

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD

Vliv charakteru vegetace na výskyt tetřívka
obecného v Krkonošském národním parku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Ing. Vítězslav Moudrý, Ph.D.

Bakalant: Marie Čekanová

2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marie Čekanová

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

Vliv charakteru vegetace na výskyt tetřívka obecného v Krkonošském národním parku

Název anglicky

Effect of vegetation structure on the occurrence of black grouse in the Krkonoše National Park

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je posoudit vliv struktury vegetace na výskyt tetřívka obecného v Krkonošském národním parku. Formulace dílčích cílů je úkolem autorky.

Metodika

Druhová diverzita je celosvětově ohrožena neustále rostoucími environmentálními změnami způsobenými člověkem. Abychom mohli druhy účinně chránit, je třeba znát jejich biotopové nároky. Nicméně sběr dat o struktuře biotopů je časově náročný a tudíž omezený svým prostorovým rozsahem. Současné metody dálkového průzkumu Země umožňují monitoring rozsáhlých oblastí a tím překonání omezení, které má terénní sběr dat. Mezi v poslední době často využívaná data patří bodová mračna získaná z leteckého laserového skenování, která umožňují detailní popis vertikální a horizontální struktury vegetace.

Úkolem autorky bude vypočítat základní charakteristiky vegetace v Krkonošském národním parku a s využitím techniky modelování druhové distribuce prozkoumat vztahy mezi vertikální a horizontální strukturou prostředí a výskytem tetřívka obecného. Náplní literární rešerše bude zejména možné využití leteckého laserového skenování pro popis struktury vegetace a praktická aplikace v modelech druhové distribuce.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

Formulace klíčových slov je úkolem autorky.

Doporučené zdroje informací

- Assmann, J. J., Moeslund, J. E., Treier, U. A., & Normand, S. (2022). EcoDes-DK15: high-resolution ecological descriptors of vegetation and terrain derived from Denmark's national airborne laser scanning data set. *Earth System Science Data*, 14(2), 823-844.
- Bakx, T. R., Koma, Z., Seijmonsbergen, A. C., & Kissling, W. D. (2019). Use and categorization of light detection and ranging vegetation metrics in avian diversity and species distribution research. *Diversity and Distributions*, 25(7), 1045-1059.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., & Harding, D. J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience*, 52(1), 19-30.
- Moudrý, V., Cord, A. F., Gábor, L., Laurin, G. V., Barták, V., Gdulová, K., ... & Wild, J. (2023). Vegetation structure derived from airborne laser scanning to assess species distribution and habitat suitability: The way forward. *Diversity and Distributions*, 29(1), 39-50.
- Moudrý, V., Moudrá, L., Barták, V., Bejček, V., Gdulová, K., Hendrychová, M., ... & Šálek, M. (2021). The role of the vegetation structure, primary productivity and senescence derived from airborne LiDAR and hyperspectral data for birds diversity and rarity on a restored site. *Landscape and Urban Planning*, 210, 104064.
- Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54(2-3), 68-82.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Vítězslav Moudrý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 16. 2. 2023

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Vliv charakteru vegetace na výskyt tetřívka obecného v Krkonošském národním parku* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne __.__.2023

.....
Marie Čekanová

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vítězslavu Moudrému, Ph. D. za odborné vedení, za pomoc při zpracování dat a rady při zpracování této práce. Dále tímto děkuji své rodině a nejbližším za psychickou podporu během celého studia a při tvorbě této práce.

Abstrakt

Neustále rostoucí člověkem způsobené enviromentální změny celosvětově ohrožují druhovou diverzitu. V důsledku lidských aktivit se biologická rozmanitost snižuje. Proto je ochrana biodiverzity klíčová pro udržitelný rozvoj a zachování přírodních ekosystémů pro budoucí generace. Letecké laserové skenování je jednou z dlouhodobě vyvíjených metod dálkového průzkumu Země, která umožňuje monitoring rozsáhlých oblastí a tím překonání časově náročného terénního sběru dat. Bodová mračna získaná z leteckého laserového skenování detailně popisují vertikální a horizontální strukturu vegetace a zároveň umožňují sběr dat o topografii terénu, což může být důležité pro identifikaci biotopů a biotopových nároků různých organismů. Tato bakalářská práce se zabývá využitím dat leteckého laserového skenování pro studium biotopových nároků výskytu tetřívka obecného v oblasti Krkonošského národního parku v České republice a na území Polska. Cílem práce bylo odvození charakteristik terénu a struktury vegetace a posouzení jejich vlivu na výskyt tetřívka obecného. Vliv uvedených charakteristik byl posouzen pomocí Boosted regression trees modelů. Vytvořený model vysvětlil celkem 57,2 % z celkové variability. Nejvýznamnějším prediktorem byla nadmořská výška, která vysvětlila 74 % z celkové variability. S jejím nárůstem se zvyšovala i pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného. Dalším významným prediktorem byl 50 % percentil odrazů od vegetace, který vysvětlil 26 % vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného výrazně klesala se zvyšující se hodnotou 50 % percentilu, přičemž nejvýraznější pokles byl zaznamenán mezi 5-10 m. Ostatní prediktory (hustota bylinného a keřového patra) měly jen slabý pozitivní vliv na výskyt tetřívka obecného. Výsledky této práce potvrzují, že data leteckého laserového skenování jsou vhodná a lze je doporučit pro studium biotopových nároků organismů.

Klíčová slova: LiDAR, ALS, struktura vegetace, tetřívka obecná, KRNP

Abstract

Ever-increasing human-induced environmental changes are threatening species diversity worldwide. Biodiversity is declining as a result of human activities. Therefore, biodiversity conservation is crucial for sustainable development and the preservation of natural ecosystems for future generations. Airborne laser scanning is one of the long-developed methods of remote sensing of the Earth that allows monitoring of large areas, thus overcoming time-consuming field data collection. Point clouds obtained from airborne laser scanning detail the vertical and horizontal structure of vegetation while allowing the collection of data on the topography of the terrain, which can be important for identifying habitats and habitat requirements of different organisms. This bachelor thesis deals with the use of airborne laser scanning data for the study of habitat requirements of the common grouse in the Krkonoše National Park in the Czech Republic and Poland. The aim of the thesis was to derive terrain characteristics and vegetation structure and to assess their influence on the occurrence of common grouse. The influence of these characteristics was assessed using Boosted Regression Trees models. The developed model explained a total of 57.2% of the total variability. The most significant predictor was altitude, which explained 74% of the total variability. It increased with increasing the likelihood of the occurrence of common grouse increased. The next significant predictor was the 50% percentile of reflections from vegetation, which explained 26% of the explained variability. The probability of common grouse occurrence decreased significantly with increasing 50% percentile value, with the most significant decrease observed between 5-10 m. Other predictors (herb and shrub density) had only a weak positive effect on the occurrence of common grouse. The results of this work confirm that airborne laser scanning data are suitable and can be recommended for studying the habitat requirements of organisms.

Key words: LiDAR, ALS, vegetation structure, Lyrurus Tetrix, KRNAP

Obsah

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	1
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	2
2.1 Dálkový průzkum Země	2
2.1.1 LiDAR	2
2.1.2 Letecké laserové skenování	4
2.2 ALS a jeho využití pro mapování struktury vegetace	5
2.3 Ekologická nika	7
2.3.1 Mezidruhová interakce	8
2.3.2 Významné biotické faktory ekologické niky	8
3. METODIKA	10
3.1 Charakteristika zájmového území	10
3.2 Charakteristika zájmového druhu	11
3.3 Charakteristika vstupních dat	13
3.3.1 Nálezová data	13
3.3.2 Data leteckého laserového skenování	14
3.4 Použitý software	16
3.5 Zpracování dat	16
3.5.1 Úprava nálezových dat	16
3.5.2 Zpracování dat leteckého laserového skenování	17
3.6 Tvorba prediktorů	22
3.7 Výběr prediktorů	23
3.8 Model vlivu prostředí na výskyt tetřívka obecného	25
3.8.1 Boosted regression trees model	25
3.8.2 Tvorba BRT modelu pro celé území KRNAP	25
3.8.3 Tvorba BRT modelu pro nadmořskou výšku nad 800 m	26

4.	VÝSLEDKY	28
4.1	Celé území KRNAP	28
4.2	Nadmořská výška nad 800 m	29
5.	DISKUZE	33
6.	ZÁVĚR	35
7.	POUŽITÁ LITERATURA	36
8.	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	40

Seznam zkratek

LiDAR	Light detection and ranging
DPZ	Dálkový průzkum Země
ALS	Airbone laser scanning
FWD	Full waveform
GPS	Global positioning systém
DTM	Digital terrain model
CHM	Canopy height model
AUC	Area under the curve
KRNAP	Krkonošský národní park
BRT	Boosted regression trees

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Krkonošský národní park je důležitým územím pro mnoho vzácných a chráněných druhů, včetně ptáků, které je třeba chránit, aby měli šanci v této oblasti přežít (FLOUSEK, J., et al., 2015). Jedním z důležitých ohrožených druhů, který vyžaduje ochranu je tetřívka obecná (*Lyrurus tetrix*). V České republice přežívá už jen v Krkonoších, Jizerských a Krušných horách, nicméně s poklesem výskytu o 40–60 % od roku 2000 (FLOUSEK, J., 2019). Významným faktorem pro jeho přežití je ochrana jeho biotopů, z tohoto důvodu je důležité mít podrobnou znalost o jeho ekologické nise a vhodných lokalitách pro jeho přežití (SVOBODOVÁ, J., et al., 2011). Nicméně sběr dat o biotopech je časově náročný a omezený svým prostorovým rozlišením. Naopak data dálkového průzkumu Země dokáží pokrýt velké oblasti s minimálním narušením přírodního prostředí a mohou tak překonat omezení, která má právě terénní sběr dat. Pro zkoumání biotopů se často využívá leteckého laserového skenování, které umožňuje detailní popis vertikální a horizontální struktury vegetace (BAKX, T. R. M., et al., 2019). Data leteckého laserového skenování mají velký potenciál v ekologii, zejména pro hodnocení kvality biotopů, jelikož poskytují podrobné informace o struktuře vegetace (MOUDRÝ, V., et al., 2023). V kombinaci s daty o výskytu druhů je možné je využít pro modelování rozšíření druhů. Výskyt tetřívka obecného v Krkonoších je zdokumentován v relativně nedávném atlase ptáků Krkonoš. Sběr dat pro atlas ptáků Krkonošského národního parku byl proveden ve stejnou dobu jako nálet leteckým laserovým skenováním, což nám přináší příležitost posoudit jak jsou známé nároky tetřívka obecného vyhodnotitelné z bodových mračen leteckého laserového skenování a posoudit jejich vhodnost pro mapování vhodných biotopů na celém území Krkonošského národního parku.

Hlavním cílem práce je posouzení vlivu struktury vegetace a terénu na výskyt tetřívka obecného na území Krkonošského národního parku. Dílčí cíle zahrnují (i) výpočet proměnných terénu a struktury vegetace, (ii) vybrání vhodných prediktorů a (iii) tvorbu modelu závislosti výskytu tetřívka obecného na vybraných prediktorech.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (dále jen „DPZ“) je způsob získávání informací měřením prováděným z určité vzdálenosti od objektu bez přímého kontaktu s ním. DPZ není omezen jen studiem Země, ale zahrnuje i průzkum Měsíce, ostatních planet sluneční soustavy, či hvězdných a galaktických jevů z velkých vzdáleností (CAMPBELL, J. B., et al., 2011). Nejčastějším prostředkem DPZ jsou družice nesoucí různé senzory, jež shromažďují potřebné informace a přenášejí je zpět na Zemi pomocí komunikačního spoje. Významným aspektem jsou i nosiče, které jsou umístěny na obtížně přístupných místech. Mohou to být například bóje ukotvené na moři nebo unášené meteorologické balóny v těžko přístupném prostředí jako je Arktida či poušť (CRACKNELL, A. P., 2007).

Globální pokrytí patří mezi hlavní výhody DPZ, kdy umožňuje pozorovat Zemi jako celek a zpřístupňuje tak získávání informací o celosvětových trendech a procesech, které by jinak mohly uniknout pozornosti. DPZ je zároveň rychlým a efektivním sběrem dat, což zajišťuje vědcům a úřadům rychle reagovat na různé situace. Zároveň poskytuje obrovské množství dat, která jsou užitečná pro mnoho aplikací, včetně předpovědi počasí, monitorování změn v krajině (např. různé přírodní katastrofy), klima, geologie, hydrologie a mnoho dalšího (ROUGHGARDEN, J., et al., 1991).

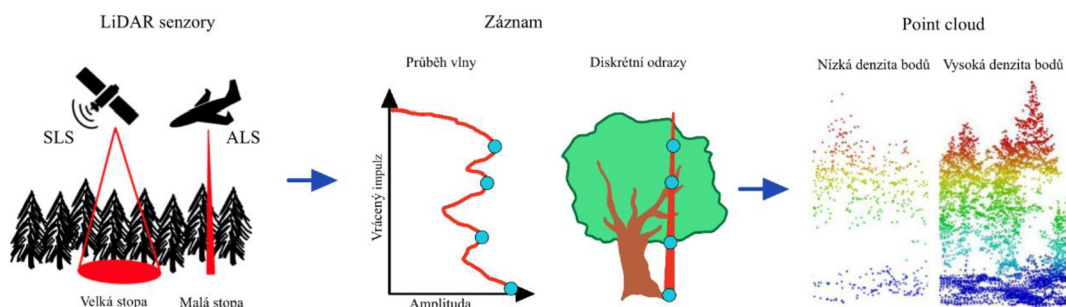
2.1.1 LiDAR

LiDAR (light detection and ranging) je technologie DPZ, která slouží k 3D mapování, či tvorbě výškopisného modelu prostřednictvím dat získaných laserovým skenováním. Konstrukce LiDARu se skládá z laserového zařízení, optické soustavy, mechanického prvku, detektoru elektromagnetického záření a z velmi přesných hodin (DOLANSKÝ, T., 2004; HERITAGE, G. L., et al., 2009).

LiDAR je aktivním snímacím senzorem, který využívá laserový paprsek k vysílání krátkých pulzů světla a následně detekuje odražený signál od předmětů v okolí. Rozlišujeme dva způsoby, kterými dokážeme měřit vzdálenost pomocí této technologie. První metodou je Time pulse method – time of flight (dále už jen „TOF“), která funguje na principu, že laser vystřelí pulz, který se setká s překážkou v daném prostoru, kde se odrazí a vrátí se zpět. Z toho jak dlouho letěl tam i zpět

se spočítá vzdálenost. Výpočet vzdálenosti z této metody se provádí pomocí vzorce, kdy rychlost světla se vynásobí s časem, který je vydělený hodnotou 2, jelikož se tato vzdálenost musela urazit 2krát (tam a zpět). Aby bylo měření vzdálenosti rychlé a přesné, LiDAR používá laserové impulsy, které jsou velmi krátké a mají vysokou energii. Tím se zaručí, že impuls bude detekován předtím, než se rozptýlí nebo bude vytlačen jinými signály v prostoru. TOF metoda se využívá zejména pro letecké skenování. Druhá metoda je Phase comparison method (dále už jen „CW“), která pracuje s kontinuálním světelným signálem, nikoli s krátkými pulzy, jako u metody TOF. Princip této metody spočívá v porovnávání fáze kontinuálního světelného signálu vysílaného z LiDARu s fází signálu odraženého od překážky, jakmile se signál odražený od překážky vrátí zpět k detektoru. Rozdíl mezi fázemi těchto signálů se pak používá k výpočtu vzdálenosti k překážce. CW metoda je oproti TOF energeticky náročná, jelikož kontinuálně vysílá energii, z tohoto důvodu se metoda využívá pro malé vzdálenosti, například pro terestrické měření (DOLANSKÝ, T., 2004; SHAN, J., et al., 2018; HERITAGE, G. L., 2009).

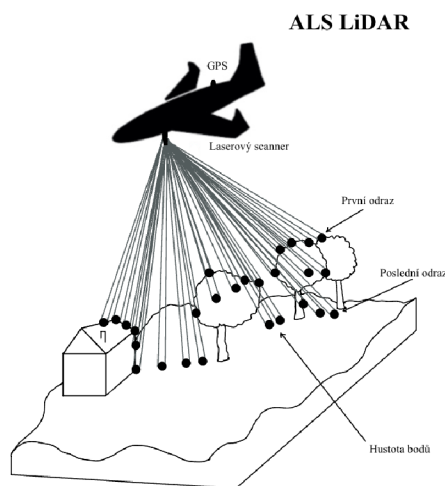
Proces laserového skenování zahrnuje několik klíčových parametrů. Laserová stopa pro danou letovou výšku je závislá na divergenci laserového paprsku a úhlu skenování. Důležitá je i hustota bodového mračka. Hustota bodů se odvíjí od použitého skeneru a rychlosti letounu nad zemí. Skenování může být jednosměrné nebo obousměrné za pomoci využití oscilujících zrcadel, která vytvářejí klikatou čáru, rovnoběžné čáry nebo oblouky (WEHR, A., et al., 1999). Lasery se umísťují na satelity či letadla a data se zaznamenávají v podobě plného průběhu vlny (FWD) či jako diskrétní odrazy (tj. návraty). V druhém případě je výsledným produktem mračno bodů (dále jen „point cloud“), které se skládá ze souřadnic bodů (x, y, z) spolu s nízkou či vysokou hustotou bodů. Ve většině případů se využívá blízkého infračerveného světla, které částečně skrz mezery ve vegetaci a umožňuje tak měřit strukturu koruny stromů a zároveň i strukturu pod nimi (BAKX, T. R. M., et al., 2019), viz obrázek č. 1.



Obrázek č. 1: Znárodnění postupu získání mračna bodů z LiDAR

2.1.2 Letecké laserové skenování

Letecké laserové skenování (dále jen „ALS“) je jednou z dlouhodobě vyvíjených metod DPZ, která využívá vrtulník nebo letadlo jako platformu, na níž je umístěn laserový senzor.



Obrázek č. 2: Letecké laserové skenování pomocí LiDAR

ALS kombinuje několik přístrojů. Klíčovým přístrojem je samozřejmě samotný laserový skener, který vysílá vysokou rychlostí laserové impulzy (zpravidla desetitisíce až statisíce impulzů za sekundu), směřované pod různými úhly k zemskému povrchu za pomoci rotujícího či oscilujícího zrcadla (WEHR, A., et al., 1999). Laserový impulz odražený od pevných překážek je následně zachycován citlivým detektorem, kdy z každého impulzu je zaznamenáván jeden či více odrazů, přičemž poslední odraz zpravidla pochází od terénu. Je důležité mít na paměti, že poslední odraz paprsku nemusí vždy znamenat povrch terénu, ale může být odrazem od větších objektů nad terénem. To může ovlivnit přesnost výsledného 3D modelu, zejména pokud jsou tyto objekty umístěny blízko k povrchu terénu a mají výraznou výškovou změnu (GOJDA, M., et al., 2013). Skener je instalován v letadle,

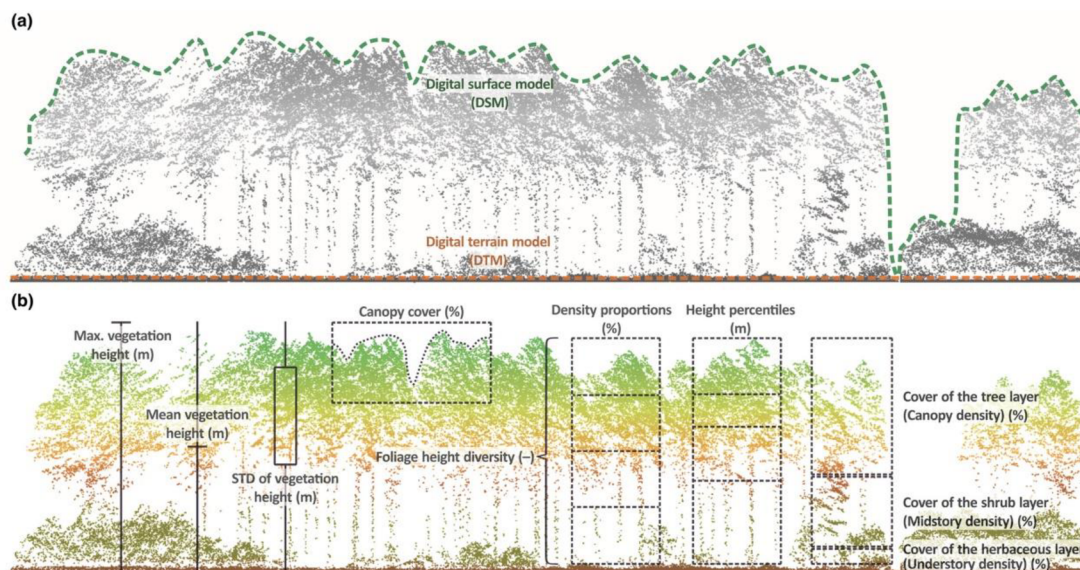
případně vrtulníku vybaveném přijímačem globálního polohového systému (dále jen „GPS“) a využívá přitom také síť referenčních pozemních stanic k přesnému určení polohy letounu. Letoun navíc disponuje inerciálním navigačním systémem, který s vysokou přesností udržuje spolu s GPS letadlo v předem určené dráze letu. To vše umožňuje rychlý sběr georeferencovaných dat na velkých plochách. Data jsou skenována ve vzájemně se překrývajících pásech/průletech, které se potom vzájemně doplňují. Velmi zjednodušeně můžeme ALS přirovnat k totální stanici, která dokáže měřit jednotlivé body obrovským tempem a zároveň přitom létat nad krajinou. Doplňkem uvedené sestavy prvků LiDARových systému bývá ještě fotografická kamera pevně zabudovaná do podlahy letounu, která pořizuje paralelní měřické snímky laserem skenovaného území, a spíše výjimečně je součástí multi/hyperspektrální senzor (GOJDA, M., et al., 2013). ALS stejně jako i jiné aktivní senzory není závislé na slunečním světle, díky tomu lze provádět měření kdykoliv během dne (DOLANSKÝ, T., 2004). Omezení, které je vhodné zohlednit při plánování konkrétního letu, je přítomnost oblačnosti, sněžení, deště, mlhy či kouře. Laserové paprsky také nepronikají pevným materiálem, jako je tomu třeba u zemského povrchu. LiDARovou metodou tedy nelze odhalit objekty, které jsou plně zahloubené pod povrchem (GOJDA, M., et al., 2013).

2.2 ALS a jeho využití pro mapování struktury vegetace

Terénní sběr dat je náročný svým časovým a prostorovým rozlišením. Vlivem těchto omezení se data ALS široce uplatňují svým využitím v lesnictví, zemědělství a ekologii k měření trojrozměrné struktury lesa, zejména kvůli monitoringu rozsáhlých oblastí a detailnímu popisu struktury vegetace a terénu (Maltamo et al., 2014). Ekologové již dlouhou dobu chápou, že přítomnost jistých organismů a celková bohatost komunit živočichů může být značně závislá na trojrozměrném prostorovém rozložení vegetace (LEFSKY, M. A., 2002). Například pro rozmanitost ptačích druhů z hlediska poskytování úkrytu, potravy a stanoviště pro hnízdění je významná struktura vegetace, která se dá rozdělit na vertikální a horizontální struktura vegetace, která se získávají z dat ALS (MELIN, M., et al., 2018; MOUDRÝ, V., et al., 2023; WEHR, A., et al., 1999).

Horizontální vegetační struktura popisuje uspořádání rostlinného pokryvu v prostoru a zároveň jeho hustotu. Z point cloud se dá získat prostřednictvím modelu výšek struktury vegetace (Canopy height model), který se vypočítává z digitálního modelu

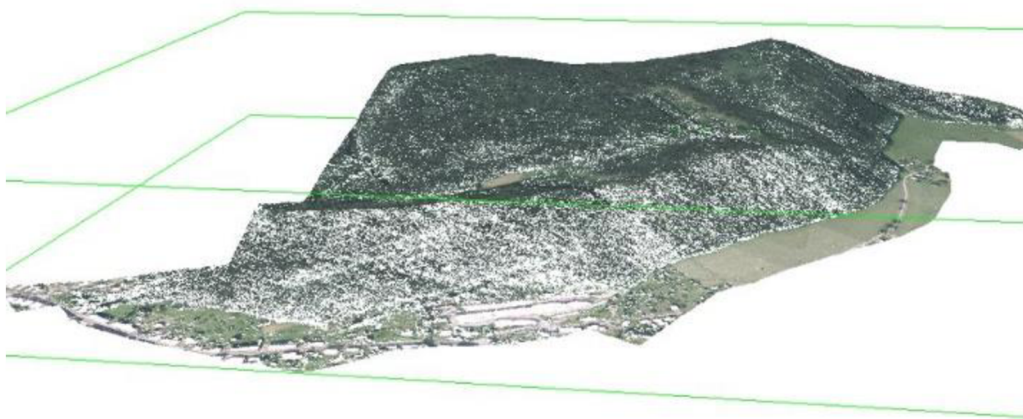
terénu, jež zobrazuje nadmořské výšky, právě odečtením od digitálního modelu povrchu, který zobrazuje vegetaci, stavby a další prvky, které se nacházejí na povrchu. Výsledné normalizované bodové mračno s hodnotami pokryvu výšek vegetace není ovlivněno nadmořskou výškou terénu. Vertikální struktura vegetace umožňuje popis výšky a vrstevnatosti její rostlinné struktury. Zejména umožňuje rozdělení struktury vegetace na jednotlivá patra (např. bylinné, keřové a stromové), která jsou důležitá pro diverzitu ptáků (MELIN, M., et al., 2018).



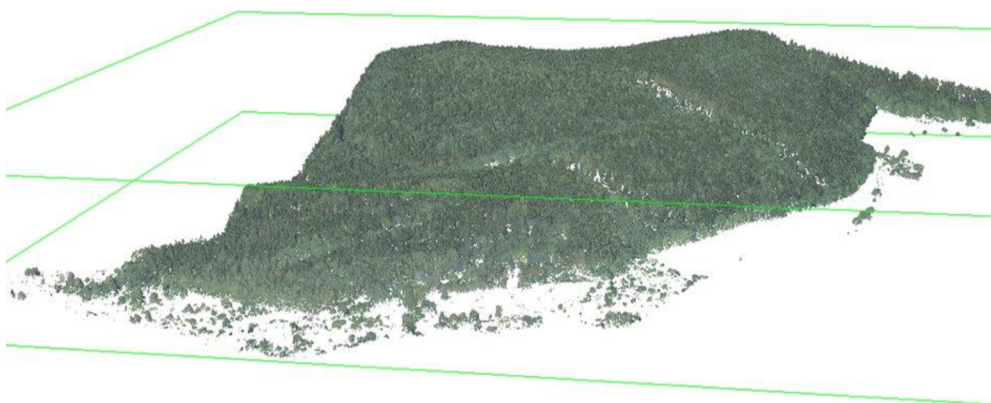
Obrázek č. 3: Rozložení point cloud vertikální a horizontální struktury vegetace (MOUDRÝ, V., et al., 2023)

Mapování výšky vegetace z ALS může být provázáno jistými problémy, kdy určení výšky zemského povrchu je obtížné pro LiDAR s diskretní zpětnou vazbou, tak i pro záznam s tvarem vlny. Pokud je vegetace na zemském povrchu velmi hustá, čímž zakrývá zemský povrch, mohou být navraceny výšky, které se jeví jako zemský povrch (GOJDA, M., et al., 2013). Druhým problémem je detekce nejvyšší části korun jednotlivých stromů. U diskretního návratu musí být velmi vysoká hustota stopy, aby bylo zajištěno nasnímání nejvyšší části korun jednotlivých stromů, pokud jsou koruny stromů příliš vysoké, může být nutné použití více laserových paprsků, což může být nákladné a časově náročné. Pro plný záznam vlny se osvětluje velká stopa, což zvyšuje pravděpodobnost, že se laser dostane až na horní části stromů. Detekce horní části koruny může být obtížná, jelikož tato část může být příliš malá na to, aby se zaznamenala jako signál. Tudíž by vegetace mohla být opět podhodnocena, pokud se horní část koruny nedetekuje (LEFSKY, M. A.,

2002). Point cloud získaný prostřednictvím ALS umožňuje oddělení pozemních a vegetačních prvků, což se provádí na základě klasifikace. Klasifikování pozemních bodů se provádí pomocí algoritmů, zatímco rozdělování různých vegetačních tříd vykonává strojové učení pod dohledem. Klasifikace umožňuje výpočet deskriptorů struktury terénu z pozemních bodů a vegetace z bodů, které se nachází nad terénem a jsou tak klasifikované (ASSMAN, J. J., 2022).



Obrázek č. 4: Klasifikovaný zemský povrch z point cloud



Obrázek č. 5: Klasifikovaná vegetace z point cloud

2.3 Ekologická nika

V ekologii se pod pojmem ekologická nika rozumí role a pozice druhu v ekosystému, zahrnující jeho vztahy s ostatními druhy a prostředím, ve kterém žije. Každý druh má specifické nároky na prostředí, potravu a interakce s ostatními druhy. Tyto faktory

určují jeho ekologickou niku, respektive podmínky, ve který daný druh dokáže přežít a úspěšně se rozmnožovat. Pokud se dva druhy pokouší využívat stejnou ekologickou niku, mohou se stát konkurenty, což může mít vliv na jejich populaci a evoluci. Ekologické niky mohou být vytvářeny různými faktory, zahrnující například environmentální podmínky, dostupnosti zdrojů a interakce s jinými druhy (POLECHOVÁ, J., et al., 2013).

Ekologická nika se skládá ze dvou hlavních složek: abiotických a biotických faktorů. Abiotické faktory zahrnují klima, vlhkost, světlo a další podmínky v prostředí, které ovlivňují život druhu. Biotické faktory zahrnují interakci s jinými druhy, například kořist, predátoři, parazité a symbiotické vztahy.

2.3.1 Mezidruhov^á interakce

Mezidruhov^é interakce jsou vztahy mezi různými druhy organismů v ekosystému. Mohou být pozitivní, negativní nebo neutrální. Pozitivní interakce zahrnují například symbiózu, kde se dva druhy navzájem ovlivňují k jejich prospěchu (WOHLLEBEN, P., 2016), například kdy ptákům poskytuje akácie vhodné prostředí k hnízdění a získávání potravy, zatímco ptáci zase pomáhají šířit semena akácií. Další formou je komensalismus, kdy jedna strana získává prospěch a druhá není ovlivněna (MATHIS, K. A., et al., 2020), například když si pták staví své hnízdo na stromě. Negativní interakce je například predace a parazitismus, kdy jedna strana získává prospěch na úkor druhé. Příkladem predace může být lovení ptáků dravci (BARBOSA, P., et al., 2005). Neutrální interakce nemají vliv na jednotlivé druhy. Příkladem mohou být například dva druhy, které společně využívají zdroje, ale neovlivňují se navzájem (ROSINDELL, J., et al., 2011).

2.3.2 Významné biotické faktory ekologické niky

Abiotické faktory jsou fyzikální a chemické faktory prostředí, které ovlivňují život druhu. Mezi nejdůležitější patří světlo, které ovlivňuje rytmus spánku a bdění u ptáků. Většina druhů ptáků potřebuje denní světlo, aby udržely svůj biologický rytmus. Noční druhy jako sovy mají naopak specifické přizpůsobení, které jim umožňuje lovit za šera. Klima zahrnuje dlouhodobé a průměrné podmínky počasí v dané oblasti. Teplota ovlivňuje ekologickou niku organismů a může mít vliv na jejich chování, fyziologii a ekologické vztahy. Teplota může ovlivňovat například ptáky prostřednictvím termoregulace, distribucí druhů, délkou ročního období

a ekologickými interakcemi. Vlhkost se týká množství vody, která se nachází v půdě, atmosféře nebo jiném prostředí a ovlivňuje růst a přežití organismů. Půda je důležitá pro růst a vývoj rostlin a poskytuje také stanoviště pro mnoho dalších organismů. Voda je nezbytná pro život a mnoho organismů potřebuje dostatečné množství vody pro svůj růst a přežití. Vodní ekosystémy jako řeky, jezera, moře a oceány jsou zvláště závislé na vodě jako abiotickém faktoru. Tyto ekosystémy mají specifické nároky na vlastnosti vody, jako je teplota, pH, solnost a proudění, které ovlivňují rozložení a chování organismů v těchto prostředích (DUNSON, W. A., et al., 1991).

3. METODIKA

3.1 Charakteristika zájmového území

Krkonošský národní park se nachází v severovýchodních Čechách, na území Libereckého kraje a Královéhradeckého kraje. Jedná se o nejsevernější horskou oblast ve střední Evropě, která tvoří nejvyšší pohoří České republiky a slezské části Polska. KRNAP zahrnuje rozsáhlé území s různorodým terénem a geologickým podkladem. Vegetace KRNAP je ovlivněna nadmořskou výškou, klimatem a půdními podmínkami. Vegetace je velmi rozmanitá a vytváří se zde celá řada různých biotopů, které posilují útočiště a zdroj potravy mnoha druhům ptáků, včetně řady chráněných a vzácných druhů (FLOUSEK, J., et al., 2015). V KRNAP se nachází mnoho významných druhů biotopů, jako jsou horské smrčiny, klečové porosty, rašeliniště vodní toky či skalní útvary, které jsou domovem mnoha vzácných druhů rostlin a živočichů, a které jsou chráněny jako přírodní památky (SPRÁVA KRNAP, 2017).

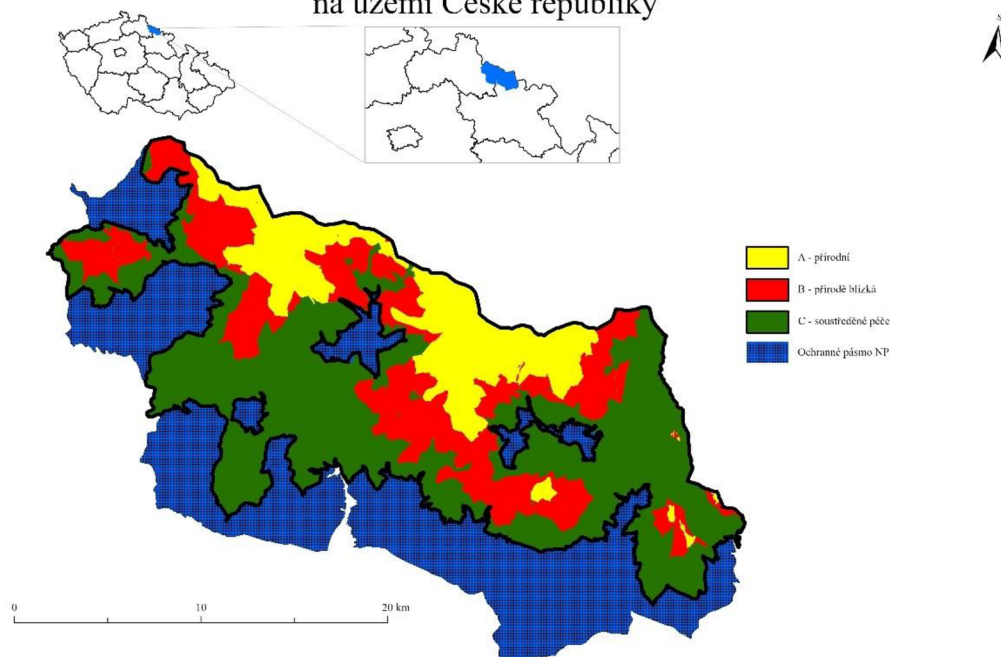


Obrázek č. 6: Úpské rašeliniště (ANTOŠOVÁ, K., 2019)

Ochranná pásma parku mají za cíl minimalizovat negativní vliv člověka na přírodu a zachovat biodiverzitu okolí parku, včetně ochrany kulturní krajiny a tradičního venkovského způsobu života. KRNAP je rozdělen do tří ochranných zón – zóny A, B a C, které mají různé stupně ochrany přírody a kulturní krajiny. Zóna A je nejužší a obsahuje oblasti s vysokou přírodní hodnotou, kde jsou kladeny nejpřísnější podmínky ochrany a jsou omezeny stavební aktivity, vodní hospodářství, lesnictví, zemědělství a turistická činnost. Tato zóna zahrnuje 12 % plochy parku. Zóna B zahrnuje širší okolí parku a má menší nároky na ochranu, nicméně jsou zde stále omezení v oblasti stavebních aktivit, vodního hospodářství, lesnictví, zemědělství

a turistické činnosti. Nachází se zde horské smrčiny, svahové rašeliniště a bezlesé enklávy. I tak jde o oblast s vysokou druhovou diverzitou díky propojenosti s první zónou. Tato zóna zahrnuje 9 % plochy parku. Zóna C je nejširší ochranná zóna, má nejnižší nároky na ochranu a zahrnuje oblasti vzdálenější od parku. Zóna silně ovlivněná lidskou činností, kde lidé využívají lesy a zemědělské plochy pro rekreaci a turismus. Tato zóna zahrnuje 78 % plochy parku. Polský krkonošský park má dvě zóny – zónu přísné ochrany, která odpovídá A zóně KRNAP a zónu ochrany krajinařské, která odpovídá B a C zóně KRNAP (FLOUSEK, J., et al., 2015; SPRÁVA KRNAP, 2017).

Zonace Krkonošského národního parku na území České republiky



Obrázek č. 7: Zonace KRNAP na území České republiky

3.2 Charakteristika zájmového druhu

Tetřivka obecný upřednostňuje různá prostředí, jako jsou listnaté a jehličnaté lesy s pasekami, louky, pastviny a rašeliniště, především však lesní porosty v raných stadiích sukcese. Typicky se tetřivka obecný vyskytuje v rozmezí od 850 do 1500 m n. m. (FLOUSEK, J., et al., 2015). Populace tetřivka obecného rapidně klesá v západní a střední Evropě kvůli intenzivnímu lesnímu a zemědělskému hospodaření, které vede k odvodňování rašelinišť, zalesňování těchto oblastí a další lidské aktivity

kvůli kterým dochází k postupnému zhoršování a ubývání míst, kde tetřivci obecní mohou hnízdit (SVOBODOVÁ, J., et al., 2011).

V České republice je tetřivek obecný velmi ohroženým druhem, který v případě nevhodného prostředí nemá oproti ostatním ohroženějším druhům tu možnost, aby přeletěl do jiného státu. Samci tetřivka obecného tráví celý svůj život ve vzdálenosti do 1 km od místa vylíhnutí. Samice se přemisťují do 5 km a výjimečně do 10 km (FLOUSEK, J., 2019). Až 90 % samic se páří pouze jednou během celého hnízdního období od konce března do začátku května, kdy se na tokaništi shromáždí samci a bojují o samici, ten nejúspěšnější z nich se s nimi páří. Pokud jsou tetřivci obecní vyplašeni, či vyrušeni, tak odletí. Po tom co nastane klid se opět vrátí, pakliže se vyrušení opakuje, tetřivci obecní se vrátí až další den. Opakované rušení tedy může vést k neúspěšnému hnízdění a snesení neoplozených vajec. Z tohoto důvodu je důležité minimalizovat lidskou aktivitu v oblastech, kde se tetřivci obecní vyskytují (LEBRIGRE, CH., et al., 2007).



Obrázek č. 8: Tetřivčí centrum v Krkonoších (FLOUSEK, J., 2015)

Kritické období nastává obecně během zimy, kdy tráví většinu času pod sněhem v norách, což je chrání před nepříznivým počasím a predátory. S rostoucími teplotami ubývá přírodního sněhu a jedinci jsou nuceni zimovat mimo sněhovou pokrývku, díky tomu jsou tetřivci obecní více v ohrožení. V hnízdním období se přestává překrývat období líhnutí mláďat s potravní nabídkou tohoto období. Každé rušení tetřivka obecného způsobuje zvýšení hladiny stresových hormonů, které jsou

důležité pro obranu organismu a v případě trvalého stresu mohou podkopat jeho zdraví a zvýšit riziko úhynu kvůli nepříznivým podmínkám nebo predátorům. Zejména v blízkosti frekventovaných tras pro běžkaře stoupá jejich stres. Predátoři tetřívka obecného jsou lišky, divoká prasata, kuny, lasice a jestřáby, před nimiž se tetřívka obecná zvládne ubránit, ale pokud je pod vlivem stresu, pak je snadnou kořistí (FLOUSEK, J., 2015).



Obrázek č. 9: Taneční rituál samců tetřívka obecného (PETERSSON, L., 2014)

3.3 Charakteristika vstupních dat

3.3.1 Nálezová data

Data pro tvorbu hnízdního atlasu byla sbírána v letech 2012-2014. Území KRNAP pokrylo 471 kvadrátů a z toho 321 kvadrátů tvořilo českou část, zbylé bylo pro část polskou. Geografické členění kvadrátů o velikosti zhruba 1,5 x 1,4 km, jejichž účelem bylo zmapování výskytu rostlinných a živočišných druhů (FLOUSEK, J., et al., 2015). Poskytnutá data ve formátu XLSX se skládala z identifikace ptačích druhů a jejich výskytů dle kategorií hnízdění v jednotlivých kvadrátech. Polygony kvadrátů byly poskytnuty ve formátu SHP.

Terénní sběr dat se členil na 3 části: mapování, sčítání a nahrávání. K mapování byla využita metoda hodinová, kdy pozorovatel v každém kvadrátu prováděl kontrolu po dobu 1 hodiny. Při každé kontrole pozorovatel navštívil všechny typy prostředí a nalezené druhy zaznamenával chronologicky odděleně do šesti 10 min intervalů. Ke každému záznamu nalezeného druhu se dále zapsala i jeho průkaznost hnízdění v 17 kategoriích dle standardních mezinárodních kritérií (FLOUSEK, J., et al., 2015).

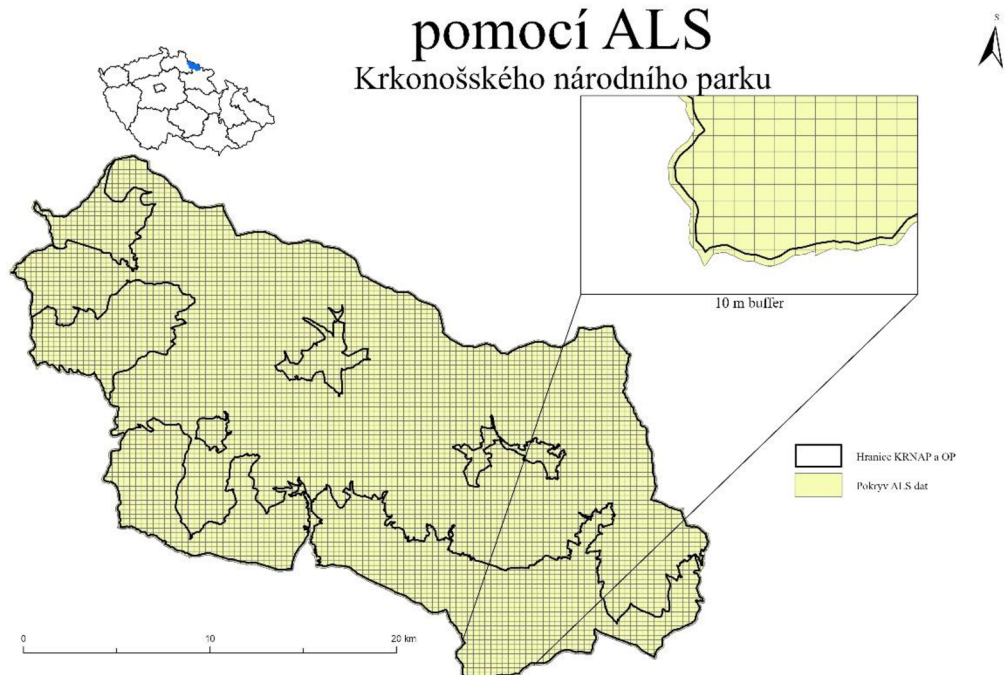
Kategorie	Vysvětlení kategorie
0	Výskyt v hnízdním období
A	Možné hnízdění
B	Pravděpodobné hnízdění
C	Prokázané hnízdění
Kategorie tetřívka obecného	
0	Druh pozorovaný v době hnízdění
A1	Druh pozorovaný v době hnízdění a ve vhodném hnízdním prostředí
A2	Pozorování zpívajícího samce (či samců) anebo zaslechnutí hlasů souvisejících s hnízděním ve hnízdním období
B3	Pár (samec, samice) pozorovaný ve vhodném hnízdním prostředí v době hnízdění
B4	Stálý okrsek předpokládaný na základě pozorovaného teritoriálního chování na témže stanovišti nejméně 2x v odstupu 1 týdne
B5	Pozorování toku a imponování nebo páření
C12	Nález čerstvě vylétaných mláďat (u krmivých) nebo mláďat v prachovém opeření (u nekrmivých)

Tabulka č. 1: Znázornění kategorií dle Atlasu ptáků pro tetřívka obecného

3.3.2 Data leteckého laserového skenování

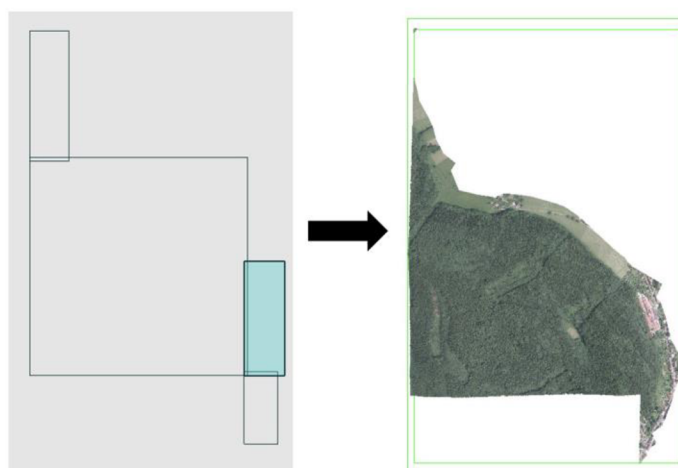
Data pro Českou republiku byla pořízena veřejnou zakázkou, kterou vytvořila správa KRNAPU roku 2012, jež zpracovala společnost GEODIS. Projekt nesl název „KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS pro ochranu přírody“ a byl určen pro snímkování a letecké laserové skenování území KRNAP spolu s jeho následným vyhodnocením. Jednou z jeho částí byla realizace pořízení bodových mračen pomocí ALS s prostorovým rozlišením 550 km² a hustotou 5 bodů/m². Skenování proběhlo ve vegetačním období, zabralo 16 letových dní, kdy bylo naskenováno 553 letových řad. Realizace byla zajištěna laserovým skenerem (RIEGL LMS Q-680i), který zachytil záznam kompletní informace o odražené světelné vlně (full-waveform). Výsledné mračno bodů tvořilo velmi vysokou hustotu pro rozsáhlé území s významnými výškovými rozdíly (PUCHRIK, L., et al., 2013).

Zobrazení pokryvu naskenované plochy pomocí ALS



Obrázek č. 10: Pokryv ALS tiles KRNAP pro Českou republiku

Získaná data byla rozdělena na dlaždice (dále už jen „tiles“) o velikosti 1x1 km s 10 m buffrem. Tiles bylo poskytnuto celkem 461 v komprimovaném formátu LAZ.



Obrázek č. 11: Ukázka 4 tiles a následné zobrazení v RGB modelu

Data LiDAR pro polskou část studijní oblasti KRNAP byla získána prostřednictvím leteckého průzkumu v rámci projektu ISOK, který byl řízen Hlavním úřadem geodézie a kartografie v Polsku. Cílem tohoto projektu bylo vytvořit podrobný digitální model terénu pro celé Polsko. Data byla získána v letech 2011-2015.

Hustota mračna bodů byla nejméně 4 pulzy na m^2 s výškovou přesností 0,15 m. Data byla sbírána ve třech blocích, kdy dva z nich proběhly s hustotou 4 bodů/ m^2 (sběr dat probíhal od 11. dubna do 20. října 2012) a jeden s hustotou 12 bodů/ m^2 (sběr dat probíhal od 18. června do 18. července 2012).

3.4 Použitý software

Zpracování dat z leteckého laserového skenování proběhlo v prostředí LAStools verze 210720 (Isenburg, M., <<https://lastools.github.io/>>). Pro úpravu dat byl využitý Microsoft Office Excel 2007. Statistické modely byly vytvořeny statistickým programem R verze 4.2.2. Na mapové výstupy a výpočty statistických hodnot z rastrů byl použitý software ArcGIS Pro 3.0.2.

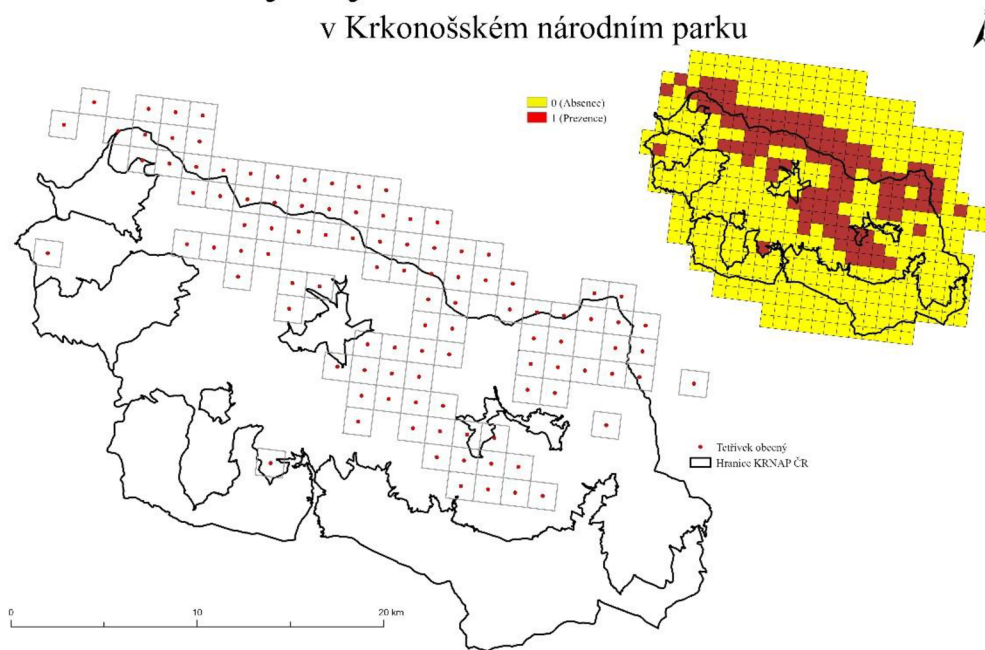
3.5 Zpracování dat

3.5.1 Úprava nálezových dat

Excelová data obsahovala více ptačích druhů, proto se vyseletoval pouze tetřívka obecný. Z popisovaných kategorií v části charakteristika nálezových dat se použily všechny kategorie, tedy A1, A2, B3, B4, B5 i C12. Těmto kategoriím byla stanovena hodnota 1, jež reprezentovala prezenci. Data obsahovala kvadráty, které měly určenou hodnotu 0, jež reprezentovala absenci. Pro data A1 a A2 byla stanovena hodnota 0 reprezentující absenci druh. Vzhledem k tomu, že excelová tabulka obsahovala jednotlivé očíslované kvadráty, tak mohlo proběhnout propojení tabulky se shapefile jednotlivých kvadrátů mapovací sítě v ArcGIS Pro. V dalším kroku proběhlo zobrazení dat pro tetřívka v podobě prezence či absence.

Výskyt tetřívka obecného

v Krkonošském národním parku



Obrázek č. 12: Výskyt tetřívka obecného v KRNAP pro Českou republiku

3.5.2 Zpracování dat leteckého laserového skenování

Data ALS byla zpracována na výkonném počítači katedry prostorových věd. Významný krok tvořila klasifikace zemních bodů a vegetace. Pro klasifikaci povrchu terénu se použil nástroj *lasground*, který využívá algoritmy ke klasifikaci ground a non-ground (terén a neterén). Výstupem jsou body, které představují povrch terénu s hodnotou 2. Nastavení parametru “-wilderness“ bylo zvoleno z důvodu zastoupení více překážek, jako jsou lesy, skály a vodní plochy. Klasifikace vegetace byla provedena pomocí funkce *lasclasify*, ale tomuto kroku předcházela normalizace dat, jež se provedla nástrojem *lasheight*. K normalizaci bodového mračka se využil parametr “-replace_z“, jehož využitím bylo nahrazení výšek terénu, normalizovanými výškami, respektive 0. V nástroji *lasclasify* byl nastaven parametr “-step“, který určuje velikost kroku (pixelu), kterým se prochází data při klasifikaci, ta byla nastavena pomocí proměnné na hodnotu 2. Parametr “-rugged“ určuje maximální odchylku od drsného povrchu, kterou je nástroj schopen detekovat.

Posledním parametrem byl “-height_in_z“, který určoval, že nástroj bude pracovat s informacemi výšky (z souřadnic) při klasifikaci.

```
::GROUND CLASSIFY
lasground -i %IN_DIR%\tile*.laz -merged -wilderness -odir %GROUND% -olaz

::NH DATA
lasheight -i %IN_DIR%\tile*.laz -merged -replace_z -odir %NORM% -olaz

::CLASIFY VEGETATION
lasclassify -i %NORM%\tile.laz -merged -step %STEP_CLASS% -planar 0.1 -rugged 0.4 -height_in_z -odir %CLASS%-olaz
```

Obrázek č. 13: Část skriptu tvorby klasifikace země s vegetací a normalizace dat



Obrázek č. 14: Digitální model terénu

Digitální model terénu (dále jen „DTM“) byl vytvořen pomocí nástroje *las2dem*. Ten detekoval a následně odstranil body stromů a budov tak, aby zůstaly pouze body terénu, které se použijí k vytvoření DTM. Výsledný model obsahoval informace o nadmořské výšce, které následně sloužily jako prediktor ovlivňující výskyt tetřívka obecného. Do nástroje *las2dem* vstupovala všechna data získaná z leteckého laserového skenování, která byla zakončena koncovkou LAZ (komprimovaný soubor), byla zde zachována klasifikace 2 (pomocí parametru “-keep_class“, jež reprezentuje body zemského povrchu. Parametr “-elevation“ (nadmořská výška) zajišťovala zahrnutí do modelu terénu i výšku nad mořem.

```
las2dem -i %IN_DIR%\*.laz -keep_class 2 -elevation -o %DTM%\_DTM.tif
```

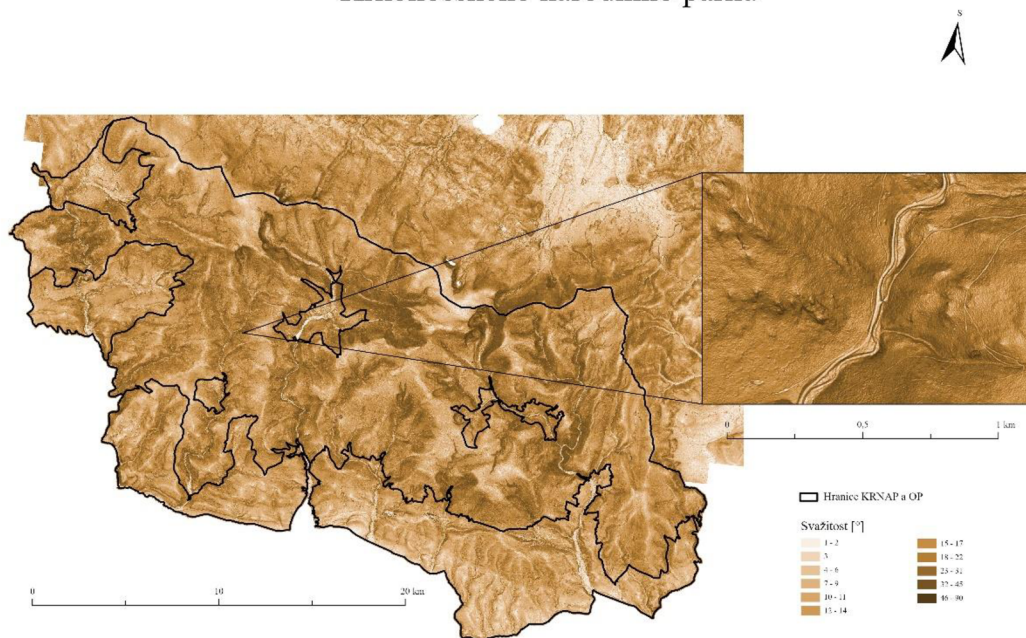
Obrázek č. 14: Část skriptu tvorby DTM

Z nadmořské výšky modelu DTM byl proveden výpočet sklonu založený na výpočtu změny nadmořské výšky mezi sousedícími body DTM a zároveň výpočtu poměru této změny k horizontální vzdálenosti mezi těmito body. Svažitosť terénu byla

provedena funkcí *Slope* v prostředí ArcGIS Pro, přičemž výsledný rastr vyšel ve stupních.

Svažitost terénu

Krkonošského národního parku



Obrázek č. 15: Svažitost terénu KRNAP

Nástroj *lascanopy* byl použitý pro výpočet vegetačních metrik. Nastavil se parametr “-keep_class“ na hodnotu 5, který zajistil výpočet pouze s klasifikovanou vegetací. Hodnota step zde byla nastavena na 1. Skewness (koeficient šikmosti) je statistická míra asymetrie rozdělení datového souboru. Skewness poskytla informace o tvaru rozdělení výšek vegetace, zda je výška vegetace více rozptýlena kolem průměru (symetrické rozdělení s nulovou šikmostí) nebo zda jsou více zkresleny směrem k vyšším či naopak nižším hodnotám (rozložení s kladnou či zápornou šikmostí). Vegetační metrika skewness se vypočítala pomocí parametru “-ske“. Kurtosis je statistickým ukazatelem, který popisuje špičatost v rozdělení dat. Použitím kurtosis se získala informace o charakteru distribuce výšek vegetace v KRNAP, zároveň i tedy o hustotě vegetace. Vegetační metrika kurtosis se vypočítala pomocí parametru “-kur“. Percentil je statistickým termínem, který se používá k popisu rozložení dat. Výpočet percentilu umožnil získat informace o rozložení dat vegetace. Percentil 25 % (1. kvartil) určoval hodnotu, pod kterou se nacházelo 25 % odrazů od vegetace. Percentil 50 % (medián) udává výšku nad kterou respektive pod kterou se

nachází přesně 50 % odrazů. Medián tvořil právě prostřední hodnotu seřazených hodnot dat, v případě, že byl počet dat sudý, pak se medián vypočítal průměrem dvou prostředních hodnot. Vegetační metriky percentilů se získaly pomocí parametru “-p” a následně se přidal kvartil, který se má vypočítat. Dále byly vypočítány výškové hladiny vegetace, které umožňovaly vyjádření rozložení vegetace v jednotlivých patrech. Výpočet se provedl na základě rozdělení hustoty vegetace do určitých pater. Hodnota v každém patře se následně vydělila celkovým počtem odrazů. Bylinné patro (D00) bylo zvoleno v rozmezí od 0,15 cm do 2 m výšky vegetace. Keřové patro (D01) bylo zvoleno v rozmezí od 2 m do 5 m výšky vegetace. Stromové patro (D02) bylo zvoleno v rozmezí od 5 m do 50 m výšky vegetace. Vegetační metriky hustoty vegetace v jednotlivých patrech se počítaly pomocí parametru “-d”.

```

::VEGETACNI METRIKY
lascanopy -i %CLASS%*.laz -keep_class 5 -step %STEP_C% -ske -kur -p 25 50 -d 2 5 50 -odir %CLASS_VEG%

```

Obrázek č. 16: Část skriptu výpočtu vegetačních metrik



Obrázek č. 17: Canopy height model (CHM)

Canopy height model (dále už jen „CHM“) je digitální výškový model, který popisuje výšku vegetace v dané oblasti. CHM se tvoří pomocí dat LIDAR, kdy se získávají výškové hodnoty vegetace na základě vzdálenosti mezi laserem, povrchem terénu a vegetací. Poskytnutý rastr CHM byl vytvořen pomocí odečtení digitálního modelu terénu (DTM) od digitálního modelu povrchu (DSM), tj. $CHM = DSM - DTM$. Tento skript byl vytvořen za účelem získání CHM bez jam (pit-free CHM). Pracovalo se s nástrojem *blast2dem*, který dokáže pojmout více dat. Nejprve se z normalizovaného bodového mračka vytvořily pouze zemní body. K jejich vytvoření byly zadané parametry “-step” s hodnotou 1 (byl použitý

i pro následující kroky) a parametrem “-drop_z_above“, jejímž účelem bylo ignorování všech bodů nad terénem nad hodnotu 0,1. Následně se vytvořilo první CHM, kde se použil parametr “-keep_class“ s hodnotou 5 (pro vegetaci – stromy). Parametr “-kill“ se specifikoval minimálním počtem bodů v pixelu, aby byl tento pixel významný, pokud byl počet bodů nižší, než 1, pak se pixel odstranil. Pro tvorbu jednotlivých CHM byly zvolené stejné parametry, jako pro předchozí krok s rozdílem parametru “-drop_z_below“, který určoval minimální výšku pro kterou se zachovávají body s klasifikací stromů. Nakonec se všechny vytvořené CHM sloučily do jednoho souboru pomocí nástroje *lasgrid*, který měl nastaven parametr “-highest“, jež určuje, že vstupní hodnota pro každý pixel bude ta nejvyšší v dané oblasti (v tomto případě v oblasti pixelu o velikosti určené parametrem “-step“ s hodnotou 1). Dalším parametrem byl “-false“, který určoval, že pro pixely, které neobsahují žádnou hodnotu, bude výsledná hodnota nastavena na 0. Poslední parametr “-set_min_max“ určoval minimální (0) a maximální hodnoty (45), které se použily při vykreslování výsledného souboru (KHOSRAVIPOUR, A., et al., 2014).

```
::TVORBA CHM ground
blast2dem -i %NORM%\*.laz -drop_z_above 0.1 -step %STEP% -o %OUT_DIR%\chm_ground.bil

::konstrukce prvního CHM
blast2dem -i %GROUND%\*.laz -merged -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm0.bil

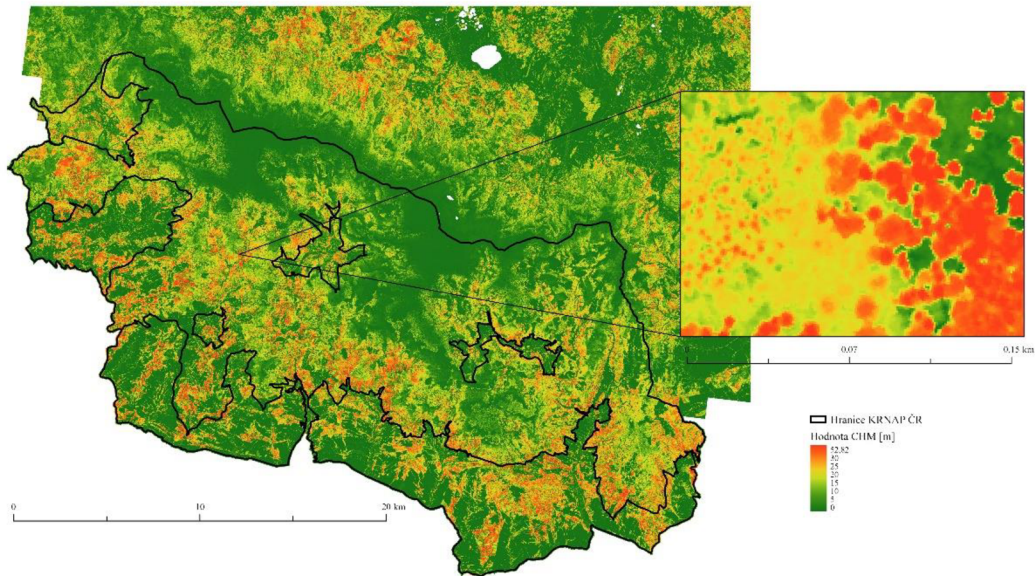
::tvorba jednotlivých CHM
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 2 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm2.bil
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 5 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm5.bil
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 10 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm10.bil
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 15 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm15.bil
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 20 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm20.bil
blast2dem -i %OUT_DIR%\*.laz -merged -drop_z_below 25 -keep_class 5 -step %STEP% -kill %KILL% -o %OUT_DIR%\chm25.bil

::sectení dohromady
lasgrid -i %OUT_DIR%\chm*.bil -merged -keep_classification 5 -step %STEP% -highest -false -set_min_max 0 45 -o
%CHM_PITFREE%\chm_pit_free.png
```

Obrázek č. 18: Skript pro výpočet CHM

Canopy Height Model (CHM)

Krkonošského národního parku



Obrázek č. 19: Canopy Height Model (CHM) KRNAP

3.6 Tvorba prediktorů

Pro jednotlivé prediktory byly pomocí Zonal Statistics v prostředí ArcGIS Pro vypočítány průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých prediktorů v mapovacích kvadrátech. Vypočtené hodnoty se připojily k vrstvě kvadrátů se zaznamenaným výskytem tetřívka obecného pomocí ID klíče (konkrétně pomocí čísel kvadrátů). Každému prediktoru byl zvolen vhodný název (viz tabulka č. 2). Po vytvoření dbf (dBASE file) tabulky byly data nahrána do programu R Studio, v němž se prováděly analýzy vlivů jednotlivých prediktorů na výskyt tetřívka obecného. Nahrání tabulky bylo provedeno pomocí funkce *read.dbf* (z balíčku **foreign**).

Prediktory	Průměr	Standardní odchylka	Rozsah hodnot
DTM	mean	standard deviation	range
CHM	mean	standard deviation	-
SLOPE	mean	standard deviation	-
P25	mean	standard deviation	-
P50	mean	standard deviation	-
D00	mean	standard deviation	-
D01	mean	standard deviation	-
D02	mean	standard deviation	-
KUR	mean	standard deviation	-
SKE	mean	standard deviation	-

Tabulka č. 2: Prediktory a statistické hodnoty, které byly pro ně vypočítány

3.7 Výběr prediktorů

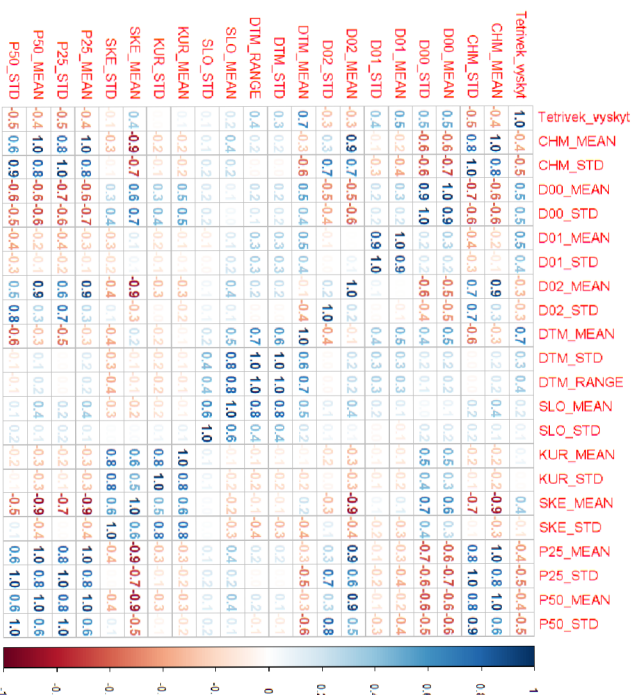
Nejprve bylo nutné vybrat prediktory, které mezi sebou nekorelují. Korelační koeficienty byly vypočteny funkcí *corrplot* (z balíčku **corrplot**), která vykresluje grafickou reprezentaci korelační matice, kde každá buňka reprezentuje korelační koeficient mezi 2 prediktory. Korelační koeficient nabývá hodnot v rozmezí od -1 do 1. Hodnoty blízké 0 znamenají malou či žádnou lineární korelaci mezi prediktory. Kladné hodnoty přibližující se hodnotě 1 znamenají silnou pozitivní lineární korelaci mezi prediktory, naopak hodnoty blízké hodnotě -1 vysvětlují silnou negativní lineární korelaci mezi prediktory. Obecně se považuje, že hodnota korelačního koeficientu by neměla být nad hodnotu 0,7. Korelační matice původních 21 prediktorů je zobrazena na obrázku č. 22 a korelace vybraných vhodných prediktorů je vyobrazena na obrázku 21. Postup výběru vhodných prediktorů pro výskyt tetřívka obecného zahrnoval postupné odstraňování korelovaných prediktorů, přičemž byly vybírány ty, které byly srozumitelné a měly ekologickou interpretaci (viz obrázek č. 20).

```

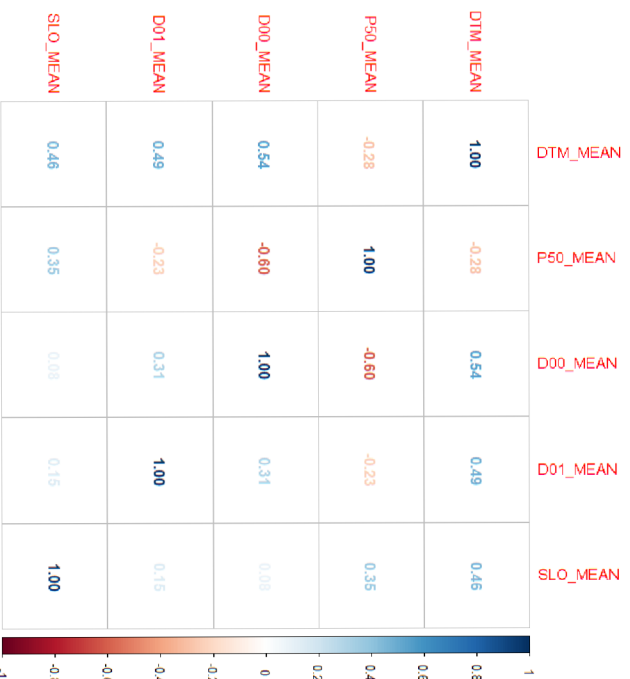
# odstraneni nevyznamnych prediktoru
to_remove <- c("CHM_STD", "D00_STD", "D01_STD", "D02_STD", "DTM_RANGE", "SLO_STD", "KUR_STD", "SKE_STD", "P25_STD", "P50_STD")
Tetriviek_bezkorelace <- Tetriviek_1[, !names(Tetriviek_1) %in% to_remove]

```

Obrázek č. 20: část skriptu pro odstranění proměnných



Obrázek č. 21: Korelační model všech prediktorů



Obrázek č. 22: Korelační model bez výrazně korelujících prediktorů

3.8 Model vlivu prostředí na výskyt tetřívka obecného

3.8.1 Boosted regression trees model

Boosted regression trees (dále už jen „BRT“) je metodou strojového učení, která umožňuje vytvoření prediktivního modelu pro numerickou proměnnou. Model využívá kombinaci rozhodovacích stromů a boostingu, což umožňuje predikovat hodnoty s vysokou přesností. Model BRT se skládá ze série rozhodovacích stromů. Princip BRT modelu spočívá v tom, že se postupně vytváří série rozhodovacích stromů, kde se každý strom snaží snížit reziduální chybu z předchozího stromu. Tento proces se opakuje, dokud se nedosáhne předem stanoveného počtu stromů nebo požadované přesnosti predikce. Rozhodovací strom je diagram, který popisuje rozhodovací proces na základě několika podmínek. Každý uzel stromu představuje rozhodnutí na základě jedné nebo více podmínek a každá hrana stromu vede k dalšímu uzlu nebo k výstupní hodnotě. Cílem vytvoření rozhodovacího stromu je minimalizovat počet potřebných rozhodnutí a zároveň dosáhnout, co největší přesnosti v predikci. Algoritmy pro tvorbu rozhodovacího stromu se snaží najít optimální podmínky pro každý uzel, aby bylo dosaženo, co nejlepší predikce (VOLNÁ, E., 2012). Boosting je metodou strojového učení, která se snaží zlepšit výkon slabších klasifikátorů tím, že je kombinuje do silnějšího klasifikátoru. Hlavním cílem boostingu je snížit chybu v predikci a zvýšit přesnost modelu. Při trénování boostovaného modelu se klasifikátory učí postupně. V každé iteraci algoritmus přidává nový klasifikátor a upravuje váhy dat tak, aby se zaměřil na případy, které byly špatně klasifikovány v předchozích iteracích. Tento proces se opakuje, dokud není dosaženo požadované přesnosti nebo po určitém počtu iterací (ELITH, J., et al., 2017).

3.8.2 Tvorba BRT modelu pro celé území KRNAP

Boosted regression trees (dále už jen „BRT“) se využil ke zjištění závislosti vypočítaných prediktorů na výskyt tetřívka obecného. Pracovalo se s 442 záznamy tetřívka obecného, které tvořily 105 prezencí a 337 absencí. Pro tvorbu BRT modelu se použil balíček **gbm** a **dismo**. Funkce *gbm.step* generuje BRT model pro predikci binární proměnné pomocí algoritmu gradient boosting (viz obrázek č. 23). V této funkci bylo definováno několik parametrů, včetně **“data“** (obsahuje data tetřívka obecného s prediktory pro trénování modelu), **“gbm.x“** (sloupce, které jsou použity jako vstupní proměnná pro trénování modelu), **“gbm.y“** (sloupec, který je použit

jako výstupní proměnná pro trénování modelu), “**family**“ = bernoulli (typ použitého modelu, v tomto případě binomický <bernoulli>), “**max.trees**“ = 5000 (maximální počet stromů v souboru rozhodovacích stromů, které se použijí pro trénování modelu), “**tree.complexity**“ = 1 (složitost stromů v souboru rozhodovacích stromů, které se použijí pro trénování modelu), “**learning.rate**“ = 0,005 (rychlost určení modelu) a “**bag.fraction**“ = 0,5 (funkce dat, které se použijí pro trénování každého stromu). Nastavení “**tree.complexity**“ se doporučuje v rozsahu mezi 1-3, pokud se v modelu nachází méně než 500 záznamů, zároveň tak i snížením “**learning.rate**“, jehož opodstatněním byla možnost růstu dostatečného počtu stromů pro model (ELITH, J., et al., 2008). Spuštěný BRT model poskytl základní informace, z nichž se nejprve spočítala vysvětlovaná variabilita dat v procentech s využitím vzorce: $100 - (\text{estimated_cv_deviance} - \text{mean_total_deviance}) * 100$ (viz obrázek č. 24), která je klíčovým faktorem ke zjištění a porozumění identifikaci důležitosti prediktorů, které mají vliv na výskyt tetřívka obecného. Funkce *summary.gbm* vygenerovala informace o relativním vlivu jednotlivých prediktorů. Posledním krokem bylo vytvoření univerzálních grafů závislosti (partial dependence plots) pro jednotlivé prediktory v BRT.

```
GBM_T1 <- gbm.step(data=Tetrivek_bezkorelace,
  gbm.x = 2:6,
  gbm.y = 1,
  family = "bernoulli",
  max.trees = 5000,
  tree.complexity = 1,
  learning.rate = 0.005,|
  bag.fraction = 0.5)
```

Obrázek č. 23: Část skriptu pro tvorbu BRT modelu

$$100 - \left(\frac{\text{Estimated cv deviance}}{\text{Mean total deviance}} \right) * 100$$

Obrázek č. 24: Vzorec pro výpočet vysvětlené variability v %

3.8.3 Tvorba BRT modelu pro nadmořskou výšku nad 800 m

Typicky se tetřívka obecná vyskytuje v rozmezí od 850 do 1500 m n. m. (FLOUSEK, J., et al., 2015). Z tohoto důvodu byla data s nadmořskou výškou nižší, než hodnota 800 oříznuta (viz obrázek č. 25). Cílem bylo omezit zkresení způsobené oblastmi s nízkými nadmořskými výškami, respektive upozadit tento prediktor pro

zjištění vlivu struktury vegetace. Pracovalo se s 207 záznamy tetřívka obecného, které byly tvořeny 104 prezencemi a 103 absencemi. V BRT modelu v této nadmořské výšce byla snížena hodnota pro parametr “**learning.rate**“ na 0,001 (viz obrázek č. 26), čímž se zpomalil proces učení a zmenšil vliv nových stromů na celkový výsledek právě kvůli nižšímu počtu záznamů tetřívka obecného.

```
Tetrivek_1_sub <- subset(Tetrivek_bezkorelace, DTM_MEAN >= 800)
```

Obrázek č. 25: Část skriptu pro výběr míst s nadmořskou výškou nad 800 m

```
GBM_T2 <- gbm.step(data=Tetrivek_1_sub,  
  gbm.x = 2:6,  
  gbm.y = 1,  
  family = "bernoulli",  
  max.trees = 10000,  
  tree.complexity = 1,  
  learning.rate = 0.001,  
  bag.fraction = 0.5)
```

Obrázek č. 26: Část skriptu pro tvorbu BRT modelu nad 800 m n. m.

4. VÝSLEDKY

4.1 Celé území KRNAP

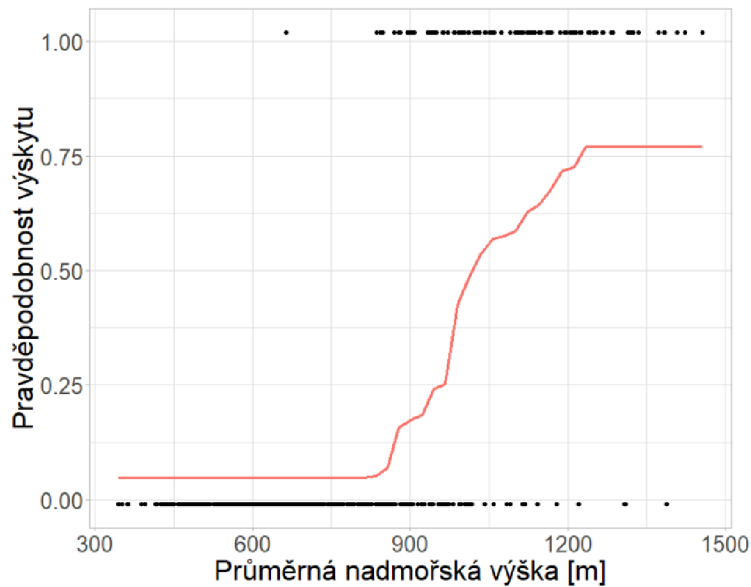
Pracovalo se s 442 záznamy tetřívka obecného (105 prezencí a 337 absencí). BRT model vlivu vegetace a terénu na výskyt tetřívka obecného vysvětlil 57,2 % celkové variability. Výsledná hodnota cv AUC vyšla 0,96, což odpovídá vynikající klasifikační schopnosti. Model tedy dokáže rozlišovat mezi prezencí a absencí tetřívka obecného s vysokou úspěšností. Jako nejdůležitější prediktor se ukázala průměrná nadmořská výška (DTM_mean), která vysvětlovala 73,7 % z celkové vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného stoupá s nadmořskou výškou, přičemž největší gradient lze pozorovat mezi 800 a 1200 m n. m. (viz obrázek č. 27). Dalším, avšak výrazně méně důležitým prediktorem se ukázala být hustota nízké vegetace s výškou 2-5 m (D_01_mean), která vysvětlila 15,4 % z celkové vysvětlené variability. Hustota keřového patra má slabý pozitivní vliv na pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného. Pravděpodobnost výskytu narůstá s hustotou keřového patra vyšší než 10 % (viz obrázek č. 28).

Výskyt tetřívka obecného	Počet stromů	Mean total deviance	Celková vysvětlená variabilita	Estimated deviance	AUC
442	1350	1,10	57,20 %	0,47	0,96

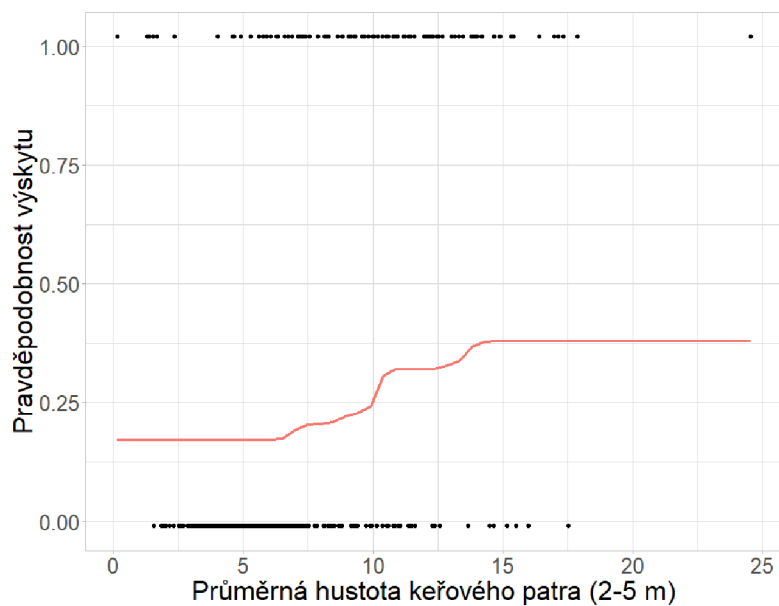
Tabulka č. 3: Výsledné hodnoty získané z modelu BRT

Prediktory	% z celkové vysvětlené variability
DTM_mean	73,7 %
D01_mean	15,5 %
D00_mean	6,5 %
SLO_mean	4,3 %
P50_mean	0,1 %

Tabulka č. 4: Výstup funkce summary (důležitost proměnných) z BRT modelu



Obrázek č. 27: Vliv průměrné nadmořské výšky [m] na výskyt tetřívka obecného



Obrázek č. 28: Vliv průměrné hustoty keřového patra vegetace od 2 do 5 m na výskyt tetřívka obecného

4.2 Nadmořská výška nad 800 m

Vzhledem k tomu, že tetřívka obecná preferuje vyšší nadmořskou výšku zhruba od 800 m, z tohoto důvodu byla data oříznuta a následující výsledky reprezentují pozorování pouze s nadmořskou výškou nad 800 m n. m. V této části se pracovalo s 207 záznamy tetřívka obecného, které obsahovaly 104 prezencí a 103 absencí. BRT model vlivu vegetace a terénu na výskyt tetřívka obecného

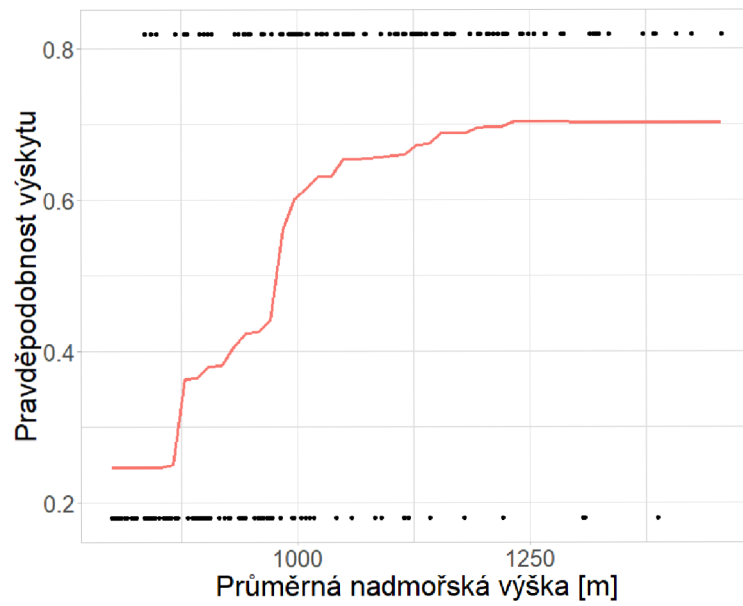
vysvětlil 34,20 % celkové variability. Výsledná hodnota cv AUC vyšla 0,89, což odpovídá velmi dobré klasifikační schopnosti. Model tedy dokáže rozlišovat mezi prezencí a absencí tetřívka obecného s velmi vysokou úspěšností. Nejdůležitějším prediktorem byl opět vyhodnocený průměr nadmořské výšky nad 800 m (DTM_mean), který vysvětloval 38,6 % z celkové vysvětlené variability. Vykazující stejný trend, jež byl popsán v předchozí kapitole výsledků (viz obrázky č. 27 a 29). Dalším důležitým prediktorem se ukázal být průměrný 50 % percentil odrazů vegetace, který vysvětlil 25,6 % z celkové vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného se výrazně snižuje pro hodnoty 50 % percentilu odrazů vegetace (P50_mean) mezi 5 a 10 m (viz obrázek č. 30). Dalším, ovšem méně důležitým prediktorem se ukázala být průměrná hustota bylinného patra vegetace od 0,15 do 2 m, která vysvětlila 16,8 % z celkové vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného se zvyšuje ve chvíli, kdy se zvyšuje i hustota nízké vegetace (D00_mean), přičemž k nárůstu dochází již při nízkých hodnotách denzity cca do 10 % (viz obrázek č. 31).

Výskyt tetřívka obecného	Počet stromů	Mean total deviance	Celková vysvětlená variabilita	Estimated deviance	AUC
207	4800	1,39	34,20 %	0,91	0,89

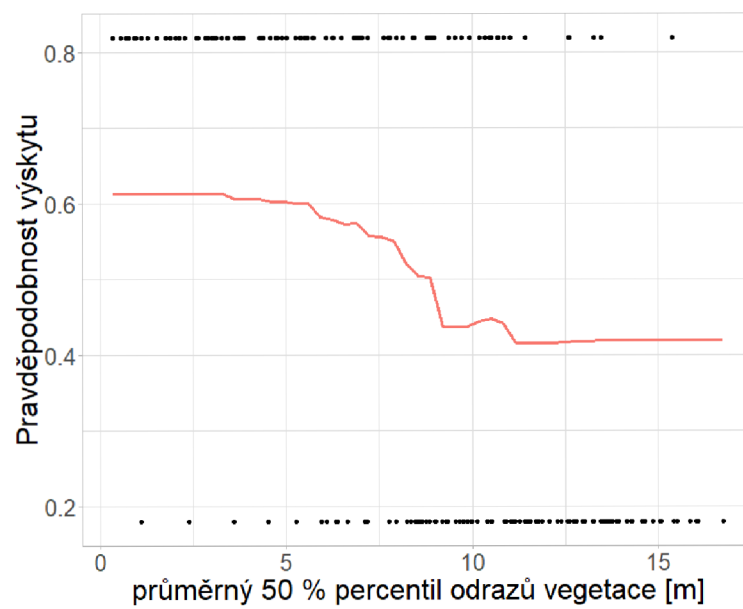
Tabulka č. 5: výsledné hodnoty získané z modelu BRT

Prediktory	% z celkové vysvětlené variability
DTM_mean	38,6 %
P50_mean	25,6 %
D00_mean	16,8 %
SLO_mean	11,5 %
D01_mean	7,4 %

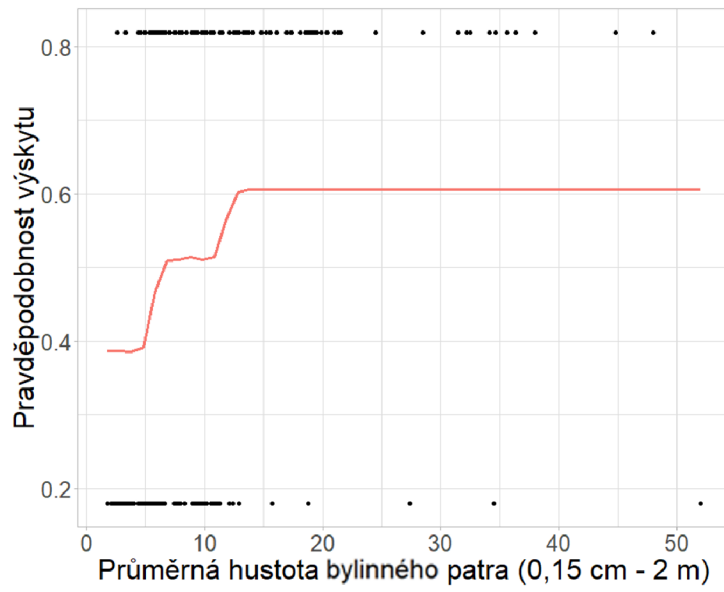
Tabulka č. 6: Výstup funkce summary (důležitost proměnných) z BRT modelu



Obrázek č. 29: Vliv průměrné nadmořské výšky na výskyt tetřívka obecného



Obrázek č. 30: Vliv průměrného 50 % percentilu odrazů vegetace na výskyt tetřívka obecného



Obrázek č. 31: Vliv průměrné hustoty bylinného patra vegetace od 0,15 cm do 2 m na výskyt tetřívka obecného

5. DISKUZE

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo modelovat vliv struktury vegetace a terénu na výskyt tetřívka obecného na území Krkonošského národního parku. Vysvětlená variabilita modelů byla 57,2 % celkové variability. Nejvýznamnějším prediktorem výskytu tetřívka obecného byla průměrná nadmořská výška, což není nikterak překvapivé zjištění a je známo, že pravděpodobnost tetřívka obecného roste s rostoucí nadmořskou výškou (FLOUSEK, J., et al., 2015; KORTMANN, M., et al., 2015). Nejlepším prediktorem výskytu tetřívka obecného z hlediska struktury vegetace se ukázal být 50 % percentil odrazů od vegetace, který vysvětlil 25,6 % z celkové vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného se snižovala se zvyšující se hodnotou 50 % percentilu odrazů, přičemž zásadní pokles byl mezi 5-10 m. Hustota bylinného patra (nízká vegetace) v rozmezí od 0,15 cm do 2 m vysvětlila 16,8 % vysvětlené variability. Z tohoto prediktoru byl zřejmý nárůst výskytu tetřívka obecného už při nízkých hodnotách cca 10 %. Hustota keřového patra v rozmezí 2-5 m vysvětlila 15,5 % vysvětlené variability. Pravděpodobnost výskytu tetřívka obecného narůstá spolu s hustotou keřového patra, pokud je vyšší než 10 %. Podobně studie Merlin, M., et al. (2016) ukázala pokles pravděpodobnosti výskytu tetřívka s rostoucí hodnotou pokryvnosti vegetací, a nárůst se zvyšující se pokryvností keřovou vegetací a výškou vegetace. I další studie, které se zabývaly tetřevovitými ptáky prokázaly, že strukturální složitost vegetace má pozitivní vliv na jejich výskyt (Schäublin, S., et al., 2011; Zellweger, F., et al., 2013). Například Zellweger, F., et al. (2013) navrhl, že zlepšení strukturální komplexity vegetace může být účinným způsobem, jak podpořit výskyt různých druhů ptáků, včetně tetřívka obecného. Toho by se mohlo dosáhnout například zalesněním s různými druhy dřevin nebo managementovými zásahy s ohledem na vytvoření různých strukturálních prvků.

Pro studie druhové distribuce, jako je předkládaná práce, je důležité zohledňovat měřítko použitých dat. Ekologové by měli při modelování vhodnosti stanovišť a rozšíření druhu zabývat otázkami týkající se prostorového rozlišení datových souborů, které zahrnují informace o výskytu druhů (MOUDRÝ, V., et al., 2023). Nálezová data tetřívka obecného použitá v této práci byla o velikosti kvadrátů zhruba 1,5 x 1,4 km (FLOUSEK, J., et al., 2015), což by odpovídalo tomu, že samci tetřívka obecného se z hnízdiště pohybují do vzdálenosti 1 km (FLOUSEK, J., 2015).

Nicméně tokaniště jsou typicky mnohem menší a pro lepší pochopení struktury vegetace na výběr tokanišť by bylo vhodné mít k dispozici data o výskytu tetřívka obecného v podrobnějším měřítku.

Data leteckého laserového skenování umožňují podrobný monitoring struktury vegetace a terénu rozsáhlých oblastí a mohou tak překonat omezení terénního sběru dat. Bodová mračna z leteckého laserového skenování se využívají pro mapování vegetace a porostů v různých typech biotopů, jelikož laserové paprsky mohou pronikat skrze stromoví a umožňují tak získat detailní informace o struktuře porostů, jako jsou výšky a hustota (BAKX, T. R. M., et al., 2019). Studie Graf, R. F., et al. (2009), která zkoumala tetřeva hlušce a studie Moudrého, V., et al. (2021), která zkoumala distribuci druhů například navrhuje, že by se mělo široce využívat charakteristik struktury vegetace, zejména vertikálního rozložení vegetace (tj. bylinného, keřového a stromového patra) pro hodnocení heterogenity stanovišť.

Navíc je třeba vhodné biotopy pravidelně monitorovat. LiDAR nabízí velký potenciál pro efektivní monitorování stanovišť a management ohrožených druhů a udržování biodiverzity obecně (Schäublin, S., et al., 2011; Zellweger, F., et al., 2013). Ideální je provádět nálety leteckým laserovým skenováním alespoň každých 10 let (LAMPING, J. E., et al., 2021).

6. ZÁVĚR

Výskyt tetřívka obecného byl významně ovlivněn nadmořskou výškou, pravděpodobnost jeho výskytu rostla s rostoucí nadmořskou výškou. Jako nejlepší prediktor z hlediska struktury vegetace se jevil 50 % percentil odrazů od vegetace. Výskyt tetřívka obecného klesal s rostoucím 50 % percentilem a jako optimální se ukázaly hodnoty 50 % percentilu odrazů od vegetace nižších než 5 m. Dalšími, avšak méně významnými prediktory, se ukázaly být denzity vegetace v bylinném a keřovém patře. Výsledky této práce potvrzují, že data leteckého laserového skenování jsou vhodná a lze je doporučit pro mapování biotopových nároků organismů, zejména ptáků, jejichž výskyt je prokazatelně závislý na struktuře vegetace.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ASSMANN, J. J., MOESLUND, J. E., TREIER, U. A., & NORMAND, S. (2022). EcoDes-DK15: high-resolution ecological descriptors of vegetation and terrain derived from Denmark's national airborne laser scanning data set (v. 14(2), p. 823-844). *Earth System Science Data*.
- [2] BAKX, T. R. M., KOMA, Z., SEIJMONSBERGEN, A. C., KISSLING, W. D., 2019. Use and categorization of light detection and ranging vegetation metrics in avian diversity and species distribution research (v. 25(7), p. 1045-1059). *Diversity and Distributions*.
- [3] BARBOSA, P., CASTELLANOS, I., 2005. Ecology of predator-prey interactions (p. 240-255). Oxford University Press.
- [4] CAMPBELL, J. B., WYNNE, R. H., 2011. Introduction to remote sensing – 5th ed. The Guilford Press New York, New York.
- [5] CRACKNELL, A. P., 2007. Introduction to remote sensing. CRC press.
- [6] DOLANSKÝ, T., 2004. Lidary a letecké laserové skenování. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- [7] DUNSON, W. A., TRAVIS, J., 1991. The role of abiotic factors in community organization (v. 138(5), p. 1067-1091). *The American Naturalist*.
- [8] ELITH, J., LEATHWICK, J. R., HASTIE, T., 2008. A working guide to boosted regression trees (v. 77, p. 802-813). *Journal of Animal Ecology*.
- [9] ELITH, J., LEATHWICK, J., 2017. Boosted Regression Trees for ecological modeling. R Documentation.
- [10] FLOUSEK, J., 2019. Přežijí krkonošští tetřivci rok 2040? (v. 2, p. 6-9). *Ochrana přírody*.
- [11] FLOUSEK, J., GRAMSZ, B., TELENSKÝ, T., 2015. Ptáci Krkonoš – atlas hnízdního rozšíření 2012-2014. Vrchlabí, Těšín.
- [12] GOJDA, M., JOHN, J., BREJCHA, R., 2013. Archeologie a letecké laserové skenování krajiny. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň.

- [13] HERITAGE, G. L., LARGE, A. R., 2009. Principles of 3D laser scanning (v. 1, p. 21-34). Laser scanning. Laser scanning for the environmental sciences.
- [14] HUBER, N., KIENAST, F., GINZLER, C., PASINELLI, G., 2016. Using remote-sensing data to assess habitat selection of a declining passerine at two spatial scales (v. 31, p. 1919-1937). *Landscape Ecology*.
- [15] KHOSRAVIPOUR, A., SKIDMORE, A. K., ISENBURG, M., WANG, T. J., HUSSIN, Y. A., 2014. Generating pit-free Canopy Height Models from Airborne LiDAR (v. 80(9), p. 863-872), *PE&RS = Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- [16] KORTMANN, M., HEURICH, M., LATIFI, H., RÖSNER, S., SEIDL, R., MÜLLER, J., THORN, S., 2018. Forest structure following natural disturbances and early succession provides habitat for two avian flagship species, capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*) (v. 226, p. 81-91). *Biological Conservation*.
- [17] LAMPING, J. E., ZALD, H. S., MADURAPPERUMA, B. D., GRAHAM, J., 2021. Comparison of Low-Cost Commercial Unpiloted Digital Aerial Photogrammetry to Airborne Laser Scanning across Multiple Forest Types in California, USA (v. 13(21), p. 4292). *Remote Sensing*.
- [18] LEBRIGRE, CH., ALATALO, R. V., SIITARI, H., PARRI, S., 2007. Restrictive mating by females on black grouse leks (v. 16(20), p. 4380-4389). *Molecular Ecology*.
- [19] LEFSKY, M. A., COHEN, W. B., PARKER, G. G., HARDING, D. J., 2002. Lidar remote sensing for ecosystem studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists (V. 52(1), p. 19-30). *BioScience*.
- [20] MALTAMO, M., NÆSSET, E., VAUHKONEN, J., 2014. Forestry applications of applications of airborne laser scanning (v. 26, p. 460). *Concepts and case studies*.

- [21] MATHIS, K. A., BRONSTEIN, J. L., 2020. Our current understanding of commensalism (v. 51, p. 167-189). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*.
- [22] MELIN, M., HINSLEY, S. A., BROUGHTON, R. K., BELLAMY, P., HILL, R. A. (2018). Living on the edge: utilising lidar data to assess the importance of vegetation structure for avian diversity in fragmented woodlands and their edges (v. 33, p. 895-910). *Landscape Ecology*.
- [23] MOUDRÝ, V., CORD, A. F., GÁBOR, L., LAURIN, G. V., BARTÁK, V., GDULOVÁ, K., MALAVASI, M., ROCCHINI, D., STEREŇCZÁK, K., PROŠEK, J., KLÁPŠTĚ, P., WILD, J., 2023. Vegetation structure derived from airborne laser scanning to assess species distribution and habitat suitability: The way forward (v. 29(1), 39-50). *Diversity and Distributions*.
- [24] MOUDRÝ, V., KEIL, P., CORD, A. F., GÁBOR, L., LECOURS, V., ZARZORARIAS, A., BARTÁK, V., MALAVASI, M., ROCCHINI, D., TORRESANI, M., GDULOVÁ, K., GRATAROLA, F., LEROY, F., MARCHETTO, E., THOUVERAI, E., PROŠEK, J., WILD, J., ŠÍMOVÁ, P. (2023). Scale mismatches between predictor and response variables in species distribution modelling: A review of practices for appropriate grain selection. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*.
- [25] MOUDRÝ, V., MOUDRÁ, L., BARTÁK, V., BEJČEK, V., GDULOVÁ, K., HENDRYCHOVÁ, M., MORAVEC, D., MUSIL, P., ROCCHINI, D., ŠTASTNÝ, K., VOLF, O., ŠÁLEK, M., 2021. The role of the vegetation structure, primary productivity and sence derived from airborne LiDAR and hyperspectral data for birds diversity and rarity on a resored site (v. 210). *Landscape and Urban Planning*.
- [26] POLECHOVÁ, J., STORCH, D., 2008. Ecological niche (p. 1088-1097). *Encyclopedia of ecology 2*.
- [27] PUCHRIK, L., NÝDRLE, J., 2013. Snímkování a letecké laserové skenování Krkonošského národního parku (v. 12(1), p. 24). *GEODIS NEWS (GEO SLUŽBY)*.

- [28] ROSINDELL, J., HUBBELL, S. P., ETIENNE, R. S., 2011. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography at age ten (v. 26(7), 340-348). *Trends in ecology & evolution*.
- [29] ROUGHGARDEN, J., RUNNING, S. W., MATSON, P. A., 1991. What does remote sensing do for ecology? (v. 72(6), p. 1918-1922). *Ecology*.
- [30] SHAN, J., TOTH, C., K., 2018. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press, New York.
- [31] SCHÄUBLIN, S., BOLLMANN, K., 2011. Winter habitat selection and conservation of Hazel Grouse (*Bonasa bonasia*) in mountain forests (v. 152, p. 179–192). *Journal of Ornithology*.
- [32] Správa Krkonošského národního parku, 2017. Plán péče o Krkonošský národní park a jeho ochranné pásmo 2010–2020. Vrchlabí.
- [33] SVOBODOVÁ, J., BEJČEK, V., MÁLKOVÁ, P., ŠŤASTNÝ, K., 2011. Nízké přežívání tetřivků obecných (*Tetrao tetrix*) v sukcesních stádiích lesních porostů Krušných hor (p. 47-89). *Sylvia*, Praha.
- [34] ŠÍMOVÁ, P., MOUDRÝ, V., KOMÁREK, J., HRACH, K., FORTIN, M. J. (2019). Fine scale waterbody data improve prediction of waterbird occurrence despite coarse species data (v. 42(3), p. 511-520). *Ecography*.
- [35] VOLNÁ, E., 2012. *Základy softcomputingu* (v. 1, p. 152). Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava.
- [36] WEHR, A., LOHR, U., 1999. Airborne laser scanning-an Introduction and overview (v. 54(2-3), p. 68-82). *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*.
- [37] WOHLLEBEN, P., 2016. *The hidden life of trees. What they feel, how they communicate-Discoveries from a secret world* (v. 1). Greystone Books.
- [38] ZELLWEGER, F., BRAUNISCH, V., BALTENSWEILER, A., BOLLMANN, K., 2013. Remotely sensed forest structural complexity predicts multi species occurrence at the landscape scale (v. 307, p. 303-312). *Forest Ecology and Management*.

8. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- [1] Obrázek č. 3: Příklad profilu mračna bodů ALS (MOUDRÝ, V., et al. (2023): Vegetation structure derived from airborne laser scanning to assess species distribution and habitat suitability: The way forward (online), dostupné z: <<https://doi.org/10.1111/ddi.13644>>)
- [2] Obrázek č. 6: Úpské rašeliniště (ANTOŠOVÁ, K.: Krajina – fotografie (online), dostupné z: <<https://www.krnap.cz/fotogalerie/Krajina>>)
- [3] Obrázek č. 8: Tetřivčí centrum (FLOUSEK, J.: Přežijí krkonošští tetřivci rok 2040? (online), dostupné z: <<https://www.casopis.ochranaprirody.cz/z-nasi-prirody/preziji-krkonossti-tetrivci-rok-2040/>>)
- [4] Obrázek č. 9: Tetřívek obecný (PETTERSON, L.: Black Grouse Lyrurus tetrix (online), dostupné z: <<https://macaulaylibrary.org/asset/205960811>>)