MĚŘENÍ JASU NOČNÍ OBLOHY: OVĚŘENÍ KONCEPCE SVĚTELNÝCH ZÓN PODLE ČSN 36 0459

Lenka Maierová, Patrik Kučera, Hana Kárníková

Satelitní snímkování nočního povrchu Země monitoruje dlouhodobý globální nárůst světelného znečištění atmosféry o přibližně 2 % ročně. Výzkumy posledních 20 let prokazují významný negativní vliv nočního elektrického světla na biodiverzitu a stabilitu přírodních ekosystémů i na zdraví člověka. S cílem omezit další nárůst světelného znečištění vzniká řada legislativních podkladů a je třeba stanovit vhodné limity. Studie se zabývá měřením aktuálního stavu nočního prostředí v České republice. Cílem studie je na základě aktuálních dat z terénu ověřit definici světelných zón aplikované v ČSN 36 0459 Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení z roku 2023. Sběr dat probíhal v nočním prostředí 27 lokalit rozmístěných v různých světelných zónách, k vyhodnocení byla použita jasová analýza. Získaná data prokazují významný nárůst jasu oblohy mezi jednotlivými zónami, a tím potvrzují vhodnost jejich koncepce pro podmínky v České republice.

Klíčová slova: světelné znečištění, světelné zóny, architekturní osvětlení, normy

Úvod

Elektrické světlo se od vynálezu elektřiny stalo neoddělitelnou součástí našeho života. Po západu slunce umožňuje věnovat se práci, vzdělávání i aktivnímu trávení volného času. V průběhu 20. století se elektrické osvětlení stalo nedílným prvkem také veřejného prostoru našich sídel. Zajišťuje orientaci v nočním prostředí, přispívá k bezpečnosti pohybu a plní rovněž estetickou i informační funkci. Dostupné a relativně levné výkonné světelné zdroje se dnes ve výrazně větší míře než v minulosti uplatňují pro estetické a reklamní účely. Standardem u novostaveb i rekonstruovaných objektů se stává osvětlení fasád. Všechny tyto aplikace rychle zvyšují počet instalovaných osvětlovacích soustav, a tím i celkovou spotřebu energie na venkovní osvětlení. Současně roste tlak na snížení energetické náročnosti osvětlovacích soustav a je poskytována veřejná podpora na výměnu původních sodíkových svítidel za novější a účinnější LED technologie. Výsledkem je rychlá obměna systémů veřejného osvětlení, k níž v současnosti dochází.

Rizika narůstajícího množství světla v nočním prostředí

Prokazatelný nárůst jasu v nočním prostředí od roku 2010 (nástup LED) dokládá [Falchi, 2016], že snahy o energetické úspory často vyvolávají tzv. indukci spotřeby (rebound effect), kdy výrazné snížení energetické náročnosti bývá provázeno navýšením světelného výkonu soustav [Kyba, 2017]. Tento efekt lze sledovat zejména v rozvinutých regionech, kde v naprosté většině územních sídel bylo již na konci 20. století dosaženo dostatečné úrovně nočního osvětlení poskytujícího množství světla potřebného pro dobrou orientaci a bezpečný pohyb ve venkovním prostoru [Fotios, 2018]. Výzkumy prokazují, že další prosté navyšování instalovaného světelného výkonu k dosažení vyšší bezpečnosti nepřispívá [Steinbach, 2015]. Přesto byl globální průměrný nárůst světla v nočním prostředí v letech 2012–2016 kvantifikován jako přesahující 2 % ročně [Kyba, 2017] a dle posledních měření se nárůst jasu oblohy zrychluje s alarmujícím průměrem 10 % ročně, tj. zdvojnásobení za méně než osm let [Falchi, 2023]. Rychle narůstající množství světla vyzařovaného do vnějšího prostoru omezuje astronomy v jejich pozorování vesmírných objektů. Koncem 20. století se díky nim etabloval termín „světelné znečištění", dnes definované jako uměle vytvořené světlo zvyšující přirozenou úroveň světla ve venkovním prostředí [Václavíček, 2023].

V posledních desetiletích se světelné znečištění stalo předmětem zájmu širší přírodovědecké komunity. Vědecké studie z celého světa prokazují, že umělé světlo v noci (artificial light at night, ALAN) má negativní vliv a trvalé důsledky pro životní prostředí [Gaston, 2022]. Dochází k postupné erozi noci v přírodních ekosystémech, kde noční aktivity představují přibližně 50 % celkového fungování, více než 70 % druhů rostlin i živočichů je aktivních výhradně v noci, včetně nejméně 51 % ohrožených druhů [Yakushina, 2025]. ALAN ovlivňuje produkci melatoninu u nočních živočichů, načasování a délku jejich aktivity v průběhu dne a noci. Zásadně zasahuje také do biologického kalendáře pro sezónní adaptace, kdy zejména v mírném podnebném pásu řada druhů odvozuje informace o roční době z poměru délky dne a noci, což vede ke změnám v načasování reprodukčního chování. V neposlední řadě světlo také narušuje i prostorovou orientaci, např. světelné paprsky směřující do atmosféry mění migrační trasy ptáků (podrobněji např. viz Longcore, 2004; Hölker, 2010; Gaston, 2013).

Státní politika životního prostředí

Ukazuje se, že samotné požadavky na energetickou úsporu nejsou dostatečné pro zastavení nárůstu světla v nočním prostředí, je proto nezbytné aktivně zahrnout problematiku zachování tmy jako nedílnou součást politiky ochrany přírody do všech budoucích návrhů osvětlení. Evropský manifest o světelném znečištění [Yakushina, 2025] představuje klíčový dokument přijatý během španělského předsednictví v Radě EU v roce 2023. Navazuje na tzv. Brněnskou výzvu [MŽP, 2022] ke snížení

světelného znečištění v Evropě přijatou během českého předsednictví v roce 2022, která označila světelné znečištění za prioritu v oblasti životního prostředí.

Ve stejném kontextu je i dokument Státní politika životního prostředí 2030 s výhledem do 2050 vydaný v roce 2021 [MŽP, 2021]. Dokument vymezuje hlavní oblasti ochrany životního prostředí ČR a mimo jiné stanovuje specifický cíl 1.4.2 „Úroveň světelného znečištění se snižuje". Důsledkem této politiky je také zahrnutí světelného znečištění mezi parametry pro posuzování vlivu staveb na životní prostředí EIA [MŽP, 2023]. Podle tohoto dokumentu by emise rušivého světla měly být minimalizovány již při navrhování staveb, tj. v rámci stavebního zákona. S rostoucí potřebou regulovat světelné znečištění v širších územních souvislostech vznikají specializované nástroje a databáze na národní i mezinárodní úrovni. Inspirativním příkladem je **Databáze právních předpisů a místních regulací pro venkovní osvětlení** (International light pollution laws database, 2025) vytvořená pro USA, která mapuje existující opatření a poskytuje přehled o osvědčených postupech v oblasti problematiky světelného znečištění.

Stanovení limitů v technické normalizaci

Návrh osvětlení se provádí podle technických norem přejatých z legislativy Evropské unie. Požadavky jsou definovány pro osvětlení pozemních komunikací [ČAS, 2019a], venkovních pracovních prostorů [ČAS, 2014] i venkovních sportovišť [ČAS, 2019b]. Tyto předpisy zpravidla stanovují minimální osvětlenosti a jasy potřebné pro zajištění dobré viditelnosti pro danou činnost.

První z technických dokumentů, který obsahuje i horní limity pro množství světla v nočním prostředí, a tím může být podkladem pro prevenci vzniku světelného znečištění, je **Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installation** (Příručka k omezení vlivu rušivého světla od venkovních osvětlovacích soustav). Dokument, vydaný v roce 2003 Mezinárodní komisí pro osvětlování (CIE, Commission Internationale de l´Eclairage) a revidovaný v roce 2017 [CIE, 2017], je dostupný pouze v angličtině a za úplatu. Definuje soubor světelně-technických požadavků, jejichž cílem je omezit rušivé účinky venkovního osvětlení na okolní prostředí. Mezi hlavní sledované veličiny patří svislá osvětlenost (E [lx]), která vyjadřuje míru světla například od veřejného osvětlení, které dopadá na vertikální plochy budov, dále svítivost (I [cd]) určující intenzitu světelných zdrojů v problematických směrech pohledu. Sleduje se také podíl světla směrovaného vzhůru, unikajícího nad horizont a přispívajícího ke světelnému znečištění. Při osvětlení fasád a reklamních ploch se sleduje průměrný jas povrchu (L [cd·m^{-2}). Pro všechny tyto parametry dokument stanovuje limitní hodnoty tak, aby osvětlení respektovalo lokalitu, kde je instalováno, a umožnilo splnit svůj primární účel (bezpečnost, orientace, estetika apod.). Limitní hodnoty však současně omezují nárůst světla v prostředí.

Pro stanovení požadavků přiměřených místním podmínkám zavádí dokument **pět environmentálních zón (E0–E4**) s různou úrovní ochrany. V závislosti na charakteru využití území zohledňují obvyklou míru venkovního osvětlení, tj. od tmavých přírodních oblastí až po velmi světlá městská centra. Koncept vychází z potřeby chránit cenné přírodní lokality (zóna E0 a E1, extrémní ochrana), chránit obytné lokality před rušivým osvětlením, které narušuje spánek (zóna E2, vysoká ochrana), a vymezit omezený počet lokalit vysoké noční aktivity, např. centra velkých měst (zóna E4, velmi benevolentní limity). Ostatní lokality jsou zahrnuty do zóny E3 s přiměřeně mírně nastavenými limity. Dokument současně zavádí tzv. referenční body citlivé na nežádoucí vedlejší účinky venkovního osvětlení, mezi něž v době vzniku systému patřily zejména významné astronomické observatoře. V jejich okolí stanovuje zvláštní ochranné limity.

Tato klasifikace byla převzata některými evropskými technickými normami pro venkovní osvětlení [ČAS, 2014], a tím se promítá i do české legislativy. Limity CIE, stanovené pro mezinárodní použití, jsou přizpůsobeny pro specifickou situaci, například v centrech asijských velkoměst. Struktura zónování vychází ze sídelní struktury v místě první aplikace – v Chile. Jejich přenesení do sídelní struktury střední Evropy je těžko realizovatelné. Konkrétně ustanovení zón vysoké ochrany ve vzdálenosti 100 km (zóna E0), respektive 300 km (nejvýše zóna E2) od mezinárodně významných astronomických observatoří (Ondřejov a Kleť) zahrnuje v podmínkách České republiky téměř celé území včetně Prahy a dalších velkých měst mezi nejtmavší oblasti.

O přizpůsobení těchto požadavků místním podmínkám se v roce 2023 pokusil **systém zón světelného prostředí (světelných zón) Z0–Z4** [Žák, 2022], který využila i nová česká norma ČSN 36 0459 Omezení rušivých účinků umělého světla ve venkovním prostředí [ČAS, 2023]. Definice zón je v souladu s původním konceptem mezinárodních enviromentálních zón, avšak požadavky lépe odpovídají podmínkám regionu střední Evropy.

- Zóna Z0 zahrnuje území národních parků, chráněných oblastí a přírodních parků, avšak vylučuje zastavěná území.
- Zóna Z1 pokrývá rozsáhlé vegetační plochy v osídlených oblastech.

Pro zastavěná území byly definovány zóny Z2 až Z4:

- do zóny Z2 spadají malé obce a méně urbanizované části měst,
- do zóny Z3 jsou zatřízena centra středně velkých sídel (město, městys),
- v zóně Z4 jsou zahrnuta centra větších měst (pouze statutární města a Praha).

Místo ochrany astronomických observatoří, která je v praxi řešena místními dohodami s okolními obcemi, se soustředí na ochranu cenných přírodních lokalit. Zavádí se pravidlo, že zóny Z3 a Z4 nesmí sousedit s volnou krajinou. Pokud zastavěné území nebo zastavitelná plocha obce leží v chráněné oblasti, snižuje se zóna světelného prostředí v obci o jeden stupeň (např. zóna Z2 se změní na zónu Z1).

Limity pro jednotlivé zóny světelného prostředí jsou uvedeny v tab. 1. Dále jsou stanoveny i požadavky na charak-

Zóna světelného prostředí	Jas fasády L_b [cd·m^{-2}]	Jas znaku L_s [cd·m^{-2}]	Svislá osvětlenost na objektech E_V [lx] [b]	
			Veřejné osvětlení	Ostatní osvětlení
Z0	0	o	Neaplikovatelné	Neaplikovatelné
Z1	0 [a]	0 [a]	≤ 0 [c]	0
Z2	≤ 2 [a]	≤ 200 [a]	≤ 5	≤ 1
Z3	≤ 2 [a]	≤ 200 [a]	≤ 5	≤ 1
Z4	≤ 2 [a]	≤ 200 [a]	≤ 5	≤ 1

[a] Platí v době od 24:00 do 6:00 h.
[b] Platí v noční době od 22:00 do 6:00 h.
[c] V zastavěném území je Ev ≤ 5 lx.

Tab. 1: Výňatek z požadavků na omezení nežádoucích účinků venkovního osvětlení [ČAS, 2023]. Tabulka uvádí hodnoty maximálních limitů svislé osvětlenosti na stavbách pro bydlení, ubytování a rekreaci (EV), způsobenou např. světlem veřejného osvětlení, a limity pro jas na povrchu staveb při architekturním osvětlení (L_b) a jas reklamních ploch (L_s)

teristiku prostorového vyzařování svítidla a barevný odstín světla.

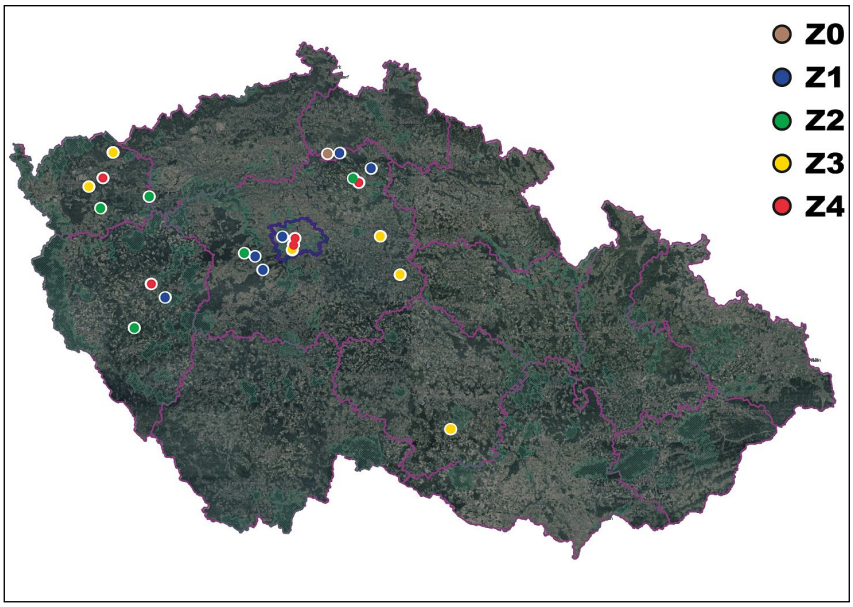
Norma ČSN 36 0459 byla přijata s podmínkou revize a v současnosti není právně závazná. Toto je běžné u nově zaváděných norem, které se zabývají rychle se vyvíjejícími technologiemi nebo se týkají oblastí, kde dochází k častým změnám v poznatcích a požadavcích. Dle předpokladu by se na revizi mělo začít pracovat v tomto nebo následujícím roce. Všechny požadavky z této normy vyplývající jsou veřejně dostupné v publikacích vydávaných Ministerstvem životního prostředí [MŽP, 2023].

Metodika

Hlavním cílem této studie bylo zajistit aktuální měření jasových poměrů v různých, vzájemně odlišných lokalitách v České republice. S využitím získaných dat následně ověřit definici světelných zón, jak je aplikovaná v ČSN 36 0459 Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení z roku 2023. Hypotézou je, že se měřitelné parametry světelného prostředí (jas oblohy, jas na povrchu objektů) mezi zónami liší.

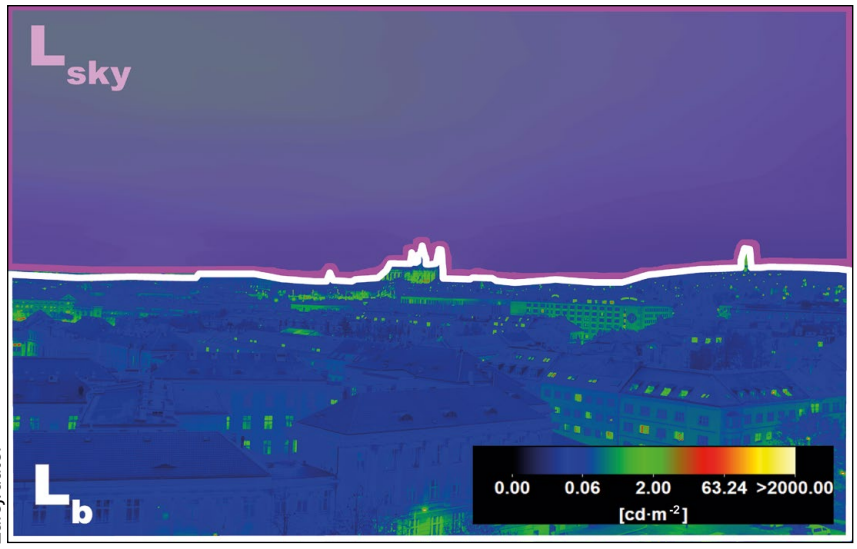
Za tímto účelem bylo na území ČR vybráno 27 různorodých lokalit umístěných ve 20 obcích, viz obr. 1. Všechny lokality byly zatřízeny do světelných zón dle metodiky popsané v odborné literatuře [Žák, 2022] a využité v normě [ČAS, 2023]. Lokality byly voleny tak, aby byly rovnoměrně zastoupeny ve všech světelných zónách a každá ze zón Z1–Z4 zahrnovala alespoň pět měřených lokalit. Pouze jedna lokalita byla měřena v zóně Z0, která představuje nejzachovalejší přírodní prostředí – chráněná krajinná území a národní parky. Zde se používání elektrického osvětlení v nočním prostředí (v době mezi 22:00–6:00 h.) nepřipouští, jasové limity jsou stanoveny na hodnotu 0 cd·m^{-2} a není je třeba ověřovat měřením. Pro srovnání byly lokality zatřízeny i dle mezinárodní metodiky [Pollard, 2017] a obě zatřízení byla vzájemně porovnána.

Ve zvolených lokalitách bylo provedeno měření jasových poměrů v nočním prostředí. Pro zajištění porovnatelnosti výsledků byla měření prováděna v době, kdy je Slunce více než 12 ° pod horizontem (astronomický soumrak) a za jasné oblohy bez vlivu oblačnosti. Byla volena období, kdy se na obloze neuplatňuje vliv Měsíce, tj. v době, kdy je Měsíc v novu nebo skrytý za horizontem. Měření nebyla prováděna při sněhové pokrývce, ani krátce po dešti, za mlhy, smogu, inverze apod., tj. pod vlivem faktorů, které mohou ovlivnit rozptyl světla v atmosféře a jeho odraz na povrchu objektů. Významnost některých z těchto vlivů byla posouzena samostatným měřením (mimo data zpracovaná do statistiky) nebo prověřena v odborné literatuře. Současně byly pohledy v lokalitách voleny tak, aby se v nich nevyskytovaly nestandardní světelné situace, jako jsou dominantní osvětlené fasády objektů, reklamní plochy, skleníky atd. Měření byla realizována pomocí kalibrovaného jasového analyzátoru (LDA) s objektivem umístěným vodorovně ve výšce oka průměrného pozorovatele – 1,5 m. Pro dálkové pohledy byl využit objektiv s ohniskovou vzdáleností 35 mm pro zachycení jasu oblohy a jasu vzdálené světelné scény. Zorné pole člověka simuloval širokoúhlý objektiv FishEye. Spektrální citlivost lidského oka v oblasti viditelného světelného záření v měření zajistila kalibrace obou objektivů jasové kamery s využitím filtru V(λ), který převádí světelné záření na citlivost vidění pro průměrného pozorovatele. V každé světelné zóně byly expoziční časy a citli-



Zdroj: autor

Obr. 1: Mapa měřených lokalit



Zdroj: autor

Obr. 2: Příklad jasové analýzy světelné scény – vymezení oblastí pro hodnocení jasu oblohy (L_{sky} [cd·m^{-2}]) a jasu objektů (L_b [cd·m^{-2}])

vost ISO upraveny tak, aby byla zajištěna maximální přesnost měření a vzájemná porovnatelnost získaných dat.

Data získaná z jasového analyzátoru byla následně zpracována pomocí specializovaného softwaru LumiDisp [Laboratoř světelné techniky, 2023] vyvinutého pro tvorbu jasových map. Jasové mapy udávají hodnoty jasu všech bodů analyzované scény pomocí barevné škály. Slouží ke komplexní analýze distribuce světla ve scéně, stanovení průměrných jasů na povrchu objektů a jasových kontrastů mezi jednotlivými povrchy či částmi světelné scény, viz schéma členění světelné scény na obr. 2. V každém analyzovaném pohledu byla vymezena plocha oblohy (L_{sky}) a z jasové analýzy byl získán průměrný jas v této části snímku. Dále byly vymezeny plochy na objektech a zjištěn jejich průměrný jas (L_b) a maximální jas ($L_{b,max}$). Pro každý pohled byl také pomocí rovnice Weberova kontrastu [Peli, 1990] stanoven kontrastní poměr mezi jasem oblohy a jasem objektů ve scéně. Následně bylo provedeno porovnání průměrných jasů a kontrastních poměrů mezi jednotlivými zónami. Pro určení významnosti rozdílů mezi zónami světelného prostředí byl pomocí statistického softwaru Jamovi proveden výpočet Pearsonova korelačního koeficientu.

Výsledky

Porovnání zatřízení dle ČSN vs. CIE

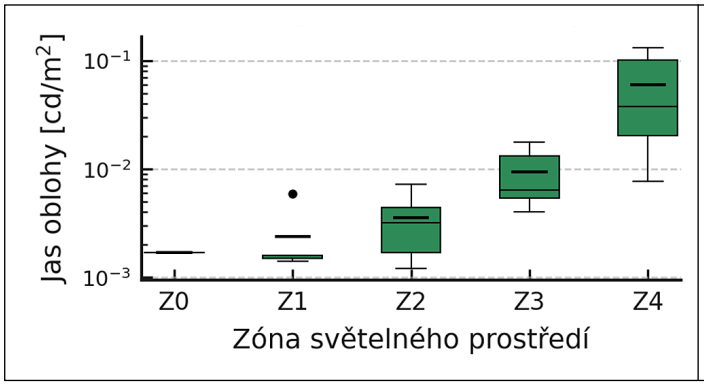
Zatřízení lokalit v obou systémech ukázalo významné rozdíly mezi těmito systémy. Z celkem 27 lokalit, které byly zvoleny tak, aby byly rovnoměrně zastoupeny zóny Z1–Z4, leží většina lokalit v environmentální zóně E0 (14 lokalit včetně Prahy, Plzně a Mladé Boleslavi). Jedna lokalita patří do zóny E1 a zbývajících 12 lokalit do zóny E2. Do zóny E3 a E4 nebyla zařazena žádná z lokalit, neboť pro stanovení enviromentální zóny se uplatňuje požadavek na ochranu tmavého nebe v okolí astronomických observatoří, tj. omezení zdrojů světelného znečištění až do vzdálenosti 300 kilometrů. V husté sídelní struktuře střední Evropy to znamená, že ochranné pásmo mezinárodně významných observatoří v Ondřejově a na Kleti pokrývá celou ČR, zóny E3 a E4 se zde proto nevyskytují. Toto zjištění potvrdilo omezenou využitelnost systému CIE. Zatímco pro stanovení světelné zóny v systému ČSN byl u většiny lokalit určující charakter území, v systému CIE hrála dominantní roli vzdálenost od observatoří.

Srovnání mezi zónami – jas oblohy

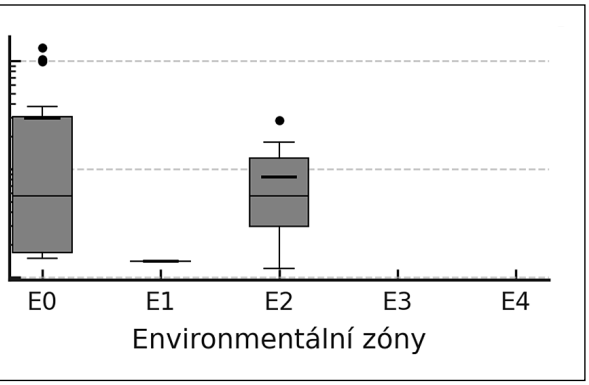
Srovnání výsledků jasových analýz v jednotlivých zónách prokázalo nárůst jasu oblohy L_{sky} v závislosti na klasifikaci do světelné zóny. V grafu 1 jsou zobrazeny průměrné hodnoty jasu oblohy, získané z analyzovaných pohledů, dle jejich zatřídění do zón světelného prostředí Z0–Z4. Průměrné odchylky v jednotlivých zónách ilustrují rozptyl naměřených hodnot jasů. Největší rozptyl byl zaznamenán v nejsvětlejší zóně Z4.

Statistická analýza dat potvrdila významné rozdíly mezi hodnotami jasu oblohy v závislosti na zóně světelného prostředí (Kruskal–Wallis, $H \approx 18{,}10$; $p \approx 0{,}00118$). Spearmanova korelace prokázala silnou pozitivní korelaci ($\rho \approx 0{,}813$; $p \approx 2{,}53\times10^{-7}$), což znamená, že s rostoucí urbanizací roste i hodnota jasu oblohy.

Pro srovnání jsou v grafu 2 uvedeny i hodnoty při zatřídění podle environmentálních zón E0–E4. V tomto případě se závislost mezi zónou a jasem oblohy viditelně neprojevuje.



Graf 1: Zóny světelného prostředí



Graf 2: Environmentální zóny

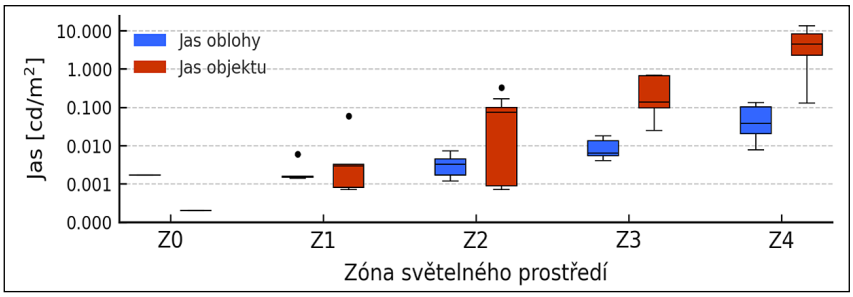
Jasové hodnoty na objektech

Nárůst světla v nočním prostředí v závislosti na zóně světelného prostředí je patrný také v hodnotách jasů na objektech, viz graf 3, kde vertikální osa znázorňuje průměrné jasy na povrchu objektů. Pro lepší zobrazení odpovídající změnám citlivosti lidského zraku je nárůst hodnot jasu vykreslen na ose exponenciálně.

Přehled průměrných hodnot jasu oblohy L_{sky}, jasu na povrchu objektů L_b a maximálních jasů na povrchu objektů $L_{b,max}$ je uveden v tab. 2.

Z dat je patrné, že **jas oblohy** v analyzovaných snímcích postupně narůstá. V zónách Z0–Z2 je tento nárůst nevýznamný, zatímco mezi Z3 a Z4 je nárůst o celý řád a zároveň roste i variabilita výsledků. Post-hoc test s Bonferroniho korekcí, navazující na Kruskal–Wallisovův test při vyloučení zóny Z0 (zóny s jediným vzorkem), označil za statisticky významné dvojice Z1 vs. Z4 ($p \approx 0{,}0341$) a Z2 vs. Z4 ($p \approx 0{,}00105$). Jas oblohy v zóně Z4 (centra statutárních měst) se tedy statisticky významně liší od zón s nižší úrovní urbanizace v Z1, Z2.

Obdobný trend lze zaznamenat i u hodnot průměrného **jasu na fasádách objektů**, ke kterému viditelně dochází zejména ve světlejších zónách Z3 a Z4, tj. ve městských oblastech s hustší uliční sítí, rozsáhlejším veřejným osvětlením, častějším osvětlováním fasád a s tím spojeným vyšším rizikem vzniku světelného znečištění oproti zónám s přírodním charakterem prostředí. Hodnoty průměrného jasu na objektech v jasovém snímku rostou přibližně o řád mezi jednotlivými zónami, od tisícin $cd \cdot m^{-2}$, tedy tmavší než obloha v Z0, až po jednotky $cd \cdot m^{-2}$ v Z4. Tento nárůst potvrdila i statistická analýza jasu na ploše objektů. Kruskal–Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly mezi zónami ($H \approx 19{,}12$; $p < 0{,}001$), a to konkrétně mezi zónou Z4 a zónami Z2–Z3. Také Spearmanova korelace mezi zónami a jasem na ploše objektů byla silně pozitivní ($\rho \approx 0{,}833$; $p < 0{,}000001$), což prokazuje, že míra urbanizace má významný vliv i na jas na plochách objektů. Zejména centrální zóny velkých měst (Z4) se významně odlišují od méně urbanizovaných zón (Z1 a Z2).



Graf 3: Porovnání jasu oblohy a jasu objektů v jednotlivých zónách světelného prostředí, vertikální osa je v logaritmickém měřítku

Světelná zóna	Počet lokalit v zóně	Jas oblohy L_{sky} [cd·m⁻²]	Průměrný jas objektů L_b [cd·m⁻²]	Maximální jas objektů $L_{b,max}$ [cd·m⁻²]
		Průměr zóny ± SEM	Průměr zóny ± SEM	Medián zóny
Z0	1	0,0017	0,0002	0,001
Z1	5	0,0024 ± 0,0014	0,0019 ± 0,0012	0,005
Z2	9	0,0035 ± 0,0018	0,076 ± 0,069	0,236
Z3	5	0,0093 ± 0,0049	0,319 ± 0,280	1,997
Z4	7	0,0601 ± 0,0441	4,195 ± 3,183	96,5

Tab. 2: Porovnání jasu oblohy a jasu objektů v jednotlivých zónách světelného prostředí

Jas oblohy a jas na plochách objektů spolu vzájemně úzce souvisí (Spearmanova korelace: $\rho \approx 0{,}899$; $p \approx 1{,}81 \times 10^{-10}$). Obecně obě hodnoty rostou se zvyšující se urbanizací, přičemž jas na plochách objektů vykazuje podstatně vyšší variabilitu (zejména v zóně Z4).

Data jednoznačně potvrzují, že s rostoucí urbanizací a hustotou osídlení dochází k nárůstu světelného znečištění, což významně ovlivňuje jak jasy oblohy, tak i celkovou světelnou situaci.

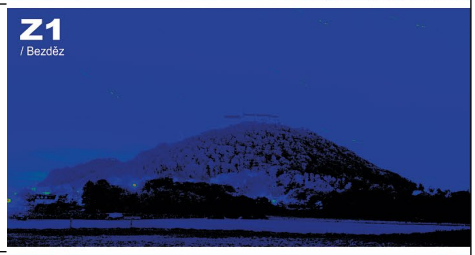
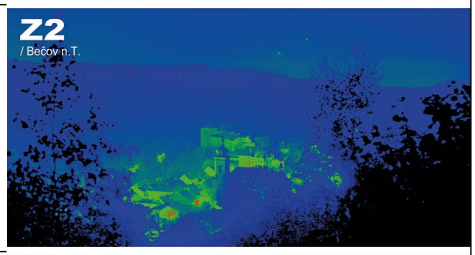
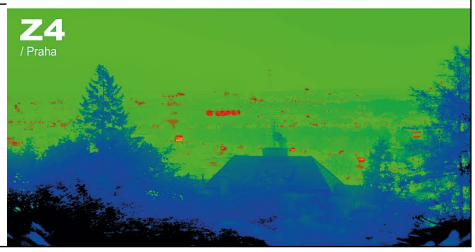
Jasové charakteristiky jednotlivých světelných zón

Příklady měření z jednotlivých zón jsou uvedeny na obr. 3. Záznam světelných podmínek pomocí jasové analýzy názorně ukazuje nárůst jasu oblohy i jasu na objektech v jednotlivých světelných zónách. Na základě naměřených dat lze stanovit charakteristické vlastnosti světelného prostředí v ČR.

Zóna Z0, charakterizovaná jako „nezastavěná území v chráněných oblastech", vykazuje velmi nízké hodnoty jasu oblohy při jasné obloze v bezměsíčné noci. Jas oblohy dosahuje řádu tisícin $cd \cdot m^{-2}$, zatímco jasy na povrchu objektů v zorném poli jsou ještě o řád nižší. Jde o jedinou zónu, kde je jas oblohy vyšší než průměrný jas na objektech. Hodnoty jsou natolik nízké, že lidské oko jen obtížně rozlišuje okolní předměty. Světelné prostředí zde odpovídá přírodním lokalitám bez umělého osvětlení.

Zóna Z1, představující „nezastavěná území a plochy zeleně přírodního charakteru v rámci zastavěného území, ale bez statusu chráněného území podle ZOPK", vykazuje podobně nízké hodnoty jasu oblohy jako Z0. Vlivem veřejného osvětlení a dalších zdrojů je však průměrný jas objektů v zorném poli několikanásobně vyšší. Kontrastní poměr mezi oblohou a objekty dosahuje 1 : 2. Mimo cíleně osvětlené plochy (např. v dosahu veřejného osvětlení) jsou objekty pro pozorovatele rozeznatelné až po delší adaptaci oka na tmu.

Zóna Z2 zahrnuje „málo světlé prostředí zastavěných území a zastavitelných ploch v obcích bez statusu města a okrajových a odloučených částech městysů a měst". Je nejrozsáhlejší ze všech zón. Medián jasů oblohy zde dosahuje 0,0032 $cd \cdot m^{-2}$ a oproti zónám Z0 a Z1 je patrný trend postupného zvyšování hodnot. Průměrný jas objektů v zorném poli již významně převyšuje jas oblohy. Kontrast dosahuje 1 : 20 (obloha vs. objekty), což je hodnota dobře rozeznatelná pro zdravé oko adaptované na tmu.

Z0 – Východní část chráněné krajinné oblasti Kokořínsko, v okolí státního hradu Houska, je lokalita s hlubokými lesy. Větší městské aglomerace (Česká Lípa, Mělník, Mladá Boleslav) jsou vzdáleny 20–25 km. Průměrný jas oblohy ve snímku dosahuje 0,0017 cd·m^{-2}. Kontrast jasu oblohy vs. průměrný jas krajiny je v poměru 10 : 1. Na poměry střední Evropy se jedná o velmi tmavou oblast s dobrou viditelností hvězdné oblohy a minimálním světelným znečištěním.	
Z1 – Kopec Bezděz se stejnojmenným hradem vystupuje nad okolní rovinatou krajinu o více než 100 m a tvoří tak dominantu celého okolí. Nachází se 5 km východně od CHKO Kokořínsko, 10 km od obce Bělá (5 tis. obyvatel) a 20 km vzdušnou čarou od statutárního města Mladá Boleslav (46 tis. obyvatel). Blízká městská aglomerace významně neovlivňuje analyzovanou oblast, jedná se o stále velmi tmavou lokalitu s nízkým světelným znečištěním. Průměrný jas oblohy ve snímku je 0,0015 cd·m^{-2}, srovnatelný s jasem oblohy v Z0 a kontrastem jasů v zorném poli 1 : 2 (obloha vs. krajina).	
Z2 – Pohled z vyhlídky nad obcí Bečov nad Teplou (900 obyvatel, Karlovarský kraj) je příkladem lokality ve světelné zóně Z2 charakterizované jako zóna s málo světlým prostředím. Jedná se o nejrozlehlejší světelnou zónu v ČR. Průměrný jas oblohy na snímku dosahuje 0,0038 cd·m^{-2}, dvojnásobný oproti příkladu zóny Z1. V pravé části snímku je nad horizontem patrný až o 50 % vyšší jas oblohy (lokální maximum 0,0054 cd·m^{-2}). Jedná se o vliv města Karlovy Vary, které se nachází 10 km severně.	
Z3 – Třebíč, město s 35 tis. obyvateli, leží na řece Jihlavě 30 km jihovýchodně od krajského města Jihlava (51 tis. obyvatel) a 56 km západně od Brna (400 tis. obyvatel). Nachází se v jihovýchodní části Vysočiny v hustě osídlené oblasti, kterou řadíme do světelné zóny Z3, středně světlého prostředí. Průměrný kontrast oblohy ku objektům na snímku zde dosahuje 1 : 11 (obloha vs. objekty) při jasu oblohy 0,0133 cd·m^{-2} a průměrnému jasu objektů 0,167 cd·m^{-2}. Lokální jasy na objektu přesahují 2 cd·m^{-2}, např. osvětlená fasáda kostela 2,66 cd·m^{-2}.	
Z4 – Centrum hlavního města Prahy je příkladem velmi světlého prostředí, zóny Z4. Jasové mapy prokazují skokový nárůst jasu oblohy oproti zóně Z3. Průměrný jas oblohy v Z4 dosahuje téměř 0,1 cd·m^{-2}, průměrný jas objektů je 0,284 cd·m^{-2}. V lokalitě je běžný výskyt trvale osvětlených fasád a dalších objektů, např. průměrný jas povrchu Vyšehradských hradeb dosahuje 4,5 cd·m^{-2} a jejich kontrast vůči okolí je 53 : 1. I proto je tato zóna charakteristická vysokým světelným znečištěním.	

Zdroj: autor

Obr. 3: Příklady jasové analýzy v jednotlivých zónách světelného prostředí vyjádření na shodné barevné škále [cd·m^{-2}]

Zóna Z3 zahrnuje „středně osvětlené prostředí – celoměstsky významná centra měst, lokální centra a kompaktní vnitřní části statutárních měst a Prahy". Průměrný jas oblohy zjištěný v celkem šesti měřených lokalitách dosahuje 0,016 ± 0,012 cd·m^{-2}. Kontrastní poměr jasu oblohy vůči průměrnému jasu povrchu objektů je 1 : 30, což již odpovídá pozorovatelnému světelnému znečištění typickému pro urbanizované oblasti.

Zóna Z4 vykazuje nejvyšší hodnoty jasu oblohy a zároveň největší rozdíly mezi jednotlivými lokalitami. Zahrnuje „celoměstsky významná centra statutárních měst a Prahy". Vysoké hodnoty reflektují násobně vyšší soustředění veřejného, architekturního a reklamního osvětlení i dalších světelných instalací. Jas oblohy se zde pohybuje v rozmezí 0,008–0,132 cd·m^{-2}, což představuje až stonásobek hodnot z přírodního prostředí zóny Z0. Narůstající jas oblohy je důsledkem odrazu světla od povrchu objektů, jejichž povrchové jasy běžně dosahují jednotky cd·m^{-2}, u nasvícených fasád budov často i vyšší desítky cd·m^{-2} a u intenzivně osvětlených reklamních ploch není výjimkou 100–150 cd·m^{-2}. Nejvyšší zaznamenaný jas na ploše objektu přesáhl 350 cd·m^{-2} v případě samoemisivního LED panelu. Kontrastní poměr jasu oblohy vůči průměrnému jasu objektů v zóně Z4 přesahuje 1 : 50, což naznačuje výrazné rozdíly mezi osvětlenými objekty a oblohou. Tyto extrémní hodnoty významně převyšují fyziologické možnosti adaptace oka a v nočním prostředí tím vytváří oslňující plochy.

Diskuse

Pokud je definice zón světelného prostředí nastavena smysluplně, měřitelné parametry (jas oblohy, jas na povrchu objektů) by se měly mezi jednotlivými zónami odlišovat. Předpokládáme, že regulace vzniká jako prevence dlouhodobého nárůstu světla v nočním prostředí. Nastavené limity by proto měly být přiměřené stávajícímu stavu v území a sloužit jako nástroj, který nezabrání

jeho využívání, ale pomáhá eliminovat excesy.

V rozporu s tímto záměrem však limity pro environmentální zóny E0 a E1 představují významné omezení použití světla v prostoru, například nepřijatelnost osvětlení fasád objektů, a výrazně omezují i možnosti veřejného osvětlení. Data získaná z měření proto v souladu s [Žák, 2022] potvrzují, že použití klasifikace dle CIE není vhodné pro hustou sídelní strukturu střední Evropy, **a je tedy oprávněné přizpůsobit tyto požadavky** místním podmínkám.

Příklad observatoře Ondřejov, kolem které po přímých jednáních s dotčenými obcemi postupně vzniká zájmová zóna [ASÚ AV ČR, 2025], ukazuje možnost ochrany temného nebe pro astronomická pozorování na místní úrovni, podle skutečných potřeb lokality a nezávisle na zónování. Nabízí se tedy otázka, zda je nutné trvat na požadavku specifické ochrany referenčních bodů citlivých na účinky venkovního osvětlení.

Zahraniční studie [Longcore, 2004] rozlišují „astronomické světelné znečištění", které omezuje pozorování noční oblohy, a „ekologické světelné znečištění", které mění přirozené světelné poměry v ekosystémech. Světlo se v atmosféře šíří až stovky kilometrů daleko a nové poznatky potvrzují jeho vliv zejména na ekosystémy mírného pásma [Merckx, 2023]. Zdůrazňují také význam změn světelného prostředí v období soumraku, úsvitu a význam noční tmy [Dvořák, 2022]. Ochrana před světelným znečištěním tedy není „pouze" otázkou viditelnosti hvězdné oblohy, ale i otázkou ochrany živé přírody na Zemi. Právě tento přístup je zohledněn v konceptu světelných zón dle ČSN 36 0459 [ČAS, 2023], kde je **ochrana v zónování oprávněně zacílena na chráněná krajinná území** a oblasti s výskytem citlivých druhů živočichů a rostlin.

V této souvislosti vyvstává otázka, zda je z hlediska ochrany přírody vhodnější zajistit vyšší ochranu oblastem s přírodním charakterem, s vyšší druhovou pestrostí a s předpokládaným nižším zatížením antropogenními vlivy, nebo naopak soustředit ochranná opatření na prostředí městské, kde působí řada dalších negativních vlivů oslabujících místní ekosystémy. Existuje také možnost, že dlouhodobý pozvolný nárůst světla v městském prostředí již umožnil částečnou adaptaci druhům městského ekosystému, zatímco společenstva například v CHKO adaptována nejsou, jejich citlivost na expozici nočnímu světlu může být vysoká a stabilita systému naopak velmi křehká. Pravděpodobné však je, že zvláštní pozornost je třeba věnovat ochraně prostředí v zónách Z2, volné krajině mezi městem a přírodními prostředím. V této zóně v současnosti dochází k největším, nejrychlejším změnám. Dosud relativně tmavé prostředí menších obcí je zaplavováno novými výkonnými LED zdroji, přičemž limity jsou shodné s nejsvětlejšími zónami. Místní ekosystémy, vystavené prudkému nárůstu expozici světla, nemají prostor pro postupnou adaptaci a jsou rychle oslabovány. Shodou okolností se jedná o nejrozsáhlejší zónu. Vhodná ochranná opatření proto musí vycházet z dalšího výzkumu a být nastavena specificky pro jednotlivé zóny.

Jasová data v různých zónách světelného prostředí byla sbírána pro ověření, zda nastavené třídění do zón reflektuje skutečné světelné poměry v podmínkách ČR. Naměřené hodnoty potvrzují, že v zónách s přírodním charakterem v nezastavěných částech krajiny (Z0, Z1, Z2) se vyskytují obecně nižší hodnoty jasu oblohy v porovnání se zónami s městskou strukturou osídlení (Z3 a Z4). Vyšší hustota uliční sítě s veřejným osvětlením a častější instalace dalších typů osvětlení ve veřejném prostoru v zónách Z3 a Z4 navyšují výrazně hodnoty jasů na objektech i jasu oblohy a světelné znečištění v těchto zónách. Jasové analýzy prokázaly středně silnou korelaci mezi zatřízením světelné zóny a jasem oblohy i jasem povrchu objektů, pokud bylo měření prováděno v čase bez vlivu Měsíce, oblačnosti atd. Z toho vyplývá, že mezi jednotlivými zónami existují významné rozdíly. Data tedy prokazují, že **metodika pro zatřízení do světelných zón Z0–Z4 je sestavena smysluplně a odpovídá reálným podmínkám ve střední Evropě.**

Závěr

Tato studie prokázala, že nově zavedený systém světelných zón ČSN 36 0459 (Z0–Z4) odpovídá skutečným světelným poměrům ve středoevropském prostředí. Měření jasů oblohy i objektů jednoznačně potvrdila nárůst světelného znečištění s rostoucí mírou urbanizace a zároveň ukázala, že rozdíly mezi jednotlivými zónami jsou statisticky významné. Zóny přírodního charakteru Z0 a Z1 vykazují minimální hodnoty jasu a jejich ochrana je zásadní pro uchování biologické rozmanitosti a přírodního nočního prostředí, zatímco městské zóny Z3 a Z4 představují prostředí s nejvyšším rizikem světelného znečištění.

Další výzkum by se měl zaměřit na dlouhodobý monitoring změn světelného prostředí a světelného znečištění v jednotlivých zónách, doplněný výzkumem vlivu nočního světla na živou přírodu. Na základě těchto poznatků bude možné vytvořit účinná ochranná opatření ke zmírnění světelného znečištění, která jsou nezbytná nejen pro lidské zdraví, ale i pro zachování stability přírodních ekosystémů.

Článek vznikl za podpory projektu č. DH23P03OVV039 Architekturní a slavnostní osvětlení v kontextu historických budov a prostranství (program NAKI III) financovaného Ministerstvem kultury.

Použité zdroje:

ASÚ AV ČR. 2025. *Ochranná zóna kolem observatoře Ondřejov.* Astronomický ústav AV ČR [on-line]. Dostupné z: https://space.asu.cas.cz/~borovic/zona.htm. [cit. 2025-08-25].

CIE. 2017. *Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations.* 2nd ed. CIE 150:2017. Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage. ISBN 978-3-902842-48-0. Dostupné z: doi:10.25039/TR.150.2017.

ČAS. 2014. *ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČAS. 2019a. *ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČAS. 2019b. *ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČAS. 2023. *ČSN 36 0459 Omezení rušivých účinků umělého světla ve venkovním prostředí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

DVOŘÁK, T.; HARABIŠ, F.; KADLEC, T. et al. 2022. *Vliv světelného znečištění na živočichy a ekosystémy* [on-line]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí. Dostupné z: https://starfos.tacr.cz/cs/project/TITSMZP012. [cit. 2025-08-25].

FALCHI, F. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. In: *Science Advances* [on-line]. ISSN 2375-2548. Dostupné z: https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.1600377. [cit. 2022-04-25].

FALCHI, F.; BARÁ, S. 2023. Light pollution is skyrocketing. In: *Science*, 379(6629): 234–235. DOI: 10.1126/science.adf4952.

FOTIOS, S.; GIBBONS, R. 2018. Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations. In: *Lighting Research & Technology,* 50(1): 154–186. DOI: 10.1177/1477153517739055.

GASTON, K. J.; BENNIE, J.; DAVIES, T. W.; HOPKINS, J. 2013. The Ecological Impacts of Nighttime Light Pollution: A Mechanistic Appraisal. In: *Biological Reviews*, 88(4): 912–927 [on-line]. Cambridge (UK): Cambridge Philosophical Society. ISSN 1469-185X. DOI: 10.1111/brv.12036. [cit. 2025-08-25].

GASTON, K. J.; SÁNCHEZ DE MIGUEL, A. 2022. Environmental Impacts of Artificial Light at Night. In: *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 47, pp. 373–398. DOI: 10.1146/annurev-environ-112420-014438.

HÖLKER, S. et al. 2010. The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. In: *Ecology and Society*, vol. 15, no. 4 [on-line]. Dostupné z: https://www.jstor.org/stable/26268230?seq=1. [cit. 2025-08-25].

INTERNATIONAL LIGHT POLLUTION LAWS DATABASE. 2025. *DarkSky Database* [on-line]. The University of Arizona. Dostupné z: idadb.cals.arizona.edu. [cit. 2025-08-25].

KYBA, CH. C. M.; KUESTER, T.; SÁNCHEZ DE MIGUEL, A. et al., 2017. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. In: *Science Advances*, 3(11). ISSN 2375-2548. DOI: 10.1126/sciadv.1701528.

LABORATOŘ SVĚTELNÉ TECHNIKY. 2023. *LumiDISP* [on-line]. Brno: VUT v Brně. Dostupné z: https://lumidisp.eu/luminance-analyser/. [cit. 2023-02-06].

LONGCORE, T.; RICH, C. 2004. Ecological Light Pollution. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4): 191–198 [on-line]. ISSN 15409309. DOI: 10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2. [cit. 2025-08-25].

MERCKX, T.; NIELSEN, M. E.; KANKAANPÄÄ, T.; KADLEC, T.; YAZDANIAN, M.; KIVELÄ, S. M. 2023. Continent-wide parallel urban evolution of increased heat tolerance in a common moth. In: *Evolutionary Applications*, 17(1) [on-line]. ISSN 1752-4571. DOI: 10.1111/eva.13636. [cit. 2025-08-25].

MŽP. 2021. *Státní politika životního prostředí České republiky 2030 s výhledem do 2050*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 190 s. ISBN 978-80-7212-648-4.

MŽP. 2022. *Brněnská výzva na snížení světelného znečištění* [on-line]. Brno: Ministerstvo životního prostředí ČR. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2025-03/OPZPUR-Brnenska_Vyzva_2022_CZ-20221026.pdf. [cit. 2024-10-16].

MŽP. 2023. Metodický pokyn k předcházení a snižování světelného znečištění: Opatření související s prevencí emisí rušivého světla ve vztahu k postupům podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů. In: *Věstník Ministerstva životního prostředí*, roč. XXXIII – říjen 2023. Dostupné z: https://portal.gov.cz/vestniky/9gsaax4/1263702920.pdf.

MŽP. 2023. *Příručka správného osvětlování: Doporučení pro bezpečné a šetrné osvětlování v souladu s normou pro omezení rušivého světla* [on-line]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. ISBN 978-80-7212-662-0. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2025-03/OPSZP-Prirucka_spravneho_osvetlovani_MZP-20230619.pdf. [cit. 2024-10-10].

PELI, E. 1990. Contrast in complex images. In: *Journal of the Optical Society of America A*, 7(10): 2032–2040 [on-line]. DOI: 10.1364/JOSAA.7.002032. [cit. 2024-04-10].

STEINBACH, R.; PERKINS, CH.; TOMPSON, L. et al. 2015. The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. In: *Journal of Epidemiology and Community Health*, 69(11): 1118–1124 [on-line]. BMJ Publishing Group. ISSN 0143-005X. DOI: 10.1136/jech2015206012. [cit. 2025-08-25].

VÁCLAVÍČEK, R. et al. 2023. *DEFINICE: Světelné znečištění* [on-line]. Česká společnost pro osvětlování, Regionální skupina Brno. Dostupné z: https://brno.cso.lighting/light-pollution-definition/. [cit. 2025-08-25].

YAKUSHINA, Y.; SMITH, D.; SÁNCHEZ DE MIGUEL, A. 2025. *Light Pollution: Challenges and Responses for Monitoring: Manifesto for Tackling Light Pollution & Proposing EU Light Pollution Monitoring* [on-line]. Spain: Granada, s. 7. Dostupné z: https://darksky.org/app/uploads/2025/02/EU-Manifesto-1.pdf. [cit. 2025-08-25].

ŽÁK, P.; VONDRÁČKOVÁ, S. 2022. Procedure for Establishing Environmental Zones. In: *Proceedings 14th European Lighting Conference LUX EUROPA 2022*. Praha: Česká společnost pro osvětlování, s. 157–160. ISBN 978-80-11-02269-3.

Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.
✉ lenka.maierova@fsv.cvut.cz
Ing. arch. Patrik Kučera
Fakulta stavební ČVUT v Praze

Ing. arch. MgA. Hana Kárníková
Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze

ENGLISH ABSTRACT

Measurement of Night Sky Brightness: Verification of the Concept of Lighting Zones According to ČSN 36 0459, by Lenka Maierová, Patrik Kučera, Hana Kárníková

Satellite imaging of the Earth's night sky surface has been monitoring a long-term global increase in atmospheric light pollution reaching approximately 2% per year. Research conducted over the past 20 years has demonstrated a significant negative impact of night sky electric light pollution on biodiversity, natural ecosystem stability, and human health. A range of legislative documents is currently being developed, and appropriate limits need to be determined to limit further growth in light pollution. This study focuses on measuring the current state of the night sky environment in the Czech Republic. Its objective is to verify the definition of lighting zones used in the 2023 ČSN 36 0459 standard, Reducing the Undesirable Side Effects of Outdoor Lighting, based on up-to-date field data. Data collection took place at night in 27 locations situated in various lighting zones, and night sky brightness analysis was carried out for the assessment. The results show a significant increase in the night sky brightness among the individual zones, thereby confirming the suitability of this zoning concept for conditions in the Czech Republic.