

Universita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí



Světelné znečištění způsobené umělým osvětlením

sjezdovek v Krkonošském národním parku

Light pollution caused by artificial illumination on

downhill ski slopes in Krkonoše National Park

Řešitel: Bc. Luděk Bujalský

Školitelé: Doc. Ing. Mgr. Jan Frouz, CSc.

Mgr. Stanislav Březina, PhD.

Srpen 2010

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejeté) informace budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená diplomová práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 20. 8. 2010

Luděk Bujalský

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří svou pomocí přispěli ke vzniku této práce. Zejména děkuji docentu Janu Frouzovi za kritické rady, užitečné připomínky k rukopisu, trvalou podporu a za jeho pomoc při technickém zajištění projektu. Za technickou pomoc děkuji i doktoru Janu Hollanovi. Vděčný jsem také doktoru Stanislavu Březinovi za jeho pomoc v terénu a jeho zaměstnavateli, správě KRNAPu, za poskytnutí ubytování a dopravních prostředků. Děkuji také rodičům za trpělivost, toleranci a podporu po dobu studia a také během vzniku této práce. V neposlední řadě děkuji za totéž své přítelkyni.

Obsah

ABSTRAKT	6
ABSTRACT	7
1. ÚVOD.....	8
2. LITERÁRNÍPŘEHLED.....	10
2.1. Světlo, osvětlení a světelné znečištění.....	10
2.2. Vliv světla a světelného znečištění na živočichy.....	17
2.3. Stanovení minimální hranice intenzity osvětlení s biologickými účiny.....	21
2.4. Vliv světelného znečištění na člověka.....	22
3. MATERIÁLY A METODY.....	26
3.1. Studijní plocha.....	26
3.2. Ekologický stav horského krkonošského ekosystému.....	27
3.3. Obyvatelstvo.....	28
3.4. Charakter sjezdových tratí.....	28
3.5. Kvalita svítidel a emitovaného světla sjezdovek.....	33
3.6. Sběr dat.....	34
3.7. Zpracování dat.....	37
4. VÝSLEDKY.....	39
5. DISKUSE.....	53

6. ZÁVĚRY.....	56
LITERATURA.....	58
INTERNETOVÉ ZDROJE.....	66
PŘÍLOHY.....	67

ABSTRAKT

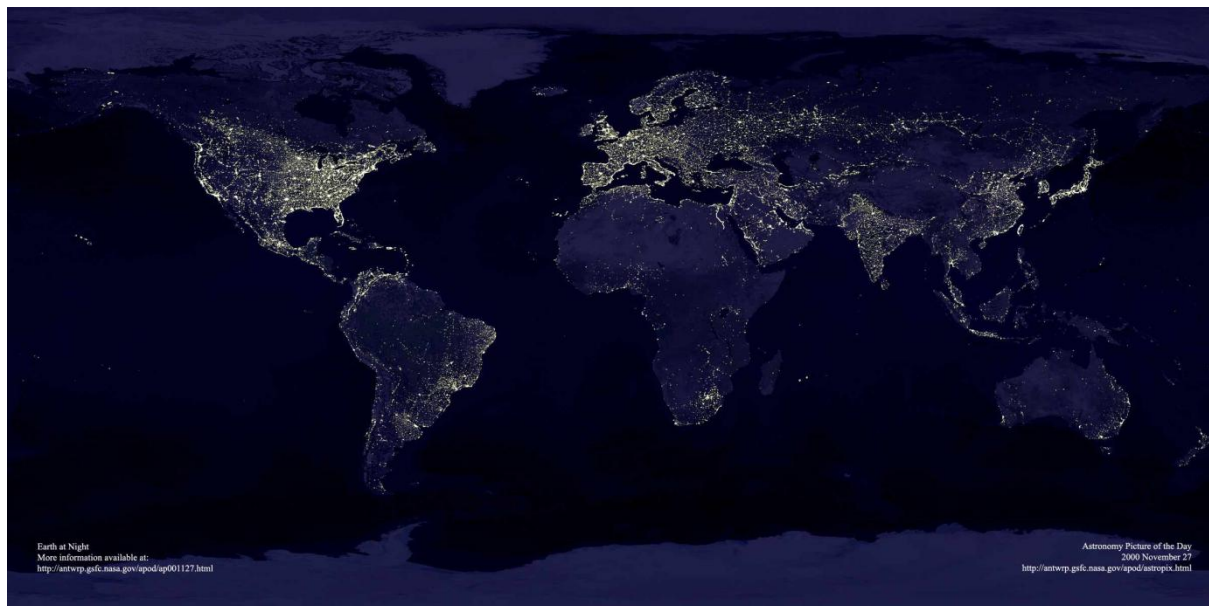
Světelné znečištění je často zmiňováno v souvislosti s energetickou ztrátou, jeho efekt je však v přírodních ekosystémech málo studován. V Krkonoších a na dalších místech ČR je noční osvětlení sjezdovek často využíváno k prodloužení periody lyžování. V této studii jsem se snažil odhadnout plochu ovlivněnou osvětlením sjezdovek, kterou charakterizovala intenzita nočního osvětlení $\geq 0,1$ lx. Měření probíhala na 62 transektech, které byly vytyčovány ve směru vrstevnic a ubíhaly od 12 největších osvětlených sjezdovek v Krkonoších. Osvětlení bylo měřeno luxmetrem Extech EA 30 těsně nad povrchem terénu a ve výšce 1,5 m. Transekty byly vedeny čtyřmi základními habitaty: otevřená planina se souvislým sněhovým pokryvem vegetace; uzavřený vzrostlý smrkový porost, kde větve stromů na jeho okraji dosahovaly až k zemi; otevřený smrkový porost, kde byl výskyt větví omezen pouze na horní část kmene a mladý hustě zapojený smrkový porost. Údaje byly vyjádřeny jako log osvětlení ku log vzdálenosti od sjezdovky. Většina měření byla prováděna při zatažené obloze, několik však i za jasných nocí. Srovnání měření jednoho určitého transektu při zatažené obloze a za jasného počasí ukazuje, že oblačnost významně zvětšuje dosvit světla do okolní krajiny, pravděpodobně díky odrazu světla od nízké oblačnosti nebo mlhy. Dosvit světla byl dále ovlivněn nasměrováním světelných kuželů a typem habitatů v okolní krajině. Na otevřené planině ve výšce 1,5 m byla hranice intenzity osvětlení $\geq 0,1$ lx vzdálena 527 ± 257 m od sjezdovky po směru svícení a 414 ± 317 m proti směru svícení, nejbližší od sjezdovky byla tato hranice v uzavřeném smrkovém porostu, který se nacházel proti směru svícení 68 ± 17 m. Jsou-li tyto údaje použity na 1 km dlouhou Hromovku (Špindlerův Mlýn), je velikost zasažené plochy okolní krajiny intenzitou $\geq 0,1$ lx $0,3-0,5$ km². Jestliže tyto data použijeme na 30 km sjezdovek, jenž se v Krkonoších nachází, plocha zasažená světelným znečištěním vzroste na 13-15 km², což jsou přibližně 4 % z celkové rozlohy Krkonoš.

ABSTRACT

Light pollution is often mentioned as an energetic loss but its effect on natural ecosystems is seldom studied. In Krkonoše National Park and other locations in the Czech Republic, artificial illumination of ski slopes is widely used to enable night skiing. In this study, we quantified the area around illuminated ski slopes where the light intensity at night was ≥ 0.1 lx because previous studies showed that this light intensity could have biological effects. For these estimations, 62 transects were laid perpendicular to the illuminated ski slope (12 slopes in total were studied), and illumination was measured with a Extech EA 30 luxmeter at 0 m and 1.5 m above the ground. Transects were located in four basic types of habitat: open plain with snow covering the vegetation; closed spruce forest in which the trees on the margin have branches that reach the ground; open spruce forest in which the trees have branches only in the top part of the trunk, permitting light to penetrate beneath the canopy; and young dense spruce forest. The data were expressed as log of illumination vs. log of distance from the slope. Most measurements were taken on cloudy nights but some were taken on clear nights. Comparison of the same transect measured on clear and cloudy nights showed that clouds significantly increased light penetration into the surrounding landscape, most likely due to light reflection from low clouds or fog. The light penetration was affected by the direction of light and by the habitats in the surrounding landscape. At 1.5 m above ground in the open plain, a light intensity of ≥ 0.1 lx occurred reached 527 ± 257 m in the direction of light and 68 ± 17 m in the closed spruce forest in direction away from the light in the spruce forest. When these data are applied to the 1-km-long Hromovka downhill ski slope, an estimated 0.3-0.5 km² of the surrounding landscape experiences ≥ 0.1 lx. When the data are applied to the 30 km of illuminated downhill slopes in Krkonoše National Park, an estimated 13-15 km² (about 4% of the park) is affected by light pollution.

1. ÚVOD

V minulém století se používání, rozsah a intenzita umělého nočního osvětlení zvýšilo (Obr. 1.) do té míry, že mnoho autorů začalo používat termín světelné znečištění (Harisada a Schreuder, 2004; Chalkias et al., 2005). O světelném znečištění bylo diskutováno hlavně v souvislosti s vysokou spotřebou energie a negativními vlivy na astronomii (Harisada a Schreuder, 2004). Světlo však výrazně ovlivňuje mnoho přírodních procesů, má významné důsledky pro biologii a ekologii mnoha druhů (Cinzano, 2000; Longcore a Rich, 2004) a i přesto je jeho vlivu na organismy v mimo městském prostředí věnována stále velmi malá pozornost.



Obrázek 1. Kompositní snímek nočního osvětlení zemského povrchu pořízený satelitem NASA, zdroj International Dark Sky Association 2002

V České republice je umělé osvětlení sjezdovek široce používané k prodloužení lyžařského dne na mnoha místech, tato místa jsou často v přírodních parcích a chráněných krajinných oblastech. Cílem této práce bylo zjistit, jak moc světlo generované osvětlenými sjezdovkami zasáhne okolní krajinu a identifikovat hlavní faktory, které ovlivňují množství umělého světla dopadající na okolní krajinu.

Hlavní otázky:

- 1) S jak vysokými hodnotami intenzity osvětlení se můžeme setkat na sjezdovkách v Krkonošském národním parku?
- 2) Jak daleko se světlo ze sjezdovek šíří do okolí a jak je toto šíření ovlivňováno orientací světél a charakterem okolní krajiny?
- 3) Jakým způsobem ovlivňuje šíření světla aktuální počasí?
- 5) Jak velká plocha v okolí sjezdovky je přímo zasažena světlem?
- 6) Jak jsou umělým osvětlením sjezdovek zasaženy protější svahy?

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Světlo, osvětlení a světelné znečištění

Světlo

Světlo je významným ekologickým faktorem, zdrojem energie a významným informačním faktorem ovlivňujícím přímo či nepřímo řadu organismů (Longcore a Rich, 2004).

Světlo je elektromagnetické vlnění určitých vlnových délek. Na viditelné světlo s vlnovou délkou 390 – 760 nm je citlivé savčí oko. Ultrafialové záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než má viditelné světlo, avšak delší než má rentgenové záření. Pro člověka je neviditelné, existují však živočichové (ptáci, plazi, některý hmyz), kteří jej dokáží vnímat (např. Bennet a Cuthill, 1994; Finger a Burkhardt, 1994; Gribakin et al., 1996). Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou delší než viditelné světlo, ale kratší než mikrovlnné záření. Kvůli dualitě částice a vlnění má světlo vlastnosti jak vlnění, tak částice (Pospíšil, 1999).

Oko, jako receptor světelného signálu, tvoří spolu se zrakovou dráhou a zrakovými centry v mozku systém, který je přizpůsoben zpracování světelného vjemu v rozsahu 380 nm až 760 nm. Takto charakterizované tzv. viditelné světlo obsahuje celou řadu vlnových délek a může být rozloženo do známých barevných škál duhy. Oko přeměňuje elektromagnetické záření pomocí chemické reakce na elektrické potenciály neuronů zrakového nervu, čímž vzniká v mozkové kůře zrakový vjem (Vlková a Došková, 2004). Druhou důležitou dráhou je systém, který tvoří část vláken tvořících nervus opticus, který končí v suprachiasmatických jádrech, odkud jsou hormonální cestou ovlivňovány biologické funkce organismu např. sekrece hormonů melatoninu a serotoninu, které mají za úkol nastavení cirkadiálních a cirkanuálních rytmů (Sumová a Illnerová, 2005). Dříve se myslelo, že za nastavení biologických hodin mohou tyčinky a čípky. Tyčinky jsou nejcitlivější na světlo o vlnové délce

507 nm – tzv. skotopické (noční) vidění, čípky jsou nejcitlivější vůči vlnové délce 555 nm, tzv. denní fotopické vidění. Nyní ale víme, že jsou v sítnici savců vč. lidí buňky, které se nepodílejí na vidění, s maximální citlivostí vlnové délky 464 nm a právě ty jsou zodpovědné za nastavování biologických rytmů (Vlková a Došková, 2004).

Fyzikální vlastnosti světla

V případě světla jsou znečišťujícími látkami životního prostředí fotony odpovídající energie, nebo elektromagnetické vlny odpovídající frekvence uměle přidané do životního prostředí, které se rozptylují na vzdušném aerosolu. Světelné znečištění řadíme stejně jako např. hluk, makroskopické objekty a viditelné jevy mezi znečištění fyzikální povahy (Hollan, 2004).

Toto znečištění charakterizujeme stejnými fyzikálními veličinami jako světlo. Při zkoumání světla se setkáváme s celou řadou veličin, které můžeme měřit. Při studiu vlivu světla na člověka a teplokrevné obratlovce patří k nejdůležitějším z nich osvětlenost, (hustota světelného toku); jas; světelný tok a svítivost.

Nejužívanější jednotkou, se kterou se setkal každý, je lux (lx). Vyjadřuje, jak mnoho světla dopadá na jednotku nějaké konkrétní plochy, neboli veličinu zvanou osvětlenost nebo intenzita osvětlení. Při osvětlenosti 1 lx dopadá na 1 m² právě jeden lumen. Zajímá nás také, jak silný je proud světla z nějakého zdroje v místě, kde se nacházíme, např. jak moc se projevuje vzdálená výbojka. To vyjádříme jednotkou lumen na metr čtvereční (lm.m⁻²), příslušná veličina se jmenuje hustota světelného toku a udává kolik světla vyzáří světelný zdroj do všech směrů (Marková a Vyoralová, 1979). Je to skoro totéž, jako osvětlenost, pokud bychom nějakou plochu nastavili právě směrem, odkud světlo přichází, tak je to zcela totéž (Brychtová et al., 2005). Lux je totiž lumen na metr čtvereční. Když ale na nějakou plochu

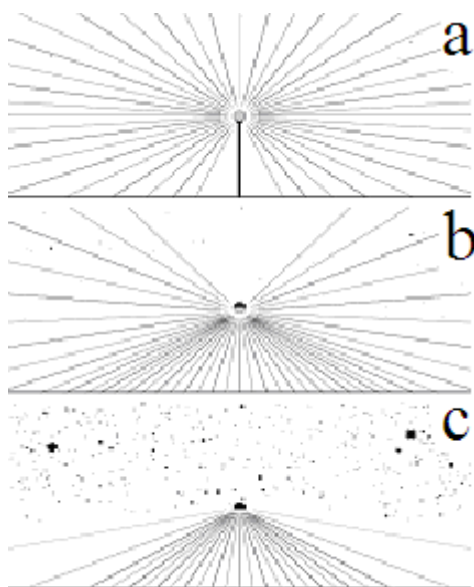
dopadá světlo šikmo, tak i při stejné „silném proudu“ bude osvětlená méně. Jas je tou veličinou, kterou skutečně vnímáme, lépe řečeno, vnímáme poměry jasů (Brychtová et al., 2005). Tato fotometrická veličina vyjadřuje množství světleného toku, které se odráží od daného elementu v určitém směru k místu pozorovatele. Jednotkou jasu je kandela na čtverečný metr ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), (Baxant, 2003). U zcela matných povrchů, jako je sníh, je jas přímo úměrný osvětlenosti (Brychtová et al., 2005, Hollan 2006). Osvětlenost úzce souvisí se vzdáleností osvětlované plochy od zdroje světla a na úhlu dopadajících paprsků vzhledem k osvětlované ploše. V praxi je nejsledovanější veličinou světelné techniky (Hollan, 2004). Kandela je jednotka svítivosti. Je jednou ze sedmi základních jednotek soustavy SI. Je to svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje monochromatické záření o frekvenci 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru činí $1/683$ wattů na jeden steradián (světelný tok vztážený na prostorový úhel), (Marková a Vyoralová, 1979) . Zvolená frekvence je z viditelného spektra blízka světlu zelené barvy při vlnové délce 555 nm. Lidské oko a oko teplokrevných obratlovců je nejcitlivější na tuto frekvenci (Halliday et al., 2001).

Důležité je tedy to, že kandela a všechny odvozené jednotky se týkají monochromatického světla o vlnové délce 555 nm, na které, jak již bylo řečeno, je lidský zrak a zrak teplokrevných obratlovců nejcitlivější. Z hlediska lidského vidění je prakticky nejvýznamnější veličinou jas. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že v této práci budeme používat výhradně luxy.

Osvětlení

Nevhodné svícení se často třídí podle toho, čemu zrovna vadí. Ve většině případů však vadí ve více ohledech najednou. Zvláště škodlivé je svícení na nepatřičné plochy; do očí, čili oslňování; zbytečně silné a nad obzor. K distribuci a úpravě zdroje světla slouží svítidlo (Marková a Vyoralová, 1979).

Hollan (2001) popisuje 3 hlavní typy svítidel (Obr. 2. a, b, c). První typ svítidel (Obr. 2. a) působí esteticky, ale pro osvětlení jsou nevhodná. Oslňuje a přitahuje ve velké míře hmyz i ostatní živočichy. Svítidla na Obr. 2. b s vypouklým dolním krytem vyzařují třetinu světla do škodlivých směrů. Opět jsou to svítidla oslňující a lákající živočichy. Svítidla charakterizovaná Obr. 2. c, zakončena dole vodorovným sklem, směřují světlo správným směrem. Jen s takovou řadou lamp je dobře vidět na cestu, na nebe a při správném výběru elektrického zdroje nelákají živočichy. Náklon svítidla musí být rovnoběžný se zemí.



Obr 2. Příklady různých typů svítidel podle jejich vlivu na světlo nad horizontem.

Kvalitativní hodnocení snadno rozliší také čtyři základní typy složení světla, podle toho, jestli je produkováno výbojkou rtuťovou, vysokotlakou sodíkovou, halogenidovou, případně kompaktní zářivkou (Hollan, 2004). V praxi se nejméně setkáváme s nízkotlakou sodíkovou výbojkou. Takovéto rozlišení má význam vzhledem k tomu, že prakticky pro všechny živočichy včetně lidí se v nočním prostředí maximálně škodlivě projevuje krátkovlnná složka

spektra, tj. modré světlo a eventuální ultrafialové záření. Těchto složek je až zanedbatelně v záření nízkotlakých sodíkových výbojek. Ty lze rozpoznat na základě sytě žluté, nikoliv oranžové barvy. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají takový odstín jen kratičce během fáze, když se rozsvěcují. Škodí tedy více než nízkotlaké výbojky (Hollan, 2004).

Za noci aktivní hmyz (což je převážná většina hmyzích druhů – u některých řádů činí až 80 %) se za letu orientuje pomocí UV složky měsíčního světla a noční oblohy. Hmyz přitom vidí převážně v ultrafialovém a modrém oboru zhruba od 350 nm do 450 nm (Eisenbeis, 2001). Savčí popř. ptačí zrak je na modrou složku světla citlivější (Harder, 2005). Ovlivňují také mnohem více receptory na sítnici oka, které řídí produkci melatoninu a cirkadiánní rytmus (gangliové buňky s pigmentem melanopsinem). (Hollan, 2004). Takové světlo se také silněji rozptyluje v ovzduší (Hollan, 2006).

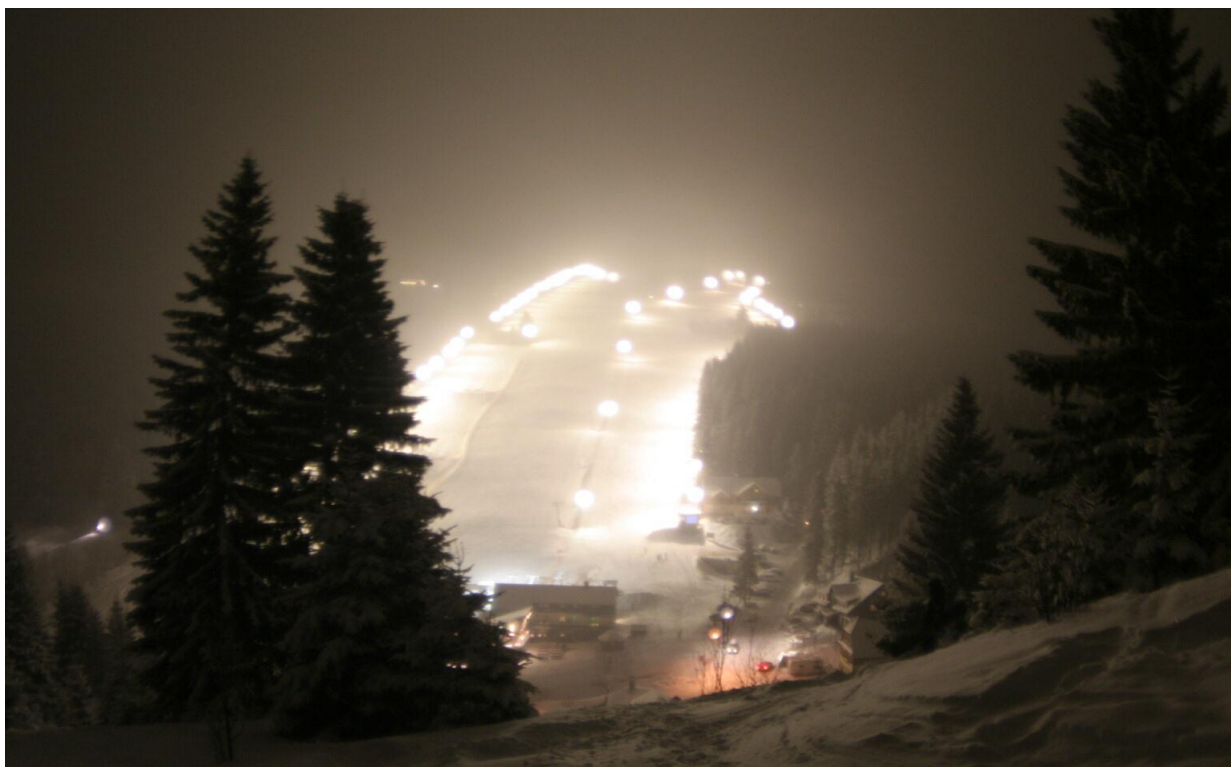
Světelné znečištění

O světelném znečištění lze hovořit tehdy, když je světlo polutantem, látkou v prostředí cizorodou, nepatřičnou, nadbytečnou. Takové situace se začínají vyskytovat v době, když přirozeného světla ubývá, tedy během stmívání, zcela běžné jsou pak v noci. V noci se uměle přidané světlo stává nejnápadnějším a mnohdy i neškodlivějším polutantem, který narušuje základní vlastnost noci, totiž absenci silného světla. Jakékoliv antropogenní svícení v noci venku je nutně znečišťováním (Hollan 2004).

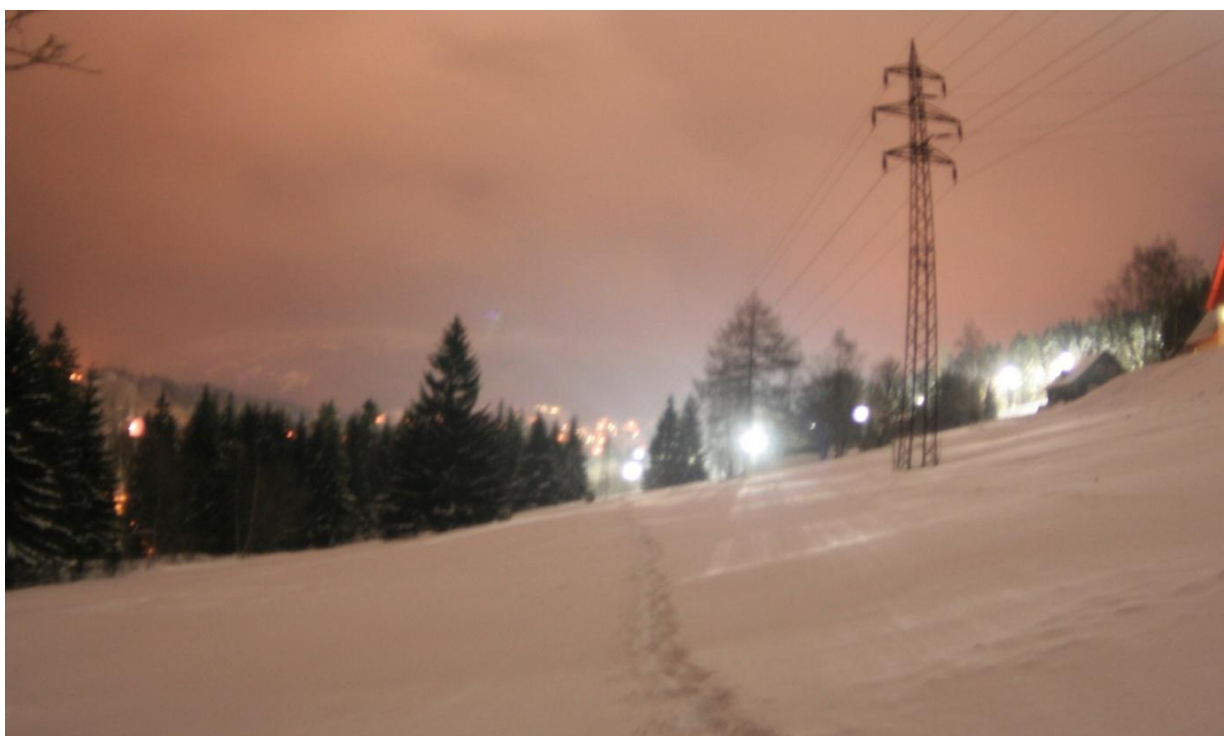
Jsou-li při osvětlování at' pouličním či jiném používána svítidla, která nesvítí pouze kolmo dolů (Obr. 2 c, dle Hollana 2001), ale vyzařují světlo do okolí (Obr. 2 a, b) dle Hollana 2001), potom mluvíme o vyzařovaném světle jako o světelném znečištění (Hollan 2001). Podle novely zákona 86/2002 Sb., O ochraně ovzduší, se světelným znečištěním rozumí každá forma umělého osvětlení, která je rozptýlena mimo oblasti, do kterých je určena, zejména pak

míří-li nad obzor. Longcore a Rich (2004) mluví o světelném znečištění jako o ekologickém světelném znečištění zahrnující chronické nebo periodicky zvýšené osvětlení, nečekané změny v osvětlení a přímé oslnění. Kromě fyzikálních vlastností světelného znečištění můžeme říci, že je podobné i chemickému znečištění. Můžeme ho připodobnit k uměle zvýšené koncentrací oxidu dusného nebo jakékoliv jiné látky, třeba i takové, která dříve byla nebo dosud je považována za neškodnou (Hollan, 2004).

První profesionál v oboru ochrany nočního prostředí, Pierantonio Cinzano (2001) ale již dávno správně upozornil, že takové lavírování nemůže vést k jasnému pochopení a že skutečná definice je mnohem jednodušší. Opírá se o význam slova znečištění, jak jej definují nejznámější světové slovníky a encyklopedie: znečištění je narušení přirozeného stavu prostředí. Světelné znečištění je tedy jakákoliv změna (nočního) prostředí uměle produkovaným světlem. Příklady viz Obr. 3. a 4.



Obrázek 3. Noční osvětlení v okolí sjezdovky Javor, Pec pod Sněžkou; foto L. Bujalský



Obrázek 4. Noční osvětlení v okolí sjezdovky Protěž, Jánské Lázně; foto L. Bujalský

2.2. Vliv světla a světelného znečištění na živočichy

Vzhledem k ústřední roli zraku při orientaci a řízení cirkadiálních, cirkanuálních a dalších rytmů ovlivňující chování není překvapivé, že má světlo na chování živočichů značný efekt (Sumová a Illnerová, 2005). Některé katastrofické důsledky světla pro jisté taxonomické druhy jsou dobře známy. Nejmarkantnějšími příklady jsou úmrtí tažných ptáků u vysokých osvětlených konstrukcí (Gauthreaux a Belser, 2006). Když se totiž pták dostane v noci do osvětlené zóny, může být lapen a neopustí osvětlenou oblast. V důsledku toho jsou ovlivněny velké počty ptáku táhnoucích v noci, pokud je povětrnostní podmínky přivedou blízko ke světlu, např. při špatném počasí nebo pozdě v noci, když mají sklon letět níže. Uvnitř takového prostředí tvořeného světly se ptáci mohou srážet vzájemně nebo narážet na konstrukce, vyčerpat se nebo být uloveni predátory. Ptáci, kteří jsou v noci v městských oblastech zachyceni budovami, často umírají při nárazech na okna, když se pak snaží ve dne uniknout (Ogden, 1996).

Dále je to dezorientace čerstvě vylíhlých želv světly na jejich rodných plážích (Adamany et al., 1997; Tuxbury a Salmon, 2004). Mladé želvičky, které se líhnou na písčinych plážích, vylézají z hnízd v nočních hodinách a snaží se co nejrychleji dostat do moře. Za normálních okolností se nejdříve orientují podle temných siluet (historicky jde o vegetaci na dunách), od kterých se pohybují směrem k moři. S osvětlením pláží přestávají být siluety patrné, což má za následek dezorientaci (Salmon a Reiners, 1995). Druhým jevem, který přispívá k jejich dezorientaci je to, že jsou přitahovány nejsvětlejšími body nad hladinou moře, které jsou ale přebity světly z pláže. To má spojitost také s charakteristikou světla (barva a jas). Mláďata karet obrovských (*Chelonia mydas*) jsou nejvíce vábena osvětlením o vlnové délce 360–600 nm (žlutá barva), neutrálně se chovají ke světlu o vlnových délkách 630–700 nm (žlutooranžová až červená barva). Na rozdíl od nich jsou mláďata karet obecných (*Caretta caretta*) lákána hlavně světlem vlnové délky 560–600 nm (žlutozelená až žlutá barva) a také

pouze v malém množství reagují na oranžovou a červenou barvu (Witherington a Martin, 1996). V neposlední řadě dochází ke změnám chování u plazů (Longcore a Rich, 2004) a obojživelníků (Placyk a Graves, 2001). Například bylo pozorováno, že scink smaragdový, který je v přirozených podmínkách aktivní pouze během hodin s denním světlem, lovil hmyz přilákaný na světlo i dvě hodiny po západu slunce. Žádní scinkové nebyli v tento čas pozorováni na neosvětlených stromech (Perry a Buden, 1999). Žáby zase často využívají možnost snadnějšího lovu spáleného hmyzu od lamp (Jaeger a Hailman, 1973).

Jak již bylo řečeno, živočichové mohou být vlivem případného osvětlení ve větší míře orientovaní nebo naopak dezorientovaní a mohou být přitahováni nebo odpuzováni oslněním. Rychlé nárůsty intenzity osvětlení působí pokles schopnosti vidění, ze kterého se zrak může zotavovat minuty až hodiny (Buchanan, 1993).

Orientace a dezorientace jsou odpověďmi na okolní osvětlení (tj. množství světla dopadajícího na objekty v prostředí). Naopak přitahování nebo odpuzování se vyskytuje jako reakce na světelné zdroje samotné a jsou tedy odpověďmi na jas nebo jasnost zdroje světla (Longcore a Rich, 2004).

Celá tato problematika ovlivňuje potravní chování, reprodukci, komunikaci a ostatní důležité životní projevy (Jaeger a Hailman 1973, 1974; Ogden, 1996).

Jemnější vlivy umělého nočního osvětlení na chování druhů a ekologii společenstev jsou však méně prozkoumány, známý je však posun fenologie městských populací ptáků, který do značné míry souvisí s nočním osvětlením (Gorenzel a Salmon, 1995; Bergen a Abs, 1997; Molenaar et al., 2005 a Pollard, 2006;). Uměle přidané světlo narušuje mezidruhové interakce, které se vyvinuly v přírodních podmínkách střídání světla a tmy, což má závažné důsledky pro ekologii společenstev (Longcore a Rich, 2004).

Mnoho zvířat reaguje na zvyšující se jasnost měsíce redukcí výskytu na otevřených plochách, omezují svoji dobu krmení, aktivitu a pohyblivost. Řada autorů připisuje tyto jevy zvýšení predančního tlaku na otevřených plochách, kde jsou lépe vidět. Tím se snižuje jejich fitness a welfare (např. Summerlin a Wolfe, 2004; Riou a Hamer, 2008). Lunární cykly hrají také velkou roli v načasování reprodukčního chování. Důležité jsou například v roli nastartování říje u spárkaté zvěře. Přestože se může zdát pro denní druhy blahodárné, když mohou déle získávat potravu pod umělými světly, jakkoli by se mohlo zdát, že mohou být zisky z nárůstu doby větší než za normálních podmínek, ve skutečnosti jsou vždy převáženy vzrůstem rizika predace (Longcore a Rich, 2004).

Rovnováha mezi zisky z delší doby krmení a rizika zvýšené predace je ústředním tématem pro výzkum na malých savcích, plazech a ptácích. Tyto taxony se při vysokých hladinách osvětlení živí prostě méně (Longcore a Rich, 2004). V závislosti na chodu měsíčních fází dochází u ptáků k ovlivnění migrace díky změněným podmínkám pro orientaci (James et al., 1999).

Kromě získávání potravy může orientace pod umělým osvětlením vyvolávat další chování, jako teritoriální zpěv u ptáků. U severního drozdce mnohohlasného (*Mimus polyglottos*) samečci v noci zpívají před spářením, ale po spáření zpívají v noci jen v uměle osvětlených oblastech nebo za úplňku (Derrickson, 1988). U netopýrů dochází vlivem světelného znečištění ke zhoršení kvality komunikace (Stone et al., 2009).

Změny kompetičních vztahů ve společenstvech se objevují, když se denní druhy dostávají do noční světelné niky (Longcore a Rich, 2004; Kavanau a Rischer, 2008).

Umělé noční osvětlení značně narušuje cirkadiální biologické hodiny živočichů (např. Challet, 2007; Chamberlain a Barlow, 2008). V laboratorních podmínkách bylo zjištěno, že

umělé světlo, charakterizované 1 lx za bezměsíčné noci, může posunout biologické hodiny obratlovců až o 1-2 hodiny.

Narušení světelného režimu, které změní biologické cirkadiánní hodiny, také ovlivňuje produkci hormonů, nejvýznamněji melatonin, ten nezprostředkovává jen aktivity spojené s denními rytmy, ale u obratlovců ovlivňuje mnoho fyziologických a behaviorálních rytmů. U všech druhů je produkce melatoninu vyšší v noci a jeho koncentrace klesá ve dne. Jedním z jeho nejdůležitějších rolí je také to, že zabraňuje růstu zhoubných nádorů. V laboratoři bylo zjištěno, že již osvětlení 0,2 lx mělo zásadní vliv na jeho produkci a jejich tumory začaly extrémně růst (Longcore a Rich, 2004). Prodloužení fotoperiody u ptáků mění sekreci luteinizačního hormonu, který je zodpovědný za konečnou fázi zrání a následnou ovulaci vajíčka a udržuje v činnosti další hormonálně aktivní tkáň (Dawson, 2000).

Obratlovci, kteří jsou ovlivněni umělým osvětlením, jsou také ohroženi změnou cirkaduálních hodin. Dochází ke každoroční změně jejich hmotnosti, k narušení hormonální rovnováhy, k posunu reprodukce, hibernaci a cirkadiánních aktivit projevujících se v průběhu roku (Goodson et al., 2005). Asynchronizací porodů s aktivitou predátorů dochází k většímu usmrcování nově narozených jedinců. Světlo je stejně anebo možná i více důležité v nastavování cirkaduálních rytmů než teplota. Problémem u posunutí biologických hodin je také fázový posun se sousedy, kteří světlem ovlivněni nejsou (Longcore a Rich, 2004).

Dochází k rozchodu doby páření a tím pádem k menší úspěšnosti. U populací vykonávajících kolektivní obranu, dochází ke snížení bdělosti atd. (Longcore a Rich, 2004).

Mnoho ptáků zahyne při nárazu do světelných konstrukcí. Nejvíce životů mají na svědomí televizní věže, kancelářské budovy, elektrovody, chladicí věže a obytné budovy. Tomuto problému je zatím věnována jen malá pozornost, přestože si tyto kolize vyberou za rok více životů, než ropné katastrofy (Bower, 2000). Dlouhodobá studie Le Correa a Olliviera (2000)

na ostrově Réunion uvádí, že k největšímu počtu úmrtí ptáků dochází v době hnízdění a u mladých jedinců. Důkazem pro tato fakta je zjištění, že nejefektivnější technikou odchytu ptáků, je lov světlem (např. Drewien et al., 1999; King et. al, 2008).

V neposlední řadě má umělé osvětlení vliv na rozmístění živočichů. Např. hnízdní hustoty břehoušů byly zaznamenány po dva roky, přičemž se porovnávala osvětlená a neosvětlená místa v blízkosti silnice a v blízkosti světel na stožárech, instalovaných v mokré louce mimo dosah vlivu silnice. Pokud se vzaly v potaz všechny ostatní faktory habitatu, hustota hnízd byla mírně, ale statisticky významně nižší až do vzdálenosti 300 m od silnice a srovnávacích stanovišť. Badatelé také zaznamenali, že ptáci, kteří zahníždili dříve, si vybrali místa dále od světel, zatímco ti, kteří hníždili později, zaplnili místa blíže světlům (Molenaar et al., 2005).

Osvětlení může mít také ekosystémové efekty. Rezonující vlivy změn společenstev způsobených umělým nočním osvětlením mohou ovlivnit ostatní funkce ekosystému. Přestože důsledky zatím nelze předpovědět, a přestože redundance ekosystému může tlumit jeho změny, existují náznaky, že ekosystémy ovlivněné světlem utrpí významné změny, které lze připsat umělému osvětlení buď samotnému, nebo kombinovanému s dalšími poruchami. I vzdálené oblasti mohou být vystaveny zvýšenému osvětlení vlivem záře oblohy, ale nejzřejmější vlivy se objeví v těch oblastech, kde jsou světla blízko k přírodním habitatům, nebo dokonce jako u nás, součástí národních parků (Longcore a Rich, 2004).

2.3. Stanovení minimální hranice intenzity osvětlení s biologickými účinky

Hranice intenzity osvětlení, která má na obratlovce biologický vliv, zatím nebyla podrobně zkoumána, jisté však je, že se u různých druhů liší. V přírodě jsou dokonce známy i takové extrémny, kdy se například Rosnička hádavá (*Hyla squirella*) orientuje a vyhledává potravu při

intenzitách osvětlení klesajících k 10^{-5} lx a v přírodních podmínkách přestává s příjmem potravy při osvětlenosti nad 10^{-3} lx. Ropucha západoamerická (*Bufo boreas*) a ocasatka americká (*Ascapus truei*) se živí při intenzitách osvětlení mezi 10^{-1} lx a 10^{-5} lx, ocasatka přijímá potravu jen do osvětlenosti menší než 10^{-5} lx, tato hodnota charakterizuje nejtmaší část noci. U řady vodních bezobratlých stačí světlo půlměsíce ($< 10^{-1}$ lx), aby ovlivnilo jejich vertikální distribuci (Buchanan, 1998; Dodson, 1990; Hailman, 1984). Jak již bylo výše uvedeno, významný vliv na většinu živočichů má úplněk, který odpovídá intenzitě osvětlení 0,1 lx (Wolfe a Summerlin, 1989; Buchanan, 1993; Rahman et al., 2000; Yamamoto et al., 2008; Grant et al., 2009).

2.4. Vliv světelného znečištění na člověka

Lidské vidění není anatomicky denní a to díky světločivným buňkám – čípkům, které umožňují vidění za šera, takže v podstatě noční osvětlení nepotřebujeme (Reppert a Weaver, 2001).

Pro správné fungování fyziologických funkcí organismu jsou ale důležité obě stránky světla – den a noc. Nejde jen o lidi či savce, ale všechny živé organismy mají svůj rytmus, který je podřízen střídání světla a tmy a ročních období. Rytmicitě podléhá např. výše tělesné teploty, uvolňování některých hormonů, dělení a metabolismus buněk (Drahoňovská, 2004).

Světelné znečištění a veřejné zdraví

Z posledních výzkumů vyplývá mnoho závěrů, které dokazují negativní vliv uměle přidaného na lidské zdraví. Světelné znečištění, kterému je vystavena celá populace vyspělého světa, způsobuje mnoho vážných onemocnění, jako například duševní poruchy, Alzheimerovu

chorobu, onemocnění metabolismu, rakovinu a další (Hastings et al., 2003; Takahashi et al., 2008).

Nejdéle známou nemocí způsobenou světlem je syndrom sezónní deprese. Již dlouho se objevovala v severských zemích při nástupu podzimního a zimního času, kdy značně ubývá slunečního záření. Příčinou není jen nedostatek světla, protože lidský druh je z evolučního hlediska na tmu adaptovaný, ale hlavně malé kontrasty mezi dnem a nocí. V ostatních částech vyspělého světa je syndrom sezónní deprese vyvoláván „moderním“ životním stylem, kdy jsou lidé celý den zavřeni v budovách s konstantním osvětlením, které je dostatečné k práci, ne však k plnohodnotné synchronizaci cirkadiálních hodin. Tento stav je pak ve večerních hodinách narušen nočním svícením. Celý tento proces poté vede k poruchám produkce melatoninu. Projevy syndromu postihují v menší míře celou vyspělou populaci, u některých lidí však dochází ke stupňování potíží tak, že jsou omezeny veškeré denní aktivity (Wirz-Justice et al., 1996).

K poruchám spánku dochází vlivem změněné sekrece melatoninu, vzniká tak chronická nespavost, kdy jsou vnitřní hodiny řízené produkcí melatoninu rychlejší nebo pomalejší oproti normě (24 hodin). Světlo, kterému je člověk vystaven v noci, ať už spí či bdí, zabraňuje sekreci melatoninu a mění jeho exkreční křivku. Mozek si pak toto nastavení pamatuje a opakuje změny i v dalších dnech, i když světelná expozice pominula (Miyamoto et al., 1999; Zisapel, 2001).

Ztráta vnitřní rytmicity je považována i za příčinu vzniku maniodepresivní psychózy a endogenní deprese, světelná expozice v nočních hodinách a během spánku také zvyšuje incidenci záchvatu u epileptiků. Pozitivní vliv melatoninu byl zase prokázán u projevů Alzheimerovy choroby. Melatonin také zabraňuje odumírání mozkových buněk a oddaluje stárnutí, čímž zvyšuje kvalitu života postižených lidí (Drahoňovská, 2004). V souvislosti

s Parkinsonovou chorobou bylo zjištěno, že pacienti s nejtěžšími formami mají značně posunutou fázi sekrece melatoninu a koncentrace v krvi je menší, na rozdíl od pacientů s formami lehkými (Bordet et al., 2003).

Na základě skutečnosti, že světlo v noci potlačuje expresi melatoninu a narušuje cirkadiální rytmy, bylo v roce 1987 ustanoveno, že rostoucí spotřeba elektrické energie a s tím související noční svícení zvyšuje riziko rakoviny a to hlavně rakovinu prsu, na celém světě. Důkazy jsou např. tyto: noční směny zvyšují riziko, slepota riziko snižuje, dlouhé trvání spánku riziko snižuje, zvyšující se intenzita nočního osvětlení koreluje s výskytem rakoviny prsu na úrovni celé lidské populace (Stevens, 2009).

Experimenty na zvířatech přinášejí jednoznačné důkazy o pozitivním vlivu melatoninu na růst nádorů a jejich vznik. Navíc má silný antioxidační účinek a kontroluje další ochranné mechanismy. Jak již bylo řečeno výše, nejvíce má melatonin vliv na vznik rakoviny prsu díky regulaci produkce estrogenu, který je zodpovědný za patologické změny prsní tkáně (Drahoňovská, 2004). Souvislost se snížením koncentrace melatoninu v krvi byla dokázána také u zhoubného bujení orgánů, které podléhají cirkadiálním rytmům, jako jsou například prostata, vaječníky, děloha, plíce a další (Drahoňovská, 2004).

Světelné znečištění a astronomie

Nesmíme také zapomenout na astronomy, kteří přišli s problematikou světelného znečištění jako první vzhledem k charakteru své práce. Tito odborníci se měřením světelného znečištění věnují dlouhá léta sofistikovanými astronomickými metodami (Rabazza et al., 2010). Většinou přinášejí zprávy, že světelné znečištění stoupá, je způsobováno hlavně veřejným osvětlením a podstatně zhoršuje jejich práci (Ben a Ellison, 1998). Nejvíce přispívají ke světelnému znečištění a vadí astronomům sodíkové a rtuťové výbojky, proto byl například na

Kanárských ostrovech přijat zákon, který chrání podmínky vhodné pro astronomii. Světelné znečištění ze rtuťových výbojek zde kleslo od roku 1998 o 50%, znečištění ze sodíkových výbojek i přes toto opatření mírně vzrostlo (Pedani, 2004).

Turismus a světelné znečištění

Světelné znečištění ovlivňuje také turistiku. Jako příklad si můžeme uvést stav v naší zkoumané oblasti Krkonoš, kdy prvním fenoménem, který zaujme návštěvníky na první pohled, je, že jsou ve večerních hodinách při zapnutém osvětlení sjezdovek ochuzeni o krásný noční krajinný ráz, který je světlem zcela pohlcen. Hory mizí a obrysy se ztrácejí. Sjezdovky se totiž projevují jako nemalé narušení prostředí až do zhruba 20 km, zanedbatelné začínají být až ve vzdálenosti 40 – 50 km (Hollan, 2006). Paradoxem je, že za světelné znečištění v chráněných oblastech, zvláště pak v horských střediscích v zimním období, může expandující turistický ruch, podobná je i situace ve městech, kde extensivní osvětlení památek brání ve výhledu na noční oblohu atp.

3. MATERIÁLY A METODIKA

3.1. Studijní plocha

Krkonošský národní park (KRNAP) se rozprostírá v severovýchodní části Čech při hranici s Polskem. Území je orientováno ve směru od SZ k JV. Krkonoše výrazně překračují horní hranici lesa, která se zde pohybuje okolo 1250 m n. m. Průměrné roční teploty se zde pohybují zhruba v rozmezí 7 °C – Vrchlabí (400 m n. m.) do 0,2 °C – Sněžka (1602 m n. m.), průměr činí 2,1 – 4 °C (Int. 1.). Průměrné úhrny ročních srážek činí 1201 – 1400 mm (Int. 1.) V krkonošských rostlinných i živočišných společenstvech je vysoký podíl severských druhů organismů, resp. glaciálních reliktvů a dále řada endemických poddruhů a druhů.

Z hlediska vertikálního členění vegetace jsou v Krkonoších čtyři zřetelně vytvořené výškové vegetační stupně: submontánní (400 až 800 m n. m.), montánní (800 až 1200 m n. m.), subalpínský (1200 až 1450 m n.m.) a alpínský (1450 až 1602 m n. m.). Díky tomu zde roste více jak 1250 taxonů cévnatých rostlin, a několikanásobně vyšší počet druhů rostlin bezcévných. Mnoho z těchto druhů je vzácných, patří sem.

glaciální relikty - ostružiník moruška (*Rubus chamaemorus*), všivec krkonošský (*Pedicularis sudetica*), lomikámen sněžný (*Saxifraga nivalis*), šídlatka jezerní (*Isoetes lacustris*), rašeliník Lindbergův (*Sphagnum lindbergii*) a

krkonošští endemité - jeřáb krkonošský (*Sorbus sudetica*), zvonek krkonošský (*Campanula bohemica*), lomikámen pižmový (*Saxifraga moschata basaltica*), bedrník skalní (*Pimpinella saxifraga rupestris*) a téměř tři desítky druhů jestřábníků rodu *Hieracium*.

Mezní poloha Krkonoš ve střední Evropě vytváří i severní hranici v rozšíření řady živočichů - pěvuška podhorní (*Prunella collaris*), linduška horská (*Anthus spinoletta*) nebo skalník zpěvný (*Monticola saxatilis*). Je zde vysoký podíl glaciálních reliktvů, včetně mnoha vzácných a

ohrožených, jako je například kos horský (*Turdus torquatus torquatus*), čečetka zimní (*Carduelis flammea*), slavík modráček (*Luscinia svecica svecica*), kulík hnědý (*Charadrius morinellus*) a hraboš mokřadní (*Microtus agrestis*).

3.2. Ekologický stav horského krkonošského ekosystému

Krkonoše jsou národním parkem s relativně vysokou hustotou osídlení a jsou pod velkým turistickým tlakem. Osídlení a následná devastace přírodního prostředí nastává již v 13. – 14. století n. l. Největšími problémy bylo klučení lesa, zemědělství, pastva, sběr bylin, introdukce cizích elementů, turistika, 2. světová válka, kůrovec, pronásledování šelem (vlk, medvěd, rys, kočka divoká).

Dnešní neutěšený stav krkonošské přírody je zásadním způsobem poznamenán zejména dvěma negativními faktory. Jedná se o vlivy imisí a intenzivní turistickou zátěž, které působí celoplošně. Emise z 2. poloviny minulého století, pocházející z tepelných elektráren Polska, bývalé NDR a Československa, měly velký vliv na rozpad nekvalitních smrkových porostů. Po roce 1991 se imisní situace sice rapidně zlepšuje, avšak acidifikace půd, vymytí živin z nich a oslabení mykorhizních vztahů nedávají přílišnou naději na rychlou regeneraci lesních porostů. Rozsáhlé odlesnění ovlivnilo mj. složení fauny. Mizí lesní druhy např. hmyzožravých ptáků, ale i střevlíků, a nahrazuje je několik málo druhů volných ploch. Tento neutěšený stav může dále negativně prohlubovat silící turistický průmysl posledních let.

3.3. Obyvatelstvo

Na území národního parku se nachází 26 obcí s 26 700 obyvateli, dále je zde 1 500 objektů se 72 000 lůžky. Každý rok navštíví KRNAP 10 000 000 návštěvníků (6 – 8 z Česka, 2 – 3 z Polska). Krkonoše jsou naší největší lyžařskou oblastí. Je zde 260 lanovek a vleků s celkovou přepravní kapacitou přesahující 101 000 osob/hod., přes 150 sjezdových tratí a lyžařských svahů o souhrnné délce kolem 162 km. Dále je zde 708 km značených turistických, popř. běžkařských tratí. Během zimy je 30 km sjezdovek od 19.00 do 22.00 osvětleno.

Krkonoše charakterizuje rozpor mezi ochranou přírody a rozvojem turistického ruchu. Na jedné straně se například redukuje či likvidují lokální zdroje znečištění ovzduší a stále zahušťuje síť čistíren odpadních vod, na straně druhé přetrvává snaha rekonstruovat či budovat nové, kapacitnější vleky, lanovky, sjezdové tratě i doprovodné objekty.

3.4. Charakter sjezdových tratí

Výzkum probíhal přímo na sjezdovkách a v jejich okolí. Délky sjezdovek se pohybovaly od 300 m do 1500 m, šířky bývaly od 60 do 200 m. Management, který na těchto plochách probíhá v jarním a letním období, se vyznačuje hlavně kosením, méně pak pastvou. Často jsou tyto plochy zasaženy expanzivními a invazními druhy rostlin jako je starček, pcháč a šťovík. Na druhé straně se zde začínají objevovat endemické druhy plavuníků, na kterých nyní probíhá intenzivní výzkum. Sjezdovky jsou většinou obklopeny monokulturálním hospodářským smrkovým lesem v různých věkových fázích, ve kterých žijí významní velcí savci jako jelen evropský (*Cervus elaphus*), srnec obecný (*Capreolus capreolus*), liška obecná (*Vulpes vulpes*), jezevec lesní (*Meles meles*), zajíc polní (*Lepus europaeus*), prase divoké (*Sus*

scrofa), kuna lesní (*Martes martes*) atd. Většina těchto savců se zde vyskytuje i v zimním období, o čemž jsem se mohl přesvědčit díky často pozorovaným stopám.

Většina středisek Krkonošského národního parku využívá část svých sjezdovek k nočnímu lyžování (Tab. 5.) Sjezdovky se nejčastěji vyskytují v nadmořských výškách přibližně od 500 do 900 m n. m. a leží v ochranné zóně národního parku nebo ve III. zóně (Tab. 6.). Většině sjezdovek ležících v II. a III. zóně končí horní část sjezdovky těsně u cennějších zón. Častou charakteristikou bývá to, že i když leží v územích s menším stupněm ochrany, svítí přímo na nejcennější lokality na protějším svahu. V praxi se ale setkáváme i se sjezdovkami, jež zasahují nad 1000 m n. m., ty často svým svrchním úsekem zasahují do nejcennějších částí národního parku a obvykle jsou charakterizovány největší přepravní kapacitou osob (Tab. 6.) Pro přiblížení představy zonace národního parku a geografického rozložení největších krkonošských středisek poslouží mapka, (Obr. 7.).

Tabulka 5. Souhrn veškerých krkonošských středisek a uvedení celkového počtu kilometrů sjezdovek v jednotlivých střediscích a také podíl délek sjezdovek, jež jsou využívány pro noční lyžování. Sestaveno na základě dat veřejně dostupných na internetovém portálu zaměřeném na poskytování informací o českých turistických střediscích (Int. 2.).

Středisko	Délka sjezdovek [km]	Délka osvětlené části [km]
Benecko	3,3	1,1
Černá hora - J. Lázně	11,3	1,6
Černý Důl	6,1	0,2
Dolní Dvůr	1,2	0,4
H. Mísečky-Medvědí	11,7	-
Harrachov	7,3	1,7
Herlíkovice	12,4	1,9

Jablonec nad Jizerou	3,3	1,1
Luisino údolí - Dolní Dvůr	0,9	0,6
Malá Úpa	3,6	0,4
Mladé Buky	5,1	4,1
Paseky nad Jizerou	10,0	0,2
Pec pod Sněžkou	11,7	4,0
Pěnkavčí vrch	0,5	-
Petříkovice	3,9	1,0
Poniklá - Homole	2,2	0,5
Prkenný Důl - Family Ski Park	1,0	1,0
Příchovice	2,0	0,6
Rejdice	3,5	1,5
Rokytnice nad Jizerou	23,0	0,8
Strážné	1,9	0,8
Svatý Petr	12,1	1,8
Svoboda nad Úpou	1,1	-
Velká Úpa	2,9	0,5
Vítkovice - Aldrov	5,4	1,7
Vrchlabí - Kněžický vrch	7,9	-
Vysoké nad Jizerou	4,2	1,2
Žacléř - Prkenný Důl	5,1	1,0
SUMA	161,3	28,4

Tabulka 6. Souhrn veškerých krkonošských středisek a uvedení nadmořské výšky sjezdových tratí v jednotlivých střediscích, přepravní kapacity – osoby za hodinu a nejcennějších zón, do kterých sjezdovky zasahují, (kvalita území - I. zóna >> III. zóna, O. P. – ochranná zóna národního parku). Sestaveno na základě dat veřejně dostupných na internetovém portálu zaměřeném na poskytování informací o českých turistických střediscích (Int. 2.). Zóny, ve kterých jsou zahrnuty sjezdové tratě jednotlivých středisek, byly odečteny z map (Int. 3.).

	Nadmořská výška začátek-konec	Přepravní kapacita	Zonac
Středisko	[m n.m.]	[os./hod.]	e
Benecko	610-970	8 300	O. P.
Černá hora - J. Lázně	600-1260	13 245	III.
Černý Důl	620-865	9325	O. P.
Dolní Dvůr	610-760	3813	O. P.
H.Mísečky - Medvědin	1000-1235	10 427	II.
Harrachov	650-1020	6050	O. P.
Herlíkovice	540-1019	7300	O. P.
Jablonec nad Jizerou	450-672	1704	O. P.
Luisino údolí - Dolní Dvůr	750-860	1900	O. P.
Malá Úpa	850-1100	5070	III.
Mladé Buky	550-670	7700	O. P.
Paseky nad Jizerou	620-860	4 626	O. P.
Pec pod Sněžkou	830-1215	9520	III.
Pěnkavčí vrch	1000	600	III.
Petříkovice	440-600	2750	O. P.
Poniklá - Homole	490	1000	O. P.
Prkenný Důl - Family Ski			
Park	600 - 700	900	O. P.

Příchovice	680 - 790	2090	O. P.
Rejdice	800	1 750	O. P.
Rokytnice nad Jizerou	630-1312	1 589	I.
Strážné	800	3500	III.
Svatý Petr	715-1310	10 116	I.
Svoboda nad Úpou	530-600	2000	O. P.
Velká Úpa	708-1060	3 700	III.
Vítkovice - Aldrov	733-765	6800	O. P.
Vrchlabí - Kněžický vrch	550 - 710	4600	O. P.
Vysoké nad Jizerou	700	2400	O. P.
Žacléř - Prkenný Důl	570-830	3000	O. P.
<hr/>			
SUMA		28 584	
<hr/>			

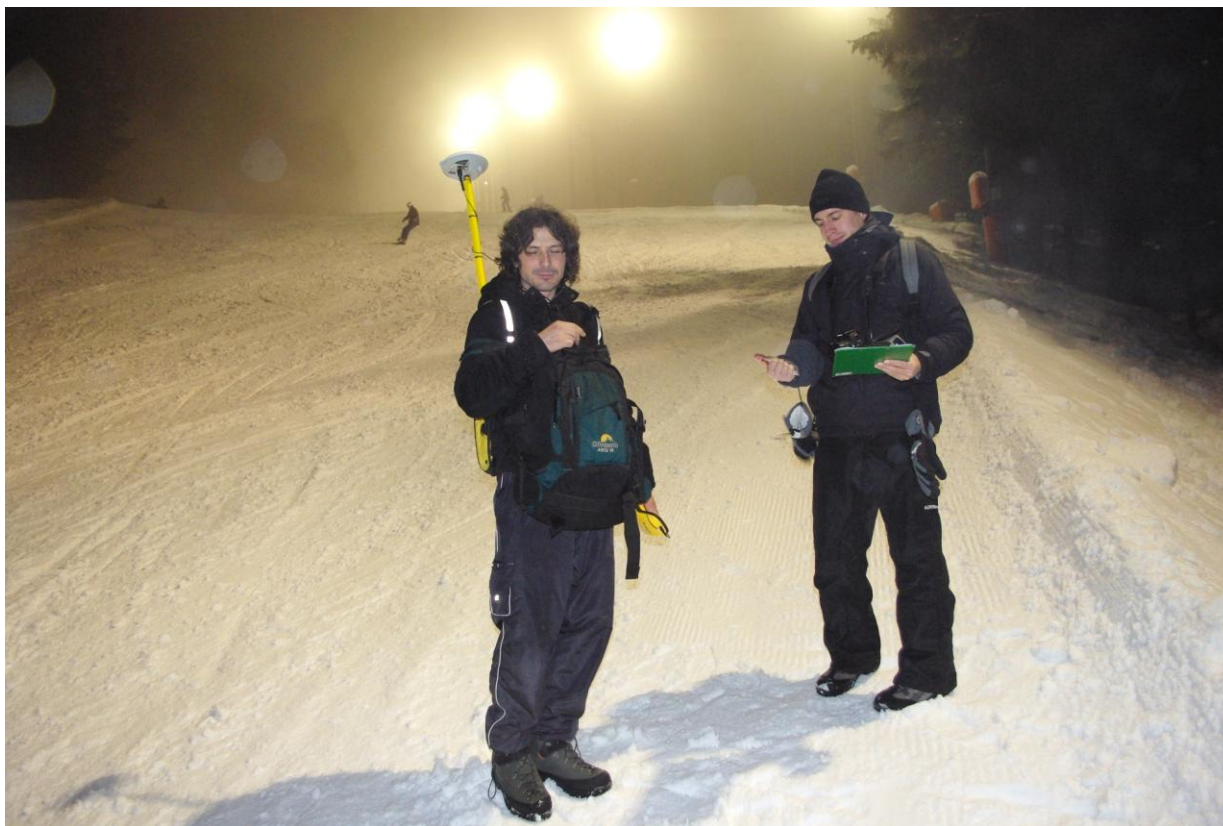
do lesa. Velké náklony lze použít bez vážných nežádoucích vedlejších důsledků jen u světlometů s úplným ohraničením vyzařovaného svazku stínítkem. V praxi však tato stínítka použita nebyla, tím pádem je šířka světelného kužele omezena pouze zanořením žárovky do svítidla. Takto upravené svítidlo je nejen zdrojem emisí světelného znečištění, ale co by zářící bod působí do velkých vzdáleností jako oslnivý element a stává se tak noční dominantou krajiny (Brychtová et al., 2005), (Přílohy 1-7).

Problémem je také barva světelného znečištění z vysokotlakých sodíkových výbojek, které jsou používány v celých Krkonoších. Silná modrá složka (na sjezdovkách se vyskytuje hlavně modré a bílé osvětlení, jehož je modrá složka největší součástí) má nesporně závažnější dopady jak na přírodu, tak i na vzhled krajiny a oblohy, ve srovnání s běžným veřejným osvětlením, kde se používají oranžové sodíkové výbojky, viz výše (Hollan, 2006).

3.6. Sběr dat

Měření probíhala během prosince až března v zimách let 2008-2009 a 2009-2010 na celém území Krkonoš v 8 největších střediscích (Špindlerův Mlýn, Pec pod Sněžkou, Jánské Lázně, Herlíkovice, Vítkovice, Harrachov, Velká Úpa a Vysoké nad Jizerou) na 10 sjezdovkách (Obr. 8. a 9.). Od každé z těchto sjezdovek byly po vrstevnici vedeny transekty, na kterých se v pravidelných odstupech zaznamenávaly hodnoty emitované osvětlením. Celkový počet transektů je 62. Na každé sjezdovce byly vytyčeny 2 – 13 transektů, podle heterogenity okolního prostředí a jiných příznivých faktorů. Konstrukce transektů byla prováděna jak po směru osvětlení, světlo a směr transektu byly paralelní, tak proti směru osvětlení, směr světla a transektu byly antagonistické. Celkově bylo měření provedeno na 559 bodech (6 – 19 b. /transekt) na 62 transektech a to vždy na povrchu a ve výšce 1,5 m. Výzkum byl vždy

prováděn za bezměsíčných nocí. Některé transekty byly přeměřovány vícekrát v souladu s měnícími se podmínkami počasí.



Obrázek 8. Terénní pracovníci na lokalitě Špindlerův Mlýn – Hromovka. Na snímku zleva Stanislav Březina a Luděk Bujalský.

Každý transekt vedl po vrstevnici v homogenním prostředí. Pro výzkum byly vybrány 4 nejobvyklejší habitaty: otevřená planina (plocha bez výskytu stromů); uzavřený smrkový porost (velké stromy s větvemi sahajícími až k zemi); otevřený smrkový porost (větvě se vykytují jen v horní třetině stromů) a uzavřený mladý smrkový porost. Cílem bylo zaznamenat co největší variabilitu okolního prostředí sjezdovek.

Prvním krokem při vybudování transektu bylo vybrat vhodné místo (otevřená planina, uzavřený smrkový porost, otevřený smrkový prorost a mladý zapojený smrkový porost) v přístupném terénu. Dále jsem na sjezdovce pomocí Sky quality metru (SQM) našel

nejintenzivněji ozářenou plochu (1. bod transektu), od které transekt pokračoval na kraj sjezdovky, kde byl vždy druhý měřicí bod. Poté následovaly další 4 body v rozmezí 10 metrů, pak se rozestupy 3 úseků zvětšily na 33 m a v případě další potřeby na 65 m až do hranice měřitelnosti; v průměru 0,01 lx. V této práci ale udávám jako poslední bod transektu vždy vzdálenost, na které byla naměřena hodnota 0,1 lx. Osvětlení každého bodu bylo změřeno citlivým luxmetrem Extech EA 30, tímto se měřily hodnoty na terénu a poté v 1,5 m nad ním. Z důvodu pozdější možnosti zanesení sítě bodů do map a kvůli orientaci, byly zaznamenány souřadnice každého bodu GPS. přístroj GPS TRIMBLE GeoXT postprocesing probíhal v programu patfinderoffice s korekčními daty získanými ze sítě vrsnow. Měření byla prováděna po obou stranách sjezdovky, po i proti směru svícení.



Obrázek 9. Terénní pracovník na lokalitě Špindlerův Mlýn – Hromovka. Na snímku Luděk Bujalský.

Terénní pracovní protokol obsahoval datum, název místa sběru dat, číslo transektu, popis aktuálního počasí a habitatu a data naměřená v pracovní oblasti.

3.7. Zpracování dat

Vztah mezi vzdáleností od sjezdovky a intenzitou osvětlení byl vyjádřen jako lineární závislost log osvětlení na log vzdálenosti a to pro každý transekt. Tento vztah byl použit pro odhad vzdálenosti, na které byla intenzita osvětlení rovná 0,1 lx. Tato krajní hodnota byla aplikována kvůli svým biologickým účinkům (Gilbert, 1991; Lowry et al., 2007 a viz výše). Efekt typu habitatu a směru osvětlení na vzdálenost s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx, byl vyhodnocován pomocí dvousměrné ANOVY. Jednosměrné ANOVY pak byly použity k porovnání vlivu jednotlivých habitatů na dosvit světla pro každý směr osvětlení zvlášť. Obecné lineární modely (OLM) byly užity pro zhodnocení kombinovaného efektu vegetace, směru světla a intenzity osvětlení v souvislosti s dosvitem světla a také k určení toho, jak dosvit světla na určitém transektu ovlivňuje počasí (jasno vs. zataženo, mlha). Pro odhad vlivu umělých světelných zdrojů z lyžařského svahu na protější svahy, jsem nemohl použít intenzitu osvětlení per se, protože se mezi sjezdovkou a protějším svahem vyskytovaly typické zdroje veřejného a jiného osvětlení. K odhadu tohoto efektu jsem měřil intenzitu osvětlení na protějším kopci krátce před a krátce po vypnutí světel na sjezdovce. Rozdíl potom udává velikost intenzity osvětlení přidaného světla pocházejícího ze sjezdovky. Výše uvedené statistické výpočty byly provedeny pomocí programu Statistica 5.5.

Postihnout jsem chtěl i velikost plochy okolo sjezdovky, která by mohla být zasažena světelným znečištěním. Toho jsem dosáhl projekcí okolí Hromovky, přímo ovlivněné světlem, na mapu s využitím programu ArcGIS. Území se nachází na severním svahu vrchu Hromovka ve Špindlerově Mlýně. Lokalita zasahuje do ochranného pásma národního parku,

horní část je v I. ochranné zóně. Severní svah Hromovky se sjezdovou tratí je orientován velmi výrazně k jádrovému území národního parku a ovlivňuje Železné vrchy, Kozí hřbety, Luční horu, Medvědí a Kotel – I. a II. zóna NP. Spodní část sjezdovky se nachází v 700 m n. m. a horní stanice vleku v 980 m n. m. GPS souřadnice bodů ze 17 transektů naměřených v terénu byly převedeny do mapy. Podle vzdálenosti intenzity dosvitu každého transektu byl vyprojektován polygon, jehož vymezení odpovídá ploše přímo zasažené světlem s intenzitou 0,1 lx.

4. VÝSLEDKY

Průměrná intenzita osvětlení centrálních částí sjezdovek byla $106,5 \pm 73,9$ (10) lx (čísla za symbolem \pm představují směrodatnou odchylku, čísla v závorce počet měření) přímo na povrchu a $135,4 \pm 92,5$ (10) lx v 1,5 m nad povrchem. Maximální hodnota osvětlení byla naměřena na sjezdovce Kejnosa na Benecku a to 390 lx (Tab. 10. a 11.).

Tabulka 10. Minimální, maximální a průměrné hodnoty osvětlení naměřené na sjezdovce těsně nad sněhovou pokrývkou na místech s největší intenzitou osvětlení a celkový průměr intenzity osvětlení na krkonošských sjezdovkách.

STŘEDISKO - SJEZDOVKA	MIN. OSVĚTLENÍ [lx]	MAX. OSVĚTLENÍ [lx]	PRŮMĚR [lx]
Špindlerův Mlýn - Hromovka	56,9	130	85,1 \pm 20,8 (17)
Vítkovice - Aldrov	13,2	19,5	15 \pm 2,6 (6)
Herlíkovice	47,7	251,3	106,2 \pm 62,2(11)
Pec pod Sněžkou - Javor	49	259	153,1 \pm 76 (9)
Jánské Lázně - Protěž	31,7	184,5	156,8 \pm 43 (10)
Černá hora - Košťálka	23,6	41	32,3 \pm 8,7 (2)
Černá hora - Duncan	87,3	87,3	87,3 \pm 0 (1)
Velká Úpa - Portášovky	63,3	63,3	63,3 \pm 0 (2)
Harrachov	79,2	79,2	79,2 \pm 0 (1)
Benecko - Kejnosa	268	306	287 \pm 19 (2)
			106,5\pm73,9
Celkový průměr			(10)

Tabulka 11. Minimální, maximální a průměrné hodnoty osvětlení naměřené přímo na sjezdovce, ve výšce 1,5 m nad terénem, na místech s největší intenzitou osvětlení a celkový průměr intenzity osvětlení na krkonošských sjezdovkách. Hodnota v závorce za číslem udávající průměr značí počet změřených míst na sjezdovce.

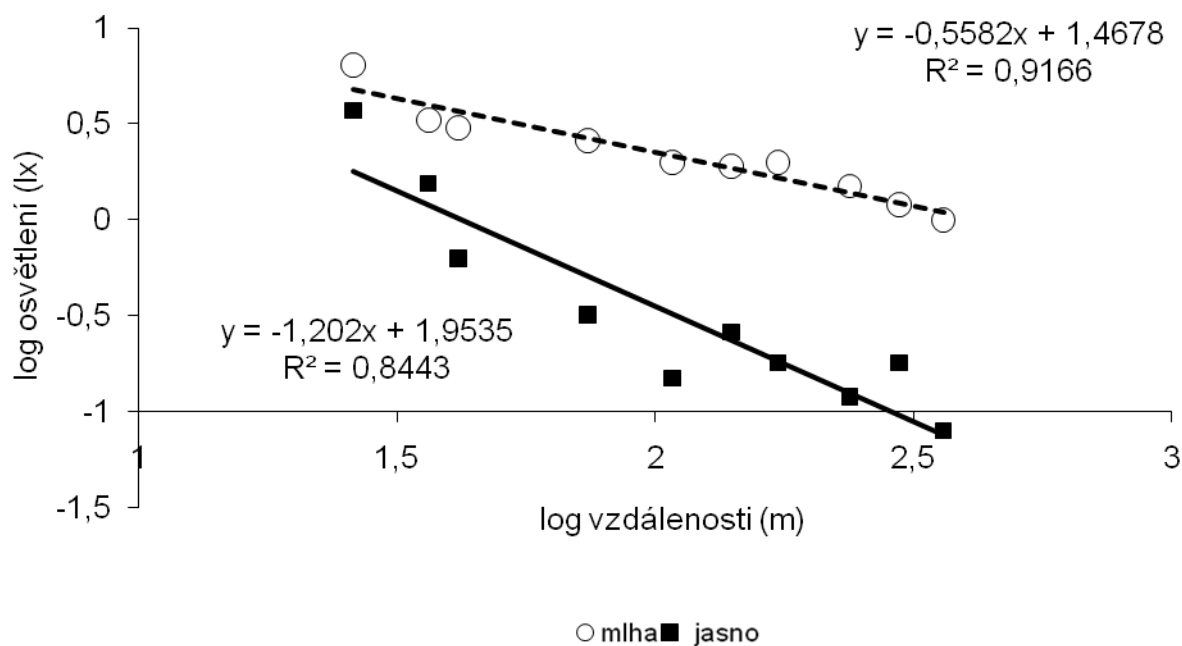
STŘEDISKO - SJEZDOVKA	MIN. OSVĚTLENÍ [lx]	MAX. OSVĚTLENÍ [lx]	PRŮMĚR [lx]
Špindlerův Mlýn -			
Hromovka	66	160	97,1±25,8 (17)
Vítkovice - Aldrov	15	21,5	16±3,3 (6)
Herlíkovice	54,5	265,8	127,7±76 (11)
Pec pod Sněžkou - Javor	66	327	192,9±95,6 (9)
Jánské Lázně - Protěž	28,6	213,6	187±53,8 (10)
Černá hora - Košťálka	35,4	59	47,2±11,8 (2)
Černá hora - Duncan	133,7	133,7	133,7±0 (1)
Velká Úpa - Portášovky	70,4	70,4	70,4±0 (2)
Harrachov	119	119	119±0 (1)
Benecko - Kejnos	335	390	362,5±27,5 (2)
Celkový průměr			135,4±92,5(10)

Porovnání vlivu směru světla, vegetace (kategoriální prediktor) a intenzity osvětlení uprostřed sjezdovky (kontinuální prediktor) ukazovalo signifikantní efekt na dosvit světla podél transektů jen pro vegetaci ($p=0,0001$ pro měření přímo na povrchu i pro 1,5 m nad sněhem). Směr osvětlení ($p=0,058$ a $0,070$ pro 0 m respektive pro 1,5 m nad povrchem) a intenzita osvětlení uprostřed sjezdovky ($p=0,058$ a $0,080$ pro 0 m respektive pro 1,5 m nad zemí) neměly statisticky významný vliv na vzdálenost od sjezdovky, kde osvětlení dosahuje hodnoty $> 0,1$ lx (OLM, Tab. 12.).

Tabulka 12. Výsledek obecného lineárního modelu testujícího vliv vegetace, intenzity osvětlení uprostřed sjezdovky a směru osvětlení na vzdálenost, s jakou se šíří světlo ze sjezdovky (dosvit s intenzitou $\geq 0,1$ lx). Ve shodě s testem byl signifikantní vliv na šíření světla zjištěn pouze u vegetace ($p=0,0001$).

Zdroj variance	Suma čtverců	Stupně volnosti	F	p-hodnota
Intercept	71,88	1	532,62	0
Max. osvětlení	0,48	1	3,53	0,07
Vegetace	3,82	3	9,44	4,8E-05
Směr osvětlení	0,51	1	3,77	0,06
Maximální osvětlení*Směr	0,29	3	0,73	0,54
Chyba	6,75	50		

Při měření na jednom určitém transektu v průběhu jedné noci na otevřené planině po směru svícení za dvou rozdílných počasí (jasná obloha vs. mlha) bylo zjištěno, že je dosvit světla signifikantně větší (OLM) za mlhy než za jasného počasí (Obr. 13.). Mlha zvyšuje intenzitu dosvitu stonásobně (Tab. 14).



Obrázek 13. Vztah mezi log osvětlení a log vzdálenosti podél transektu na sjezdovce Protěž v Jánských Lázních jdoucí přes otevřenou planinu od osvětlené sjezdovky, po směru svícení, za jasného počasí a v mlze. Rovnice lineární regrese a R^2 jsou uvedeny pro každý typ počasí zvlášť. Data byla shromážděna ve večerních hodinách 23. února roku 2009. Interval měření mezi těmito dvěma extrémy byl ≤ 1 hod.

Tabulka 14. Výsledky obecného lineárního modelu testujícího vliv počasí (mlha vs. jasno) ukazuje vliv na změnu osvětlení s narůstající vzdáleností od sjezdovky podle dat z Obr. 13.

Zdroj variance	Suma čtverců	Stupně volnosti	Suma čtverců	F	p-hodnota
Intercept	1,99	1	1,98	46,51	2,9E-06
Vzdálenost	2,24	1	2,24	52,45	1,4E-06
Počasí	3,37	1	3,37	78,97	8,5E-08
Chyba	0,72	17	0,04		

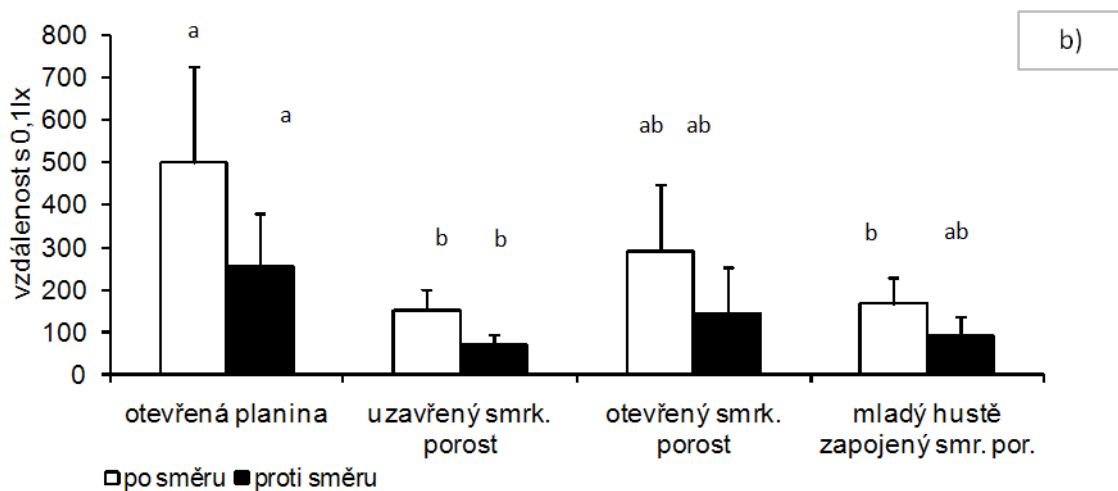
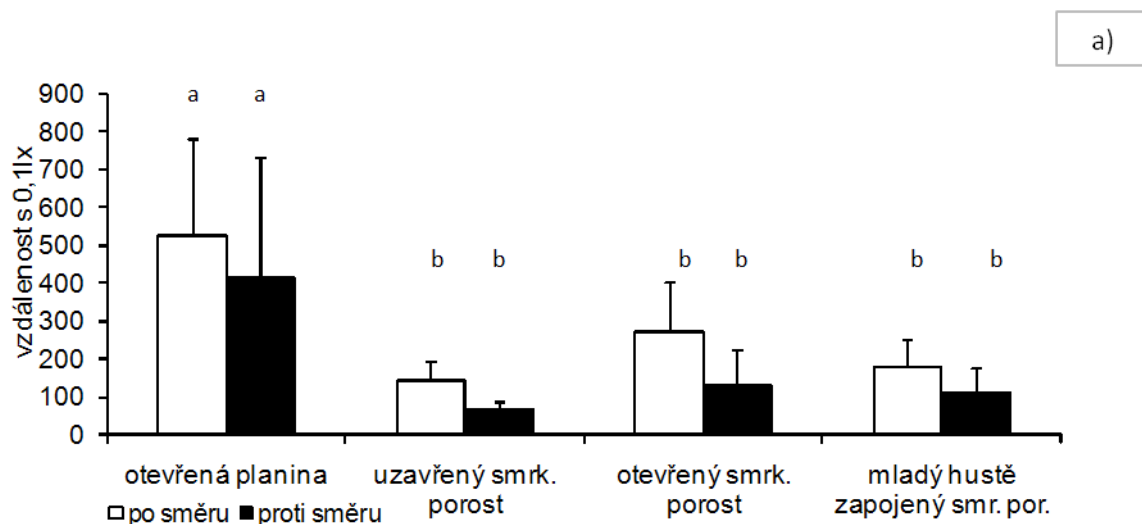
Podle dvoucestné ANOVY má signifikantní vliv na průnik světla podél habitatu směr světla a typ habitatu, kterým světlo prochází (Tab. 15.).

Tabulka 15. Dvoucestná ANOVA testující účinky jednotlivých typů (habitátů) vegetace a orientace osvětlení na dosvit světla (dosvit s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx) 1,5 m nad povrchem a přímo na povrchu. Ve směru světla se světlo šíří dále než v protisměru, i když i tyto hodnoty jsou překvapivě nemalé.

Zdroj variance	df	Počet	1.5 m výška		0 m výška	
	transektů	F	p	F	p	
Habitat	3	52	14,5	5,9E-07	15.9	1,9E-07
Orientace světél	1	52	5,1	0,03	4.7	0,04
Interakce	3	52	1.5	0,21	1.5	0,22

Srovnání šíření světla různými habitaty ukazuje, že nejdále se světlo šíří přes planinu, ostatními třemi habitaty již méně a s podobnou intenzitou (Obr. 16.). Intenzita osvětlení byla obecně větší v 1,5 m b) než na zemi a), rozdíl ale nebyl signifikantní (Obr. 16.).

Při porovnání šíření světla v závislosti na výšce měření bylo zjištěno, že se světlo šíří signifikantněji dále v 1,5 m nad povrchem (Tab. 17. a 18.).



Obrázek 16. Průměrný dosvit světla (vzdálenost podél transektů s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx v okolí sjezdovek), který je ovlivněný typem habitatu (otevřená planina, uzavřený smrkový porost, otevřený smrkový porost a mladý smrkový porost) a orientací transektu ve vztahu ke směru osvětlení (ve směru nebo proti směru) a) na úrovni terénu a za b) 1,5 m nad ním. Pro každou výšku měření na úrovni terénu a) a 1,5 m nad ním b) a v rámci každé kategorie světelné orientace (ve směru nebo proti směru) představují sloupce označené stejným písmenem statisticky homogenní skupiny ($p > 0,05$; jednosměrná ANOVA, *Sheffe post hoc* test).

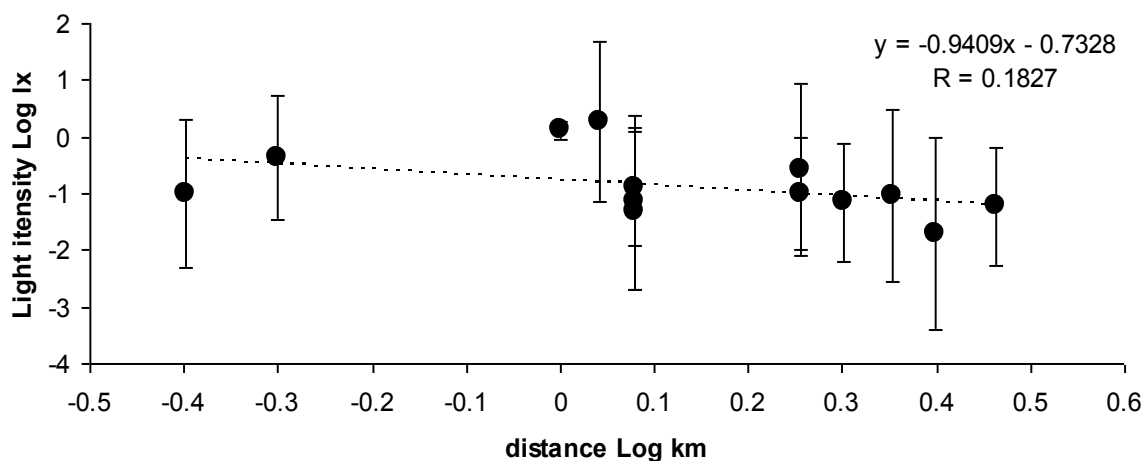
Tabulka 17. Obousměrná ANOVA ukazující významnost výšky měření na dosvit světla intenzitou 0,1 lx. Obrázek ukazuje vliv dosvitu při měření přímo na povrchu. Světlo se signifikantně šíří dále při měření v 1,5 m nad povrchem ($p=0,05$).

Zdroj variance	df	Suma čtverců	df	Suma čtverců	F	p-hodnota
	Efekt	Efekt	Chyba	Chyba		
Typ habitatu	3	1,82	51	0,11	15,93	1,9E-07
Orientace	1	0,54	51	0,11	4,74	0,03
12	3	0,18	51	0,11	1,53	0,22

Tabulka 18. Obousměrná ANOVA ukazující významnost výšky měření na dosvit světla intenzitou 0,1 lx. Tabulka ukazuje vliv dosvitu při měření v 1,5 m nad povrchem. Světlo se signifikantně šíří dále při měření v 1,5 m nad povrchem ($p=0,05$).

Zdroj variance	df	Suma čtverců	df	Suma čtverců	F	p-hodnota
	Efekt	Efekt	Chyba	Chyba		
Typ habitatu	3	1,73	51	0,12	14,51	5,8E-07
Orientace	1	0,61	51	0,12	5,16	0,03
12	3	0,19	51	0,12	1,57	0,20

Hodnotil jsem také data intenzity osvětlení na svazích, které jsou protilehlé ke sjezdovkám (Obr. 19.). Data reprezentují rozdíly mezi dvěma měřeními provedenými během noci (Tab. 20.). První měření bylo vykonáno za plného nočního provozu sjezdovky, druhé několik minut po zhasnutí světel. Osvětlená sjezdovka často zvyšovala intenzitu osvětlení na protějších svazích na hodnotu $\geq 0,1$ lx až do vzdálenosti 1 km. Nárůst intenzity světla nicméně nebyl korelován vzdáleností mezi lampami nejbližšími k protějšímu kopci a vzdáleností k bodu, kde byla hodnota naměřena (Obr. 3.). Přesto průměrná zvýšená intenzita osvětlení na protějších svazích ve vzdálenosti 0,4-2,9 km činí $0,35 \pm 0,57$ lx.

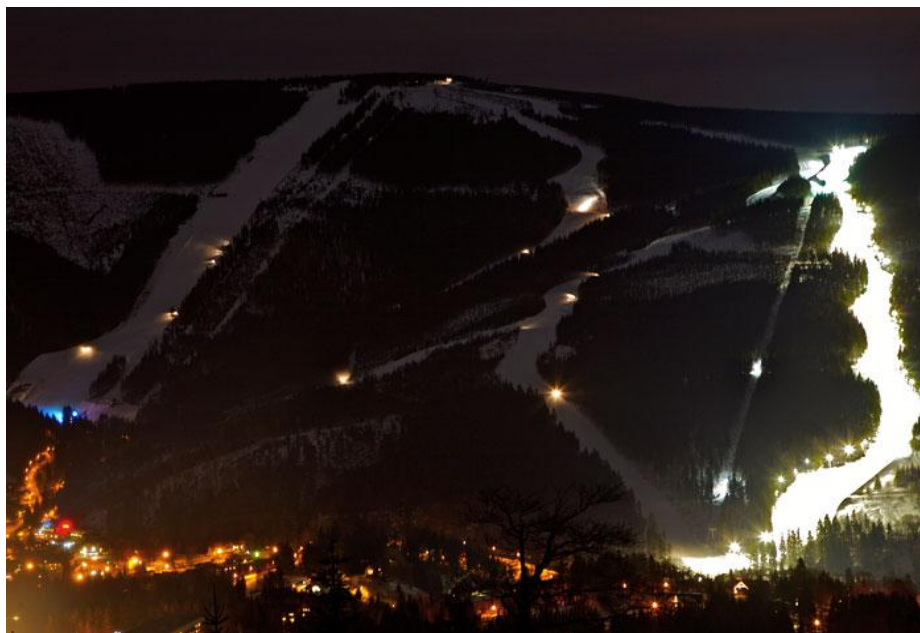


Obrázek 19. Efekt osvětlených lyžařských sjezdovek na světelné znečištění neosvětlených protějších svahů. Hodnoty (vyplněná kolečka) ukazují rozdíl mezi intenzitou osvětlení zapnuté sjezdovky a stavem, kdy byla světla zhasnuta. Grafy vyjadřují každou hodnotou intenzity světla před zhasnutím (horní grafy) a po zhasnutí (dolní grafy). Vzdálenost je vztažena ke vzdálenosti mezi nejbližšími lampami osvětlené sjezdovky a bodem měření na protějším neosvětleném svahu.

Tabulka 20. Hodnoty naměřené přímo na protějších svazích v určité vzdálenosti od zdroje před a po zhasnutí sjezdovek.

Protější svah:	Benecka	Herlíkovic	Herlíkovic
Vzdálenost vzdušnou čarou	1.2 km	2.25 km	1.8 km
Hodnoty před zhasnutím	0.1 lx	0.12 lx	0.29 lx
Hodnoty po zhasnutí	0.03 lx	0.03 lx	0.03 lx
Protější svah:	Herlíkovic	Jánských Lázní	Pece pod Sněžkou
Vzdálenost vzdušnou čarou	2.9 km	2.5 km	1.2 km
Hodnoty před zhasnutím	0.15 lx	0.04 lx	0.9 lx
Hodnoty po zhasnutí	0.09 lx	0.02 lx	0.04lx
Protější svah:	Pece pod Sněžkou	Pece pod Sněžkou	Špindlerova Mlýna
Vzdálenost vzdušnou čarou	1.1 km	1.0 km	1.8 km
Hodnoty před zhasnutím	1.9 lx	2 lx	0.2 lx
Hodnoty po zhasnutí	0.04 lx	0.68 lx	0.1 lx
Špindlerova			
Protější svah:	Mlýna	Harrachova	Strážného
Vzdálenost vzdušnou čarou	2 km	1.2 km	0.5 km
Hodnoty před zhasnutím	0.16 lx	0.22 lx	0.5 lx
Hodnoty po zhasnutí	0.09 lx	0.09 lx	0.08 lx
Protější svah:	Dolního Dvora		
Vzdálenost vzdušnou čarou	0.4 km		
Hodnoty před zhasnutím	0.15 lx		
Hodnoty po zhasnutí	0.05 lx		

Na sjezdovce Hromovka (Špindlerův Mlýn), (Obr 21.), jejíž délka je 1035 m a průměrná šířka 35 m (36 225 m²), byla plocha přímo ovlivněná světlem $\geq 0,1$ lx 506 052 m² (Obr. 23), 451 585 m² (Obr. 24.) a 300 430 m² (Obr. 25.). Rozdíly výměr jsou dány na základě různého stylu konstrukce polygonů (Tab. 22.).



Obrázek 21. Osvětlená sjezdovka Hromovka - Špindlerův Mlýn (Int. 2.).

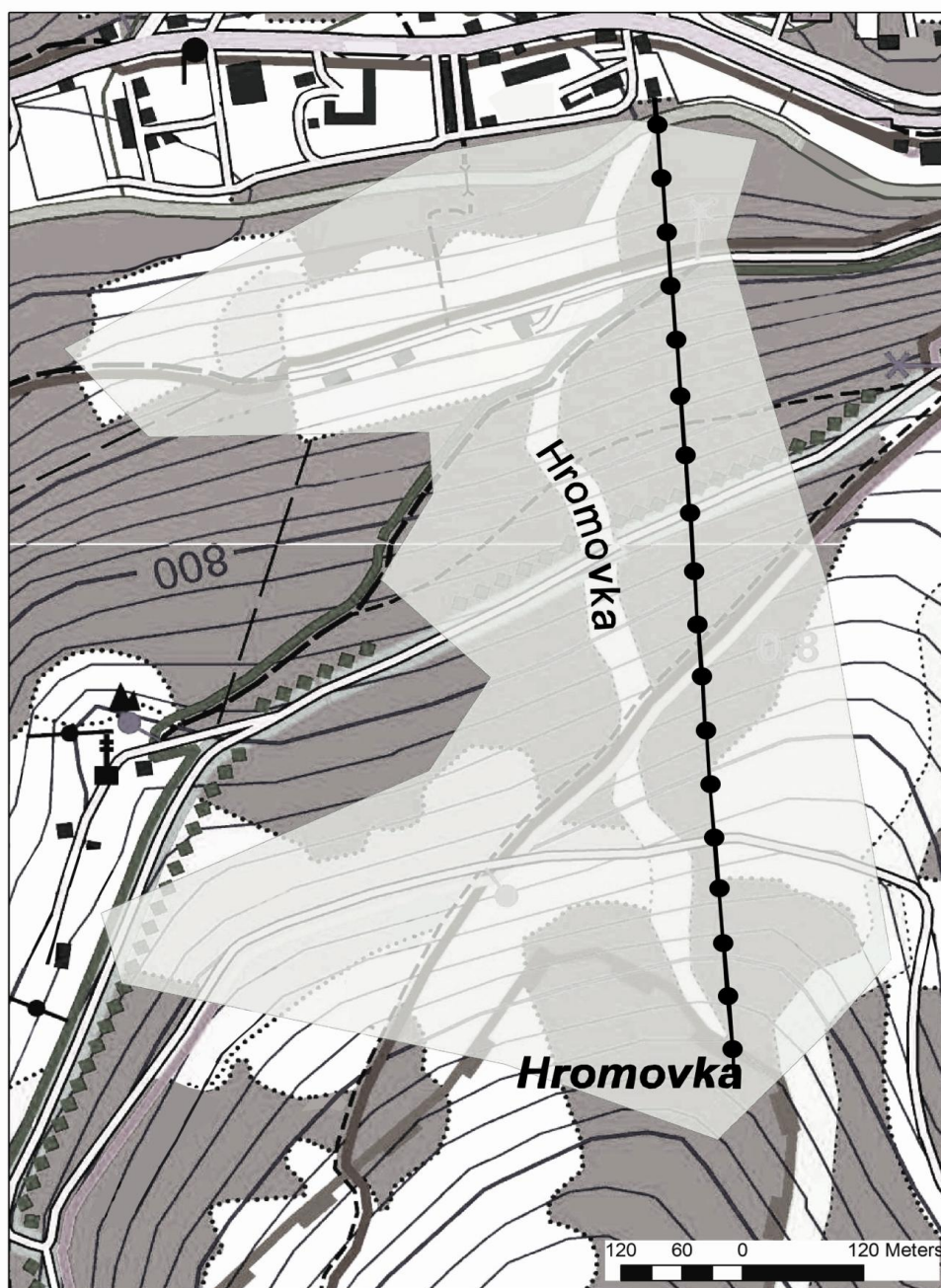
Tabulka 22. ukazuje velikosti ploch přímo zasažené světlem s intenzitou dosvitu $\geq 0,1$ lx v závislosti na použité metodě projekce a jejich průměr.

Metoda	Plocha
Vytvořeno na základě průměrů dosvitů jednotlivých prostředí - polygonální půdorys	506 052 m ²
Vytvořeno na základě průměrů dosvitů jednotlivých prostředí - pravoúhlý půdorys	451 585 m ²
Vytvořeno na základě hodnot naměřených v terénu - polygonální půdorys	300 430 m ²
Průměr	419 356 m²

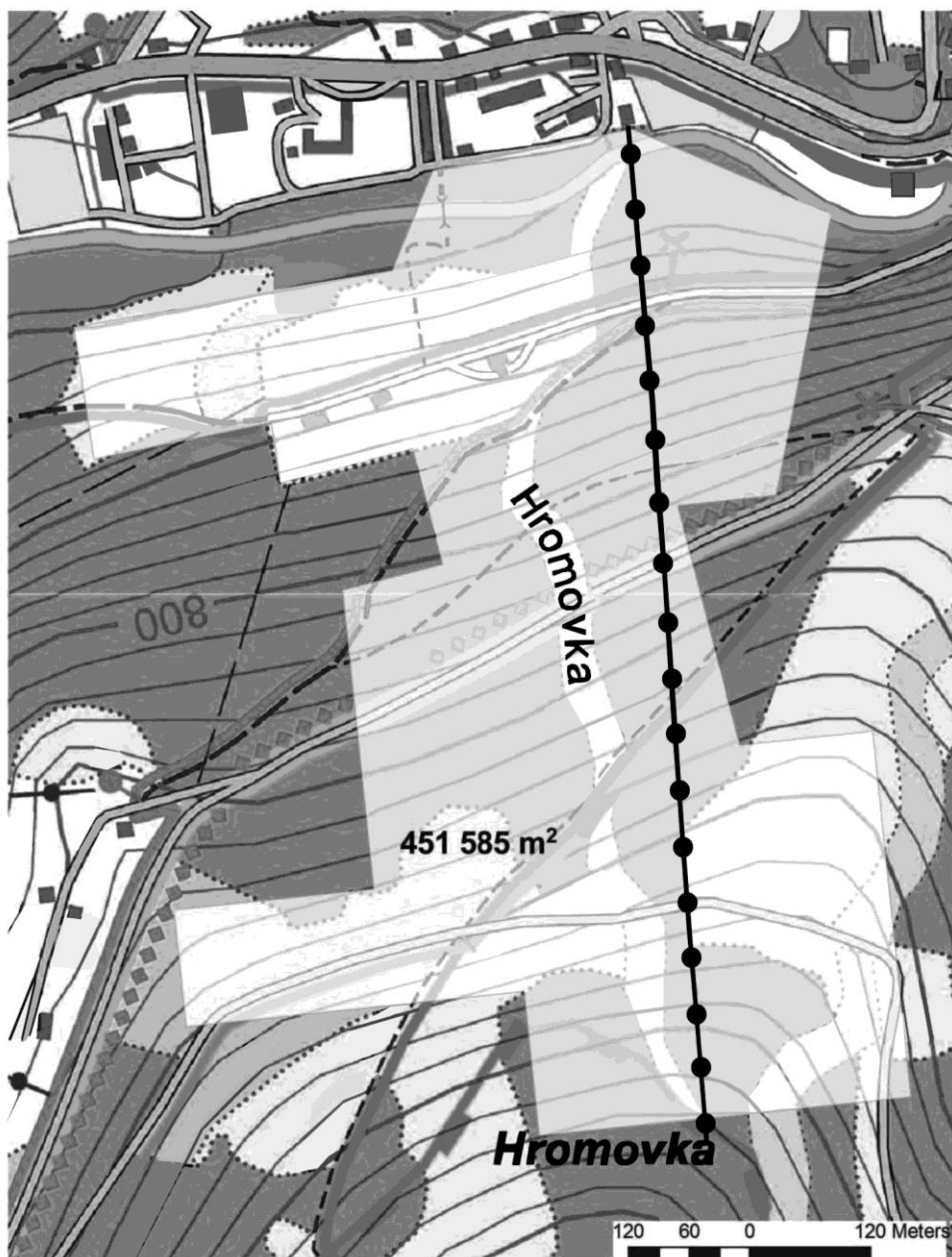
Způsob konstrukce polygonu na obrázku 23. byl založen na průměrných vzdálenostech dosvitu v jednotlivých prostředích (les, bezlesí) s kombinací směru osvětlení (po a proti), poté byla odečtena výsledná plocha. Průměry byly spočítány z 62 naměřených transektů celé zkoumané oblasti.

Polygon na obrázku 24. byl zkonstruován také na základě průměrů dosvitu světla v jednotlivých prostředích a podle směru svícení, plochy však byly vedeny rovnoběžně s vinoucí se sjezdovkou. Průměry byly spočítány z 62 naměřených transektů celé zkoumané oblasti.

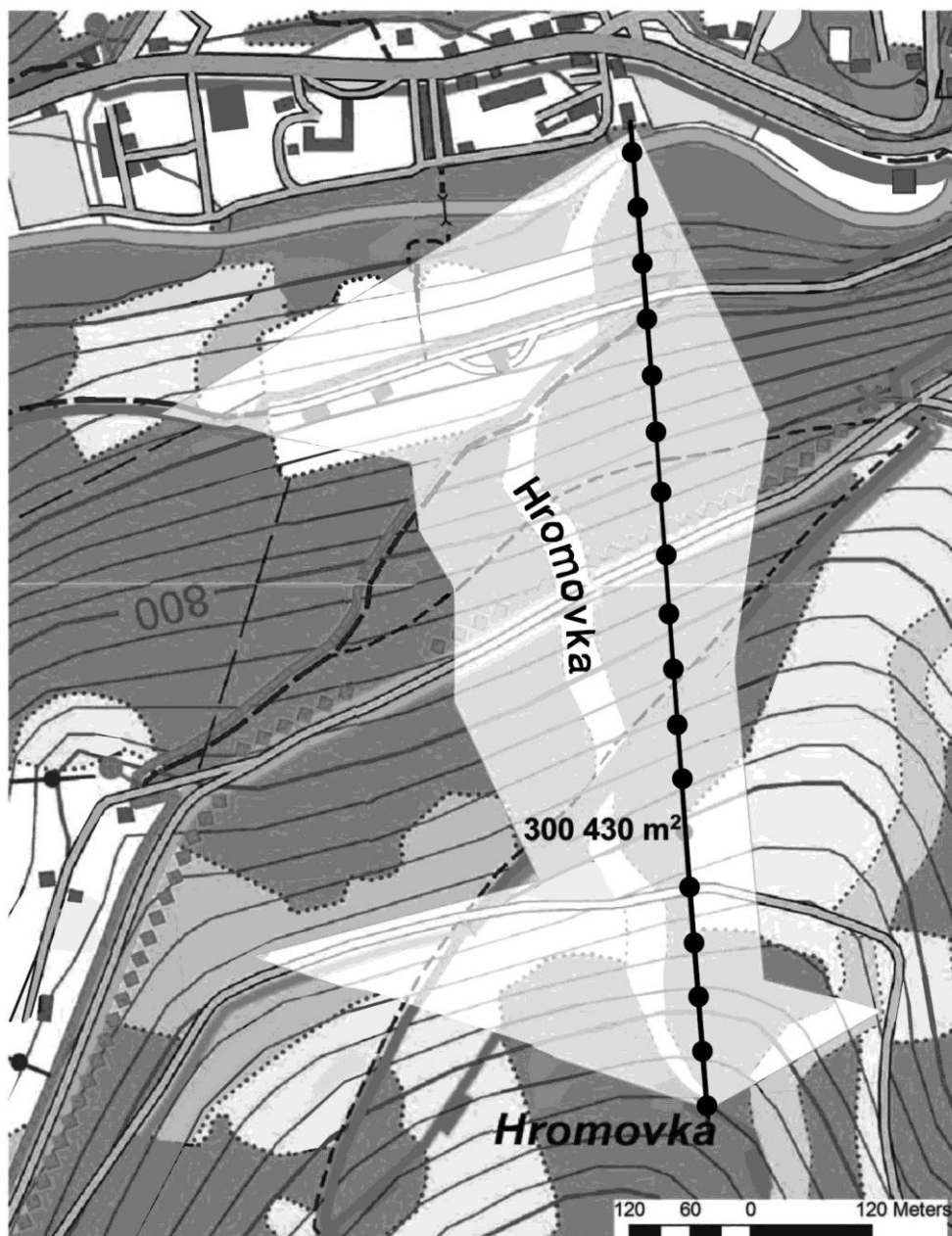
Obrázek 25. nám ukazuje plochu, jež je zkonstruovaná na základě bodů naměřených přímo v terénu okolí sjezdovky Hromovka.



Obrázek 23. Mapa sjezdovky Hromovka ve Špindlerově Mlýně ukazující plochu s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx, která je vyznačena světle šedým stínem. Lyžařský vlek je vyznačen černě vybarvenými kroužky spojenými černou úsečkou, plocha sjezdovky je pak světlý pruh vedle ní označený zvlněným popisem. Okolní otevřená planina je vyznačena bíle, ostatní typy habitatů (různé typy lesa) jsou označeny tmavě šedou.



Obrázek 24. Mapa sjezdovky Hromovka ve Špindlerově Mlýně ukazující plochu s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx, která je vyznačena světle šedým stínem. Lyžařský vlek je vyznačen černě vybarvenými kroužky spojenými černou úsečkou, plocha sjezdovky je pak světlý pruh vedle ní označený zvlněným popisem. Okolní otevřená planina je vyznačena bíle, ostatní typy habitatů (různé typy lesa) jsou označeny tmavě šedou.



Obrázek 25. Mapa sjezdovky Hromovka ve Špindlerově Mlýně ukazující plochu s intenzitou osvětlení $\geq 0,1$ lx, která je vyznačena světle šedým stínem. Lyžařský vleč je vyznačen černě vybarvenými kroužky spojenými černou úsečkou, plocha sjezdovky je pak světlý pruh vedle ní označený zvlněným popisem. Okolní otevřená planina je vyznačena bíle, ostatní typy habitatů (různé typy lesa) jsou označeny tmavě šedou.

5. DISKUSE

Úroveň osvětlení na sjezdovkách se jeví mnohem vyšší než je zapotřebí. Hodnoty, které jsem naměřil, jsou konzistentní s pozorováními Brychtové (2005) a Hollana (2006). Nejvyšší hodnoty získané přímo na sjezdovce byly přes 300 lx, což je mnohem více než doporučené hodnoty, jejichž minima se pohybují na úrovni 0,3 lx a střední hodnota 0,5 lx. Tyto hodnoty preferuje většina lyžařů (Clanton, osobní sdělení, 2002) a můžeme je také doporučit na základě fyziologie vidění i na základě srovnání s obvyklými a s doporučenými intenzitami veřejného osvětlení (sníh osvětlený 0,3 lx má týž jas jako asfalt osvětlený 3 lx), (Brychtová et al., 2005). Pozorování z terénu potvrzuje, že se lyžaři ani těm nejméně osvětleným plochám nevyhýbají.

Průnik světla byl významně ovlivněn vegetačním krytem a to hlavně uzavřeným smrkovým porostem, který vytvářel na okrajích sjezdovek stěnu, jenž se pro šíření světla jevila jako velmi efektivní bariéra. Toto zjištění ukazuje, že by nastavením vhodného managementu okrajových částí lesa mohlo dojít k redukci světelného znečištění v okolí sjezdovek. Zdá se, že nedostatek signifikantních vztahů mezi intenzitou osvětlení na sjezdovce a šířením světla do okolní krajiny, je výsledkem vysoké variability osvětlení na jednotlivých sjezdovkách a relativně nízkou variabilitou mezi nimi. Nicméně, redukce intenzity osvětlení může jasně vést k redukci šíření světla do okolní krajiny (Harisada a Schreuder, 2004) a jistě lze očekávat jiný významný vliv, při deseti až stonásobném snížení hodnoty osvětlení, ke kterému by podle mých měření byl prostor. Z mlhy se vlivem recyklace světla, způsobeným rozptylem na kapičkách vody a vyzářením zpět k zemi, jeví intenzita osvětlení podle mého měření až stonásobně větší než za jasného počasí. Podle Hollana (2006) je tak přirozený stav bezměsíčné noci překračován v takovýchto chvílích až desetitisíckrát. Tyto hodnoty se ale v Krkonoších vyskytují i za střední a nízké oblačnosti (Hollan, 2006). Za mlhy a nízké

oblačnosti by mělo být v Krkonošském národním parku noční lyžování zcela zakázáno, což by napomohlo ke snížení světelného znečištění v KRNAPu.

Projekce intenzity osvětlení ($\geq 0,1$ lx) 1 km dlouhé sjezdovky Hromovka, představuje plochu okolí, ovlivněnou světelným znečištěním s výměrou 0,42 km². Vzhledem k tomu, že je v Krkonošském národním parku 30 km osvětlených sjezdovek, je přímo ovlivněno světelným znečištěním asi 13-15 km² krajiny Krkonoš (přibližně 4 % parku). Tato kalkulace nezahrnuje vliv světla emitovaného do prostoru a rozptýlené nad horami ani vliv protějších kopců. Efekt osvětlení na protější kopce je komplexnější, může být ovlivněn mnoha faktory zejména tvarem údolí, vegetací po obou stranách údolí apod. Tato problematika potřebuje pochopitelně další výzkum. Přesto můžeme zhruba odhadnout, že vzhledem k efektu protějších kopců je pravděpodobně postižená plocha dvojnásobná.

Určení velikosti ovlivněné plochy přímo závisí na zvolené hranici osvětlení, která má pravděpodobné účinky na biologickou aktivitu živočichů a na aktuálním stavu počasí. Hranice 0,1 lx byla zvolena na základě posledních studií a v souladu s intenzitou osvětlení úplňku, který emituje světlo zhruba o této hodnotě a je znám svými biologickými účinky (např. Fernandez-Duque, 2003; Longcore a Rich, 2004; Brychtová at al., 2005; Yamamoto, Takahashi et al., 2008). Předchozí příspěvky naznačují, že k některým biologickým účinkům dochází již při osvětlení intenzitou 10⁻⁵ lx. Je však zapotřebí další šetření, které by zjistilo, jakým způsobem světelné znečištění ovlivňuje konkrétní organismy. K biologickým účinkům nemusí docházet jen konstantním osvětlením, nebo světlem s vysokou intenzitou; dokonce i krátké pulzy, které naruší přirozenou noční periodu, mohou být významné (Chamberlain, 1979; Challet, 2007). Důležité také může být geografické rozložení světelného znečištění. Lineární zdroje znečištění, které můžeme připodobnit k lyžařským sjezdovkám, jako

například osvětlení podél dopravních staveb, můžou ovlivnit načasování kladení vajec u ptáků (Molenaar et al., 2005).

Tyto osvětlené plochy se zpravidla nevyskytují izolovaně, ale jsou obvykle součástí sítě osvětlených plošek. Díky vysoké hustotě populace, která žije ve vesnicích na dnech dlouhých úzkých údolí, vytváří pouliční osvětlení v těchto vesnicích síť osvětlených míst, která více či méně odděluje jednotlivé hřebeny. Osvětlení sjezdovek jsou orientována kolmo na osvětlení v údolích, což dále zvyšuje fragmentaci tmavé neosvětlené krajiny (Obr. 21.).

6. ZÁVĚRY

1) Průměrné intenzity osvětlení se na krkonošských sjezdovkách pohybují okolo 105 lx, měřeno na zemi a 135 lx měřeno 1,5 m nad povrchem, nejvyšší naměřené hodnoty značně přesahují 300 lx. Maximální hodnota činila 390 lx, Benecko - Kejnos. Nejnížší hodnoty byly naměřeny na sjezdovce ve Vítkovcích-Aldrově, kde se průměr pohyboval okolo 15 lx. Na krajích sjezdovky se hodnoty pohybovaly okolo 1 lx. Tato sjezdovka byla hojně využívána lyžaři, kteří se nevyhýbali ani nejméně osvětleným částem. Důvod pro výskyt vyšších hodnot tedy není.

2) Studie ukazuje významný účinek vegetace na snížení světelného znečištění, ke zlepšení stavu by tedy přispěla změna lesnického managementu v okolí sjezdovek. Světlo se nejdále šíří přes otevřenou planinu, o ostatních typech habitatů (mladý hustě zapojený smrkový porost, uzavřený smrkový porost, otevřený smrkový porost) můžeme říci, že jsou rozdíly mezi jejich vlivy na šíření světla podobné. Obecně jimi světlo proniká méně než přes planinu. Ve směru svícení se světlo šíří dále než v proti směru a v 1,5 m nad zemí dále, než při měření na zemi. Plošné mýcení porostu sousedícího se sjezdovkami proto není žádoucí.

3) Na šíření světla se významně podílí vliv mlhy a nízké oblačnosti. Rozdíl v dosvitu světla za jasného počasí a za mlhy je až stonásobný. Případné omezení nočního lyžování za těchto podmínek by bezpochyby přispělo k redukci světelného znečištění.

4) Významným faktorem přispívajícím ke světelnému znečištění je odražející se světlo ze sjezdovek, které dopadá na protilehlé svahy. Průměrná zvýšená intenzita osvětlení na protějších svazích ve vzdálenosti 0,4-2,9 km činí $0,35 \pm 0,57$ lx. Protilehlé kopce jsou tedy zasaženy světlem, jehož hodnota má biologický vliv na organismy.

5) Při celkové délce osvětlených krkonošských sjezdovek, která činí 30 km, svítí sjezdovky na plochu 13 km² (přibližně 4% KRNAPu). Přibližně 1 km dlouhá sjezdovka Hromovka (Špindlerův Mlýn) s průměrnou šířkou 35 m (0,035 km²) svítí na plochu zhruba 0,42 km². Z celkové rozlohy plochy, na kterou osvětlovací soustava přímo svítí, činí sjezdovka jen 8,3 %. Směrování světla by zlepšila správná geometrie svítidel a doplnění soustavy o jednoduché clonící prvky.

6) Z práce plynou následující praktická doporučení

- a) Vzhledem k nevelikým rozměrům Krkonoš by mělo být do budoucna počítáno s osvětlením, které by se pohybovalo mezi 0,3 – 0,5 lx. Takovéto osvětlení by mohlo být dlouhodobě udržitelné.
- b) Lesnický management v okolí sjezdovek by měl podporovat vegetaci omezující šíření světla do okolí.
- c) Mělo by dojít k zákazu používání umělého osvětlení za podmínek podporujících rozptyl světla zejména za mlhy a sněžení.

LITERATURA

ADAMANY, S.L., SALMON M. a WITHERINGTON, B., E., 1997: Behavior of sea turtles at an urban beach:III. costs and benefits of nest caging as a management strategy, Florida scientist 60: 239-253

BAXANT, P., 2003: Užití elektrické energie.VUT, Brno, 136–154.

BEN, C., R. a ELLISON, S., L., 1998: Brightness of the night sky over La Palma, New Astronomy Reviews 42: 503-507

BENNETT, A., T., D. a CUTHILL, I., C., 1994: Ultraviolet vision in birds: What is its function? , Vision Research 34: 1471 - 1478

BERGEN, F. a ABS, M., 1997: Etho-ecological study of the singing activity of blue tit (*Parus caeruleus*), great tit (*Parus major*) and chaffinch (*Fringilla coelebs*). Journal für Ornithologie 138: 451-467.

BORDET, R., DEVOS, D., BRIQUE, S., 2003: Study of circadian melatonin secretion pattern at different stages of Parkinson's disease, Clinical Neuropharmacology 26: 65-72

BOWER, J., 2000: The darkside of light, Audubon, [online], Dostupné na www:
<http://magazine.audubon.org/darksideoflight.html>

BRYCHTOVÁ, J., HOLLAN, J., KRAUSE, J., 2005: Vyhodnocení vlivu umělého osvětlení vybraných lyžařských areálů na přírodu a krajinu území KRNAP a jeho ochranného pásma, Správa KRNAP, 1-70

BUCHANAN, B. W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. *Animal Behaviour*, 45: 893–899.

BUCHANAN, B.W. 1998. Low-illumination prey detection by squirrel treefrogs: *Journal of Herpetology* 32: 270–274.

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: 689-707.

CLANTON, J., 2002: osobní sdělení, dostupné na: <http://amper.ped.muni.cz/jhollan/letters/ski>

DAWSON, A., 2000: The Effects of a Single Long Photoperiod on Induction and Dissipation of Reproductive Photorefractoriness in European Starlings: *General and Comparative Endocrinology* 121: 316 – 324

DERRICKSON, K. C., 1988: Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds, *The Condor* 90: 592 - 606

DODSON S. 1990. Predicting diel vertical migration of zooplankton. *Limnology and Oceanography* 35: 1195–1200.

DRAHOŇOVSKÁ, H., 2004: Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví In: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky, Program výzkumu a vývoje MŽP ČR, Téma VaV/740/3/03, 59-63

DREWIEN, R. C., CLEGG K. R., AND SHEA R. E., 1999: Capturing trumpeter swans by night-lighting: *Wildlife Society Bulletin* 27: 209 – 215

EISENBEIS, G., 2001: Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting Germany In: Ecological Consequences of artificial night lightning (Eds. Rich C. & Longcore T.), Island Press, Washington, 281 - 304

FERNADEZ-DUQUE, E., 2003: Influences of moonlight, ambient temperature, and food availability on the diurnal and nocturnal activity of owl monkeys (*Aotus azarai*): Behavior Ecological Sociobiology 54: 431-440

FINGER, F. a BURKHARDT, D., 1994: Biological aspects of bird colouration and avian colour vision including ultraviolet range, Vision Research 34: 1509 - 1514

GAUTHREAUX, S.A. a BELSER, C.G., 2006: Effects of Artificial Night Lightning on Migrating Birds In: Ecological Consequences of artificial night lightning (Eds. Rich C. & Longcore T.), Island Press, Washington, 67-94

GILBERT B. S., 1991: Effect of moonlight on winter activity of showshoe hares: Arctic and Alpine Research 23: 61-65

GOODSON, J. L., SALDANHA, C. J., HAHN, T. P., SOMA, K. K., 2005: Recent advances in behavioral neuroendocrinology: Insights from studies on birds, Hormones and Behavior 48: 461-473

GORENZEL, W.P. a SALMON T.P., 1995: Characteristics of American Crow urban roosts in California. Journal of Wildlife Management 59: 638-645.

GRANT R. A., CHADWICK E. A., HALLIDAY, T., 2009: The lunar cycle: a cue for amphibian reproductive phenology?, Animal Behaviour 78: 349-357

GRIBAKIN, F., G., ALEKSEYEV, Y., N., A UKHANOV, K., Y., 1996: Spectral sensitivity of white-eyed insect mutants in the UV, blue and green, *Journal of Photochemistry and Photobiology* 35: 13 -18

HAILMAN, J.P. 1984: Bimodal nocturnal activity of the western toad (*Bufo boreas*) in relation to ambient illumination: *Copeia*, 1984: 283–290

HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J, 2001: Fyzika, VUTIUM Brno a Prometheus, 1254

HARDER, B., 2005: Blue light keeps night owls going: *Science* 167: 253-253

HARISADA K., SCHREUDER D, 2004: Light Pollution, Springer Dordrecht, 621

HASTINGS, M., H., REDDY, A., B., MAYWOOD, EL., S., 2003: A clockwork web: circadian timing in brain and periphery, in health and disease: *Nature* 4: 1 - 14

HOLLAN, J., 2001: Schémata tří typů svítidel [online], Dostupné na [www: http://amper.ped.muni.cz/light/schemata](http://amper.ped.muni.cz/light/schemata)

HOLLAN, J. 2004: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky, Program výzkumu a vývoje MŽP ČR, Téma VaV/740/3/03, 115

HOLLAN, J., 2006: Hodnocení osvětlení sjezdovek Protěž a nové části osvětlení sjezdovky Javor, Správa KRNAP, 1-28

CHALKIAS, C., PETRAKIS, M., PSILOGLOU, B., LIANOU, M., 2005: Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS, *Journal of Environmental Management* 79: 57-63

CHALLET, E., 2007: Minireview: Entrainment of the Suprachiasmatic Clockwork in Diurnal and Nocturnal Mammals, *Endocrinology*, 148: 5648-5655

CHAMBERLAIN S. C. AND BARLOW, R. B. Jr., 1979: Light and Efferent Activity Control Rhabdom Turnover in *Limulus* Photoreceptors: *Science* 206: 361-363

JAEGER RG, HAILMAN J.P. 1973. Effects of intensity on the phototactic responses of adult anuran amphibians: a comparative survey, *Zeitschrift für Tierpsychologie* 33: 352–407

JAEGER RG, HAILMAN J.P. 1974. Phototactic responses to spectrally dominant stimuli and use of colour vision by adult anuran amphibians: A comparative survey, *Animal Behaviour* 22: 757-795.

JAMES, D., JARRY, G., ÉRARD, CH., 1999: Effet de la lune sur la migration postnuptiale nocturne de l'alouette des champs *Alauda arvensis* L. en France, *Life science* 323: 215 - 224

KAVANAU, J. L., RISCHER, C. E., 2008: Optimum Illumination for Ground Squirrel Activity, *Oecologia* 8: 391–399

KING, D., T., ANDREWS, K., J., KING, J., O., FLYNT, R., D., and GLAHN, J., F., 2008: A night technique for capturing cormorants: *Journal of Field Ornithology* 65: 254-257

LE CORRE, M., OLLIVIER, A., RIBES, S., AND JOUVENTIN, P., 2000: Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean), *Biological conservation* 105: 93-102

LONGCORE, T. AND RICH, C., 2004: Ecological light pollution, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 191-198

LOWRY, M., WILLIAMS, D., METTI, Y., 2007: Lunar landings—Relationship between lunar phase and catch rates for an Australian gamefish-tournament fishery, *Fisheries Research* 88: 15-23

MARKOVÁ, L. a VYORALOVÁ, Z., 1979: Technická zařízení budov 40 (Umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody), ČVUT, 75

MIYAMOTO, A., OKI, J., TAKAHASHI, S., a OKUNO, A., 1999: Serum melatonin kinetics and long-term melatonin treatment for sleep disorders in Rett syndrome, *Brain and Development* 21: 59-62

MOLENAAR, J.G., SANDERS, M.E., JONKERS, D.A., 2005: Road lighting and Grassland Birds: Local influence of Road lighting on a Black – Tailed Godwit population: In: *Ecological Consequences of artificial night lightning* (Eds. Rich C. & Longcore T.), Island Press, Washington, 114-136

PEDANI, M., 2004: Light pollution at the Roque de los Muchachos Observatory, *New Astronomy* 9: 641-650

PLACYK, J. S. a GRAVES, B. M., 2001: Foraging Behavior of the Red-Backed Salamander (*Plethodon cinereus*) under Various Lighting Conditions, *Journal of herpetology* 35: 521-52

POSPÍŠIL, J., 1999: Základy fotonové optiky I. Vlastnosti fotonu a fotonového proudu, VUP Olomouc, 126

OGDEN, L., J., E., 1996: Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds, Toronto: World Wildlife Fund Canada and Fatal Light Awareness Program.

PERRY, G. A BUDEN D. W, 1999: Notes on the ecology, behavior, and color variation

of the green tree skink, *Lamprolepis smaragdina* (Lacertila: Scincidae). *Micronesica*. 31: 263–273.

POLLARD, A., 2006: Artificial night lightning and birds: Proceedings of the Dark-Skies Symposium, Portsmouth, UK, Cardiff School of Biosciences, 20-25

RABAZZA, O., GALADI-ENRIQUEZ, D., ESTRELLA, A., E., a DOLS, F., A., 2010: All-Sky brightness monitoring of light pollution with astronomical methods, *Journal of Environmental Management* 91: 1278-1287

RAHMAN M. S., TAKEMURA A., TAKANO, K., 2000: Lunar synchronization of testicular development and steroid genesis in rabbitfish: *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 129: 367 – 373

REPPERT, S. M. a WEAVER, D. R., 2001: Molecular analysis of mammalian circadian rhythms, *Annual Review of Physiology* 63: 647-676

RIOU, S., and HAMER, C., H., 2008: Predation risk and reproductive effort: impacts of moonlight on food provisioning and chick growth in Manx shearwaters, *Animal Behaviour* 76: 1743-1748

SALMON, M. and REINERS, R., 1995: Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement, *Journal of Herpetology* 29: 560-567.

STEVENS, R., G., 2009: Working against our endogenous circadian clock: Breast cancer and electric lighting in the modern World, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 680: 106-108

STONE, E. L., JONES, G., HARRIS, S., 2009: Street Lighting Disturbs Commuting Bats, *Current biology* 19: 1123 – 1127

- SUMMERLIN and WOLFE, 2004: The influence of lunar light on nocturnal activity of the old-fieldmouse, *Animal behaviour* 37: 410 - 414
- SUMOVÁ, A., ILLNEROVÁ, H., 2005: Effect of photic stimuli disturbing overt circadian rhythms on the dorsomedial and ventrolateral SCN rhythmicity, *Brain Research* 1048: 161-169
- TAKAHASHI, J., S., HONG, H., K., KO, C., H., McDEARMON, E.,L., 2008: The genetics of mammalian circadian order and disorder: implications for physiology and disease: *Nature* 9: 764 - 775
- TUXBURY, S. M., SALMON, M., 2004: Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during sea finding by hatchling marine turtles: *Biological Conservation* 121: 311–316
- VLKOVÁ, E., DOŠKOVÁ, H., 2004: Umělé osvětlení a oko In: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky, Program výzkumu a vývoje MŽP ČR, Téma VaV/740/3/03, 64 – 67
- WITHERINGTON, B.E. and MARTIN, R.E., 1996: Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches. Florida Marine Research Institute Technical Reports 2: 73
- WIRZ-JUSTICEA, A., GRAW, P., KRÄUCHI, K., SARRAFZADEH, A., ENGLISH, J., ARENDT, J., a SAND, L., 1996: ‘Natural’ light treatment of seasonal affective disorder, *Journal of Affective Disorders* 37: 109-120
- WOLFE, J.L. AND SUMMERLIN, C.T., 1989: The influence of lunar light on nocturnal activity of the old-field mouse, *Animal Behaviour* 37: 410-414

YAMAMOTO, T., TAKAHASHI, A., YODA, K., et al., 2008 :The lunar cycle affects at-sea behaviour in a pelagic seabird, the streaked shearwater, *Calonectris leucomelas*, *Animal Behaviour* 76: 1647-1652

ZISAPEL, N., 2001: Circadian rhythm sleep disorders: pathophysiology and approaches to management, *CNS Drugs* 15: 311-328

INTERNETOVÉ ZDROJE

Internet (1) <http://www.chmu.cz/meteo/ok/infklim.html>

Internet (2) <http://www.holidayinfo.cz/zima/>

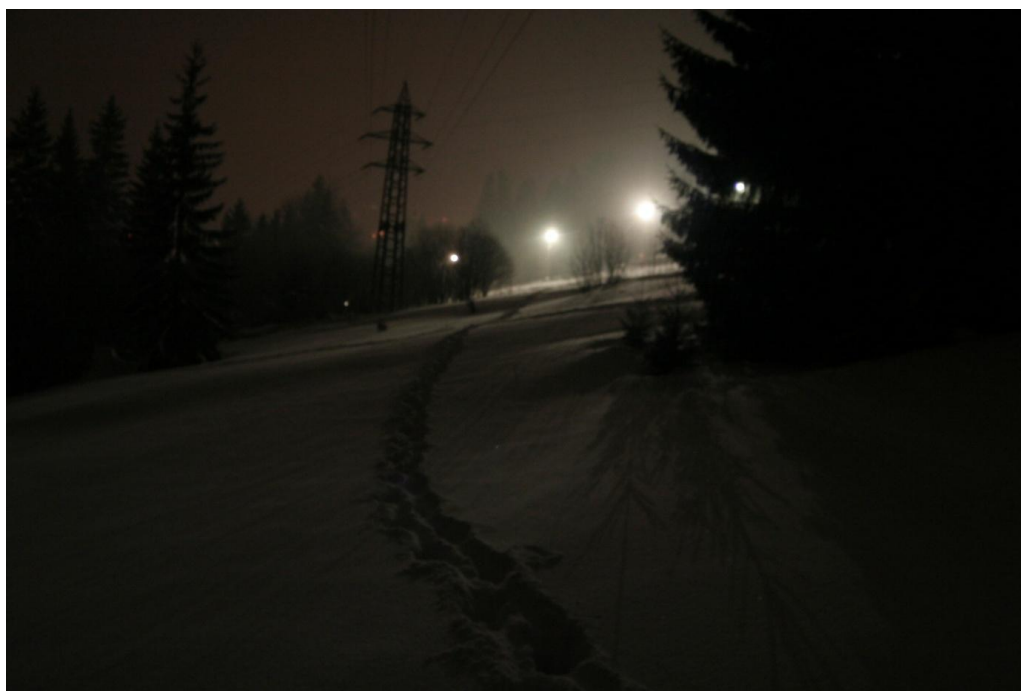
Internet (3) <http://www.mapy.cz/>

Internet (4) <http://www.krkonose.eu/index.php?s=zonykrnap&lang=1>

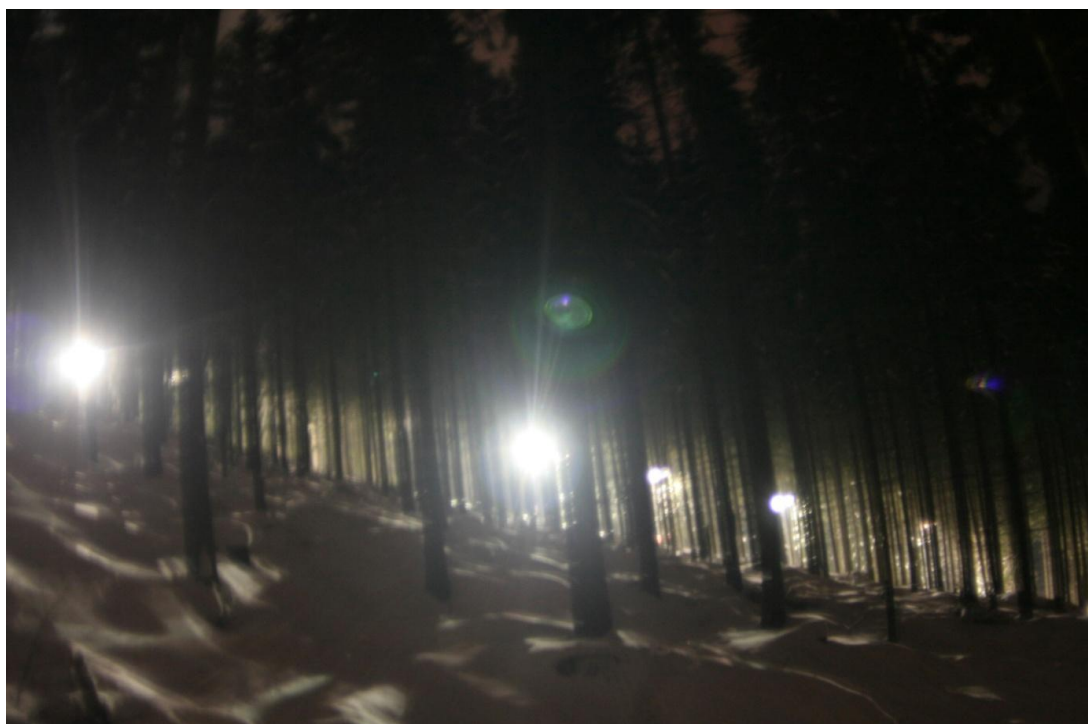
PŘÍLOHY



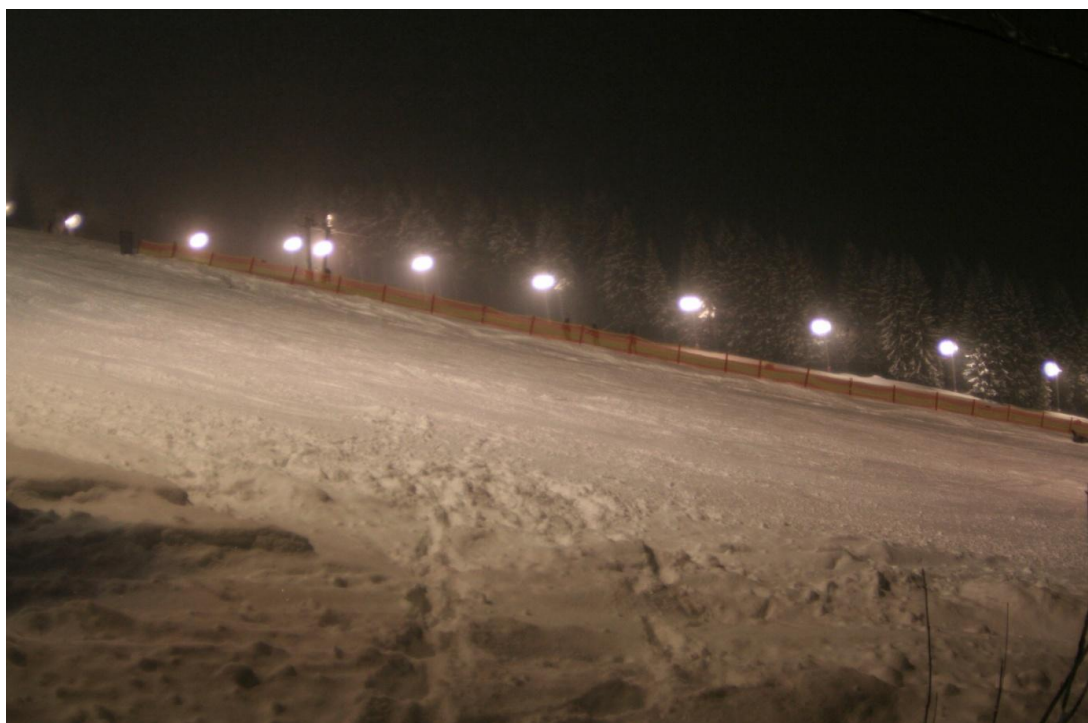
Příloha 1. Špindlerův Mlýn – Hromovka (foto. Luděk Bujalský)



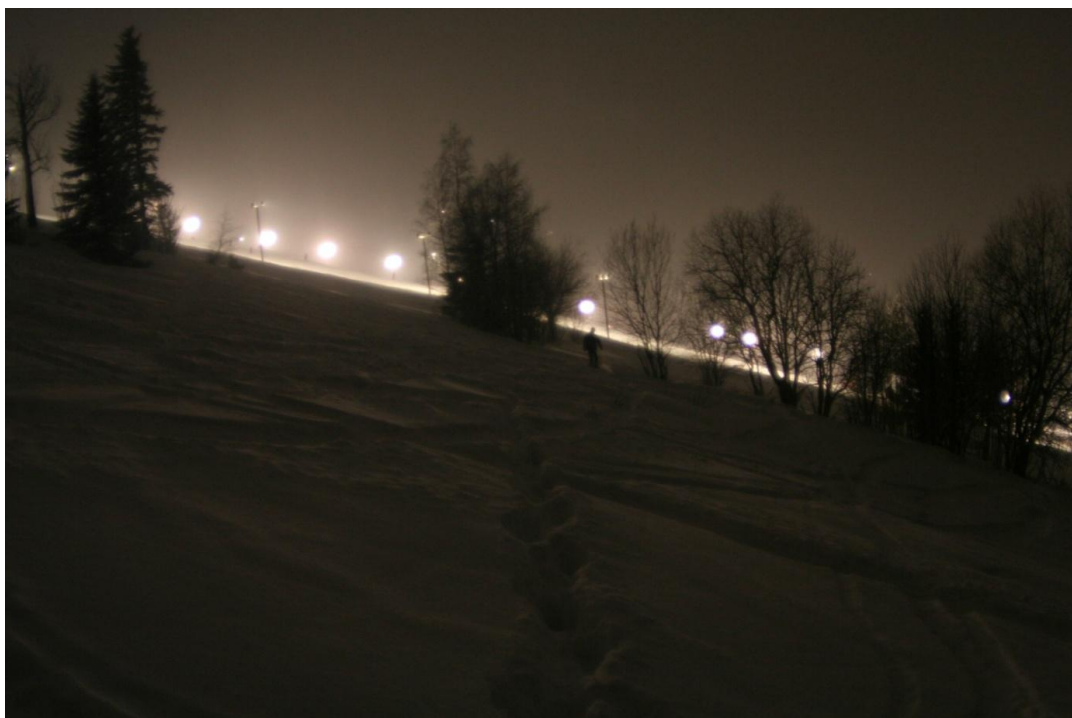
Příloha 2. Špindlerův Mlýn – Hromovka (foto. Luděk Bujalský)



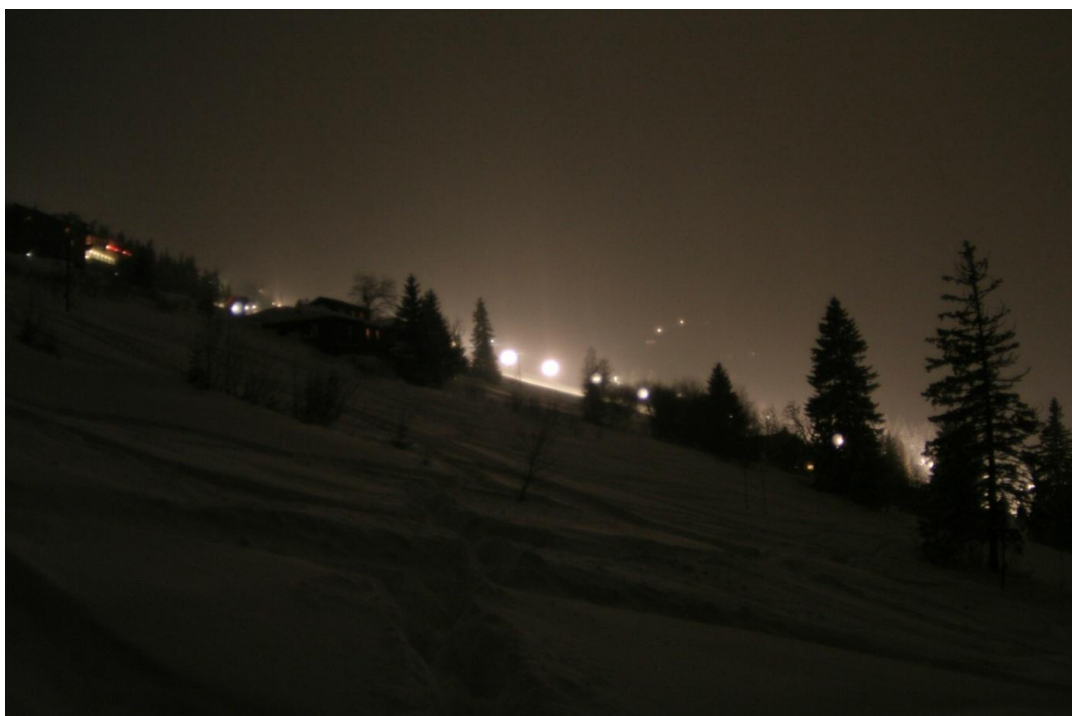
Příloha 3. Špindlerův Mlýn – Hromovka (foto. Luděk Bujalský)



Příloha 4. Pec pod Sněžkou – Javor (foto. Luděk Bujalský)



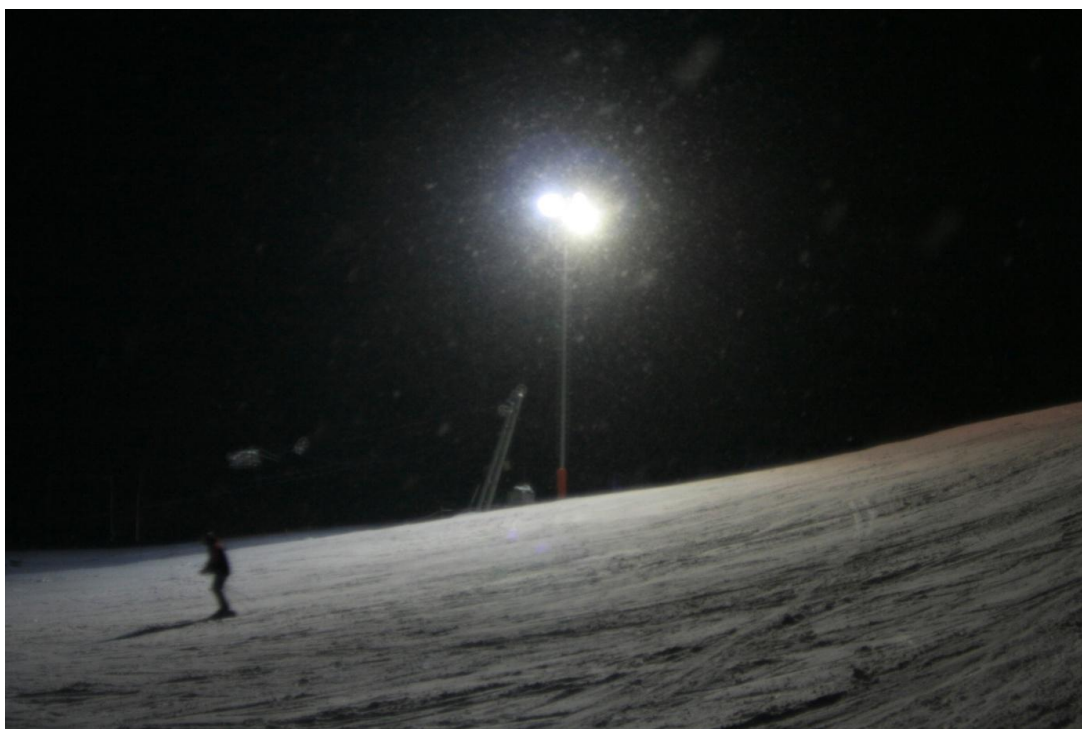
Příloha 5. Pec pod Sněžkou – Javor (foto. Luděk Bujalský)



Příloha 6. Pec pod Sněžkou – Javor (foto. Luděk Bujalský)



Příloha 7. Pec pod Sněžkou – Javor (foto. Luděk Bujalský)



Příloha 8. Herlíkovice - Hromovka (foto. Luděk Bujalský)

