraničí.....	18
1.4.2.	Právní předpisy v České republice.....	19
1.5.	Proveditelnost řešení problému světelného znečištění.....	21
2.	Cíle práce.....	23
3.	Metodika.....	25
3.1.	Platforma Google Earth Engine	25
3.2.	Platforma ArcGIS Pro	29
3.3.	OpenStreetMap	29
3.4.	Radiance Light Trends	30
4.	Zpracování dat	32
5.	Výsledky.....	34
5.1.	Intenzita světelného znečištění mezi chladným a teplým obdobím.....	34
5.2.	Narůst světelného znečištění ročně	35
5.2.1.	Narůst plochy světelného znečištění ročně.....	35
5.2.2.	Narůst síly jasu znečištění ročně.....	37
5.3.	Světelné znečištění v bližší budoucnosti.....	41
6.	Diskuze	44
7.	Závěr.....	46

8. Literatura	47
8.1. Právní dokumenty	56
8.2. Internetové zdroje.....	56
9. Přílohy	57

Úvod

Světlo a osvětlení jsou civilizační volbou lidí. Zdroj světla lze rozlišit na přírodní a umělý. Zdrojem přírodního světla je Slunce, jehož záření je základním zdrojem energie všech procesů, které na Zemi probíhají a závisí na něm život na Zemi. Umělé zdroje světla jsou zařízení, která slouží k přeměně jiného druhu energie, nejčastěji elektrického na světlo (Gaston et al., 2013; Jones & McNamara, 2023). Dostupnost osvětlení vytvořila podmínky pro neomezené praktické využití světla v tmavém období dne. Tyto okolnosti vedly k narušení přirozeného střídání světlých a tmavých období, jde o jeden z důsledků známého světelného znečištění (Dufier & Touitou, 2022; Kyuchukov, 2018). Stejně jako u emisí skleníkových plynů je ALAN (angl. artificial light at night) nebo jednoduše světelné znečištění (Aksaker et al., 2020) celosvětově rozšířenou látkou znečišťující životní prostředí (Davies & Smyth, 2018). Světelné znečištění bylo poprvé identifikováno astronomy ve 30. letech 20. století (Riegel, 1973).

Globální industrializace, rychlá urbanizace a ekonomický rozvoj jsou provázené každodenním nárůstem množství elektřiny, která se spotřebuje například na noční osvětlení budov, ulic, náměstí, parků atd. (Bennie et al., 2014; Boyce, 2019; Falchi et al., 2016; Rodrigo-Comino et al., 2023). To vede ke světelnému znečištění velkých oblastí, především měst. Nadměrné noční osvětlení vede k vytváření tzv. světelných kopulí nad urbanizovanými oblastmi (Andrei, 2011; Heilig, 2010; Tang, 2013). V roce 2001 trpělo světelným znečištěním 19 % celosvětové pevniny (Cinzano et al., 2001), podle „World Atlas of Artificial Night Sky Brightness“ z roku 2016 žije 80 % světové populace pod oblohou. Ve Spojených státech a v Evropě 99 % veřejnosti nemůže zažít přirozenou noc (Online zdroj 4). Navzdory tomu, že množství vědeckých důkazů o negativních účincích nevhodného osvětlení zvyšuje, světelné znečištění vyrostlo globálně o téměř 50 % za posledních 25 let (Sánchez de Miguel et al., 2021) a v posledních letech přibývá zhruba o 2-3 % ročně (Kyba et al., 2017).

Světelné znečištění je fenomén, o kterém se mluví již dlouho, ale reakce specialisty je stále skromná (Galatanu, 2014; Jiang et al., 2017). Ekologové dlouho studovali regulační roli přirozeného světla v interakcích druhů, ale vliv nočního elektrického osvětlení byl studován teprve nedávno (Mander et al., 2023; Svehkina et al., 2020; Hufnagel et al., 2022). Studie však zjistily, že světelné znečištění může také přímo nebo nepřímo ovlivnit zvířata (Gaston et al., 2015; Mathews et al., 2015; Mazor et al., 2013; Owens et al., 2020; Parkinson et al., 2020; Perkin et al., 2011, 2014; Rich & Longcore, 2013), životní prostředí (Gaston et al., 2013; Kamrowski et al., 2015; Longcore & Rich, 2004; Perkin et al., 2011, 2014; Rodríguez, García,

et al., 2015; Rodríguez, Rodríguez, et al., 2015), lidské zdraví (Bennie et al., 2014; Cinzano & Falchi, 2014; Garcia-Saenz et al., 2018; Cho et al., 2015; Khodasevich et al., 2021, Kloog et al., 2009; Koo et al., 2016; Parent et al., 2012) a astronomická pozorování (Cinzano et al., 2000; Hamacher et al., 2020; Riegel, 1973). Několik autorů napsalo recenze potenciálních účinků na ekosystémy nebo taxonomické skupiny, publikované v sbornících z konferencí (Burton et al., 2002) a článkách v časopisech (Frank, 1991). Navzdory všem neblahým důsledkům umělého osvětlení se mu právní předpisy stále nevěnují příliš velkou pozorností ve srovnání s jinými hrozbami pro lidské zdraví a životní prostředí.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl ve své diplomové práci věnovat se analýze stavu světelného znečištění. První kapitola mé práce má za cíl definovat světelné znečištění a shrnout různé formy nevhodného osvětlování, poskytnout stručný přehled všech jeho negativních dopadů. To zahrnuje nejen vliv na lidské zdraví, ale také jeho působení na živočišné a rostlinné druhy, také tady jsou uvedené metody zkoumání světelného znečištění, legislativa a možnosti řešení problému.

Druhá kapitola mé diplomové práce je věnována detailnímu představení cílů, hypotéz, otázek a úkolů, které tvoří základní strukturu a zaměření této práce. Ve třetí a čtvrté kapitole jsou rozepsané metody obdržení a zpracování dat, které jsem použil pro obdržení výsledků. V kapitole páté jsou napsané výsledky, které jsem podělil na různé podkapitole podle hlavních otázek. V závěru jsem shrnul všechny poznatky, které jsem obdržel během napsání diplomové práce.

1.1. Definice světelného znečištění a jeho formy

Světelné znečištění bylo poprvé identifikováno astronomy ve 30. letech 20. století a od této doby je stále více uznáváno jako hlavní hnací síla globálních změn životního prostředí (Hölker et al., 2010). Koncept světelného znečištění se sjednotil na počátku 70. let 20. století uprostřed politického aktivismu a rostoucího povědomí o životním prostředí a energetické krize. V současné době, s rychlou urbanizací a ekonomickým rozvojem po celém světě, světelné znečištění se rozšiřuje nebývalou rychlostí a v nebývalém rozsahu (Cinzano & Falchi, 2014; Jiang et al., 2017). Historie světelného znečištění je dlouhá v 1950-1970 letech po druhé světové válce začaly města rychle rozšiřovat pouliční osvětlení, což vedlo k prvním pozorováním negativních dopadů na noční oblohu. Astronomové začali poukazovat na problémy spojené s nárůstem světelného znečištění a jeho vlivem na pozorování hvězd.

Vědecká komunita začala v 1980–1990 letech zkoumat biologické dopady světelného znečištění na noční druhy a ekosystémy. Studie ukázaly, že přebytečné světlo může mít negativní vliv na chování a životní podmínky nočních živočichů. S rozvojem technologie a přesnějších měřících nástrojů byl výzkum světelného znečištění prohlouben. Odborníci začali vyvíjet standardy pro měření světelného znečištění a navrhovali opatření k jeho omezení. (Aksaker et al., 2020; Heilig, 2010).

Mezinárodní asociace tmavé oblohy (IDA) definuje světelné znečištění (angl. light pollution) jako jakýkoli škodlivý účinek umělého světla, včetně zvýšení jasu noční oblohy, osvětlení mimo prostor, nadměrné osvětlení, snížené viditelnosti v noci a rozptylu světelné energie (Elsahragty & Kim, 2015; Kyuchukov, 2018; Longcore & Rich, 2004; Stone, 2017; Online zdroj 5). Při detailnějším zkoumání lze identifikovat dva různé přístupy nebo definice světelného znečištění ovzduší. Oxford Dictionary popisuje světelné znečištění jako zjasňování noční oblohy, což brání pozorování hvězd a planet. To je způsobeno pouličním osvětlením a jinými lidskými zdroji (Online zdroj 3). Naopak Český astronomický ústav zdůrazňuje, že světelné znečištění vzniká v důsledku neefektivního zacházení se světlem, což ruší přirozenou noční tmavost a biorytmy všech živých organismů, včetně lidí, kteří potřebují tmu pro kvalitní spánek. Toto osvětlení proniká do oblohy na desítky kilometrů a tím vytváří problém který se jmenuje světelné znečištění (Online zdroj 2). Podle jiných zdrojů světelné znečištění to je změna úrovně přirozeného světla v noci v důsledku lidských struktur. Svítidla přispívají ke světelnému znečištění a jsou závislé na své intenzitě, rozložení, spektru a blikání (Alamús et al., 2017; Falchi et al., 2016; Hölker et al., 2010; Rodríguez, García, et al., 2015).

Umělý jas oblohy, známý též jako světelný smog, je nejvíce patrným důsledkem světelného znečištění. Tento jev vzniká vlivem rozptylu světla v atmosféře, a to především nad oblastmi s vysokou koncentrací světelných zdrojů, jako jsou lidská sídla nebo průmyslové oblasti. Formy světelného znečištění lze podělit na recesivní a dominantní. Recesivní světelné znečištění je potenciální, nepřímé, paprskové znečištění světlem, zejména mezi vlnovou délkou 100 nm a vlnovou délkou 1 mm to je viditelné záření, infračervené záření a laserové. Dominantní světelné znečištění je ve vztahu k recesivnímu světelnému zjevně, přímé a silné, směr a množství světla narušuje normální životní podmínky (XiaoQian, 2012). Mezi zdroje světelného znečištění patří uliční osvětlení, osvětlené budovy, mosty a věže, komerční reklama, továrny, parkoviště, letiště, spalování zemního plynu, osvětlená sportoviště, a téměř všechny budovy vytvořené lidmi. Nejvýraznější je v industrializovaných, hustě obydlených oblastech Evropy, Severní Ameriky a Japonska a v metropolích na Středním východě a v severní Africe,

v lesích mírného pásma a středomořských klimatických pásmech (Tang, 2013; XiaoQian, 2012). Nejméně intenzivní je účinek v arktické tundře a alpských oblastech (Hufnagel et al., 2022).

1.1.1. Astronomický aspekt světelného znečištění

Hvězdné nebe bylo zdrojem inspirace v celé historii lidstva. Astronomie byla běžným prvkem ve všech kulturách a civilizacích, používala se k vytváření kalendářů, navigaci a objevování nových zemí i vedla k četným vědeckým a technickým objevům. Světelné znečištění je jedním z nejškodlivějších účinků pro astronomii. V tuto chvíli si jedna třetina lidstva neuvědomuje Mléčnou dráhu, protože to ani nemůže vidět. Navíc 80 % světové populace žije v lehce znečištěných oblastech (Falchi et al., 2016). Astronomické objekty jednoduše zmizí na noční obloze, když na ně zaměří dalekohledy v observatořích, které jsou ovlivněny kumulativním světlem nad velkými městy (Aksaker et al., 2020; Gronkowski et al., 2018).

Za dobrého počasí lze všude na Zemi spatřit asi 3000 hvězd bez světla. Ale nyní je pro městské obyvatele ve velkých městech velmi těžké vidět hvězdu, dokonce i měsíční světlo je někdy zakryto městským světlem nebo hustými mraky (Tang, 2013). Umělé světlo v noci, rádiové rušení a rozmístění satelitních konstelací – to vše rychle narůstá a má nepříznivý dopad na astronomická pozorování a omezuje vědecké objevy (Varela Perez, 2023). Jeden z prvních pokusů předpovědět vliv umělého osvětlení na jas noční oblohy učinil astronom Merle Walker (USA) kolem roku 1975 po sérii měření jasu noční oblohy v okolí několika izolovaných sídel formuloval empirický zákon šíření nárůstu jasu noční oblohy způsobeného umělým osvětlením sídliště, který je dnes známý jako Walkerův zákon (Longcore & Rich, 2004; Walker, 1970).

Astronomický aspekt světelného znečištění je velmi důležitý, protože ovlivňuje pozorování noční oblohy a vědecký výzkum vesmíru. Světelné znečištění vytváří světelný smog nad městy, což zhoršuje viditelnost noční oblohy. Hvězdy, planety a další astronomické objekty jsou méně viditelné, což snižuje kvalitu astronomických pozorování. Mnohé observatoře jsou umístěny na odlehlých místech, aby minimalizovaly světelné znečištění. Pokud se však světelné znečištění rozšíří do těchto oblastí, může zásadně ovlivnit schopnost observatoří sledovat vesmír (Riegel, 1973) například čínská observatoř Zi Jin Shan si musila vybrat nové místo, takových případů se stává víc (XiaoQian, 2012).

Světelná kontaminace může ovlivnit měření jasnosti, kontrastu a celkovou kvalitu astronomických dat, proto astronomové hledají ideální podmínky s minimem světelného znečištění pro pozorování oblohy. Kromě toho může mít vliv na vědecký výzkum týkající se atmosférických jevů, studia galaxií, a dokonce i sledování vesmírných těles v naší sluneční soustavě. Astronomický aspekt světelného znečištění podtrhuje potřebu zachování tmavých oblastí pro optimální podmínky pro pozorování nebeských těles a pro lepší porozumění vesmíru.

1.1.2. Ekologický aspekt světelného znečištění

Ekologický aspekt světelného znečištění má rozsáhlé dopady na životní prostředí a ekosystémy. Nepravidelné nebo nepřírozené umělé světlo způsobuje vážný environmentální stres na přežití a zdraví organismů, což se rychle stává rozšířeným novým typem znečištění životního prostředí (Guan et al., 2022; Ja et al., 2022). Noční živočichové, včetně ptáků, hmyzu a savců, jsou ovlivněni světelným prostředím, což může mít negativní dopad na jejich chování, migrace a hledání potravy (Ainley et al., b.r.; Croxall et al., 2012; Le Corre et al., 2002; Miles et al., 2010; Rodríguez, Rodríguez, et al., 2015; Telfer et al., 1987). Mezi účinky světla na divokou zvěř patří omezený pohyb, narušené cirkadiánní rytmy (Brüning et al., 2015) a změněná reprodukce (van Geffen et al., 2015).

Mnoho nočních druhů závislých na tmě, jako jsou netopýři nebo některé druhy sov, mohou být ohroženo nadměrným osvětlením. Světelné znečištění může způsobit změny v ekologických vztazích a vyvolat úbytek populací. Podle statistik amerických expertů na ptáky každý rok zemřou 4 miliony stěhovavých ptáků kvůli nárazu do reklamních lamp výškových budov (XiaoQian, 2012). Mořská zvířata, která se množí na souši, jako jsou mořské želvy a mořští ptáci, jsou silně ovlivněna světly, když se vylíhlá mláďata nebo mláďata poprvé v životě zamíří do moře (Bennie et al., 2014; Irwin, 2018; Rich & Longcore, 2013). Komár severní *Aedes s.* zimu přežívá zimu tím, že vstoupí do stavu klidu zvaného diapauza. Ukázalo se, že světelné znečištění interferuje s iniciací diapauzy u tohoto druhu komára (Grunst et al., 2023). Bylo také zjištěno, že světelné znečištění ovlivňuje úroveň aktivity komárů a několik metabolických produktů odlišně v závislosti na fotoperiodě, což naznačuje, že světelné znečištění může narušit akumulaci živin a může interferovat s iniciací diapauzy u tohoto druhu (Wolkoff et al., 2023). Mnoho živočichů využívá světelné navigace pro hledání potravy, migrace a vyhýbání se predátorům. Světelné znečištění může způsobit zmatení a omezení

schopnosti těchto druhů orientovat se ve svém prostředí. Jedním z negativních účinků světelného znečištění na zvířata je dezorientace v jejich pohybu s důsledky pro jejich zdatnost a přežití (Longcore & Rich, 2004; Gaston et al., 2014).

Rostliny jsou také citlivé na světelné znečištění, některé rostliny potřebují tmou k normálnímu růstu a reprodukci. Světelné znečištění nad městy může narušit tyto procesy a ovlivnit celkovou ekologii rostlinných populací. Výzkumníci rostlin zjistili, že osvětlení ovlivní fyziologii a ekologický systém rostliny, jako je fotosyntéza, růst, období klíčení, opylení atd. (XiaoQian, 2012).

Celkově může světelné znečištění přispívat k ztrátě biodiverzity tím, že ovlivňuje chování a prosperitu mnoha druhů života. U řady taxonomických skupin byly pozorovány nepříznivé vlivy, jako je vymírání stěhovavých ptáků kvůli vysokým, osvětleným stavbám, nebo orientaci líhnoucích se mořských želv ruší i světlo okolních sídel. Vliv umělého nočního světla na zvířata je novou výzvou pro výzkumníky a ochránce přírody. Dalším účinkem na rostliny je snížení velikosti populace opylujícího hmyzu, která je drasticky snížena v důsledku umělého osvětlení (Hufnagel et al., 2022).

1.1.3. Zdravotní aspekt světelného znečištění

Rozšíření umělého osvětlení nejen zlepšuje světelné podmínky pro moderní společnost, ale představuje také různé zdravotní hrozby pro lidské zdraví. Tento přehled je založen na souboru nejnovějších prací z let 2018 až 2022 o zdravotních hrozbách světelného znečištění, a to jak epidemiologicky, tak experimentálně. Kromě shrnutí nových souvislostí světelného znečištění s obezitou, duševními poruchami, rakovinou atd. zdůrazňuje se toxikologický mechanismus světelného znečištění prostřednictvím cirkadiálního narušení, protože světelné znečištění přímo zasahuje do přirozených cyklů světla a tmy a poškozuje cirkadiální rytmus organismů (Cao et al., 2023).

Účinky zdrojů umělého světla by mohly mít přímé důsledky na zdraví sítnice. Neustálé vystavení různým vlnovým délkám a intenzitám světla podporovaným světelným znečištěním může způsobit degeneraci sítnice jako důsledek smrti buněk fotoreceptoru nebo pigmentového epitelu sítnic (Contín et al., 2016). Vědecký výzkum zjistil, že noční osvětlení ve městě narušilo normální životní pravidla lidského těla kvůli použití umělého zdroje světla, který vyvede organismus z rovnováhy. Světelné znečištění je také důležitou příčinou krátkozrakosti

teenagerů. U dnešních středoškoláků se krátkozrakost zvyšuje o 60 %, někteří odborníci si myslí, že hlavní příčinou vzniku krátkozrakosti je zrakové prostředí místo zvyku používat oči. Pokud je obytné prostředí v noci příliš světlé, obyvatelé budou těžko usínat, což naruší biologické hodiny a způsobí sníženou chuť k jídlu, deprese, letargii a psychický tlak atd. (Hufnagel et al., 2022; XiaoQian, 2012). Noční práce může ovlivnit riziko rakoviny, prostřednictvím potlačení uvolňování melatoninu (Parent et al., 2012). Světelné podněty mohou ovlivnit produkci hormonu melatoninu, který reguluje spánek, a vést k nespavosti nebo snížené kvalitě spánku. Světelné znečištění může ovlivnit lidské biologické hodiny, což může mít důsledky pro hormonální rovnováhu a další fyziologické procesy (Falchi et al., 2011; Hatori et al., 2017). Některé studie naznačují, že dlouhodobá expozice světelnému znečištění může být spojena s rizikem některých zdravotních problémů, včetně kardiovaskulárních onemocnění, metabolického syndromu, a dokonce i některých typů rakoviny. Světelné znečištění může mít také dopady na duševní zdraví. Přebytečné osvětlení může způsobit nepříjemné podmínky pro oči, jako je oslnění, únava očí a potenciálně zvýšené riziko očních onemocnění (Falchi et al., 2016).

V několika elektronických databázích byly vyhledány články publikované do srpna 2014, které se týkaly hodnocení účinků expozice ALAN na lidské zdraví, do recenze bylo zahrnuto celkem 85 článků. Několik pozorovacích studií ukázalo, že venkovní hladiny ALAN jsou rizikovým faktorem pro rakovinu prsu a uvedly, že intenzita vnitřního světla a individuální návyky osvětlení byly pro toto riziko relevantní. Vystavení umělému jasnému světlu během noci potlačuje sekreci melatoninu, zvyšuje latenci nástupu spánku a zvyšuje bdělost (Afroz-Hossain et al., 2019; Cho et al., 2015). Analýza ostatních proměnných ukázala riziko rakoviny prostaty v zemích s nejvyšší expozicí LAN o 110 % vyšší než v zemích s nejnižší expozicí ALAN. Tato pozorovaná asociace je nezbytnou podmínkou pro potenciálně nebezpečí ALAN na riziko rakoviny prostaty (Dufier & Touitou, 2022; Kloog et al., 2009; Koo et al., 2016).

Ochrana před světelným znečištěním a vytváření tmavých nocí jsou klíčovými faktory pro podporu lidského zdraví a celkového blaha. Není to pouze otázka estetiky nočního nebe, ale zároveň zásadní aspekt pro zlepšení kvality života. Studie naznačují, že nevhodné osvětlení v noci může narušovat spánek a biologické rytmy, což může mít negativní dopady na celkovou pohodu a fyzické zdraví jednotlivců (Falchi et al., 2011; Cho et al., 2015; Koo et al., 2016).

1.2. Metody měření a monitorování světelného znečištění

Měření a monitorování světelného znečištění jsou klíčovými kroky pro pochopení jeho rozsahu a dopadů na životní prostředí (Jechow & Hölker, 2019; Longcore et al., 2020; Pérez Vega et al., 2022). Ekologové ideálně měří množství fotonů na jednotku plochy za sekundu. Častěji se však intenzita světla měří v luxech, což vyjadřuje intenzitu světla vnímaného lidským okem. V tomto případě je primárně měřeno viditelné světlo pro lidské oko a menší důraz je kladen na neviditelný rozsah (Hufnagel et al., 2022).

Jako první bych zmínil fotometrie metodu, která měří světelný tok nebo světelnou intenzitu v konkrétním směru. Fotometrická měření jsou klíčová pro hodnocení osvětlení na konkrétních místech a mohou poskytnout informace o intenzitě, barvě a směru světelných zdrojů. Další jsou radiometrické měření, které zahrnují sběr údajů o celkovém množství světla v daném prostoru, bez ohledu na jeho směr. Tyto údaje jsou užitečné pro hodnocení celkového světelného znečištění v dané oblasti. Spektrometrické metody jsou také užitečné a měří spektrální rozložení světla, to umožňuje identifikovat různé světelné zdroje a určit, zda produkují světlo v oblasti viditelného spektra nebo v oblasti blízké infračervené či ultrafialového (Aceituno et al., 2011; Birriel & Adkins, 2010; Duriscoe, 2013, 2013; Green et al., 2022; Kolláth, 2010; Shamir & Nemiroff, 2005).

V devadesátých letech minulého století se objevil nový přístup k tomuto problému používání fotografií nebo dat z družic, které poskytují vizuální reprezentaci rozložení světelného znečištění v určité oblasti. Tato data jsou často používána k vizualizaci rozsahu problému na velkých územích. Snímky nočního světla z družicového pozorování poskytují informace o světelném znečištění, které představuje nejen intenzitu umělého osvětlení, ale i další ovlivňující faktory, jako je intenzita lidské činnosti a míra sociální a ekonomické aktivity. Slabou stránkou tohoto přístupu je složité stanovení poměru množství světla, které jde vertikálně nahoru od zdroje (tj. světla viděného satelitem). Dnes jsou mapy světelného znečištění získané touto metodou dostupné všem a také originální satelitní snímky z meteorologických satelitů americké armády (Longcore & Rich, 2004). Operační systém skenování linií (OLS) obranného meteorologického družicového programu (DMSL/ OLS) a technologie geografického informačního systému (GIS) poskytují nejdelší časovou řadu snímků nočního světla na světě. Jeho použití k mapování světového atlasu jasnosti na umělé noční obloze bylo prokázáno již v roce 2001. Výsledek tohoto mapování ukázal, že dvě třetiny světové populace žijí ve světle znečištěných oblastech, přičemž procento populace ve

vyspělých zemích vzrostlo na 99 % (Cinzano et al., 2001; Elvidge et al., 2001; Chalkias et al., 2006). Snímky nočního světla byly také použity k analýze světelného znečištění v Pákistánu a výzkum ukázal, že oblast světelného znečištění se rychle zvětšuje, předměstské oblasti zažívaly přímé a nepřímé světelné znečištění umělým osvětlením. Bennie a kol. navrhl novou metodu analýzy trendů světelného znečištění na evropském kontinentu a zjistil, že většina zemí s vysokou ekonomickou úrovní čelí rostoucímu světelnému znečištění; v jiných zemích, včetně Maďarska, Slovenska, Moldavska a Ukrajiny však jas světelného znečištění zjevně nízký (Bennie et al., 2014). Mezitím Han a kol. použil stejnou metodu ke zkoumání trendů světelného znečištění v Číně od roku 1992 do roku 2012. Výzkum naznačil, že růst světelného znečištění byl lokalizován hlavně ve městech na východním pobřeží, zatímco klesající trend byl pozorován v méně osídlených městech (Jiang et al., 2017; Varela Perez, 2023).

Co se týká monitorování světelného znečištění na jednom konkrétním místě, dnes se používá několik metod různé složitosti. Nejjednodušší je změřit jas noční oblohy v zenitu pomocí obecně uznávaného přístroje tzv. měřič kvality oblohy (SQM). Zařízení bylo vyvinuto v Kanadě a dnes se používá po celém světě. Jeho velkou výhodou je snadné použití stačí nasměrovat snímač přístroje nahoru, spustit proces měření a odečíst výsledek. Nevýhodou je, že jeho spektrální citlivost plně neodpovídá citlivosti oka adaptovaného na tmu, ale mnohem více se podobá spektrální citlivosti moderních digitálních fotoaparátů. Tento nedostatek je většinou ignorován zejména protože při rozboru jasů noční oblohy se používají i digitální fotoaparáty a výsledky s nimi získané a měření přístrojem SQM jsou tedy přímo srovnatelné. (Longcore & Rich, 2004). Techniky měření světelného znečištění se liší od levných jednobodových zařízení až po drahé zobrazovací přístroje. Některé přístroje jsou jednoduchá zařízení typu point-and-shoot, zatímco jiné vyžadují rozsáhlou uživatelskou kalibraci (Hänel et al., 2018). Bortleova stupnice 15 poskytuje jednoduchou metodu, kde pozorovatel určuje úroveň světelného znečištění podle viditelnosti konkrétních objektů na noční obloze. Stačí vybrat nejbližší z 9 bodů na stupnici. Avšak, aby byla tato metoda efektivní, je zapotřebí hlubších znalostí astronomie („Gauging Light Pollution“, 2006).

Vývoj mobilních aplikací umožňuje široké veřejnosti monitorovat světelné znečištění. Lidé mohou používat své mobilní telefony k měření a zaznamenávání úrovní světla ve svém okolí, což může poskytnout širší a aktuální perspektivu. Integrace těchto měření umožňuje získat komplexní pohled na světelné znečištění a jeho vliv na různé složky životního prostředí.

1.3. Průmyslové komplexy jako zdroj světelného znečištění

Města produkují značné ekologické světelné znečištění (ELP), avšak účinky umělého nočního osvětlení na biologická společenstva a funkce ekosystémů nebyly plně prozkoumány (Katabaro et al., 2022; Meyer & Sullivan, 2013; Sanders et al., 2023). Průmyslové komplexní jsou často značným zdrojem světelného znečištění. Průmyslové komplexní mají obvykle velké plochy, které vyžadují dostatečné osvětlení pro bezpečný provoz. Osvětlení nadměrně velkých oblastí může způsobit světelné znečištění, zejména pokud není správně navrženo nebo regulováno. Používání velkých ploch kovů, skla nebo jiných reflexních materiálů v průmyslových prostorách může vést k odleskům a odrazům světla, které se mohou šířit do okolního prostředí. Mnoho průmyslových komplexů pracuje nepřetržitě, což znamená, že osvětlení může být zapnuto po celý den a noc. To může mít negativní dopad na noční oblohu a přírodní prostředí v okolí. V některých průmyslových odvětvích, jako je těžba nebo výroba, mohou být používána osvětlení s vysokou intenzitou, což může způsobit viditelný světelný opar a snížit viditelnost noční oblohy (Sanders et al., 2023).

Mezi několika málo investigativními studiemi světelného znečištění, které byly nedávno provedeny ve Francii v letech 2012 až 2019, se ukazuje silná korelace světelného znečištění s počtem obyvatel a HDP. Exponenciální růst populace a výsledné rychlé tempo urbanizace a industrializace v Indii výrazně změnilo její noční světelné prostředí (Bedi et al., 2021; US Department of Commerce, b.r.).

Omezení světelného znečištění z průmyslových komplexů může zahrnovat lepší návrh a regulaci osvětlení, používání moderních technologií s nižší spotřebou energie a filtry na minimalizaci odlesků. Průmyslové společnosti také mohou spolupracovat s místními orgány a komunitami na implementaci opatření na snížení světelného znečištění a jeho dopadů na životní prostředí a obyvatele.

1.4. Legislativa

Podle zákona o ochraně životního prostředí světelné znečištění lze chápat jako souhrnné označení všech negativních jevů, které s sebou umělé osvětlení přináší a je stále významnějším celosvětovým problémem (Online zdroj 1). Legislativa a zákony jsou tím největším vlivem, který by mohl městům pomoci se vypořádat se světelným znečištěním. Téměř každé velké město je ohroženo světelným znečištěním kvůli nedostatku politických pokynů a předpisů. Tato

místa jsou označována jako „města bez spánku“ (Gronkowski et al., 2018; Galatanu, 2014; XiaoQian, 2012). Úrovně osvětlení by měly vyhovovat předpisům, zákonům, doporučení a normám pro stanovení vhodných úrovní pro veřejné a soukromé osvětlení (Khorram et al., 2014).

1.4.1. Právní předpisy v zahraničí

Právní předpisy týkající se světelného znečištění se liší podle zemí a měst. Některé země mají přijaté specifické normy a směrnice, zatímco v jiných může být regulace méně konkrétní. Zde jsou některé příklady právních předpisů v některých zemích: Evropská unie (EU) má několik směrnic týkajících se světelného znečištění. Jednou z nich je Směrnice 2000/35/ES o omezení venkovního osvětlení nařizující členským státům přijmout opatření k omezení světelného znečištění a minimalizaci rozptylu světla do atmosféry. Technický úřad pro ochranu kvality oblohy ve Španělsku poskytuje zásady ohledně implementace „Zákona o obloze“ (číslo: 31/1988), který chrání astronomickou kvalitu observatoří na Kanárských ostrovech před světlem, radioelektrickým znečištěním atmosféry a letecké trasy. Francie jako členský stát EU jednala dále a zavedla nové nařízení o světelném znečištění, které má zabránit vyzařování světla ve venkovních prostorech (Aksaker et al., 2020).

Slovinská republika se může pyšnit světovým předstihem, neboť 30. srpna 2007 přijala první samostatný předpis na ochranu před světelným znečištěním. Toto historické rozhodnutí bylo výsledkem dlouholetého úsilí slovinských astronomů a ekologů. Konkrétně se jedná o nařízení vlády s názvem "Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja," které implementuje slovinský zákon o ochraně životního prostředí (Zákon o varstvu okolja, ZVO1). Toto nařízení se vztahuje na veškeré venkovní osvětlení s několika výjimkami, jako jsou otázky bezpečnosti, dopravní značení, speciální události a vánoční dekorativní osvětlení v období od 10. prosince do 15. ledna (Zákon o varstvu okolja, b.r.). Sousední Chorvatsko našlo inspiraci ve slovinském předpisu. V roce 2019 přijali podobný, avšak v mnoha ohledech ještě podrobnější zákon na ochranu před světelným znečištěním s názvem "Zakon o zaščiti od svetlosnog onečišćenja." Tímto krokem projeví snahu sledovat a implementovat osvědčené postupy v oblasti ochrany životního prostředí a regulace venkovního osvětlení, které přineslo pozitivní výsledky ve Slovinsku.

Francie také přišla s novým zákonem „Vyhláška o prevenci, snížení a omezení světelného znečištění“. Vychází vstříc technickým požadavkům na návrh a provoz venkovního

osvětlení a ukládá je vlastníkům soukromých i veřejných nemovitostí a zřizuje astronomické observatoře po celé zemi. Francouzská vyhláška obsahuje maximální parametry pro omezení nočního jasu a také normy pro svítidla. Několik zemí vyvinulo předpisy pro LP na místní úrovni. Čína má například podobné, ale samostatné pokyny pro své obce (Bedi et al., 2021). Regulace umělého osvětlení v Německu vzešla především z tlaku občanské společnosti několika spolkových zemí, která usilovala o zvýšení ochrany hmyzu. Tento krok byl odpovědí na znepokojivý trend úbytku hmyzu, který za posledních 27 let dosáhl alarmujících 75 % biomasy létajícího hmyzu v německých chráněných oblastech (Kamrowski et al., 2015; Olsen et al., 2014)(Online zdroje 6-7).

V USA se přístup k regulaci světelného znečištění liší podle státu. Některé státy a města mají místní nařízení o omezení venkovního osvětlení, zatímco v jiných oblastech může být problematika světelného znečištění méně regulována. Maunakea, Havaj USA je chráněna přísnou vyhláškou o osvětlení od roku 1990. Tato vyhláška byla nedávno upravena tak, aby umožňovala použití LED diod. Základní složkou původní vyhlášky o osvětlení bylo široké použití nízkotlakého sodíkového (LPS) osvětlení pro všechny aplikace, kde nebylo důležité podání barev (Green et al., 2022). Některé australské státy mají právní předpisy na omezení světelného znečištění, zejména v oblasti observatoří. Například stát New North Wales má směrnice o řízení světelného znečištění ve vztahu k observatořím. V některých částech Kanady existují místní předpisy o osvětlení, které mají omezit světelné znečištění. Například město Calgary má na místě nařízení o kontrole světelného znečištění (Castro & de la Paz, 2003; Duriscoe, 2013). Tyto regulace obvykle zahrnují opatření týkající se veřejného osvětlení a mají za cíl nejen snížit negativní dopady na okolní prostředí, ale také optimalizovat finanční náklady v rámci městských rozpočtů.

Je důležité si všimnout, že právní předpisy se mohou lišit nejen mezi zeměmi, ale také mezi městy a regiony uvnitř jedné země. Vývoj v oblasti právní regulace světelného znečištění může být dynamický, a proto je důležité sledovat místní legislativu a případné změny v předpisech.

1.4.2. Právní předpisy v České republice

V České republice existují právní předpisy, které se týkají světelného znečištění. Některé z relevantních předpisů zahrnují:

- Zákon o ochraně ovzduší (č. 86/2002 Sb.): Tento zákon se zaměřuje na ochranu ovzduší a obsahuje i ustanovení, která se mohou vztahovat k omezení světelného znečištění, zejména v kontextu emisí a disperze látek do ovzduší.
- Stavební zákon (č. 183/2006 Sb.), který zahrnuje ustanovení týkající se osvětlení a designu venkovního osvětlení, s cílem minimalizovat světelné znečištění.
- Vyhláška o základních požadavcích na ochranu životního prostředí (č. 338/2005 Sb.). Tato vyhláška upravuje některé aspekty ochrany životního prostředí, a může také obsahovat ustanovení, která se týkají světelného znečištění.
- Místní nařízení obcí: Některá města a obce mohou mít vlastní místní nařízení nebo směrnice týkající se světelného znečištění a regulace venkovního osvětlení.

V roce 2002 se Česká republika jako první stát v Evropské unii postavila zákon o nadbytečném venkovním osvětlení. V tomto zákonu se také jedná o venkovní svítidla, která musí být stíněná, aby se zabránilo pronikání světla nahoru (Cao et al., 2023). Prevence světelného znečištění se může realizovat na úrovni států prostřednictvím vytvoření legislativy a implementace technických norem. V současné době (leden 2022) je v České republice možná regulace světelného znečištění pouze v rámci národních parků, díky zákonu č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Předchozí zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší přímo definoval světelné znečištění a umožňoval obcím předcházet jeho vzniku a ukládat pokuty za jeho porušení.

V diskuzi o začlenění světelného znečištění do legislativy České republiky byly představeny různé názory, především reprezentované Společností pro rozvoj veřejného osvětlení a Českou astronomickou společností. Česká astronomická společnost zdůrazňovala potřebu omezení nadměrné produkce světla ze soukromých zdrojů a varovala před negativními dopady světelného znečištění. RNDr. Jan Hollan, Ph.D., odborník v oblasti astronomie, aktivně usiloval o zakotvení legislativních opatření týkajících se světelného znečištění, inspirovaných zejména lombardským zákonem (Hollan 2002). (Falchi et al., 2011)

Na druhé straně Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení hájila zákon o ochraně ovzduší a odmítala zahrnutí světelného znečištění, argumentujíc ekonomickými důvody a absencí odborné diskuse ve veřejnosti. Tato společnost rovněž odmítala respektovat publikaci CIE 126–1997 „Guidelines for minimizing sky glow“, kterou vytvořila

Mezinárodní komise CIE TC 4-21 „Interference by light of astronomical observations“, namísto nařízení zastávala názor, že by mělo jít spíše o doporučení (Kotek 2002).

1.5. Proveditelnost řešení problému světelného znečištění

Světelné znečištění, jak naznačují výše uvedené studie, se stává závažným problémem pro životní prostředí, a proto je nezbytné hledat efektivní způsoby, jak ho správně kvantifikovat a následně omezit. Inspirativním příkladem jsou Benátky, konkrétně čtvrť San Marco, kde je osvětlení udržováno pouze s přiměřenou intenzitou, aby byl zachován historický ráz města (Hollan, 2011). Existuje několik konkrétních opatření, která lze přijmout ke zlepšení a omezení současné produkce světelného znečištění. Některé z těchto kroků mohou být náročné, zatímco jiné jsou relativně snadné. Klíčovým pravidlem je osvětlovat pouze určený prostor a využívat optimální svítidla s ohledem na jejich světelně technické vlastnosti, poměr výkon/cena a ekologickou šetrnost (Lenža, Suchan 2006). Ideální svítidlo pro většinu situací by mělo mít světelný zdroj umístěný hluboko v krytu a na konci vybaveno vodorovným sklem (Elsahragty & Kim, 2015). Podle (Falchi et al., 2011) aby se omezilo světelné znečištění jsou definované několik účinných postupů jako první to je použití stínění na osvětlovacích tělesech, aby se zabránilo přímému vzestupu světla, zejména v nízkých úhlech nad horizontem. Druhý postup omezení nadměrného osvětlení, tj. nepoužívat vyšší úrovně osvětlení, než je nezbytně nutné, omezující osvětlení na oblast, kde je potřeba, a na dobu, po kterou bude používáno. Jiné studie (Duriscoe, 2013; Mander et al., 2023) navrhuji tři nejdůležitější strategie:

- navrhnout parkovací plochy a pouliční osvětlení tak, aby se minimalizoval přenos světla směrem nahoru;
- snížit nebo vypnout venkovní osvětlení budovy a označení, když nejsou potřeba;
- používat počítačový modelovací systém vnějšího osvětlení tak, aby úroveň a kvalita potřebného osvětlení byla specificky navržena tak, aby vyhovovala potřebám projektu, aniž by se odchýlila od místa a způsobovala nepříjemné podmínky.

Z místních úřadů v Anglii se 23 % podílí na systémech trvalého nočního osvětlení, kdy se pouliční osvětlení vypíná mezi půlnocí a 04:00 až 05:00, zatímco 39 % se zabývá systémy trvalého stmívání, kde jsou světla ztlumena alespoň nějakou dobu v noci (Elsahragty & Kim, 2015; Falchi et al., 2011; Rodrigo-Comino et al., 2023; XiaoQian, 2012). Aby pouliční svítidla plně splňovala požadavky na minimalizaci světelného znečištění, je vhodné, aby byla plně cloněna. Tímto způsobem by měla svítit pouze směrem dolů, eliminujíc tak osvětlování blízkých bytů, oslnění chodců a zbytečné záření do okolního prostoru. Správným směřováním

světla pomocí vhodných optických prvků není nutné používat tak intenzivní osvětlení (Hollan 2011). Je také důležité, aby veřejné osvětlení vyhýbalo se agresivnímu bílému světlu a místo toho preferovalo oranžové spektrum sodíkových výbojek. V oblastech s nízkou hustotou osídlení by měla být pouliční svítidla umístěna dostatečně daleko od sebe, aby bylo dosaženo spojitého osvětlení celé cesty. V takovém uspořádání lze dosáhnout světelného prostředí, které se přibližuje přirozenému a zajišťuje dostatečnou orientaci a bezpečnost.

Další jsem uvedl možná opatření, které by mohly pomoci zlepšit stav světelného znečištění:

- **Kontrola osvětlení:** Průmyslové komplexy by měly implementovat systémy řízení osvětlení, které by umožnily snížit intenzitu světla v dobách, kdy není potřeba.
- **Osvětlovací technologie:** Používání moderních a energeticky úsporných osvětlovacích technologií může snížit spotřebu energie.
- **Regulace reklamy:** Omezení velikosti a intenzity světelné reklamy nad průmyslovými komplexy může snížit světelné znečištění. U billboardů je nutné volit svítidla směřující světelný paprsek ze shora dolů a nikoliv naopak.

Řešení problémů, které představuje ALAN, by nejen zlepšilo výsledky v oblasti životního prostředí a lidského zdraví, ale také zlepšilo lidskou zkušenost s přírodou a změnilo vnímání přírodního světa způsobem (Rodrigo-Comino et al., 2023).

2. Cíle práce

Světelné znečištění je stále aktuálním tématem s rostoucím významem. S nárůstem urbanizace a rozvojem technologií se stává stále zřejmějším problémem, který ovlivňuje nejen noční oblohu, ale i životní prostředí a lidské zdraví. Pro stanovení stupně světelného znečištění a mapování jeho stavu v městských oblastech a průmyslových komplexech s cílem zvýšit povědomí o tomto problému byly stanovení následující cíle práce:

- Stanovení stupně světelného znečištění městských oblastí a průmyslových komplexů v Česku a Ukrajině.
- Mapování stavu světelného znečištění pro zvýšení popularity problému světelného znečištění v Česku a Ukrajině.

V rámci mé práce jsem si stanovil několik konkrétních otázek, na které jsem se zaměřil:

- Liší se intenzita světelného znečištění mezi chladným a teplým obdobím ve velkých městech?
- O kolik se zvětšuje nárůst světelného znečištění ročně v Česku a Ukrajině?
- Jaký stav světelného znečištění je dneska pro rok 2023 pro Česko?
- Na jakém úrovni bude světelné znečištění v bližší budoucnosti pro Česko?

Také jsem si stanovil následující hypotézy, které mi pomohly prověřit a pochopit různé aspekty světelného znečištění:

Hypotéza 1. Intenzita světelného znečištění se mezi chladným a teplým obdobím liší. Během chladného období je větší.

Hypotéza 2. Existuje přímý trend zvyšování světelného znečištění a vzniku nových zdrojů znečištění.

Hypotéza 3. Stupeň světelného znečištění bude stále zvyšovat se udržení trendu ročního růstu.

Úkoly

- Vytvářít analýzu metod pro měření a hodnocení světelného znečištění pomocí různých metod pro hodnocení znečištění.
- Zjistit rozdíl ročního a mezi sezónního růstového trendu světelného znečištění.
- Vytvořit model optimálního využití nočního osvětlení s minimálním dopadem na životní prostředí.

Tyto hypotézy, úkoly a otázky mi poskytly strukturu a směr pro mé výzkumné úsilí a pomohly mi přesněji identifikovat vlivy a mechanismy, které ovlivňují sílu světelného znečištění na životní prostředí.

3. Metodika

Pro dosažení spolehlivých výsledků jsem použil snímky satelitu VIIRS NASA, EarthData 2013-2021. Satelitní snímky VIIRS NASA jsou získávány pomocí senzoru nazvaného Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), který je umístěn na různých družicích provozovaných NASA a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). VIIRS je multispektrální senzor, což znamená, že dokáže zachytit data ve viditelném a infračerveném spektru elektromagnetického záření. VIIRS poskytuje důležité informace o atmosférických podmínkách, jako jsou teplota mořského povrchu, srážky a oblačnost, může být také využíván k monitorování světelného znečištění a sledování nočního osvětlení na Zemi. Data z VIIRS jsou důležitá pro studium dlouhodobých klimatických trendů a změn na planet, ještě může být používán k monitorování přírodních katastrof, jako jsou lesní požáry, povodně nebo hurikány a proto jsem využil tyto snímky a data k porovnání světelného znečištění (Gao & Li, 2023; Chen et al., 2022).

3.1. Platforma Google Earth Engine

V této části rad bych uvedl postup práce s platformou Google Earth Engine, který se začíná především registrací a vytváření svého vlastního účtu Google. Poté na stránce GEE je nutné vybrat sekci "Code Editor" a vytvářít nový skript:

Create file

Enter a name or path for the file:

users/DP_test/main

File Name

Enter description (optional):

CANCEL OK

Obrazovka 1. Vytvoření nového skriptu na platformě Google Earth Engine.

Po vytvoření nového skriptu jsem získal pracovní pole, které sloužilo k vytváření, editaci a provádění programů napsaných v programovacím jazyce JavaScript. Jak bylo uvedeno dříve, jsem použil GEE k získání "shapefile" s informacemi o nočním osvětlení Země a prostorovém základu těchto dat. Nejprve bylo třeba podrobněji prozkoumat princip získávání

takových informací. Údaje o nočním osvětlení Země jsou digitalizované informace o světelném záření zemského povrchu, tedy záření umělých zdrojů, s korekcemi pro vyrovnání vlivu měsíčního svitu a povrchová albeda. Proces převodu "surových" dat nočního osvětlení Země do formátu SHP se skládal z několika fází:

1. Získání a načtení do pracovního prostředí zpracovaných obrazů nočního povrchu Země z družice SuomiNPP (VIIRS).
2. Zobrazení jasnosti nočního povrchu Země na mapě.
3. Vytvoření klasifikace podle jasu.
4. Vektorizace (tvorba polygonů) podle jasu.
5. Výpočet plochy, průměrného jasu a výkonu vyzařování získaných polygonů.
6. Vytvoření rastrové vrstvy s výsledky klasifikace.
7. Vytvoření vektorové vrstvy s výsledky vektorizace.
8. Zápis získaných výsledků do "shapefile" (souborový formát pro geografická data).

Příkladem takového zpracování je zpracování obrazů z roku 2013 lze vidět dole, kompletní kód naleznete v příloze, pro obdržení dat pro jiný rok stačí jenom změnit datum na druhém řádku. Pro získání a načtení obrazů nočního povrchu Země je třeba se obrátit na sbírku obrazů pořízených ze satelitu SuomiNPP a vybrat data, v jejichž rámci budou získány snímky:

```
1 var dataset = ee.ImageCollection('NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMSFG')
2   .filter(ee.Filter.date('2013-01-01', '2013-12-30'));
```

- Dále proběhla agregace získaných obrazů, kdy je počítána mediana jasu a zobrazuje se na mapě (dodatečně je nastaven střed mapy pro rychlé vyhledávání orientačního bodu). Výsledky tohoto výstupu jsou viditelné na obrázku 1,2.

```
4 var nighttime = dataset.select('avg_rad').median(); // m
5
6 var nighttimeVis = { min: 0.0, max: 50.0, opacity: 0.6 };
7 Map.setCenter(30.5, 50.5, 9);
8 Map.addLayer(nighttime, nighttimeVis, 'Nighttime brightness');
```

- Dalším krokem bylo vytvoření klasifikace podle jasu:

```

11 var zone1 = nighttime.gt(1.0);
12 var zone2 = nighttime.gt(2.5);
13 var zone3 = nighttime.gt(5.0);
14 var zone4 = nighttime.gt(10.0);
15 var zone5 = nighttime.gt(20.0);
16 var zone6 = nighttime.gt(50.0);
17 var zone7 = nighttime.gt(100.0);
18
19 var zones = zone1.add(zone2).add(zone3).add(zone4).add(zone5).add(zone6).add(zone7);
20 zones = zones.updateMask(zones.neq(0));

```

- Podle klasifikace byl obrázek rozdělen na 7 tříd (zóny) v pixelech, konkrétně:

1. $1 < B < 2.5$;

2. $2.5 < B < 5$;

3. $3 < B < 10$;

4. $10 < B < 20$;

5. $20 < B < 50$;

6. $50 < B < 100$;

3. $100 < B$, kde B je jasnost ($nW/cm^2/ster$).

- Z kolekce hranic byla vybrána hranice ČR a byly vytvářeny polygony kolem osvětlených oblastí (proces vektorizace).

```

14 var czechia = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017")
15   .filter(ee.Filter.eq('country_na', 'Czechia'));
16
17 var vector = zone1.addBands(nighttime).reduceToVectors({
18   geometry: czechia,
19   crs: nighttime.projection(),
20   scale: 50,
21   geometryType: 'polygon',
22   eightConnected: false,
23   labelProperty: 'zone',
24   reducer: ee.Reducer.median(), // m
25   maxPixels: 1e9
26 });

```

- Pro každý polygon se vypočítala plocha, průměrná hodnota jasu a výkon vyzařování (Watt).

```

28 var addArea = function (feature) {
29   var area = feature.geometry().area(10);
30   var median = ee.Number(feature.get('median')); // m
31   return feature.set('area', area)
32     .set('power', median.multiply(area).multiply(1e4 * 1e-9 * 2 * Math.PI));
33 };
34
35 var vectors = vector.map(addArea);

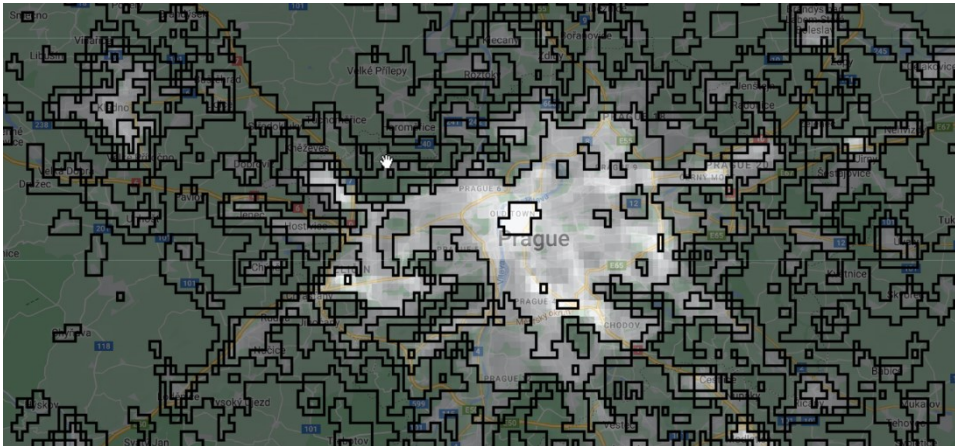
```

- Dalším krokem bylo zobrazit na obrazovce rastrovou vrstvu s výsledky klasifikace:

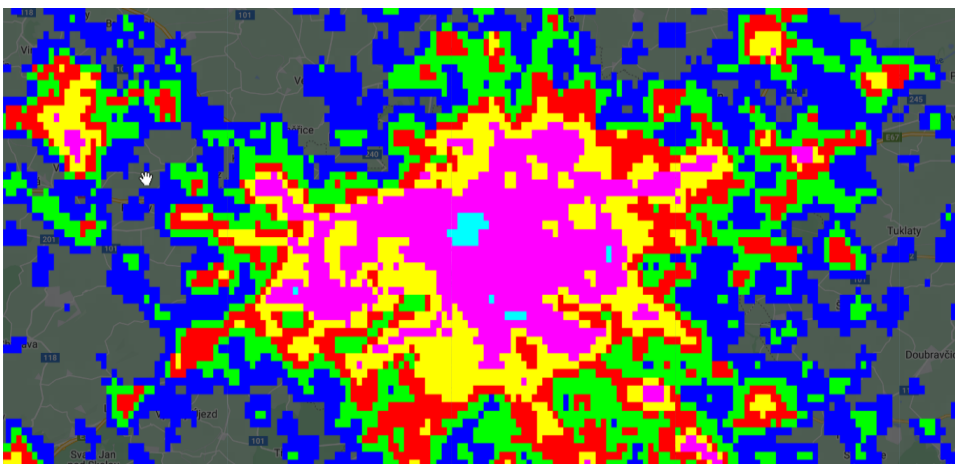
```
39 Map.addLayer(zones, { min: 1, max: 3, palette: ['0000FF', '00FF00', 'FF0000'] }, 'Class raster');
```

Potom jsem vytvořil a zobrazil na obrazovce vektorovou vrstvu s výsledky vektorizace: Dole lze vidět zobrazení rastrové a vektorové vrstvy.

```
41 var display = ee.Image(0).updateMask(0).paint(vectors, '000000', 3);  
42 Map.addLayer(display, { palette: '000000' }, 'Class vectors');
```



Obrázek 1. Vektorová vrstva s výsledky vektorizace.



Obrázek 2. Rastrová vrstva s výsledky klasifikace.

- Posledním krokem je uložení získaných informací do formátu "shapefile", v mém případě na GoogleDrive – službu pro ukládání souborů od společnosti Google:

```
44 Export.table.toDrive({  
45   collection: vectors,  
46   description: 'Czechia_DNB_2013',  
47   fileFormat: 'SHP'  
48 });
```

Jak bylo ukázáno v příkladu zpracování dat a získávání "shapefile" s informacemi o nočním osvětlení pro rok 2013, všechny operace se opakují pro snímky z let 2013-2021. Výsledkem jsou "shapefile" soubory pro každý z uvedených roků, které obsahují vlastní polygony s příslušnými atributy (plocha, průměrná hodnota jasu a výkon vyzařování), které jsou s nimi spojeny (Příloha 13, Příloha 14).

3.2. Platforma ArcGIS Pro

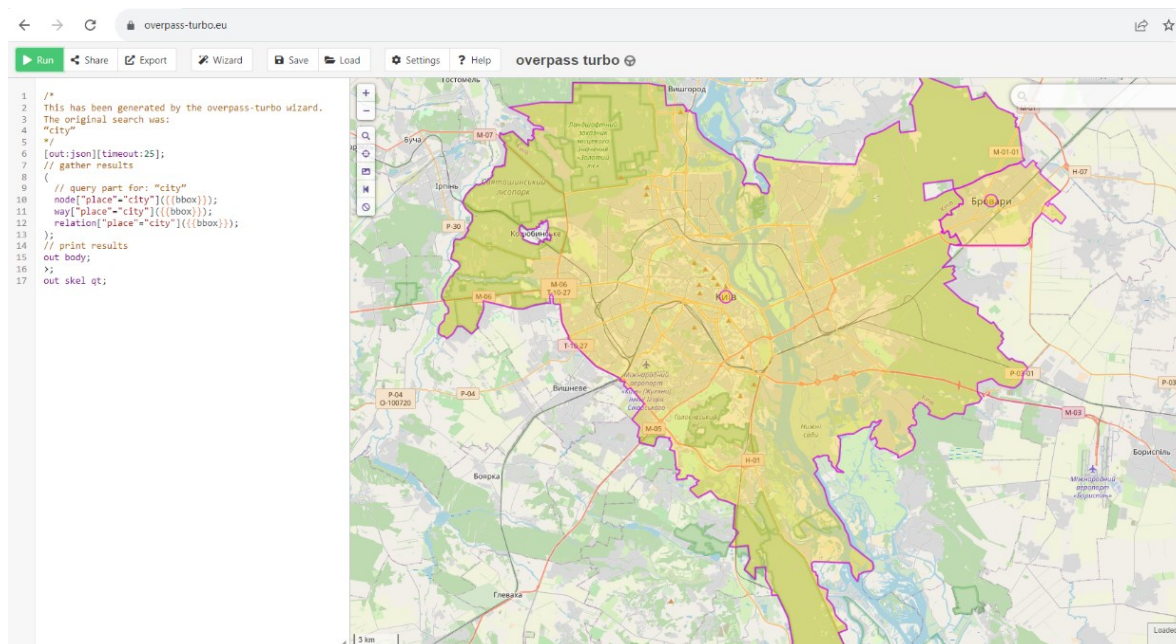
ArcGIS Pro je komplexní software pro geografický informační systém (GIS) vyvinutý společností Esri pro mapování, analýzu a vizualizaci dat. ArcGIS Pro umožňuje uživatelům vytvářet a editovat prostorová data, a to včetně geografických map, vrstev a analýz. Tato platforma podporuje různé formáty dat a umožňuje integraci s různými zdroji prostorových informací. S využitím pokročilých nástrojů pro analýzu dat mohou uživatelé provádět složité prostorové analýzy a modelování. ArcGIS Pro poskytuje možnost vizualizace dat pomocí interaktivních map, grafů a dashboardů, což usnadňuje porozumění a prezentaci výsledků analýz (Příloha 15, Příloha 16).

Přijatá data ve formě "shapefile" souborů byla přenesena do ArcGIS Pro. Zde jsem vypočítal oblast pokrytí světelných bodů pomocí celé oblasti zemí. Také jsem rozdělil roční mapy do každé třídy, abych určil změny intenzity v průběhu času a vytvořil trend.

3.3. OpenStreetMap

Ve své diplomové práci jsem použil další web-instrument OpenStreetMap, jedná se o kolaborativní mapovací projekt, který umožňuje lidem z celého světa přispívat, upravovat a sdílet geografická data, která jsou volně k dispozici, a následně jejich vizualizaci ve formě topografických map. Pro získání geodat se využívají záznamy z globálních družicových polohových systémů nebo jiných digitalizovaných map s kompatibilní licencí.

Pro výzkum jsem vybral 5 velkých měst v České republice: Prahu, Brno, Plzeň, Ostravu a Liberec, a 5 velkých měst v Ukrajině: Kyjiv, Charkiv, Odesu, Dnipro a Lviv. K izolaci sběru dat jsem použil OpenStreetMap, kde jsem použil skript ve webových nástrojích pro filtrování dat Overpass API. Pomocí toho jsem získal administrativní hranice vybraných měst, jako příklad lze vidět dole na obrázku 3.

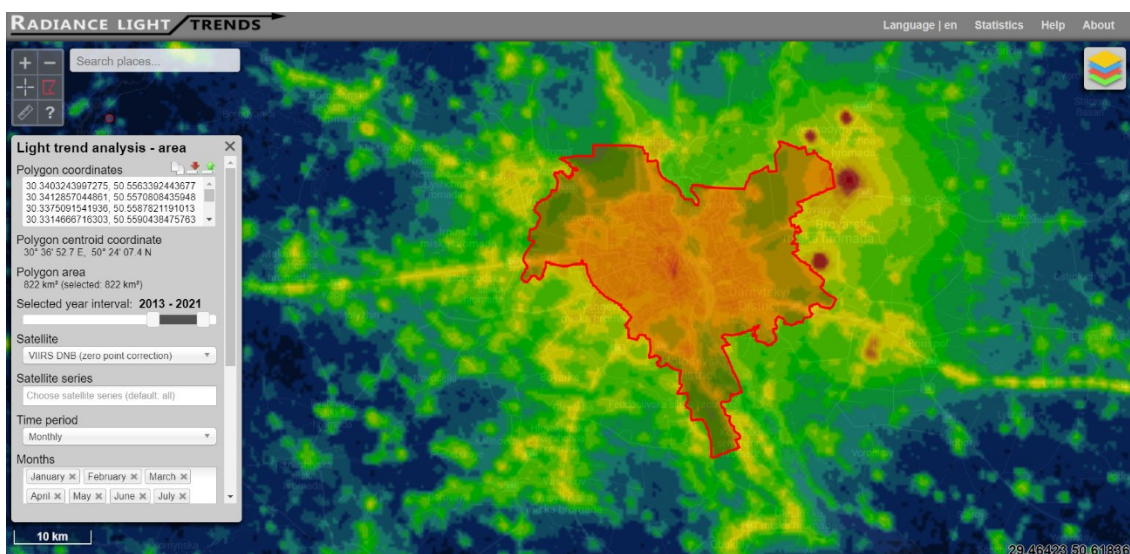


Obrázek 3. Znáznornění scriptu pro vytváření administrativních hranic města Kyjeva v Overpass Turbo.

3.4. Radiance Light Trends

Radiance Light Trends je webová aplikace, která umožňuje zkoumat změny v nočních světelných emisích (téměř) po celém světě, od roku 1992. Údaje o emisích pocházejí ze dvou satelitních senzorů. Od roku 1992 do roku 2013 data pocházejí z družic Operational Linescan System of the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Od roku 2012 do současnosti pocházejí data z pásma den/noc přístroje Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS DNB). Nástroje mají řadu důležitých rozdílů, a proto není možné mít od roku 1992 do dneška jediný záznam.

Výsledné hranice měst, které jsem vytvořil v Overpass Turbo ve formátu .txt bylo předáno do webové aplikace Radiance Light Trends (Obrázek 4). Zde jsem data vložil pomocí integrovaných nástrojů pro analýzu dat podle výběru oblasti. Poté spustil generování grafu a na konci získal graf a data ve formátu .csv pro období 2013-2021. K vyhodnocení jsem vybral od říjnu do března měsíce jako chladné období a od dubna do září jako teplé. Data jsem rozdělil do dvou skupin podle roku, následně jsem zprůměroval data podle měst a výsledky zanesl do tabulky (Tabulka č.1).



Obrázek 4. Znáornění dat hranic města Kyjiva v Radiance Light Trends.

4. Zpracování dat

Pro získání a zpracování dat nočního osvětlení Země během práce byli použity dva software zejména Google Earth Engine, ArcGIS Pro a webová aplikace Radiance Light Trends. Google Earth Engine (GEE) je cloudová platforma určená k akumulaci, zpracování a vizualizaci geoprostorových dat. GEE poskytuje uživateli obrovský katalog veřejně dostupných a bezplatných souborů geoprostorových dat a umožňuje zpracování těchto dat pomocí platformy Google (Tamiminia et al., 2020). Obsahuje plnohodnotné editory kódu, které používají programovací jazyky JavaScript, Python a REST. Google Earth Engine je široce využíván vědci, výzkumníky a vývojáři různého softwaru pro analýzu změn na povrchu Země, mapování těchto změn a kvalitativní hodnocení povrchu Země. Pro provedení výzkumu bude použit vestavěný editor kódu v GEE a programovacím jazykem bude JavaScript. Cílem použití tohoto editoru je získání souborů s geoprostorovými daty (shapefile), tedy souborů ve formátu SHP.

Soubory ve formátu SHP (shapefile) jsou jednoduché soubory pro ukládání geometrických souřadnic a atributních informací geografických objektů. Geografické objekty v těchto souborech mohou být vyjádřeny body, liniemi nebo polygony (plochami). Obvykle se k souborům ve formátu SHP připojují soubory tabulek (dBASE), které obsahují další atributní informace spojené s geografickými objekty, které jsou v souborech SHP zastoupeny.

ArcGIS Pro, tento software je moderní geografický informační systém vyvinutý společností Esri. Jedná se o výkonný a komplexní GIS software, který usnadňuje vytváření, správu, analýzu a vizualizaci geoprostorových dat na operačním systému Windows. ArcGIS Pro je profesionální nástroj široce využívaný v různých odvětvích pro prostorovou analýzu a tvorbu map (GISP, 2015). Jednou z hlavních výhod ArcGIS Pro je jeho všestrannost při práci s různými typy dat a formáty. Nabízí uživatelsky přívětivé rozhraní pro vytváření, editaci a analýzu jak vektorových, tak rastrových dat, což ho činí nezbytným nástrojem pro GIS profesionály a datové analytiku. Pro pokročilé nabízí kartografické nástroje a funkce, které umožňují uživatelům vytvářet vizuálně atraktivní a informativní mapy. Uživatelé mohou přizpůsobit symboliku, popisky a rozložení map tak, aby efektivně předávaly jejich prostorová data. Software zahrnuje robustní rámec pro geoprocesing, který umožňuje uživatelům provádět složité prostorové analýzy a automatizovat pracovní postupy. Podporuje širokou škálu geoprocesingových nástrojů a modelů pro manipulaci s daty. ArcGIS Pro bezproblémově integruje různé zdroje dat, včetně databází, webových služeb a místních souborů. To umožňuje snadný přístup, správu a analýzu prostorových dat z různých zdrojů. Python je populárním

programovacím jazykem pro automatizaci a přizpůsobení ArcGIS Pro. Taky tento software podporuje spolupráci a sdílení dat v rámci organizací. Uživatelé mohou publikovat mapy a data na ArcGIS Online nebo ArcGIS Enterprise pro sdílení s kolegy nebo veřejností (GISP, 2015).

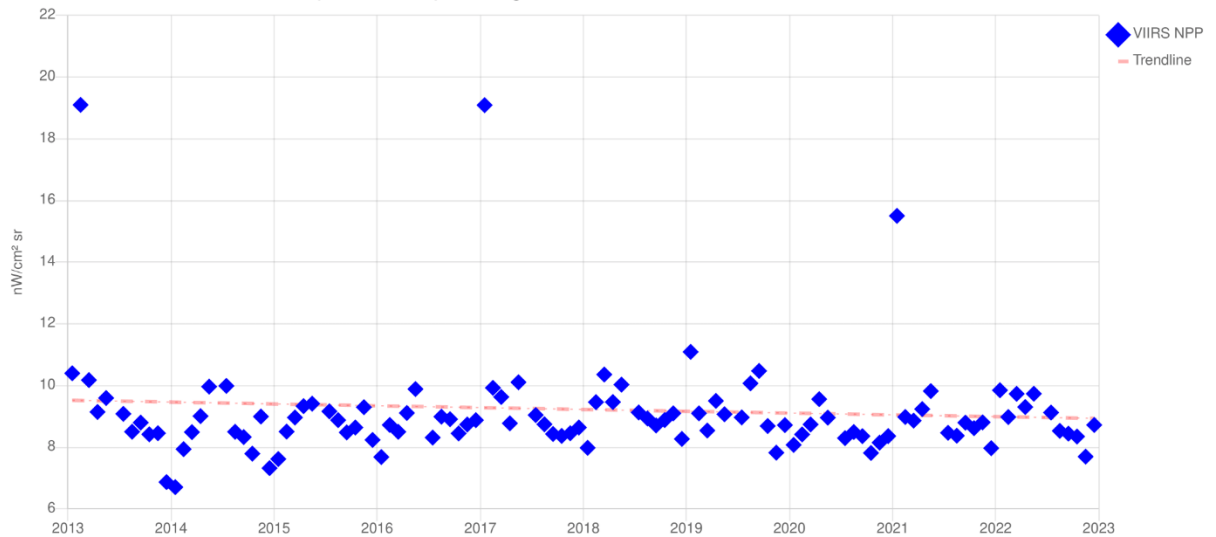
ArcGIS Pro je zejména ceněn svou schopností zpracovávat velká datová soubory, provádět pokročilou prostorovou analýzu a vytvářet vysoko kvalitní mapy a vizualizace. Jeho intuitivní rozhraní a integrace s celkovou platformou ArcGIS ho činí nezbytným nástrojem pro profesionály v oblastech jako je environmentální věda, urbanistické plánování, správa přírodních zdrojů a mnoho dalších. ArcGIS Pro je komplexním řešením GIS, které umožňuje uživatelům efektivně pracovat s geoprostorovými daty, provádět hlubokou prostorovou analýzu a vytvářet atraktivní mapy a vizualizace, čímž se stává nezbytným nástrojem ve světě geografických informačních systémů (GISP, 2015).

Takže kromě ArcGIS Pro a Google Earth Engine, ve své diplomové práci jsem využil analýzu osvětlení pomocí Radiance Light Trends s geografickými daty z OpenStreetMap. Tímto spojením jsem získal komplexnější pohled na prostředí, které jsem zkoumal. Radiance Light Trends mi poskytl detailní informace o osvětlení, zatímco OpenStreetMap dodal kontext a geografickou distribuci dat. Tato kombinace umožnila hlubší porozumění vztahů mezi urbanistickým prostředím a osvětlením, což bylo klíčové pro mé výzkumné cíle.

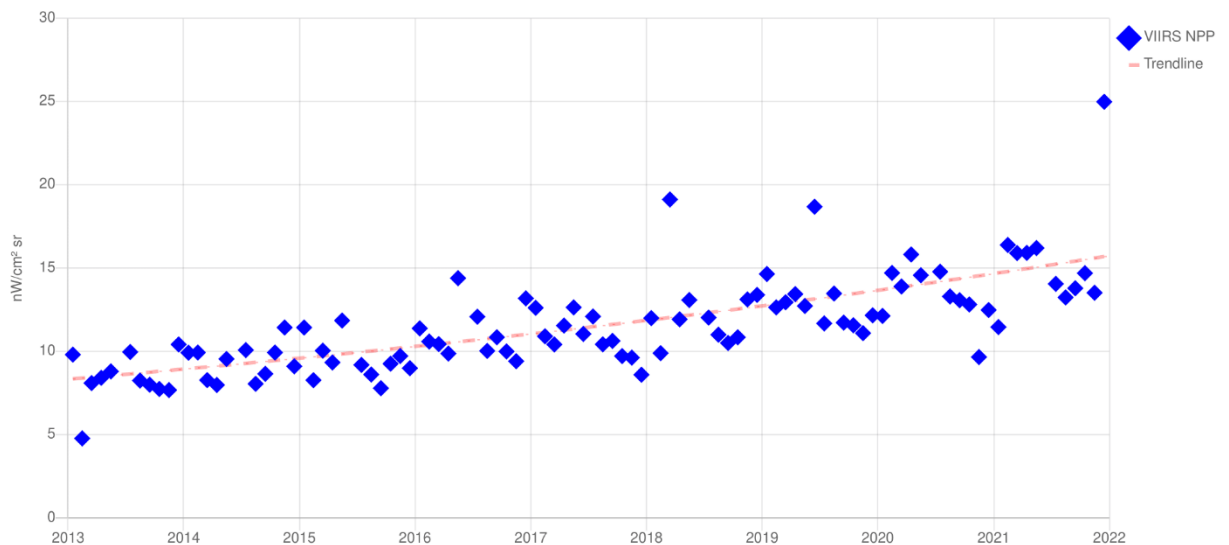
5. Výsledky

5.1. Intenzita světelného znečištění mezi chladným a teplým obdobím

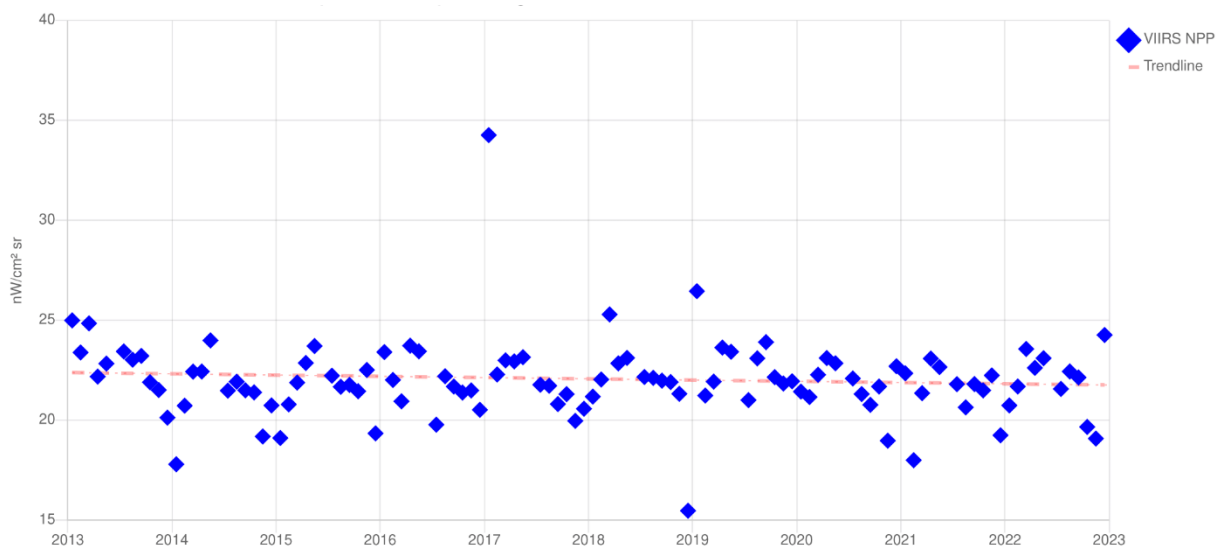
Mezi 10 studovanými městy v letech 2013-2021 nebyla prokázána žádná závislost změny světelného znečištění a změny ročních období mezi teplým a studeným lze pozorovat níže (Tabulka č.1). Dříve se předpokládalo, že „vlnitá“ povaha níže uvedených grafů (Graf č.1) je důsledkem změny ročních období. Bylo však statisticky prokázáno, že tyto ukazatele nejsou závislé.



Graf 1. Data ze seskupených měsíčních snímků satelitu VIIRS NPP města Plzně za období 2013-2022, $nW/cm^2 sr$.



Graf 2. Data ze seskupených měsíčních snímků satelitu VIIRS NPP města Dnipro za období 2013-2022, nW/cm² sr.



Graf 3. Data ze seskupených měsíčních snímků satelitu VIIRS NPP města Praha za období 2013-2022, nW/cm² sr

V tomto případě je vidět, že některá města jako Lviv (0,286), Charkiv (0,204) a Praha (0,181) mají závislost relativně vyšší, ale stále je nedostatečná (Tabulka č.1).

Brno	Dnipro	Kharkiv	Kyiv	Liberec	Lviv	Odesa	Ostrava	Plzeň	Praha
0,0312	0,0453	0,2040	0,1238	0,0459	0,2862	0,0726	0,0551	0,0538	0,1815

Tabulka 1. Závislost světelného znečištění a ročních období pro všechna města.

5.2. Narůst světelného znečištění ročně

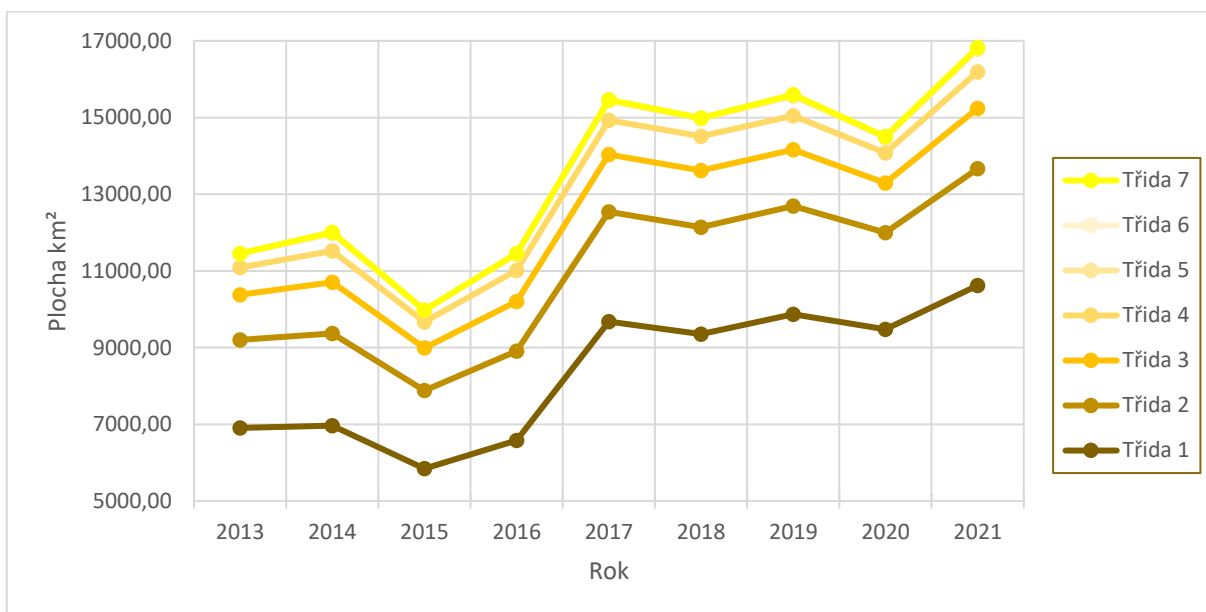
Pro lepší vizualizaci ročního růstu jsem udělal grafy, ze kterých je zřejmé, jak moc a která třída hraje největší roli při ovlivnění konečného výsledku. Pro nalezení souvislosti mezi nárůstem počtu zdrojů znečištění a jejich silou byl použit průměrný roční růst podle zemí. Po provedení statistické analýzy jsem zjistil, že existuje přímá úměra, která spadá pod kritérium průměru, a to korelační index 0,749 pro Českou republiku a 0,774 pro Ukrajinu.

5.2.1. Narůst plochy světelného znečištění ročně

Mezi získanými plošnými daty je vhodné vyzdvihnout první třídu vzhledem k tomu, že zaujímá největší vrstvu, ve většině případů více než 50 % plochy světelného znečištění, lze ji srovnat s oblohou na vesnice v obou zemi (Tabulka č. 2-3, Graf č. 4-5).

Rok Třída	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Třída 1	6909,16	6965,27	5844,36	6579,16	9677,64	9353,75	9868,45	9478,18	10620,82
Třída 2	2296,08	2401,19	2035,51	2333,31	2865,52	2789,34	2827,05	2525,13	3046,11
Třída 3	1178,81	1342,87	1110,36	1292,75	1491,01	1478,91	1468,62	1291,35	1573,62
Třída 4	701,68	816,48	682,22	806,60	892,50	890,14	883,94	780,80	953,44
Třída 5	363,97	458,56	296,50	425,40	511,17	457,35	517,66	404,30	588,19
Třída 6	9,18	21,42	10,79	15,52	27,21	17,24	34,49	24,11	37,23
Třída 7	0	0	0	0	0,13	0,13	0,71	0,56	2,35
Σ	11458,89	12005,78	9979,75	11452,74	15465,17	14986,85	15600,91	14504,44	16821,76

Tabulka 2. Změna plochy světelného znečištění podle třídy za 2013-2021 v ČR.

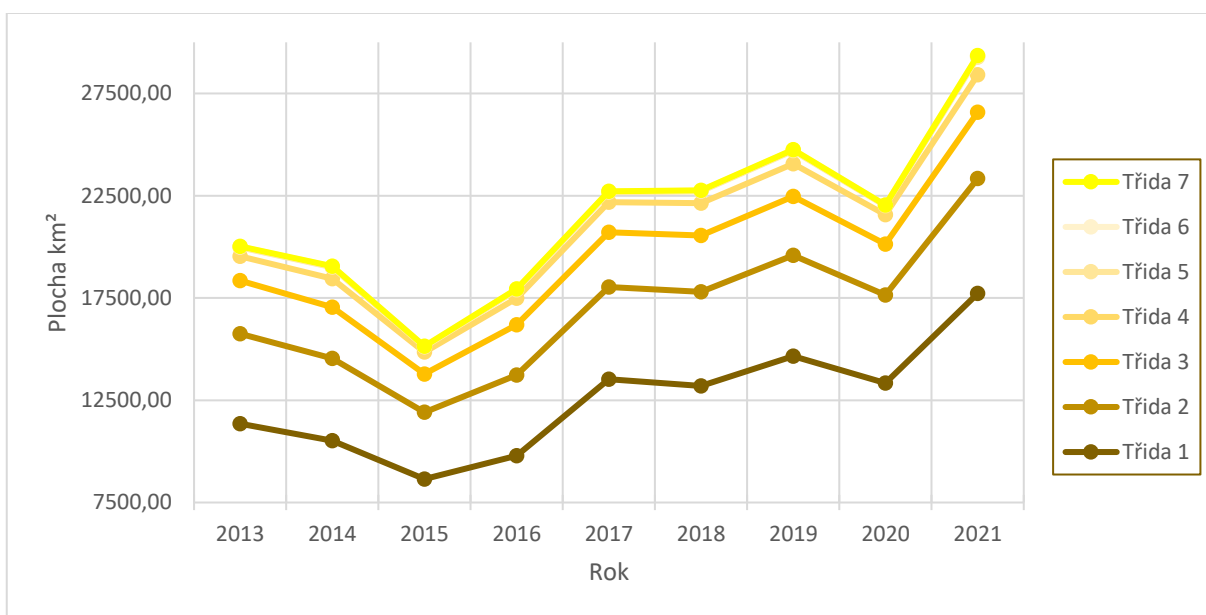


Graf 4. Znárodnění celkové plochy světelného znečištění v České republice za období 2013–2021.

Rok Třída	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Třída 1	11351,99	10523,99	8645,95	9783,06	13524,49	13193,73	14655,39	13333,00	17717,10
Třída 2	4390,16	4014,68	3262,25	3945,35	4506,14	4602,14	4931,31	4307,84	5617,96
Třída 3	2605,54	2505,68	1877,03	2455,91	2679,15	2763,00	2873,21	2487,66	3241,61

Třída 4	1184,63	1401,67	1066,45	1309,05	1477,48	1579,97	1595,39	1443,21	1830,98
Třída 5	444,46	554,06	253,51	396,69	477,55	580,01	647,18	438,95	869,07
Třída 6	26,06	31,21	21,86	29,10	30,88	28,65	34,21	25,39	54,58
Třída 7	14,12	14,67	13,32	18,59	20,84	15,82	20,21	12,97	17,58
Σ	20016,96	19045,95	15140,37	17937,76	22716,54	22763,32	24756,89	22049,02	29348,86

Tabulka 3. Změna plochy světelného znečištění podle třídy za 2013-2021 v Ukrajině.



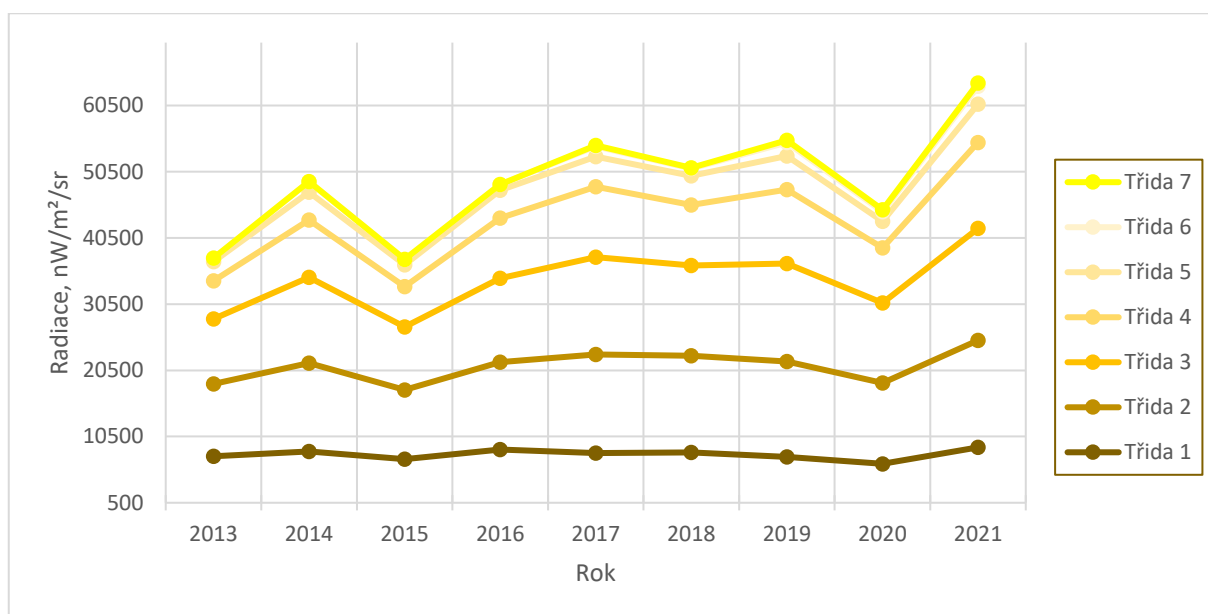
Graf 5. Znárodnění celkové plochy světelného znečištění v Ukrajině za období 2013–2021.

5.2.2. Narůst síly jasů znečištění ročně

Při prohlížení následujících výsledků je patrné, že druhá třída hraje klíčovou roli v přispívání k celkovému množství světla či jasů v daném prostředí. Obvykle se zdá, že hlavním producentem jasů je druhá třída, avšak mezi lety 2013 a 2020 v České republice rychleji roste podíl třetí třídy a v roce 2021 již třetí třída překonala druhou v produkci světla (Tabulka č. 4-5, Graf 6-7).

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Třída 1	7534	8234,4	7088,2	8542,1	7992,8	8126,6	7421,6	6387,4	8864,4
Třída 2	10909,8	13340	10465,9	13215,3	14925,7	14557,7	14400,4	12189,7	16161,7
Třída 3	9819,1	12976,1	9509,9	12652,3	14700,2	13652	14827,5	12085,5	16903,7
Třída 4	5769	8649,1	6080,2	9103	10638,9	9151,2	11155,8	8317	12996,9
Třída 5	2872,8	4214	3303,1	4172,3	4523,8	4375	5081,7	4050	5773,7
Třída 6	546,6	1604,8	826,7	887,1	1561,3	1139,4	2030,9	1415,6	2712
Třída 7	0	0	0	0	116,95	102,15	323,4	319,7	468,7
Σ	37451,3	49018,4	37274	48572,1	54459,65	51104,05	55241,3	44764,9	63881,1

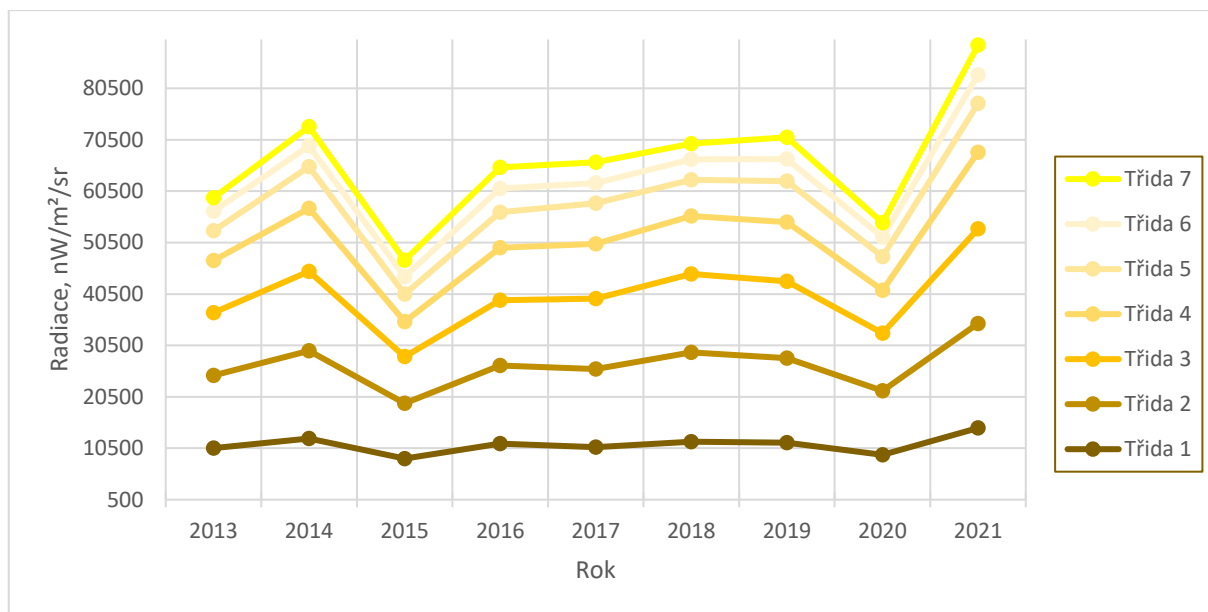
Tabulka 4. Změna síly jasu světelného znečištění podle třídy 2013-2021 v České republice.



Graf 6. Znázornění množství celkového jasu světelného znečištění v České republice za období 2013–2021.

Rok Třída	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Třída 1	10526,8	12391	8486,4	11400,6	10688,6	11752,7	11589,7	9224,1	14422,6
Třída 2	14143,5	17034,4	10747,6	15209,7	15217,1	17403,3	16430,4	12464,9	20340,6
Třída 3	12216,7	15441,7	9066,6	12663	13714,6	15232,4	14915,8	11206,7	18400,3
Třída 4	10091,4	12275,3	6823,1	10208,4	10617,9	11286,7	11525,2	8332,6	14916,4
Třída 5	5837,3	8119,5	5337,5	6951,6	7922,2	7042,5	7988,4	6550,5	9478,9
Třída 6	3778,2	4055	3402,2	4553,4	3903,4	3935,3	4314,2	3744,2	5565,8
Třída 7	2620,4	3709	3197,7	4135,7	4050,9	3087,8	4192,4	2841,8	5761,2
Σ	59214,3	73025,9	47061,1	65122,4	66114,7	69740,7	70956,1	54364,8	88885,8

Tabulka 5. Změna síly jasu světelného znečištění podle třídy 2013-2021 v Ukrajině.

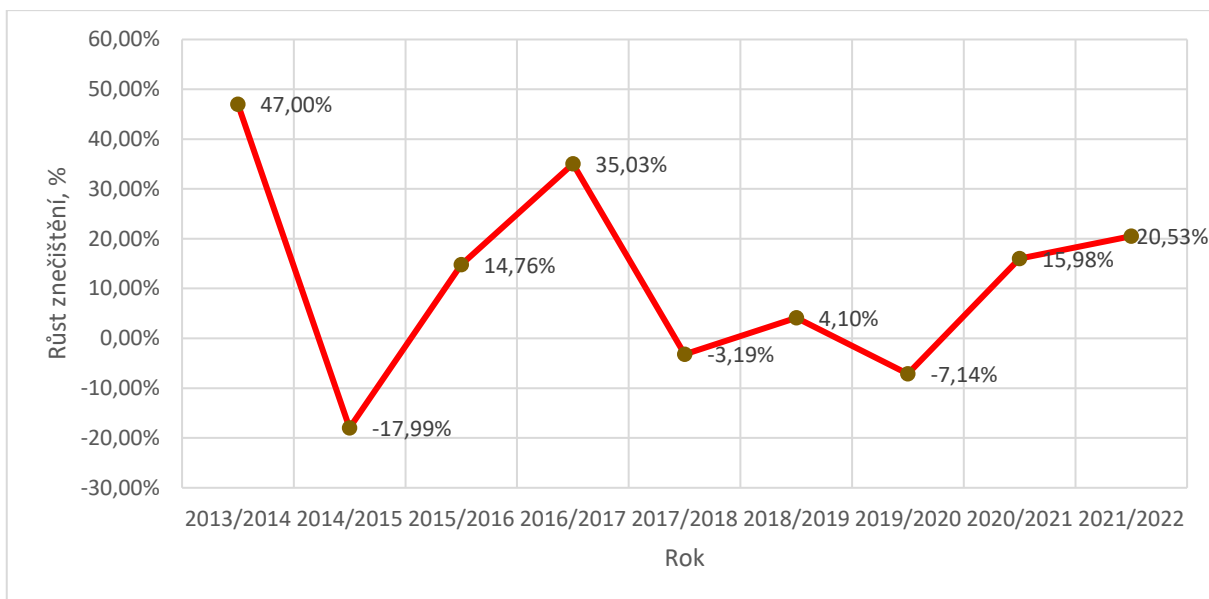


Graf 7. Znázornění množství celkového jasů světelného znečištění v Ukrajině za období 2013–2021.

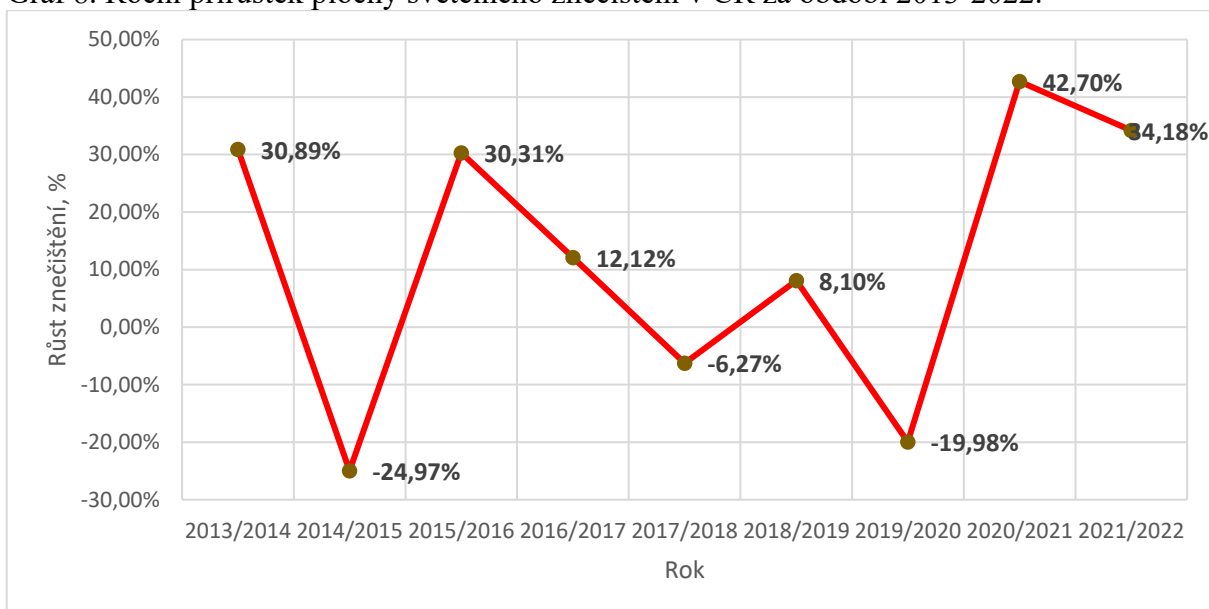
Bez ohledu na systematickosti získaných dat můžeme s jistotou říci, že v obou ukazatelích i v obou zemích dochází ke stálému pozitivnímu růstu. Za zmínku také stojí, že jsou přítomny i změny související s družicí, neboť v kvantitativních datech 2014/2015, 2017/2018 a 2019/2020 vidím pokles (Tabulka č.6-7, Graf č. 8-11).

	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019 /2020	2020/ 2021	2021/ 2022	Průměrný růst
ČR, plocha	47,00%	-17,99%	14,76%	35,03%	-3,19%	4,10%	-7,14%	15,98%	20,53%	7,57%
ČR, Jas	30,89%	-24,97%	30,31%	12,12%	-6,27%	8,10%	-19,98%	42,70%	34,18%	12,13%

Tabulka 6. Každoroční přírůstek ploch a sily jasů světelného znečištění v ČR mezi období 2013-2022.



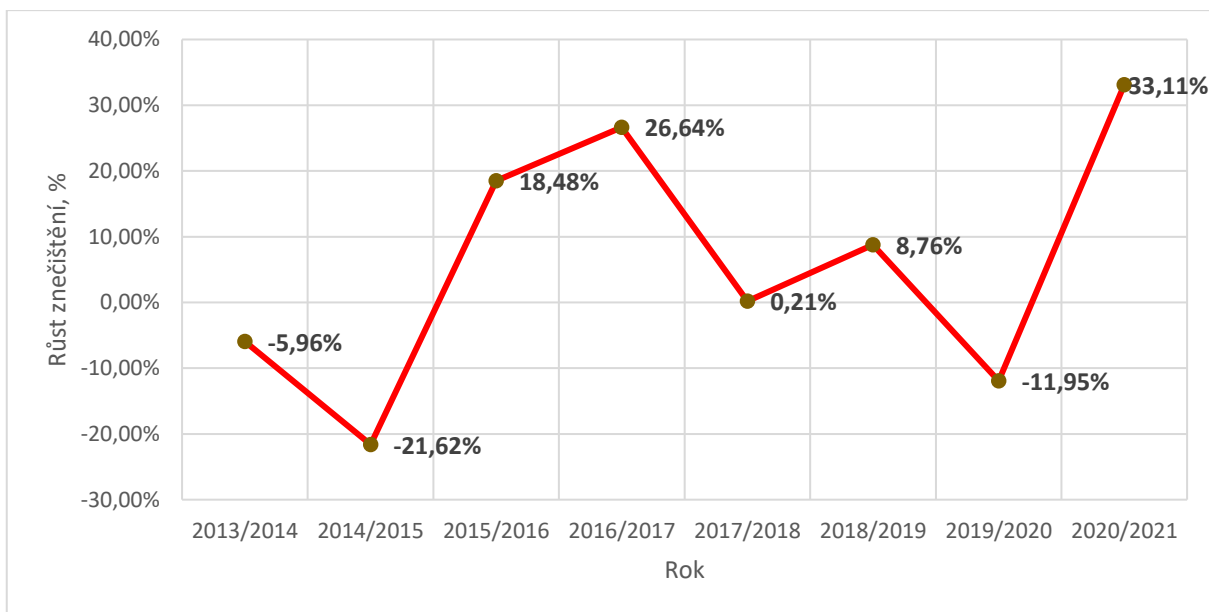
Graf 8. Roční přírůstek plochy světelného znečištění v ČR za období 2013-2022.



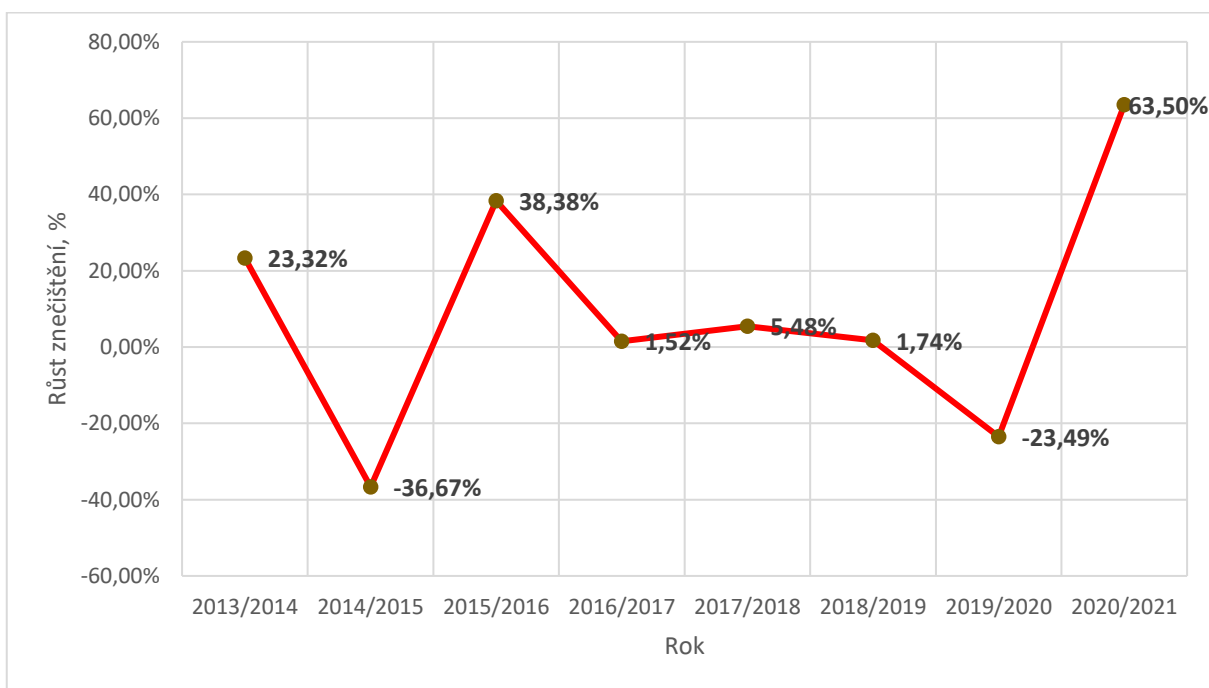
Graf 9. Roční přírůstek jasu světelného znečištění v ČR za období 2013-2022.

	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	Průměrný růst
UA, ploha	-5,96%	-21,62%	18,48%	26,64%	0,21%	8,76%	-11,95%	33,11%	6,36%
Ua, Jas	23,32%	-36,67%	38,38%	1,52%	5,48%	1,74%	-23,49%	63,50%	9,38%

Tabulka 7. Každoroční přírůstek ploch a sily jasu světelného znečištění v Ukrajině mezi období 2013-2022.



Graf 10. Roční přírůstek plochy světelného znečištění v Ukrajině za období 2013-2022.



Graf 11. Roční přírůstek jasu světelného znečištění v Ukrajině za období 2013-2022.

5.3. Světelné znečištění v bližší budoucnosti

Dnes vidíme neustálý nárůst světelného znečištění. Rok 2022 je pro Českou republiku považován za rekordní; ve srovnání s rokem 2021 má poměrně vysoké procento růstu, a to o

20,5 % v ploše a 34,2 % (Tabulka č.8) v intenzitě světelného znečištění. I když takový růst nelze považovat za určitý, mohu s jistotou říci, že plně odpovídá trendům minulých let.

Stojí za zmínku, že jsem na základě předchozích let určil průměrný roční nárůst světelného znečištění plochy na 7,57 % a jasů na 12,13 %. Pokud se zachovají trendy dat za následujících 5 let, podle rovnice od roku 2021 je možné očekávat nárůst plochy znečištění o 54 % a jasů o 98 % (Tabulka č.8-10, Graf č.12-13).

	2021	2022	2021/2022
Plocha	16821,76	20274,51	20,5%
Jas	63881,1	85714,20	34,2%

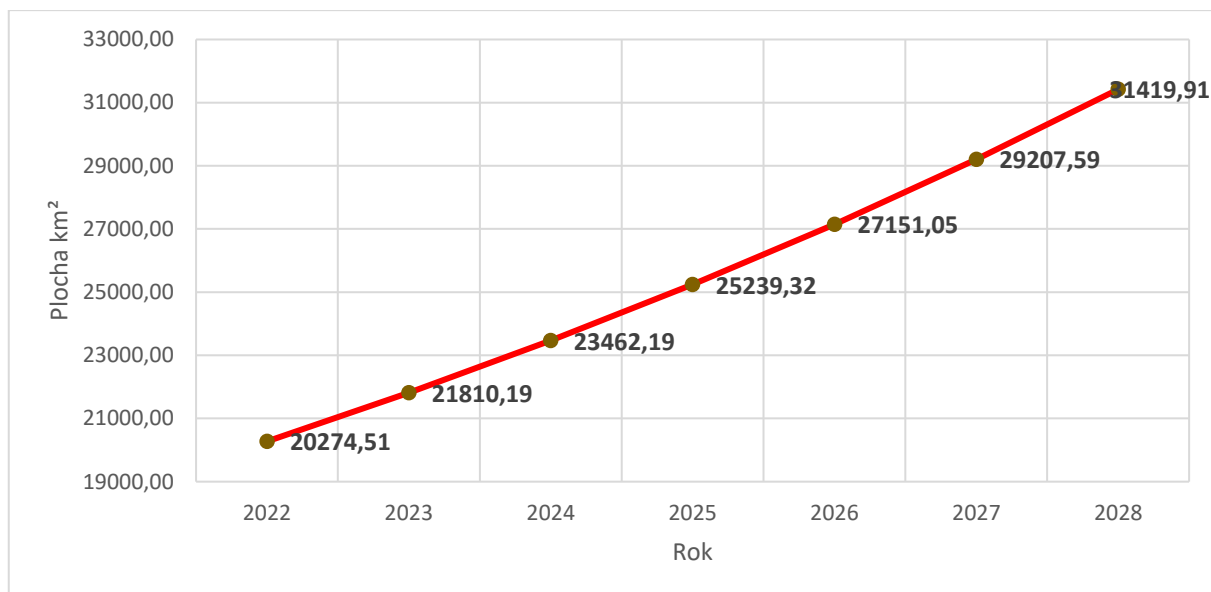
Tabulka 8. Stav světelného znečištění pro 2022 r. a změna ve srovnání s 2021 r.

Rok	Plocha km²
2022	20274,51
2023	21810,19
2024	23462,19
2025	25239,32
2026	27151,05
2027	29207,59
2028	31419,91

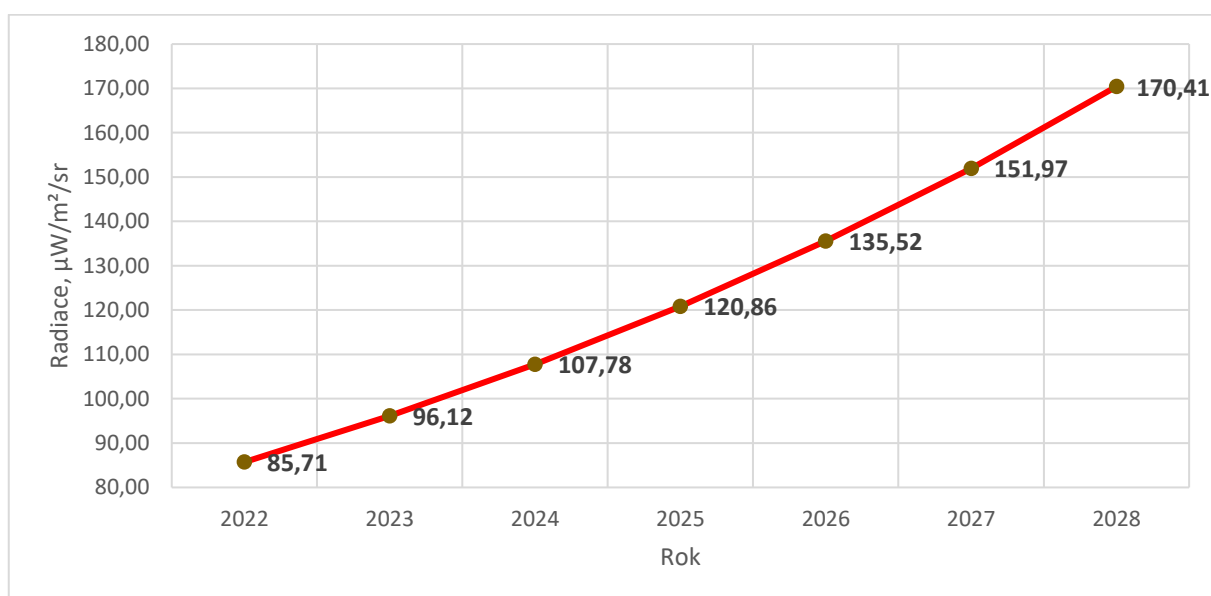
Tabulka 9. Znázornění předpokládající budoucí plochy pod vlivem světelného znečištění pro období 2022-2028.

Rok	Radiace, $\mu\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}$
2022	85,71
2023	96,12
2024	107,78
2025	120,86
2026	135,52
2027	151,97
2028	170,41

Tabulka 10. Předpokládající budoucí úroveň síly jasů světelného znečištění za období 2022-2028.



Graf 12. Znázornění budoucí plochy pod vlivem světelného znečištění pro období 2022-2028.



Graf 13. Znázornění budoucího úrovní síly jasu světelného znečištění za období 2022-2028.

6. Diskuze

Světelné znečištění nad průmyslovými komplexy je závažným problémem, který má významné dopady na životní prostředí, zdraví lidí a noční oblohu (Bedi et al., 2021; Cao et al., 2023; Khorram et al., 2014; Varela Perez, 2023). Tato diskuze se zaměří na analýzu a diskusi o tomto problému, jeho příčinách, dopadech a možných opatřeních. Český termín "světelné znečištění" vychází z anglického výrazu "light pollution," který se zřejmě objevil již v 19. století jako odezva na popularitu petrolejových lamp. Tato historie ukazuje, jak technologický pokrok, konkrétně vynález petrolejové lampy, zapříčinil nejen rozvoj osvětlení, ale také vedl k novému jevu, který můžeme vnímat jako světelné znečištění. Je to zajímavý příklad toho, jak inovace mohou přinášet komplexní výzvy a vedou k potřebě pojmenovat a porozumět novým jevům v našem prostředí (Katabaro et al., 2022; Koo et al., 2016; Sanders et al., 2023; van Geffen et al., 2015).

Zdroje světelného znečištění jsou různorodé a mohou pocházet z různých lidských aktivit a zařízení. Intenzivní nebo nesprávně orientované veřejné osvětlení může přispívat k nadměrnému světelnému znečištění. Používání nesprávných typů světelných zdrojů nebo nedostatečné clonění svítidel může způsobovat nežádoucí rozptyl světla do okolí. Dalším zdrojem je osvětlení sportovních a rekreačních areálů, například sportovních stadionů nebo osvětlených golfových hřišť, může přispívat k lokálnímu světelnému znečištění. Světla z automobilů, letadel a dalších dopravních prostředků mohou vytvářet světelné závoje, zejména v oblastech s vysokou hustotou dopravy. Intenzivní osvětlení reklamních panelů a billboardů může přispívat k místnímu světelnému znečištění, zejména v urbánních oblastech. Světla používaná v průmyslových oblastech mohou být dalším zdrojem světelného znečištění, zejména pokud nejsou správně regulována. Osvětlení budov a památek může vytvářet nápadné zářící obrazy v nočním nebi a nepřiměřené nebo nesprávně zaměřené osvětlení v domácnostech tím pádem může také přispět k místnímu světelnému znečištění (Cao et al., 2023; Kolláth, 2010; Kyba et al., 2017).

Světelné znečištění, jak už bylo uvedeno dříve může mít nepříznivý vliv na noční život zvířat a hmyzu, což může narušit ekosystém v okolí průmyslových komplexů. Nekontrolované osvětlení způsobuje ztrátu energie a zvyšuje emise skleníkových plynů, což přispívá ke globálnímu oteplování. Světelné znečištění může narušit spánek obyvatel v okolí průmyslových komplexů a zvýšit riziko chronických onemocnění. Nadměrné noční světlo může narušit

cirkadiánní rytmus a vést k problémům se zdravím (Falchi et al., 2011; Cho et al., 2015; Koo et al., 2016; Svehkina et al., 2020).

Analýza zahraniční legislativy týkající se ochrany noční oblohy a nařízení ve věci veřejného osvětlení s cílem minimalizovat světelné znečištění poskytla užitečné poznatky, které částečně usnadnily překlad některých evropských zákonů a nařízení. Česká republika bohužel nevyužila plného potenciálu obsaženého v zákonu č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, který se původně zaměřoval na upravení předpisů týkajících se světelného znečištění. Tato problematika byla následně minimalizována na minimum (Sbírka zákonů 2002), a nový zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší už se na tuto oblast vůbec nezaměřuje (Sbírka zákonů 2012 b). Tuto situaci lze interpretovat jako vítězství pro odvětví světelné techniky, avšak jako porážku pro astronomii a vědeckou komunitu.

Problémy související s analýzou vyžadují zvláštní pozornost, zejména pokud jde o nedostatek smysluplných statistických výpočtů. Výsledná data ukazují neobvyklé výsledky, jako například, že není žádný rozdíl mezi teplým a chladným obdobím. I když se předpokládalo, že roční období mohou hrát významnou roli ve změnách světelného znečištění, studie ukázala, že jiné faktory mohou být hlavními determinanty této "vlnitosti", například dráha družice nebo úhel jejího sklonu, který nemusí záření tak přesně vypočítat

Taková situace vytváří komplikace při interpretaci výsledků a může zkreslovat celkový obraz analýzy, což vyžaduje hlubší studium a přehodnocení metodiky zpracování dat. Také objekty výzkumu ČR a Ukrajiny nejsou srovnatelné a nacházejí se blízko sebe, takže mají stejné problémy s vlivem prostředí na získávání dat.

Porozumění datům získaným ze satelitních snímků představuje problematický bod. Omezená možnost získání dalších údajů, které spíše nesou relativní povahu, než jsou plně dostupné, a silný vliv prostředí na výsledky měření představují výzvu při interpretaci těchto dat.

Tato diplomová práce poskytuje směr pro další výzkum a důkladnější porozumění faktorům, které ovlivňují dynamiku světelného znečištění v městském prostředí, je třeba zvážit komplexní opatření, která by mohla snížit tento nežádoucí trend a ochránit životní prostředí pro budoucí generace.

7. Závěr

Teoretická část mé diplomové práce shrnula poznatky o světelném znečištění, jeho přirozených a umělých zdrojů, dynamice změn v čase, podrobně jsem rozebral vliv na rostliny, živočišné a zdravotní stav lidí. Cílem praktické části mé diplomové práce bylo zhodnotit změny světelného znečištění během posledních let v Česku a Ukrajině i posoudit, jak se mění vliv v čase. Formuloval jsem pracovní hypotézy, které předpokládaly, že intenzita světelného znečištění se mezi chladným a teplým obdobím liší. Další hypotéza byla, že existuje přímý trend zvyšování světelného znečištění a vzniku nových zdrojů znečištění. Třetí hypotéza zněla, že stupeň světelného znečištění bude stále zvyšovat se udržení trendu ročního růstu.

Ve studii mezi 10 zkoumanými městy v období let 2013-2021 není prokázána spojitost mezi změnou světelného znečištění a sezónními změnami mezi teplými a studenými obdobími, takže první hypotéza byla odmítnuta. Toto zjištění poskytuje nový pohled na povahu světelného znečištění a jeho dynamiku v daných městech.

Analýza souvislosti mezi nárůstem počtu zdrojů znečištění a jejich intenzitou odhalila zajímavé výsledky. Zjištění statistické analýzy naznačují přímou úměrnost mezi nárůstem počtu zdrojů a jejich intenzitou, což je podpořeno významnými korelačními indexy. Pro Českou republiku dosahuje korelační index hodnoty 0,749, zatímco pro Ukrajinu dosahuje hodnoty 0,774. Tato zjištění jasně ukazují na silnou spojitost mezi nárůstem zdrojů světelného znečištění a jejich intenzitou v obou zkoumaných zemích.

Nárůst světelného znečištění v posledních letech v České republice, zejména v roce 2022, je znepokojující podle mých výsledků. Rekordní nárůst o 20,5 % v ploše a 34,2 % v intenzitě světelného znečištění ve srovnání s rokem 2021 naznačuje alarmující trend, který ukazuje, že situace se stále zhoršuje.

Průměrný roční nárůst světelného znečištění byl dosud stanoven na 7,57 % v rozloze a 12,13 % v intenzitě. Pokud se tyto trendy budou nadále vyvíjet, podle mých výsledků odhaduje se, že v příštích 5 letech lze očekávat extrémní zvýšení znečištění o 54 % v rozloze a až o 98 % v intenzitě. Tyto prognózy jsou znepokojivé a naznačují potřebu naléhavých opatření pro omezování světelného znečištění v České republice.

8. Literatura

- Aceituno, J., Sánchez, S. F., Aceituno, F. J., Galadí-Enríquez, D., Negro, J. J., Soriguer, R. C., & Gomez, G. S. (2011). An All-Sky Transmission Monitor: ASTMON. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 123(907), 1076. <https://doi.org/10.1086/661918>
- Afroz-Hossain, A., Dawkins, M., & Myers, A. K. (2019). Sleep and Environmental Factors Affecting Glycemic Control in People with Type 2 Diabetes Mellitus. *Current Diabetes Reports*, 19(7), 40. <https://doi.org/10.1007/s11892-019-1159-9>
- Ainley, D. G., Podolsky, R., Deforest, L., Spencer, G., & Nur, N. (b.r.). *THE STATUS AND POPULATION TRENDS OF THE NEWELLS' SHEARWATER ON KAUAI': INSIGHTS FROM MODELING*. 22.
- Aksaker, N., Yerli, S. K., Kurt, Z., Bayazit, M., Aktay, A., & Erdoğan, M. A. (2020). A case study of light pollution in France. *Astrophysics and Space Science*, 365(9), 153. <https://doi.org/10.1007/s10509-020-03869-4>
- Alamús, R., Bará, S., Corbera, J., Escofet, J., Palà, V., Pipia, L., & Tardà, A. (2017). Ground-based hyperspectral analysis of the urban nightscape. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.12.004>
- Andrei, Ž. (2011). *Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj*. 8.
- Bedi, T. K., Puntambekar, K., & Singh, S. (2021). Assessment of Light Pollution in Indian Scenario: A Case of Bangalore. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(3), 657–672. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00530-3>
- 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), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep03789>
- Birriel, J., & Adkins, J. (2010). A Simple, Portable Apparatus to Measure Night Sky Brightness at Various Zenith Angles. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, 38, 221.
- Boyce, P. R. (2019). The benefits of light at night. *Building and Environment*, 151, 356–367. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.020>

- Brüning, A., Hölker, F., Franke, S., Preuer, T., & Kloas, W. (2015). Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. *Science of The Total Environment*, *511*, 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.094>
- Burton, J., Cutler, D., Marsden, J., & Sherwood, B. (2002). *Wildlife And Roads: The Ecological Impact*. World Scientific.
- Cao, M., Xu, T., & Yin, D. (2023). Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. *Journal of Environmental Sciences*, *127*, 589–602. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.020>
- Castro, F. J. D., & de la Paz, F. (2003). The „Law of the heavens" of the Canaries. Applications and results. In H. E. Schwarz (Ed.), *Light Pollution: The Global View* (Roč. 284, s. 95–109). Springer. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000183704500008?state=%7B%7D>
- Cinzano, P., & Falchi, F. (2014). Quantifying light pollution. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, *139*, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.11.020>
- Cinzano, P., Falchi, F., & Elvidge, C. D. (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *328*(3), 689–707. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x>
- 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2000.03562.x>
- Croxall, J. P., Butchart, S. H. M., Lascelles, B., Stattersfield, A. J., Sullivan, B., Symes, A., & Taylor, P. (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: A global assessment. *Bird Conservation International*, *22*(1), 1–34. <https://doi.org/10.1017/S0959270912000020>
- Davies, T. W., & Smyth, T. (2018). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global Change Biology*, *24*(3), 872–882. <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>
- Dufier, J.-L., & Touitou, Y. (2022). [Light pollution]. *La Revue Du Praticien*, *72*(2), 141–146.

- Duriscoe, D. M. (2013). Measuring Anthropogenic Sky Glow Using a Natural Sky Brightness Model. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125(933), 1370. <https://doi.org/10.1086/673888>
- Elsahragty, M., & Kim, J.-L. (2015). Assessment and Strategies to Reduce Light Pollution Using Geographic Information Systems. *Procedia Engineering*, 118, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.458>
- Elvidge, C. D., Imhoff, M. L., Baugh, K. E., Hobson, V. R., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J. B., & Tuttle, B. T. (2001). Night-time lights of the world: 1994–1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56(2), 81–99. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00040-5)
- 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), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- 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(10), 2714–2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Frank, K. D. (1991). Impact of Outdoor Lighting on Moths. *International Astronomical Union Colloquium*, 112, 51–51. <https://doi.org/10.1017/S0252921100003687>
- Galatanu, C. D. (2014). Light Pollution Assessment Using Photographical Methods. *2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (Epe)*, 699–703. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000353565300127>
- Gao, B.-C., & Li, R.-R. (2023). The VIIRS Cirrus Reflectance Algorithm. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(4), 2234. <https://doi.org/10.3390/s23042234>
- Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W., & Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 88(4), 912–927. <https://doi.org/10.1111/brv.12036>
- Gaston, K. J., Duffy, J. P., Gaston, S., Bennie, J., & Davies, T. W. (2014). Human alteration of natural light cycles: Causes and ecological consequences. *Oecologia*, 176(4), 917–931. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3088-2>

- Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 370(1667), 20140133. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- Gauging Light Pollution: The Bortle Dark-Sky Scale. (2006, červenec 18). *Sky & Telescope*. <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>
- GISP, T. C. (2015). *Learning ArcGIS Pro*. Packt Publishing Ltd.
- Green, R. F., Luginbuhl, C. B., Wainscoat, R. J., & Duriscoe, D. (2022). The growing threat of light pollution to ground-based observatories. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 30(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s00159-021-00138-3>
- Gronkowski, P., Tralle, I., & Wesołowski, M. (2018). Visibility of comets during their outbursts and the night sky light pollution—Use the Bortle scale. *Astronomische Nachrichten*, 339(1), 37–45. <https://doi.org/10.1002/asna.201713387>
- Grunst, A. S., Grunst, M. L., Raap, T., Pinxten, R., & Eens, M. (2023). Anthropogenic noise and light pollution additively affect sleep behaviour in free-living birds in sex- and season-dependent fashions. *Environmental Pollution*, 316, 120426. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120426>
- Guan, Q., Wang, Z., Cao, J., Dong, Y., & Chen, Y. (2022). The role of light pollution in mammalian metabolic homeostasis and its potential interventions: A critical review. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 312, 120045. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120045>
- Hamacher, D. W., de Napoli, K., & Mott, B. (2020). *Whitening the Sky: Light pollution as a form of cultural genocide* (arXiv:2001.11527). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.11527>
- 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 and Radiative Transfer*, 205, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>
- Hatori, M., Gronfier, C., Van Gelder, R. N., Bernstein, P. S., Carreras, J., Panda, S., Marks, F., Sliney, D., Hunt, C. E., Hirota, T., Furukawa, T., & Tsubota, K. (2017). Global rise of potential

- health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies. *Npj Aging and Mechanisms of Disease*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41514-017-0010-2>
- Heilig, P. (2010). Light pollution. *Spektrum Der Augenheilkunde*, 24(5), 267–270. <https://doi.org/10.1007/s00717-010-0440-8>
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., & Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(12), 681–682. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Hufnagel, L., Mics, F., Hufnagel, L., & Mics, F. (2022). Introductory Chapter: Ecological Effects of Light Pollution - A Review. In *Light Pollution, Urbanization and Ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99648>
- Chalkias, C., Petrakis, M., Psiloglou, B., & Lianou, M. (2006). Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.015>
- Chen, Y., Hantson, S., Andela, N., Coffield, S. R., Graff, C. A., Morton, D. C., Ott, L. E., Fofoula-Georgiou, E., Smyth, P., Goulden, M. L., & Randerson, J. T. (2022). California wildfire spread derived using VIIRS satellite observations and an object-based tracking system. *Scientific Data*, 9(1), 249. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01343-0>
- Cho, Y., Ryu, S.-H., Lee, B. R., Kim, K. H., Lee, E., & Choi, J. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*, 32(9), 1294–1310. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>
- Irwin, A. (2018). The dark side of light: How artificial lighting is harming the natural world. *Nature*, 553(7688), 268–270. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-00665-7>
- Ja, L., Oh, M.-F., Jr, B., & Rj, N. (2022). Effects of light pollution on photoperiod-driven seasonality. *Hormones and Behavior*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2022.105150>
- Jiang, W., He, G., Long, T., Wang, C., Ni, Y., & Ma, R. (2017). Assessing Light Pollution in China Based on Nighttime Light Imagery. *Remote Sensing*, 9(2), 135. <https://doi.org/10.3390/rs9020135>
- Jones, T. M., & McNamara, K. B. (2023). Ecological light pollution. *Current Biology: CB*, 33(16), R843–R844. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.034>

- Kamrowski, R. L., Sutton, S. G., Tobin, R. C., & Hamann, M. (2015). Balancing artificial light at night with turtle conservation? Coastal community engagement with light-glow reduction. *Environmental Conservation*, 42(2), 171–181. <https://doi.org/10.1017/S0376892914000216>
- Katabaro, J. M., Yan, Y., Hu, T., Yu, Q., & Cheng, X. (2022). A review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures. *Frontiers in Public Health*, 10, 969945. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.969945>
- Khorrām, A., Yusefi, M., & Keykha, S. (2014). Light Pollution, a World Problem. *Health Scope*, 3(4), e24065. <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-24065>
- Kloog, I., Haim, A., Stevens, R. G., & Portnov, B. A. (2009). Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. *Chronobiology International*, 26(1), 108–125. <https://doi.org/10.1080/07420520802694020>
- Kolláth, Z. (2010). Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics: Conference Series*, 218(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/218/1/012001>
- Koo, Y. S., Song, J.-Y., Joo, E.-Y., Lee, H.-J., Lee, E., Lee, S., & Jung, K.-Y. (2016). Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study. *Chronobiology International*, 33(3), 301–314. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1143480>
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Kyuchukov, T. (2018). Light Pollution and Its Price. *Proceedings of the 2018 Seventh Balkan Conference on Lighting (Balkanlight)*, 26–34. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000467705500006>
- Le Corre, M., Ollivier, A., Ribes, S., & Jouventin, P. (2002). Light-induced mortality of petrels: A 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean). *Biological Conservation*, 105(1), 93–102. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00207-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00207-5)

- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), 191–198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2)
- Mander, S., Alam, F., Lovreglio, R., & Ooi, M. (2023). How to measure light pollution—A systematic review of methods and applications. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104465. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104465>
- Mathews, F., Roche, N., Aughney, T., Jones, N., Day, J., Baker, J., & Langton, S. (2015). Barriers and benefits: Implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0124>
- Mazor, T., Levin, N., Possingham, H. P., Levy, Y., Rocchini, D., Richardson, A. J., & Kark, S. (2013). Can satellite-based night lights be used for conservation? The case of nesting sea turtles in the Mediterranean. *Biological Conservation*, 159, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.11.004>
- Meyer, L. A., & Sullivan, S. M. P. (2013). Bright lights, big city: Influences of ecological light pollution on reciprocal stream-riparian invertebrate fluxes. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 23(6), 1322–1330. <https://doi.org/10.1890/12-2007.1>
- Miles, W., Money, S., Luxmoore, R., & Furness, R. W. (2010). Effects of artificial lights and moonlight on petrels at St Kilda. *Bird Study*, 57(2), 244–251. <https://doi.org/10.1080/00063651003605064>
- Owens, A. C. S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E. K., & Seymoure, B. (2020). Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- Parent, M.-É., El-Zein, M., Rousseau, M.-C., Pintos, J., & Siemiatycki, J. (2012). Night work and the risk of cancer among men. *American Journal of Epidemiology*, 176(9), 751–759. <https://doi.org/10.1093/aje/kws318>
- Parkinson, E., Lawson, J., & Tiegs, S. D. (2020). Artificial light at night at the terrestrial-aquatic interface: Effects on predators and fluxes of insect prey. *PLOS ONE*, 15(10), e0240138. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240138>

- Perkin, E. K., Hölker, F., Richardson, J. S., Sadler, J. P., Wolter, C., & Tockner, K. (2011). The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: Questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere*, 2(11), art122. <https://doi.org/10.1890/ES11-00241.1>
- Perkin, E. K., Hölker, F., & Tockner, K. (2014). The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology*, 59(2), 368–377. <https://doi.org/10.1111/fwb.12270>
- Riegel, K. W. (1973). Light Pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy. *Science*, 179(4080), 1285–1291. <https://doi.org/10.1126/science.179.4080.1285>
- Rich, C., & Longcore, T. (2013). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press.
- Rodrigo-Comino, J., Seeling, S., Seeger, M. K., & Ries, J. B. (2023). Light pollution: A review of the scientific literature. *The Anthropocene Review*, 10(2), 367–392. <https://doi.org/10.1177/20530196211051209>
- Rodríguez, A., García, D., Rodríguez, B., Cardona, E., Parpal, L., & Pons, P. (2015). Artificial lights and seabirds: Is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? *Journal of Ornithology*, 156(4), 893–902. <https://doi.org/10.1007/s10336-015-1232-3>
- Rodríguez, A., Rodríguez, B., & Negro, J. J. (2015). GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports*, 5, 10670. <https://doi.org/10.1038/srep10670>
- Sanders, D., Hirt, M. R., Brose, U., Evans, D. M., Gaston, K. J., Gauzens, B., & Ryser, R. (2023). How artificial light at night may rewire ecological networks: Concepts and models. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 378(1892), 20220368. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0368>
- Sánchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., & Gaston, K. J. (2021). First Estimation of Global Trends in Nocturnal Power Emissions Reveals Acceleration of Light Pollution. *Remote Sensing*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/rs13163311>
- Shamir, L., & Nemiroff, R. J. (2005). All-Sky Relative Opacity Mapping Using Nighttime Panoramic Images. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 117(835), 972. <https://doi.org/10.1086/432689>
- Stone, T. (2017). Light Pollution: A Case Study in Framing an Environmental Problem. *Ethics Policy & Environment*, 20(3), 279–293. <https://doi.org/10.1080/21550085.2017.1374010>

- Svechkina, A., Portnov, B. A., & Trop, T. (2020). The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: A systematic literature review. *Landscape Ecology*, 35(8), 1725–1742. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01053-1>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Tang, L. (2013). Light at Night: A New Kind of Environment Pollution. *Advanced Materials Research*, 807–809, 636–640. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.807-809.636>
- Telfer, T. C., Sincock, J. L., Byrd, G. V., & Reed, J. R. (1987). Attraction of Hawaiian Seabirds to Lights: Conservation Efforts and Effects of Moon Phase. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 15(3), 406–413.
- US Department of Commerce, N. S. and I. S. (b.r.). *NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI)*. US Department of Commerce, NOAA Satellite and Information Service, National Centers for Environmental Information. Získáno 17. prosinec 2023, z <https://ngdc.noaa.gov/>
- van Geffen, K. G., van Eck, E., de Boer, R. A., van Grunsven, R. H. A., Salis, L., Berendse, F., & Veenendaal, E. M. (2015). Artificial light at night inhibits mating in a Geometrid moth. *Insect Conservation and Diversity*, 8(3), 282–287. <https://doi.org/10.1111/icad.12116>
- Varela Perez, A. M. (2023). The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy. *Science (New York, N.Y.)*, 380(6650), 1136–1140. <https://doi.org/10.1126/science.adg0269>
- Walker, M. F. (1970). The California Site Survey. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 82, 672. <https://doi.org/10.1086/128945>
- Wolkoff, M., Fyie, L., & Meuti, M. (2023). Light Pollution Disrupts Seasonal Differences in the Daily Activity and Metabolic Profiles of the Northern House Mosquito, *Culex pipiens*. *Insects*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/insects14010064>
- XiaoQian, Y. (2012). Study of Light Pollution about Night Landscape Lighting. In S. Zhong & Z. Liu (Ed.), *Green Power, Materials and Manufacturing Technology and Applications Ii* (Roč.

Zakon o varstvu okolja. (b.r.). pisrs. Získáno 17. prosinec 2023, z <http://pisrs.si>

8.1. Právní dokumenty

1. Vyhláška č. 4162, o mezních hodnotách světelného znečištění. In: Uradni list Republike Slovenije 7. 9. 2007
2. Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: Sbíрка zákonů České republiky 19. 2. 1992
3. Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. In: Sbíрка zákonů České republiky 14. 2. 2002
4. Zakon o varstvu okolja Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja 30. srpna 2007
5. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Chorvatsko 2019

8.2. Internetové zdroje

1. Online zdroj 1: https://www.mzp.cz/cz/svetelne_znecistení
2. Online zdroj 2: <https://www.asu.cas.cz/svetelne-znecistení>
3. Online zdroj 3: <http://oxforddictionaries.com/definition/english/light%2Bpollution>
4. Online zdroj 4: <http://www.darksky.org/mc/page.do?sitePageId=61045&orgId=idsaccessed>
5. Online zdroj 5: <https://cie.co.at/eilvterm/17-29-177>

9. Přílohy

```

code_gee.js x  Release Notes: 1.82.1
C:\Users> milas > Downloads > JS code_gee.js > ...
1 var dataset = ee.ImageCollection('NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/CMCFG')
2   .filter(ee.Filter.date('2013-01-01', '2013-12-30'));
3
4 var nighttime = dataset.select('avg_rad').median(); // m
5
6 var nighttimeVis = { min: 0.0, max: 50.0, opacity: 0.6 };
7 Map.setCenter(30.5, 50.5, 9);
8 Map.addLayer(nighttime, nighttimeVis, 'Nighttime brightness');
9
10 var zone1 = nighttime.gt(1.0);
11 var zone2 = nighttime.gt(2.5);
12 var zone3 = nighttime.gt(5.0);
13 var zone4 = nighttime.gt(10.0);
14 var zone5 = nighttime.gt(20.0);
15 var zone6 = nighttime.gt(50.0);
16 var zone7 = nighttime.gt(100.0);
17
18 var zones = zone1.add(zone2).add(zone3).add(zone4).add(zone5).add(zone6).add(zone7);
19 zones = zones.updateMask(zones.neq(0));
20
21 var czechia = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017")
22   .filter(ee.Filter.eq('country_na', 'Czechia'));
23
24 var vector = zones.addBands(nighttime).reduceToVectors({
25   geometry: czechia,
26   crs: nighttime.projection(),
27   scale: 50,
28   geometryType: 'polygon',
29   eightConnected: false,
30   labelProperty: 'zone',
31   reducer: ee.Reducer.median(), // m
32   maxPixels: 1e9
33 });
34
35 var addArea = function (feature) {
36   var area = feature.geometry().area(10);
37   var median = ee.Number(feature.get('median')); // m
38   return feature.set('area', area)
39     .set('power', median.multiply(area).multiply(1e4 * 1e-9 * 2 * Math.PI));
40 };
41
42 var vectors = vector.map(addArea);
43
44 print(vectors);
45
46 Map.addLayer(zones, { min: 1, max: 7, palette: ['0000FF', '00FF00', 'FF0000', 'FFFF00', 'FF00FF', '00FFFF', '000000'] }, 'Class raster');
47
48 var display = ee.Image(0).updateMask(0).paint(vectors, '000000', 3);
49 Map.addLayer(display, { palette: '000000' }, 'Class vectors');
50
51 Export.table.toDrive({
52   collection: vectors,
53   description: 'Czechia_DNB_2013',
54   fileFormat: 'SHP'
55 });
56

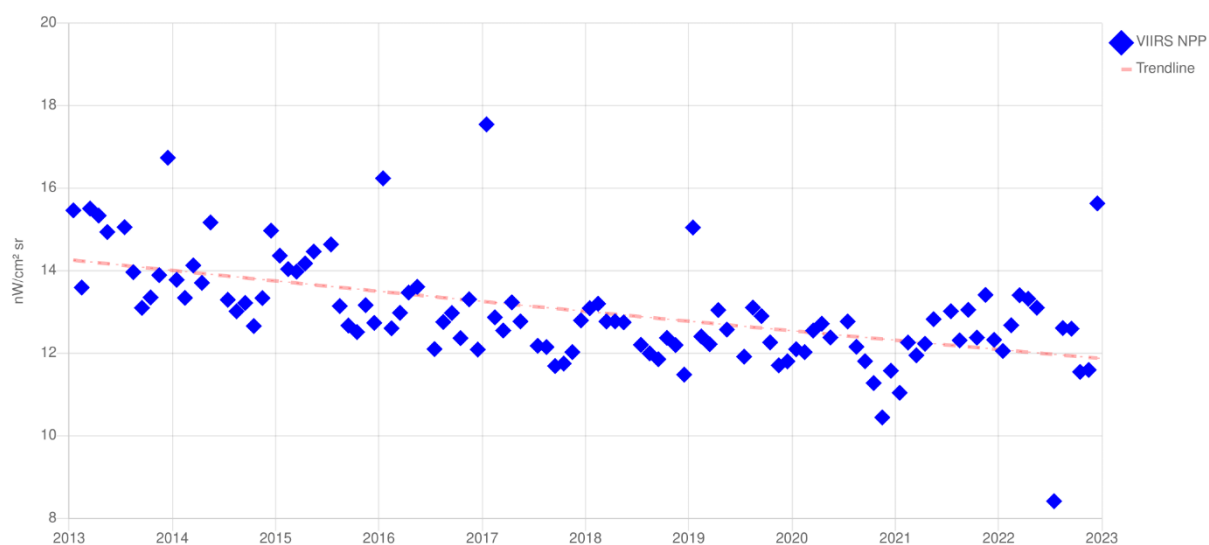
```

Příloha 1. Východní kód ve JavaScript.

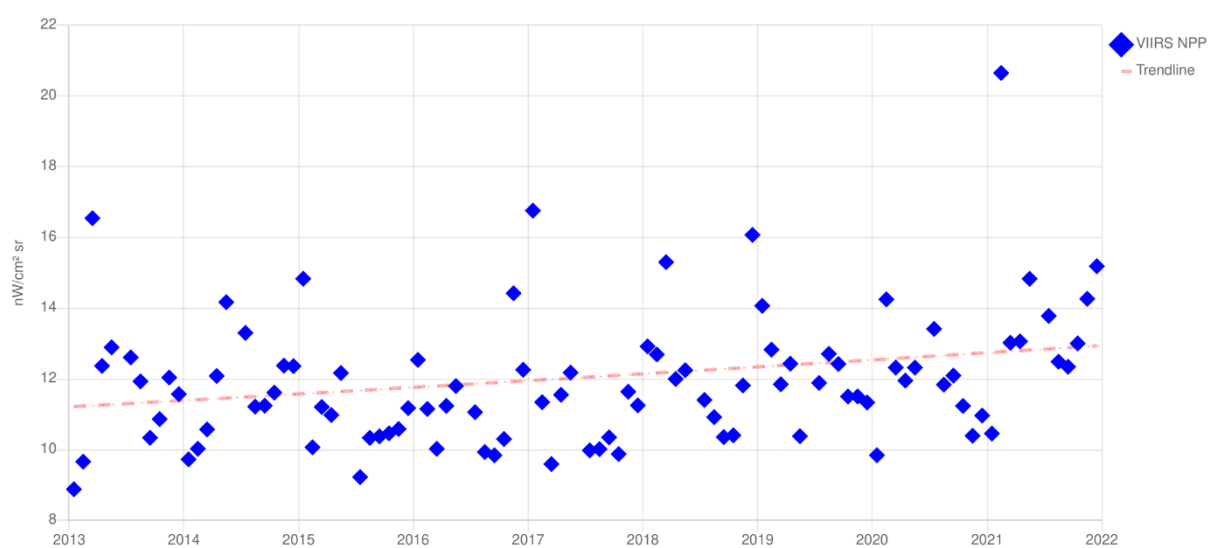
Country	Avg. Sum	Trend	Rad./1k pop	Avg. Mean
Turkey	3,626,972	+7.74 %	44.2	0.991
China	16,184,575	+6.16 %	11.6	0.370
Indonesia	2,310,970	+4.73 %	8.6	0.254
India	8,812,995	+3.77 %	6.5	0.599
Saudi Arabia	7,828,434	+3.76 %	228.8	0.877
South Korea	1,715,272	+2.99 %	33.1	3.436

Mexico	4,458,643	+1.50 %	35.2	0.487
Argentina	3,623,132	+0.86 %	80.6	0.280
Brazil	9,168,810	+0.83 %	43.6	0.232
Italy	4,129,714	+0.83 %	68.4	2.890

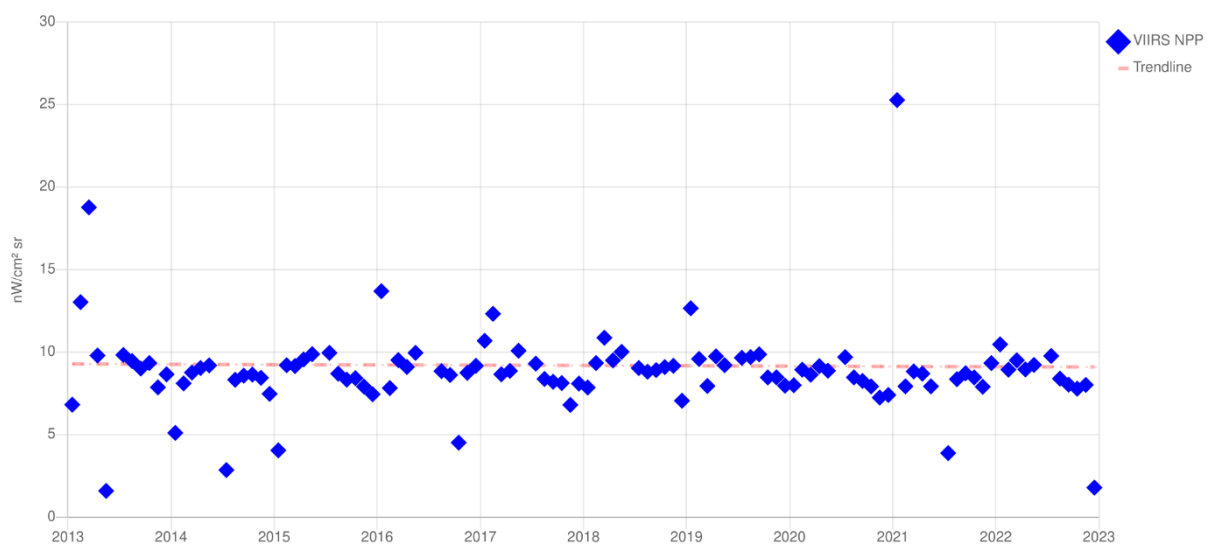
Příloha 2. Statistika trendů světelného znečištění mezi zeměmi G20 za rok 2021.



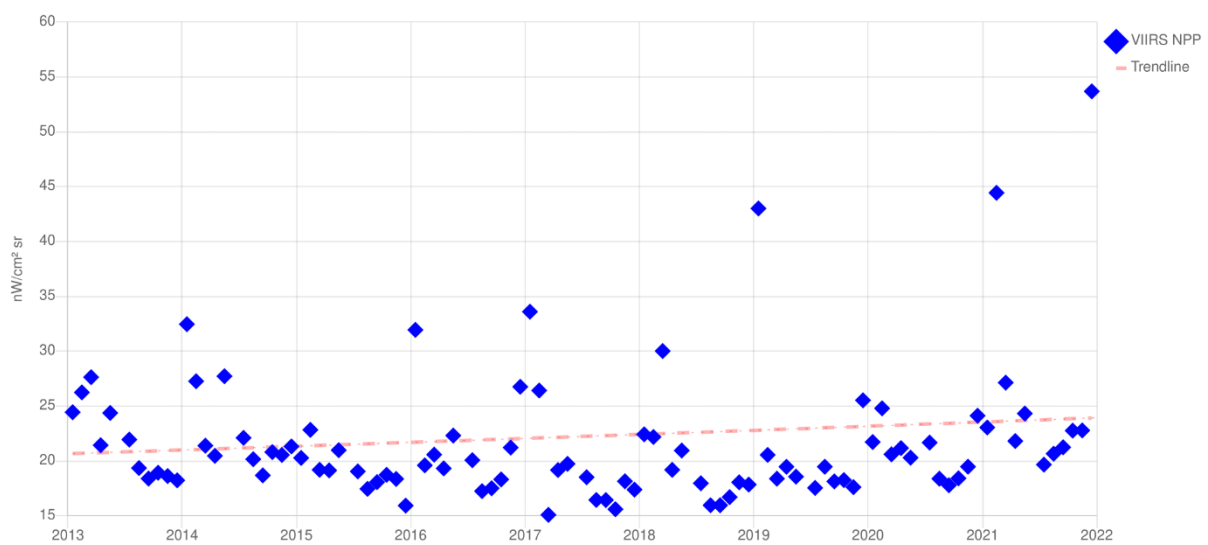
Příloha 3. Graf trendu světelného znečištění města Brno 2013-2023.



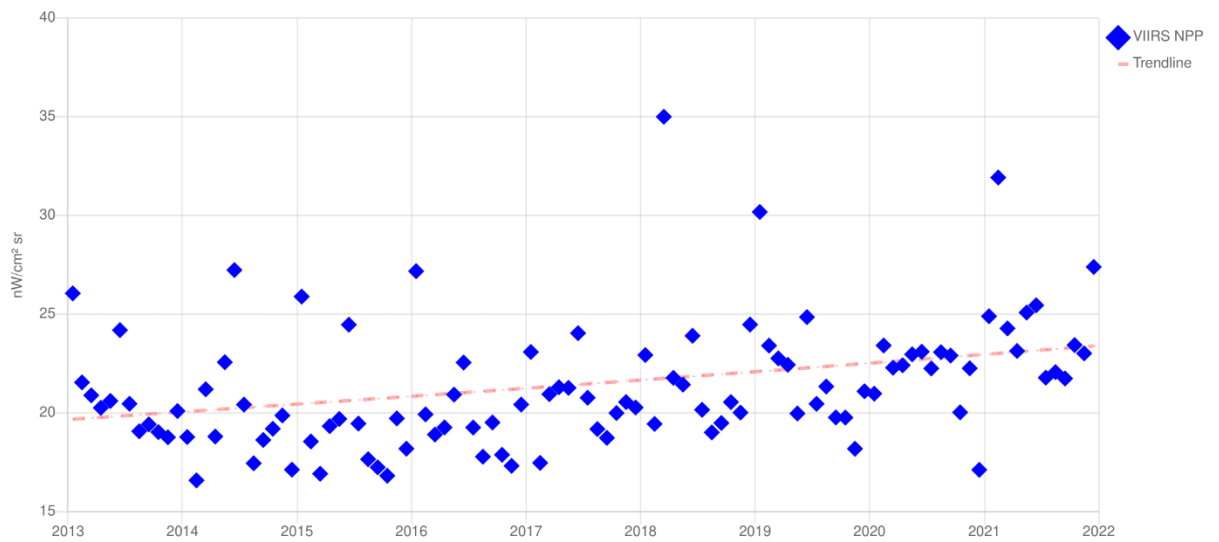
Příloha 4. Graf trendu světelného znečištění města Kyjv 2013-2023.



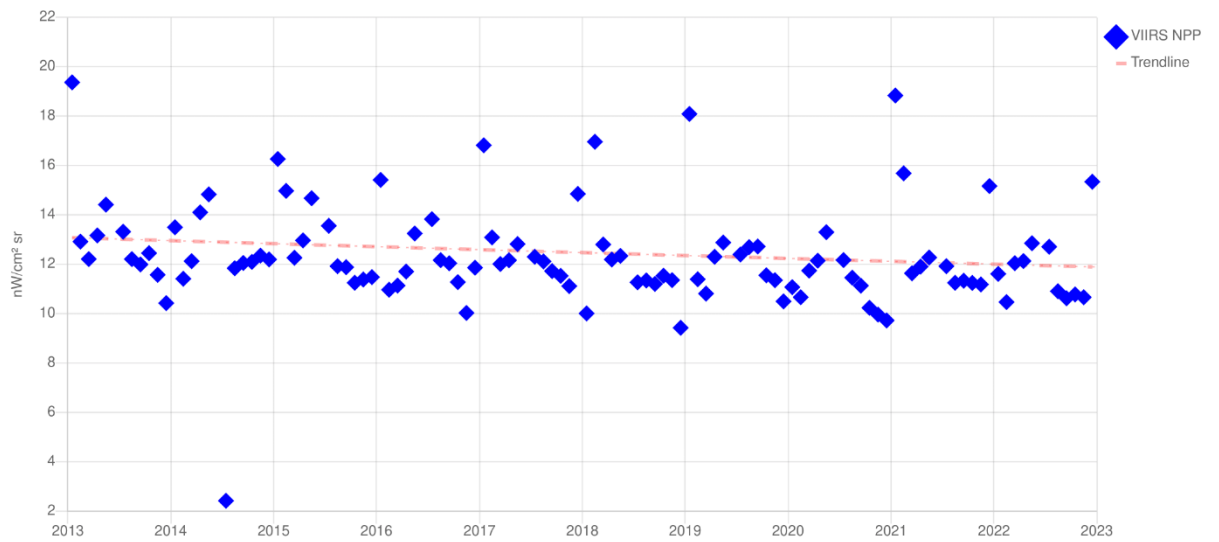
Příloha 5. Graf trendu světelného znečištění města Liberec 2013-2023.



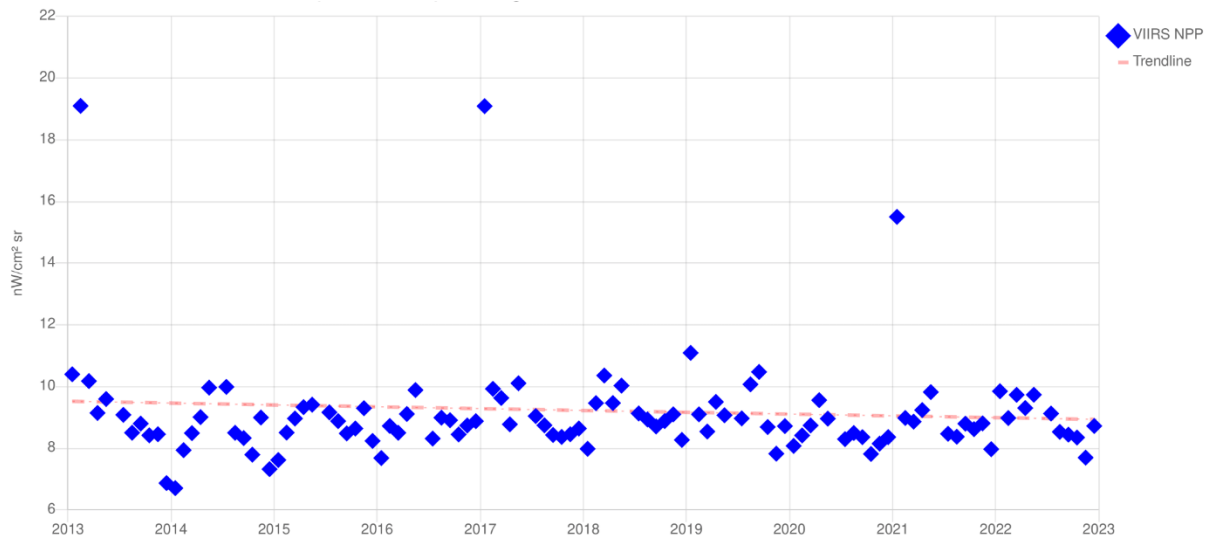
Příloha 6. Graf trendu světelného znečištění města Lviv 2013-2023.



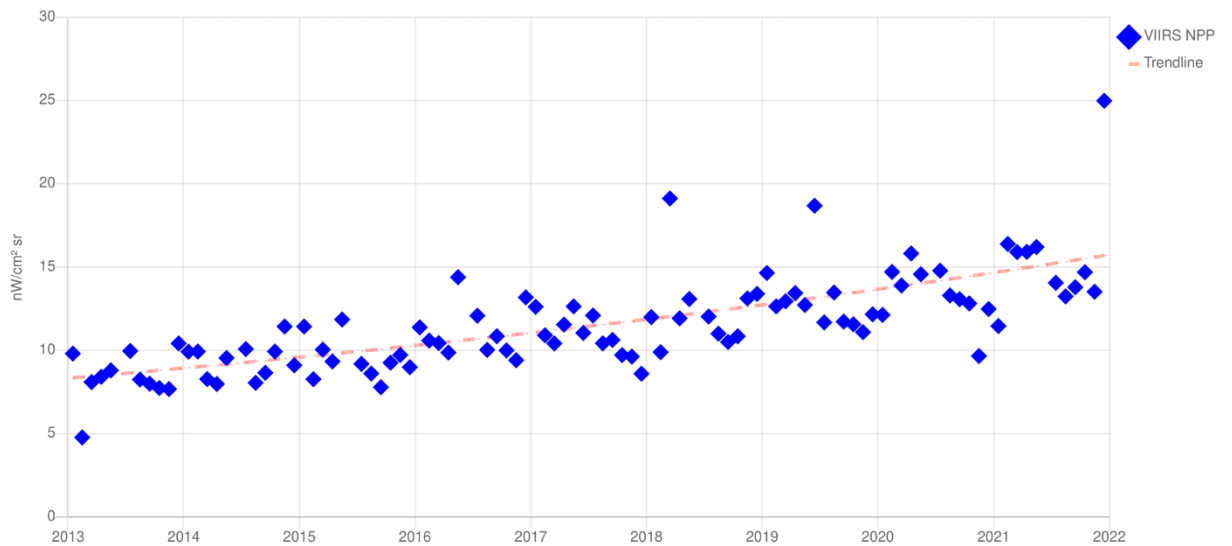
Příloha 7. Graf trendu světelného znečištění města Odesa 2013-2023.



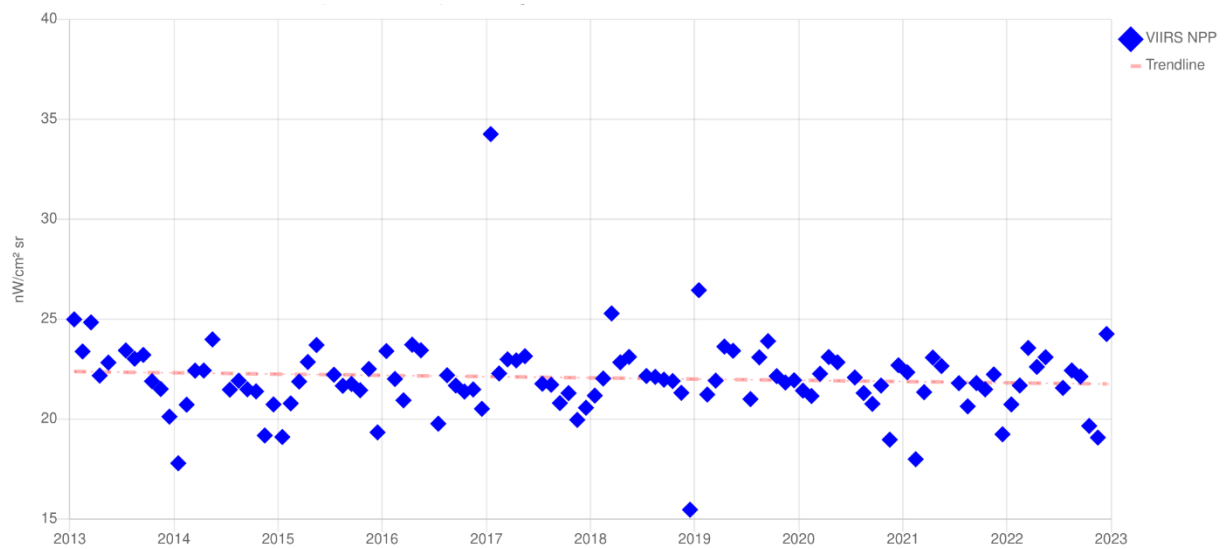
Příloha 8. Graf trendu světelného znečištění města Ostrava 2013-2023.



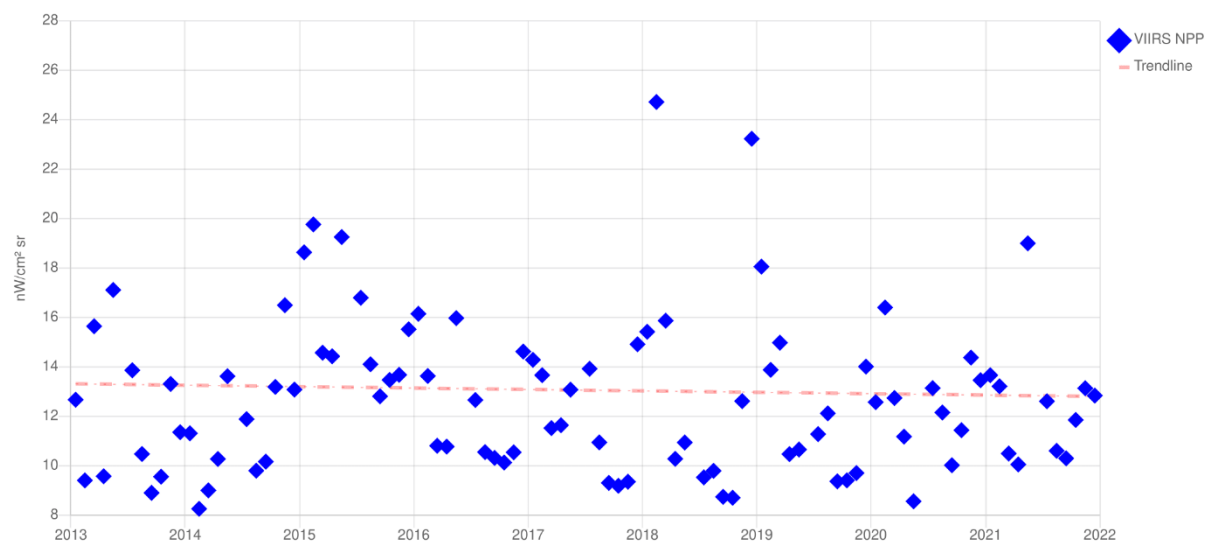
Příloha 9. Graf trendu světelného znečištění města Plzeň 2013-2023.



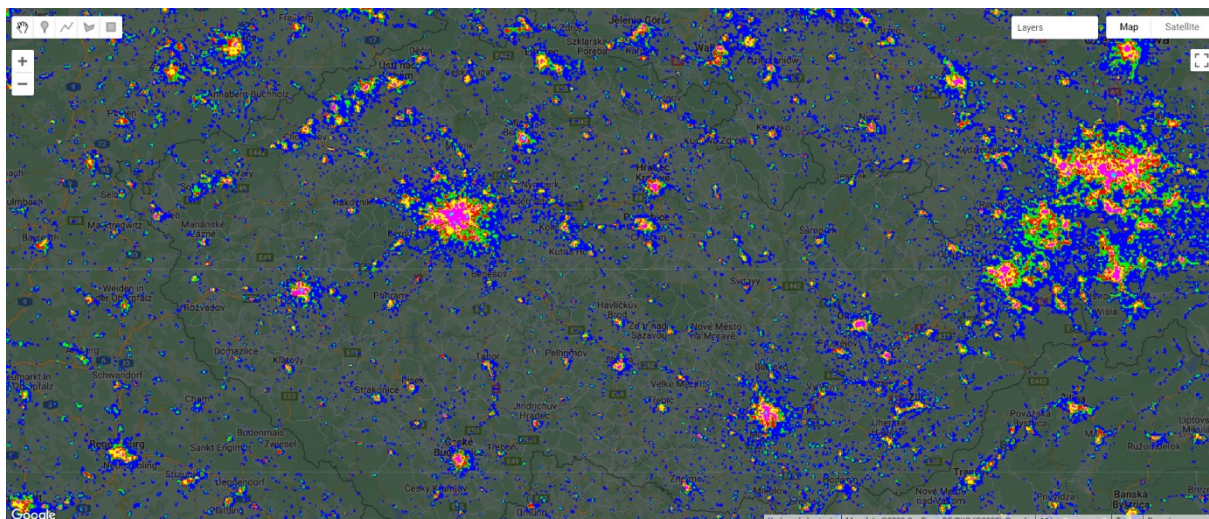
Příloha 10. Graf trendu světelného znečištění města Dnipro 2013-2023.



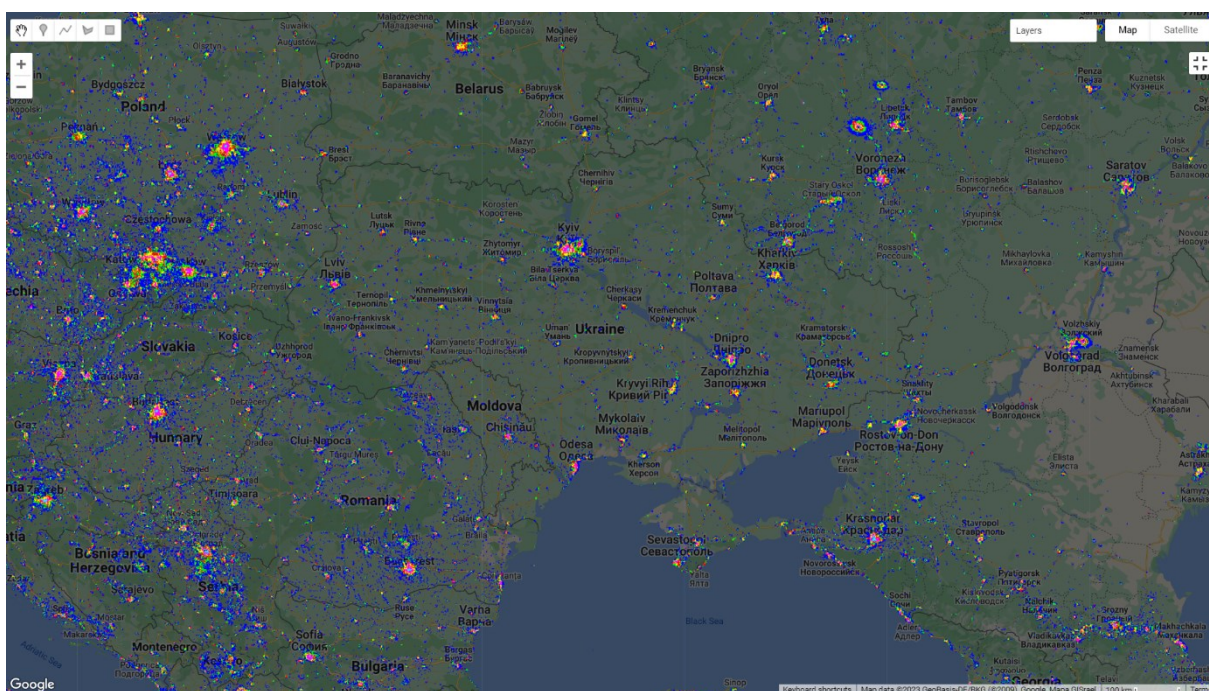
Příloha 11. Graf trendu světelného znečištění města Praha 2013-2023.



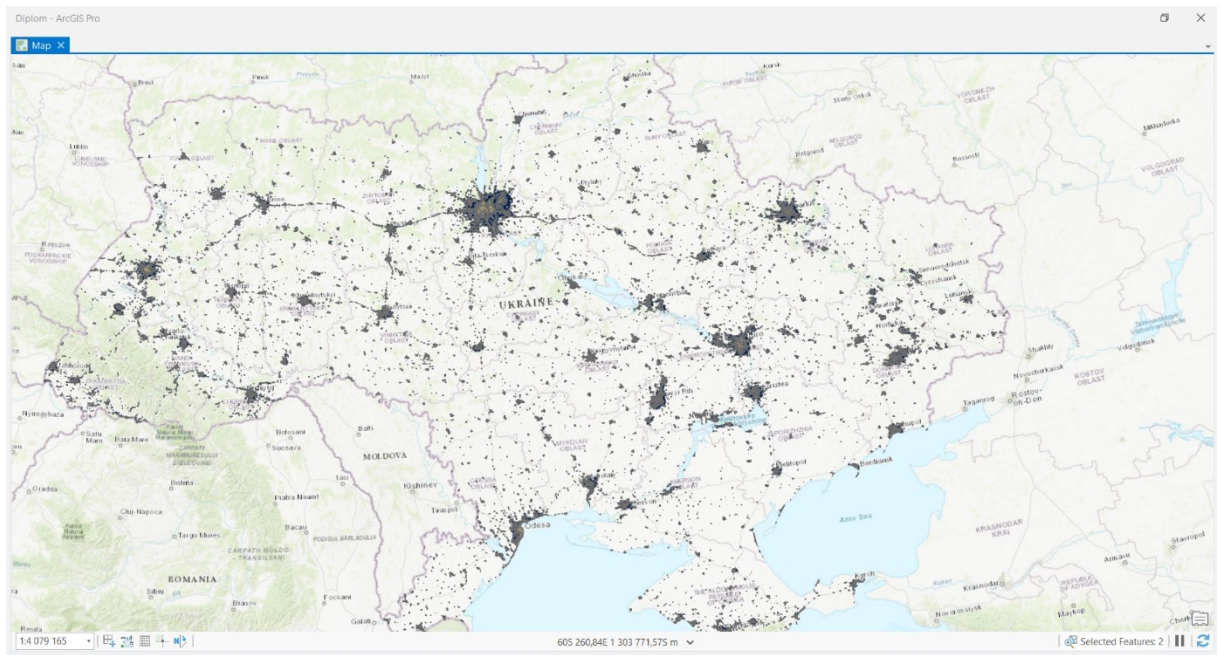
Příloha 12. Graf trendu světelného znečištění města Kharkiv 2013-2023.



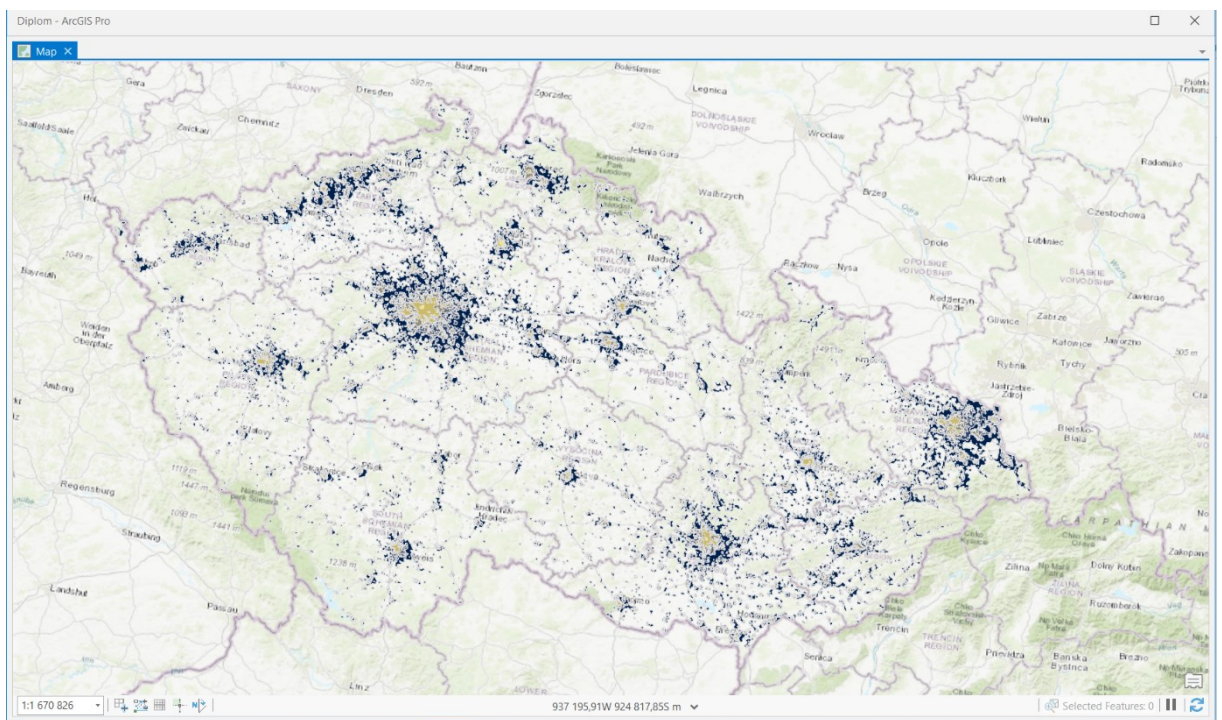
Příloha 13. Mapa světlového znečištění Česka v Google Earth Engine, 2022.



Příloha 14. Mapa světlového znečištění Ukrajiny v Google Earth Engine, 2021.



Příloha 15. Mapa světlového znečištění Ukrajiny v ArcGIS Pro, 2021.



Příloha 16. Mapa světlového znečištění Česka v ArcGIS Pro, 2022.