

Analýza ALAN (Artificial light at night) a návrhy šetrného nočního osvětlení

Martin Mašek

Sekce – PŘÍRODNÍ, HUMANITNÍ a SPOLEČENSKÉ VĚDY,
Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, 2. ročník
Magisterský studijní program – Aplikovaná geografie a regionální rozvoj

Abstrakt: Tato práce se zabývá problematikou umělého světla v noci (ALAN – artificial light at night). Jsou zde představeny metody měření jasů noční oblohy pomocí pozemních přístrojů a také přístupy k analýze ALAN s využitím dat dálkového průzkumu Země (DPZ). Výsledky ukazují, že i v odlehlejších oblastech České republiky se již nevyskytuje přírodně tmavá noční obloha, neboť světlo z měst se vlivem rozptylu v atmosféře šíří na desítky kilometrů. V závěru jsou formulována doporučení pro šetrné noční osvětlení, které minimalizuje negativní dopady na noční životní prostředí.

Klíčová slova: ALAN, umělé světlo v noci, světelné znečištění, jas noční oblohy

1 Úvod

Světlo je forma elektromagnetického záření, kterou je lidské oko schopno zachytit. Viditelné spektrum se pohybuje mezi vlnovými délkami cca 380 až 780 nm (CIE, 2025 [1]).

Od konce 19. století začalo člověkem vytvářené umělé světlo v noci (označované jako ALAN – artificial light at night) měnit podobu nočního prostředí. S rozvojem veřejného osvětlení, nejprve plynového a později elektrického, dochází k narušení přirozeného rytmu střídání dne a noci, na který jsou organismy včetně člověka po miliony let adaptovány prostřednictvím tzv. cirkadiánních rytmů (Bendová, 2021 [2]).

Umělé osvětlení může tento biologický rytmus výrazně ovlivnit, a tím narušit fyziologické funkce, chování i reprodukční cykly živočichů a rostlin. Zároveň dochází k zesvětlování noční krajiny a oblohy. Světelné znečištění dnes dosahuje globálních rozměrů a představuje specifickou formu environmentální zátěže. Ochrana přirozeného nočního prostředí by proto měla být plnohodnotnou součástí ochrany životního prostředí. Klíčem k tomu je šetrné a promyšlené osvětlování, které omezuje rušivé účinky světla a respektuje ekologické i energetické aspekty.

Cílem této práce je představit možnosti měření ALAN (pozemními měřeními i pomocí dálkového průzkumu Země) a formulovat doporučení pro udržitelný přístup k veřejnému osvětlení.

2 Měření jasů noční oblohy

Ani přírodně tmavá noční obloha není zcela temná – ovlivňují ji přirozené zdroje světla jako Měsíc, zodiakální světlo, Mléčná dráha, airglow či polární záře. Jas noční oblohy se měří v magnitudách na úhlovou čtvereční vteřinu (mag/arcsec^2 , zkráceně MSA), což je astronomická veličina vyjadřující jas na logaritmické škále. Objekty s nižším jasnem mají vyšší hodnoty než objekty světlejší. Za ideálních podmínek bez měsíčního svitu, světelného znečištění a dalších vlivů může zenitový jas noční oblohy dosahovat hodnot až 22,0 MSA.

Ve střední Evropě však vliv umělého osvětlení způsobuje výrazné zesvětlení oblohy – zatímco v málo zasažených oblastech (např. Alpy) se hodnoty pohybují kolem 21,6 až 21,5 MSA, ve městech mohou klesnout pod 17 MSA.

Měření probíhá během astronomické noci (Slunce více než 18° pod obzorem), bez měsíčního svitu a přímého vlivu umělého osvětlení. Nutná je otevřená lokalita s výhledem na větší část nebe. K měření se používá například Sky Quality Meter nebo kalibrovaná noční fotografie se širokoúhlým objektivem (*svetelneznecistení.cz*, 2025 [3]).

2.1 Měření jasu noční oblohy pomocí Sky Quality Meter

Sky Quality Meter (SQM) je přístroj používaný k objektivnímu měření jasu noční oblohy. Vyrábí ho společnost Unihedron a je cenově dostupný i pro amatérská měření. Přístroj měří jas v magnitudách na úhlovou čtvereční vteřinu (MSA). Existují různé varianty – základní model SQM (široký úhel záběru cca 120° , vhodný pro měření jasu v zenitu) a model SQM-L (užší záběr kolem 40°), vhodný pro cílená měření v různých směrech. Přístroje jsou přenosné, s jednoduchým ovládáním, a zobrazují naměřené hodnoty přímo na displeji.

Při měření se doporučuje mířit přístroj kolmo vzhůru (do zenitu) a provést několik po sobě jdoucích měření, z nichž se vypočítá průměr. U modelu SQM-L se pro lepší prostorové pokrytí doporučuje měřit i ve směrech k hlavním světovým stranám ve výšce cca 60° (*svetelneznecistení.cz*, 2025 [3]). Nevýhodou je relativně vysoká výrobní tolerance – rozdíl mezi dvěma přístroji může být až $\pm 0,2$ MSA (*Moudrá*, 2014 [4]). Přesto patří SQM mezi běžně používané nástroje v oblasti monitoringu jasu noční oblohy.

2.2 Fotografické měření jasu noční oblohy

Jas noční oblohy lze měřit i pomocí digitální zrcadlovky (DSLR) s širokoúhlým objektivem. Díky lineární odezvě čipu jsou fotoaparáty vhodné pro analýzu jasu objektů. Během měření jasu oblohy v rámci této práce byla použita sestava Canon EOS 600D + objektiv Sigma 4.5 mm f/2.8 (typ rybí oko) na montáži AstroTrac, která kompenzuje pohyb hvězd.

Fotografuje se ve formátu RAW s nastavením např. 180 s, f/3.5, ISO 400 (tj. standardní nastavení pro tuto sestavu). Následné zpracování probíhá v open-source programu Raw2Lum (*Hollan*, 2006 [5]), který ze snímku vytvoří jasovou mapu oblohy (v MSA) podle standardizované stupnice (NPS – National Park Service v USA). Pro korekci šumu se používá temný snímek (dark frame), které se odečítá od snímku oblohy. Raw2Lum běží na operačním systému Linux a ovládá se přes příkazový řádek.



Obrázek 1: přístroj Sky Quality Meter (vlevo), fotografická sestava pro měření jasu noční oblohy (vpravo). Zdroje: vlastní snímek a Michal Bareš (poskytnuto autorem).

3 Dálkový průzkum Země (DPZ) a ALAN

DPZ využívá senzorů na družicích, letadlech či dronech ke sběru dat bez přímého kontaktu s objektem. Pro monitorování světelného znečištění (ALAN) jsou klíčové pasivní metody, zachycující noční záři ze Země, zejména z městských oblastí.

Měření intenzity umělého nočního osvětlení se provádí pomocí snímače VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), umístěného na družicích Suomi NPP a NOAA-20/21. Tento snímač obsahuje pásmo DNB (Day/Night Band) o spektrálním rozsahu 500–900 nm s prostorovým rozlišením přibližně 750 metrů (Elvidge, 2013 [6]). Výsledná data jsou dostupná ve formě měsíčních a ročních kompozitů (formát GeoTIFF, jednotky $\text{nW/cm}^2/\text{sr}$), přičemž jsou předzpracována pro odstranění vlivu oblačnosti (Elvidge a kol., 2021 [7]).

Jednou z nevýhod pásma DNB je to, že není citlivé na modré vlnové délky pod 500 nm, což může vést k podhodnocení intenzity světla z bílých LED (obsahující vlnové délky pod 500 nm), které jsou v současnosti běžně používané ve veřejném osvětlení. Data lze analyzovat v prostředí GIS, například pomocí softwaru ArcGIS Pro.

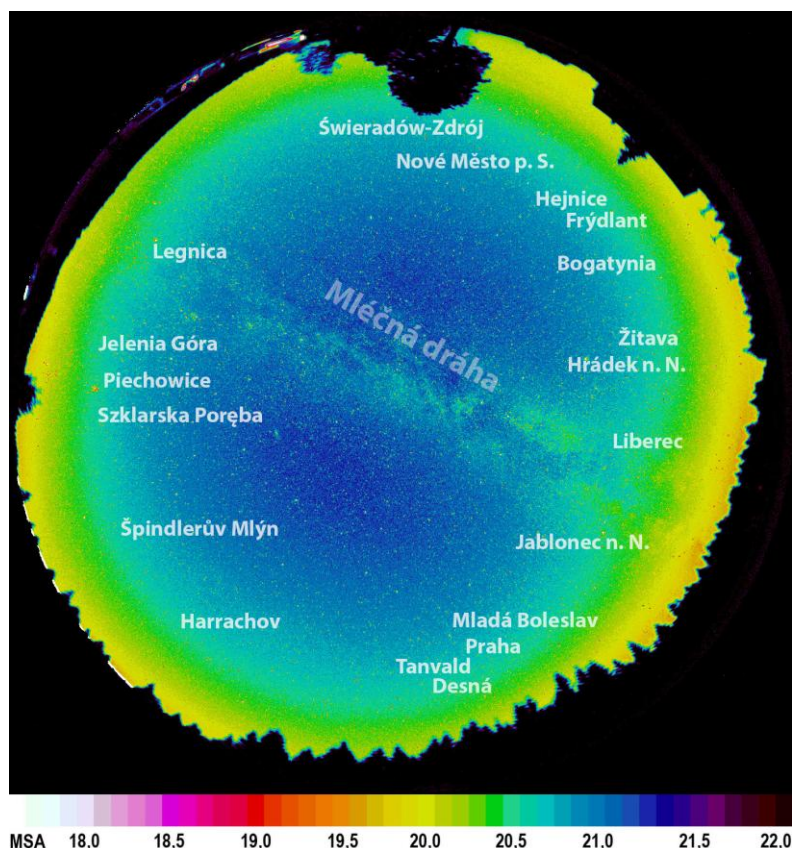
4 Výsledky z měření jasu noční oblohy

Měření jasu noční oblohy byla prováděna opakovaně v průběhu řady let na několika lokalitách. Pro účel této práce jsem vybral tři reprezentativní lokality u nichž existuje dostatečné množství měření umožňující statistické vyhodnocení (průměr, medián jasu). Konkrétně se jedná o Jizerku, Hodkovice nad Mohelkou a Edelweißspitze.

4.1 Jizerka

Měření bylo prováděno na parkovišti pod Bukovcem (905 m n. m.), souřadnice 50°48'42" N, 15°21'12" E. V období 2008–2023 zde proběhlo 26 měření jasoměrem SQM. Průměrný jas oblohy byl 21,24 MSA, medián 21,27 MSA. Nejnižší hodnota (nejtmavší obloha) 21,44 MSA byla zaznamenána při inverzi 12. 10. 2010, nejvyšší jas 20,89 MSA v zimě při osvětlených sjezdovkách (28. 12. 2008).

Snímek pořízený celooblohovou sestavou na Jizerce 27. 9. 2014 ukázal zenitový jas 21,0 MSA. Při obzoru je vliv měst velmi patrný. Nejvíce světelného znečištění přichází z Liberce, Jablonce, Jelenie Góry a Szklarské Poręby. Průměrný jas v zenitu je asi dvojnásobkem přírodně tmavé oblohy.

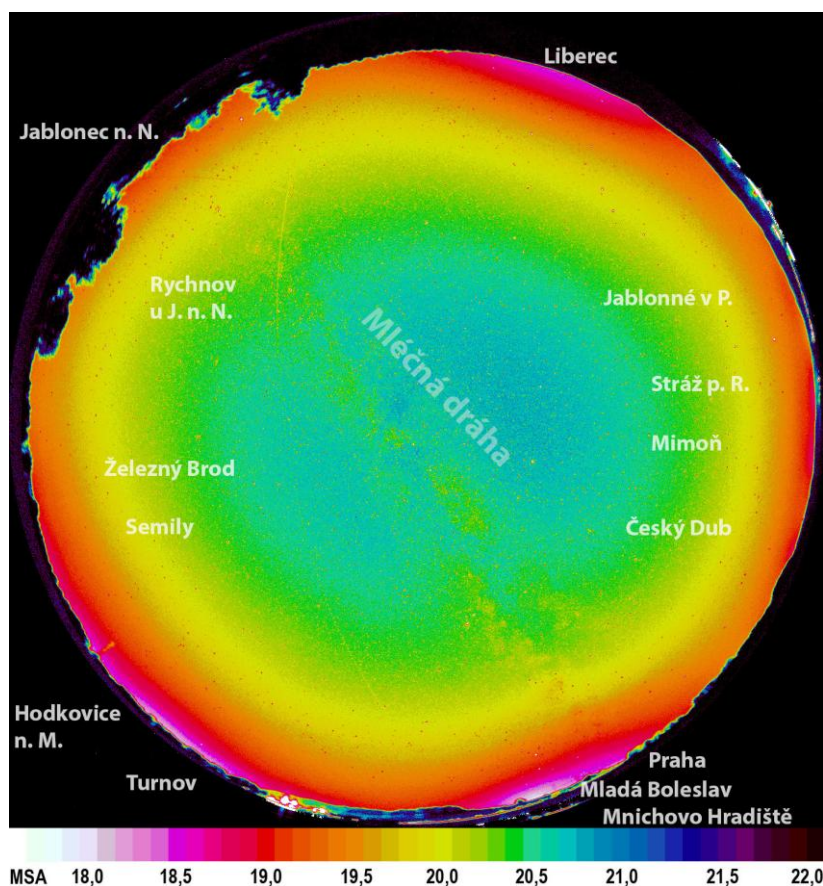


Obrázek 2: Celooblohový snímek pořízený na Jizerce 27. 9. 2014, 21:13 UTC, zdroj: vlastní snímek.

4.2 Hodkovice nad Mohelkou

Hodkovice nad Mohelkou je malé město (cca 3000 obyvatel) zhruba 10 km jižně od Liberce. Měřicí stanoviště se nachází severně od města (50°40'25" N, 15°4'51" E). Z deseti měření (2009–2024) byl zjištěn průměrný jas oblohy 20,70 MSA, medián 20,71 MSA. Nejjasnější obloha (20,51 MSA) byla naměřena 11. 1. 2024 při vyšším airglow, nejtmavší (20,96 MSA) dne 4. 5. 2020 za dobrých podmínek.

Zenitový jas ze snímku z 21. 9. 2019 činil 20,52 MSA. Obloha je zde výrazně ovlivněna světelným znečištěním – zejména z Liberce, Hodkovic, Jablonce a dalších měst. Průměrný jas je přibližně 3,3× vyšší než přírodní obloha.

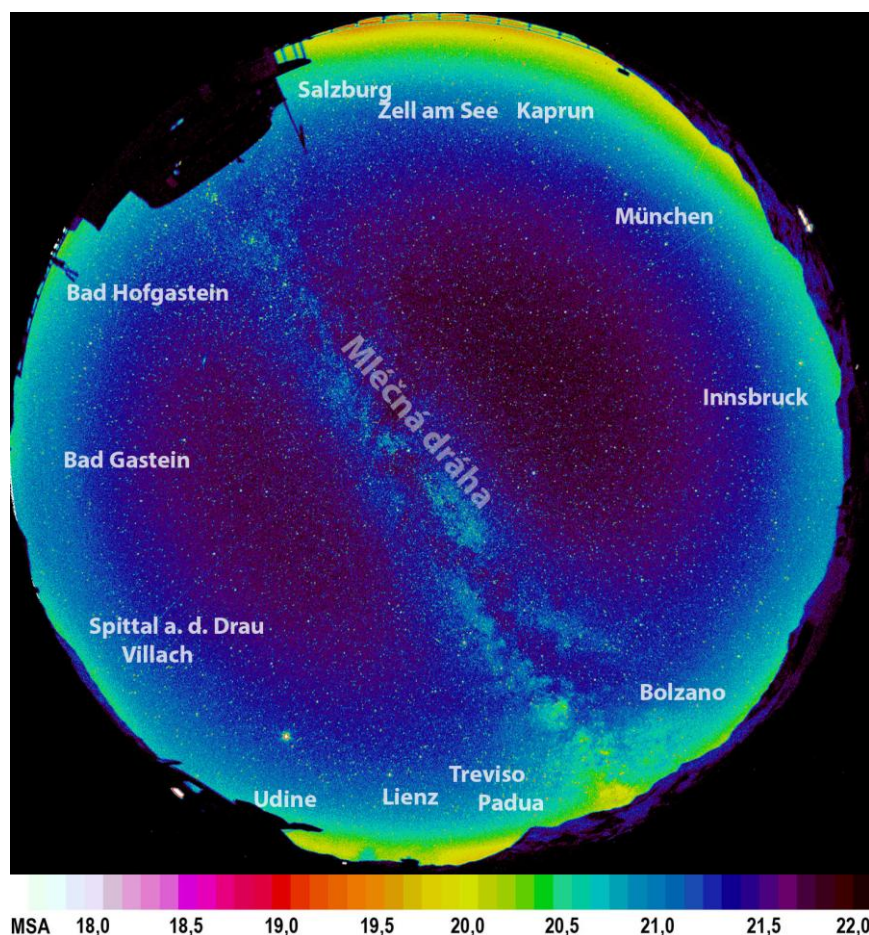


Obrázek 3 : Celooblohový snímek pořízený v Hodkovicích nad Mohelkou 21. 9. 2019, 19:41 UTC, zdroj: vlastní snímek.

4.3 Edelweißspitze

Stanoviště v centrálních Alpách, Vysoké Taury, 2 572 m n. m. (47°7'25" N, 12°49'52" E). Z dvanácti měření (2010–2021) vychází průměrný i mediánový jas 21,50 MSA. Nejnižší jas oblohy (nejtmavší) byl naměřen 12. 9. 2018 – 21,62 MSA, naopak nejvyšší jas (světlejší obloha) dne 4. 10. 2018 – 21,40 MSA, což souvisí s přítomností letní Mléčné dráhy.

Zenitový jas ze snímku z 2. 9. 2021 dosáhl 21,52 MSA. Obloha je zde velmi tmavá – tmavší než na Jizerce či v Hodkovicích. Nízká míra světelného znečištění je dána jak vysokohorskou polohou, tak vzdáleností od velkých světelných zdrojů. Mírné světelné záře jsou patrné nad obzorem (např. Salzburg, Zell am See, Innsbruck, Villach), ale na zenitový jas mají minimální vliv.



Obrázek 4: Celooblohový snímek pořízený na Edelweißspitze 2. 9. 2021, 20:36 UTC, zdroj: vlastní snímek

4.4 Měření vlivu veřejného osvětlení na jas noční oblohy v Libereckém kraji (září 2009)

Ve dnech 16.–18. 9. 2009 probíhala pod záštitou Libereckého kraje koordinovaná měření jasu oblohy při různých režimech veřejného osvětlení. Akci komplikovala oblačnost, která výrazně ovlivnila výsledky v Jablonci nad Nisou (16.–17. 9.) i při plošném zhasínání v kraji (17.–18. 9.). Měření provedená v těchto dvou dnech nejsou vhodná k analýze, neboť probíhala za nestabilních atmosférických podmínek, které výrazně ovlivňovaly měření.

V noci z 18. na 19. 9. došlo k neplánovanému zhasnutí veřejného osvětlení v Liberci, čehož jsem využil k měření za jasné oblohy a stabilních podmínek, tudíž pořízená data jsou vhodná pro analýzu. Měření pomocí přístrojů SQM (širší pole) a SQM-L (úzké pole) probíhalo mezi 1:22–2:16 SELČ v Liberci na sídlišti Rochlice (50°45'11.9" s. š., 15°3'31.3" v. d.).

Na základě měření jasu noční oblohy provedeného před vypnutím VO a následně po jeho opětovném zapnutí je možné odhadnout podíl veřejného osvětlení na celkovém jasu oblohy. Tento podíl lze odhadnout pomocí vhodného výpočtu, přičemž jednotlivé proměnné mají následující význam:

„*PL_contribution*“ je podíl veřejného osvětlení na umělém jasu,
 „*total_brightness*“ označuje celkový jas noční oblohy při zapnutém veřejném osvětlení,
 „*PL_off_brightness*“ představuje jas oblohy při vypnutém veřejném osvětlení,
 „*natural_brightness*“ odpovídá přirozenému jasu noční oblohy bez vlivu umělých zdrojů

(22,0 MSA), a „ k “ je korekční koeficient, který vyjadřuje podíl světla z konkrétní oblasti na umělém jasu oblohy v místě měření. Tento koeficient umožňuje zohlednit vliv okolních obcí a měst, která nebyla během experimentu zhasnuta, tudíž tak ovlivňovala celkový jas noční oblohy. Hodnotu koeficientu „ k “ lze určit pomocí nástroje „Zenith Brightness Simulation“ dostupného na webové stránce lightpollution.info. V tomto případě byl při výpočtu použit korekční koeficient $k = 0,95$, jelikož simulace pomocí nástroje „Zenith brightness simulation“ ukázala, že příspěvek polygonu města Liberec tvoří přibližně 95 % celkového jasu noční oblohy v místě měření.

$$PL_contribution = \frac{(total_brightness - PL_off_brightness)}{((total_brightness - natural_brightness) \times k)}$$

Vzhledem k tomu, že magnituda je logaritmická škála, je před prováděním výpočtů vhodné převést naměřené hodnoty jasnosti na lineární veličinu – tok (flux). Tento převod se provádí pomocí vztahu: $F = 10^{(-0,4 \times MSA)}$, kde F představuje relativní tok a MSA označuje jas noční oblohy v magnitudách na úhlovou čtvereční vteřinu. Tento přepočít umožňuje srovnávat a vyhodnocovat změny jasu ve fyzikálně smysluplných poměrech.

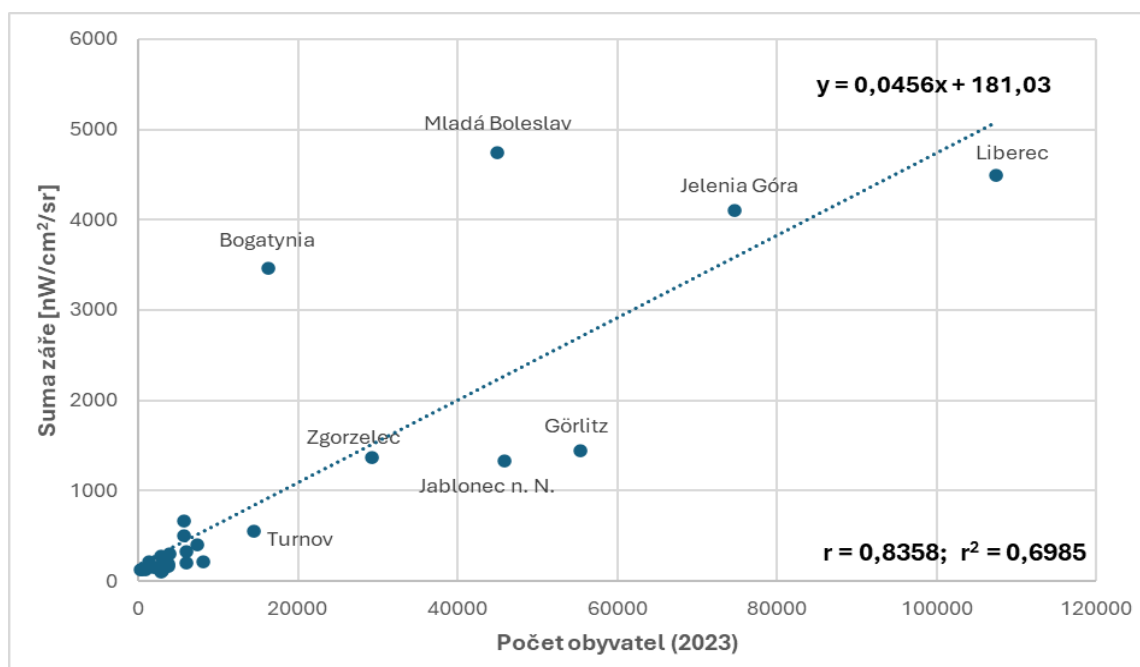
Jas oblohy v zenitu (SQM-L) před zapnutím veřejného osvětlení byl 19,95 MSA, po naběhnutí VO byl jas 19,25 MSA. Rozdíl jasu noční oblohy mezi vypnutým a rozsvíceným veřejným osvětlením činil 0,7 MSA. Výsledný podíl veřejného osvětlení na jasu oblohy v zenitu v Liberci je zhruba 55 %.

5 Výsledky měření ALAN pomocí DPZ

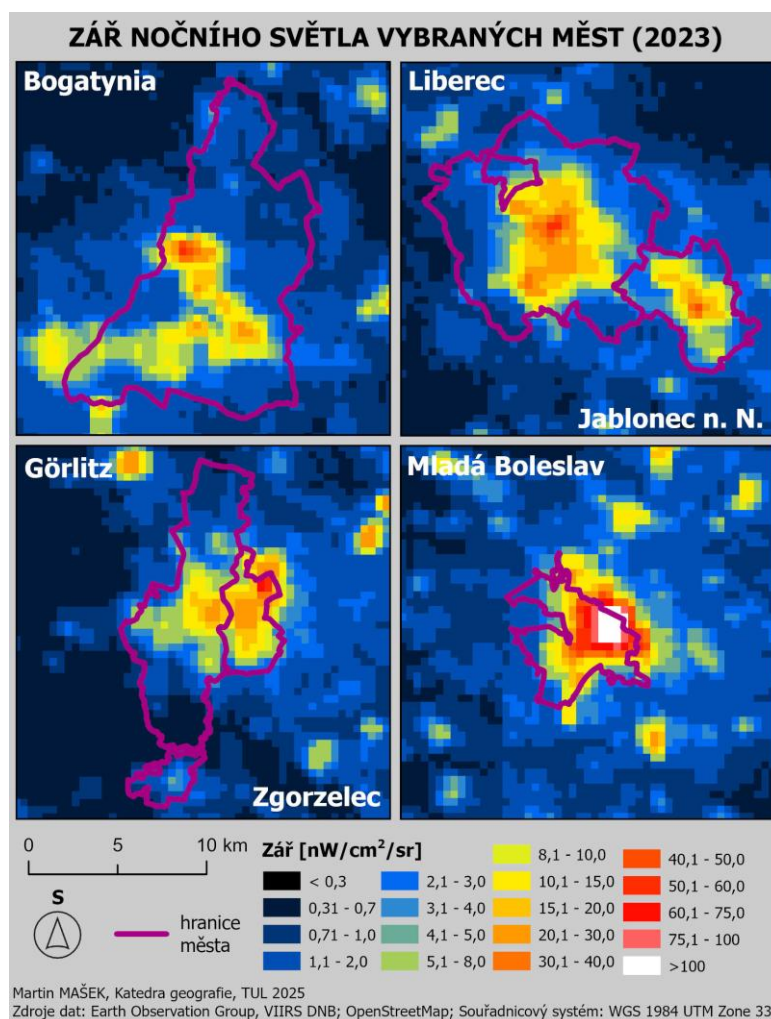
Pomocí dat VIIRS-DNB a nástroje Zonal Statistics as Table v prostředí softwaru ArcGIS Pro byla provedena analýza intenzity noční světelné záře ve vybraných městech za rok 2023. Výsledky ukázaly silnou pozitivní korelaci mezi počtem obyvatel a intenzitou světelné záře ($r = 0,83$). Regresní analýza dále ukázala, že přibližně 68,9 % variability intenzity světelné záře lze vysvětlit velikostí populace ($r^2 = 0,6889$). Zbývající podíl variability souvisí s dalšími faktory, jako je hustota zástavby, úroveň ekonomické aktivity či rozsah a charakter infrastruktury veřejného osvětlení.

Bogatynia a Mladá Boleslav vykazují výrazně vyšší intenzitu noční záře, než odpovídá jejich velikosti; hlavními zdroji jsou průmyslové areály (elektrárna Turów, Škoda Auto). Jablonec nad Nisou a Görlitz mají naopak nižší intenzitu záře vzhledem k počtu obyvatel.

Zajímavé srovnání nabízí sousední města Görlitz (zhruba 55000 obyvatel) a Zgorzelec (přibližně 29000 obyvatel) – přestože má Görlitz téměř dvojnásobek obyvatel, noční záře obou měst je téměř stejná, kromě jiných vlivů, také kvůli silně osvětlené průmyslové zóně ve Zgorzelci. Mladá Boleslav (cca 45 000 obyvatel) generuje vyšší sumu noční záře (4744,10 nW/cm²/sr) než Liberec (cca 107 000 obyvatel) s hodnotou 4489,53 nW/cm²/sr, přestože má méně než poloviční populaci.



Graf 1: Závislost sumy záře z jednotlivých měst na počtu obyvatel. Zdroj: Earth Observation Group, vlastní zpracování



Obrázek 5: Zář nočního světla vybraných měst. Zdroj: Earth Observation Group, vlastní zpracování

6 Návrhy na šetrné noční osvětlení

Venkovní osvětlení v ČR se řídí zejména technickými normami (např. ČSN EN 13201, ČSN EN 12193), které kladou důraz na bezpečnost a funkčnost. Problematika světelného znečištění a vlivu na přírodu však zůstává v těchto normách nedostatečně pokryta. Nová norma ČSN 36 0459 - Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení (2023 [8]), účinná od 1. 3. 2023 sice představuje určitý posun, přesto vykazuje vážné nedostatky v ochraně životního prostředí.

Norma rozděluje území do pěti světelných zón (Z0–Z4) podle citlivosti prostředí. Zóna Z0 zahrnuje území s nejprísnejší ochranou přírody, jako jsou národní parky a CHKO. Zóna Z1 je určena pro ostatní nezastavěná území a rozsáhlejší přírodně hodnotné plochy ve městech (např. pražská Stromovka). Zóna Z2 se vztahuje na venkovská sídla a okraje měst, zatímco zóny Z3 a Z4 pokrývají centra měst a jejich kompaktní zástavbu.

Limity pro množství světla vyzařovaného nad horizont (ULOR – Upward Light Output Ratio) a barevné složení světla (CCT – náhradní teplota chromatičnosti) jsou v této normě příliš benevolentní. Navrhuje se:

- ULOR zpřísnit: zóna Z4 ≤ 5 %, Z3 ≤ 1 %, Z0–Z2 = 0 %.
- CCT nahradit metodikou U500 – která je vhodnější pro hodnocení biologické účinnosti světla (modrá složka světla více narušuje cirkadiánní rytmy organismů).

CCT udává barvu světla v Kelvinech – nižší hodnota značí teplejší (nažloutlé, např. 2500 K), vyšší studenější (namodralé, např. 5000 K) světlo. Nevypovídá ale o spektrálním složení ani biologické účinnosti světla. Metodika U500 ukazuje podíl energie ve vlnových délkách pod 500 nm (modré světlo) – čím nižší je hodnota dle metodiky U500, tím je šetrnější světlo pro noční životní prostředí, neboť vlnové délky pod 500 nm mají největší vliv.

V chráněných oblastech se doporučuje nepoužívat světlo s vlnovými délkami pod 550 nm. V obcích a obytných zónách měst max. 2 % pod 500 nm, v centrech měst max. 10 % pod 500 nm – s možností dalšího snížení ve večerních hodinách, tzv. biodynamické osvětlení.

Svislá osvětlenost fasád: navrhuje se snížit limity v obytných oblastech až na 1–2 luxy (v zóně Z4 max. 5 luxů) pro větší ochranu spánku a biodiverzity. Přiměřenost intenzity osvětlení by měla být základním principem. Norma nyní připouští navýšení až o 30 % oproti doporučeným hodnotám osvětlení vozovek a chodníků. Navrhuje se: Snížit přípustné navýšení na max. 15 % a zavést regulaci intenzity v pozdějších nočních hodinách, zejména při nízkém provozu.

Dále je navrhováno:

- Cyklostezky mimo sídla (v lese, mezi poli) by se neměly osvětlovat kvůli narušení přírody a fragmentaci krajiny.
- Architekturní osvětlení by mělo být omezeno (vypnutí po 24:00, jas fasád ≤ 1 cd/m² po 22:00), a světlo má být přesně směrováno bez úniku mimo fasádu.
- Reklamní osvětlení: v zónách Z0–Z1 reklamní osvětlení zcela zakázáno; V zónách Z4 omezit jas reklamních ploch na ≤ 200 cd/m² do 22:00 a po 22 h pak ≤ 50 cd/m². V zónách Z2 a Z3 jas ≤ 100 cd/m² do 22:00, po 22:00 pak ≤ 25 cd/m².

Celkově je třeba přejít k interdisciplinárnímu přístupu – do tvorby norem věnujících se venkovního osvětlení výrazněji zapojit biology, ekology a odborníky na ochranu přírody. Pouze tak lze zajistit, že noční osvětlení bude bezpečné nejen pro člověka, ale bude mít co nejmenší dopad na životní prostředí.

7 Závěr

V práci jsem se věnoval měření umělého světla v noci (ALAN – artificial light at night) a to pozemními měřeními jasu noční oblohy, tak i metodami DPZ. Měření jasu oblohy ukazují, že i v odlehlejších lokalitách České republiky (Jizerka) není přírodně tmavá obloha, vliv světla z měst je patrný na mnoho desítek kilometrů daleko. Ta zahrnují jak veřejné, tak i soukromé osvětlení. Z dat pořízených během experimentu zhasínání veřejného osvětlení v Liberci (2009) jsem zjistil, že podíl veřejného osvětlení má vliv na jas oblohy zhruba z 55 %.

Analýza DPZ snímků (z přístroje VIIRS – noční záře Země) potvrdila silnou vazbu mezi velikostí populace a intenzitou noční světelné záře, přičemž výrazné odchylky byly zaznamenány zejména u měst s rozsáhlými průmyslovými areály. Příkladem je Mladá Boleslav, která generuje více světla než dvojnásobně lidnatější Liberec, nebo Zgorzelec, jehož světelný výkon téměř dorovnává sousední Görlitz i přes poloviční počet obyvatel.

Také formuluji návrhy na šetrné noční osvětlení. Pro snížení negativních dopadů je zásadní přistupovat k nočnímu osvětlování zodpovědně – používat vhodné spektrum světla (s minimem modrých vlnových délek), správné směřování svítidel a přiměřenou intenzitu. Šetrné osvětlování nejen šetří energii, ale pomáhá i ochraně nočního prostředí, které si zaslouží stejnou pozornost jako jiné složky životního prostředí.

Literatura

[1] International Commission on Illumination (CIE), 2025. Term 1402, visible radiation. Dostupné z: <https://cie.co.at/eilv/1402>

[2] BENDOŮVÁ, Z. Smazávání rozdílů mezi dnem a nocí ovlivňuje cirkadiánní systém organismů. Časopis Fórum ochrany přírody, 03/2021. Dostupné z: <https://www.casopis.forumochranyprirody.cz/uploaded/magazine/pdf/28-smazavani-rozdilu-mezi-dnem-a-noci-ovlivnuje-cirkadianni-system-organismu.pdf>

[3] Světelné znečištění. Hledání tmy, 2025. Dostupné z: <https://svetelneznecisteni.cz/mapovani-tmy/>

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

[5] HOLLAN, J. Digital imaging photometry with “non-scientific” cameras offering raw data formats, 2006. Dostupné z: <https://amper.ped.muni.cz/light/luminance/>

[6] ELVIDGE, C. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2013. Dostupné z: <https://www.geo4.dev/dataset/why-viirs-data-are-superior-to-dmsp-for-mapping-nighttime-lights>

[7] ELVIDGE, C. et al. Annual Time Series of Global VIIRS Nighttime Lights Derived from Monthly Averages: 2012 to 2019. Remote sensing, 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/5/922>

[8] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. Technická norma ČSN 36 0459 – omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení, 2023. EAN 8596135166343.