

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra prostorových věd



Název diplomové práce:

Vliv struktury vegetace na diverzitu ptačích  
společenstev lesních ekosystémů  
v NP Šumava

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

Vypracovala: Adriana Šindelářová

2023

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Adriana Šindelářová

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

**Vliv struktury vegetace na diverzitu ptačích společenstev lesních ekosystémů v NP Šumava**

Název anglicky

**Role of vegetation structure for bird diversity in Šumava NP forest ecosystems**

---

### Cíle práce

Cílem práce je posoudit vliv struktury vegetace v NP Šumava na druhovou diverzitu ptáků. 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 data získaná z laserové altimetrie, která umožňují detailní popis vertikální a horizontální struktury vegetace. Úkolem autorky bude z dat laserové altimetrie vypočítat základní charakteristiky vegetace a s využitím techniky modelování druhové distribuce prozkoumat vztahy mezi strukturou prostředí a druhovou diverzitou ptáků. V literární rešerši se autorka zaměří na dosavadní studie, které se vztahem mezi strukturou prostředí a diverzitou a distribucí ptáků zabývaly.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

Formulace klíčových slov je úkolem autorky.

---

**Doporučené zdroje informací**

- 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.
- Davies, A. B., & Asner, G. P. (2014). Advances in animal ecology from 3D-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in ecology & evolution*, 29(12), 681-691.
- Koma, Z., Grootes, M. W., Meijer, C. W., Nattino, F., Seijmonsbergen, A. C., Sierdsema, H., ... & Kissling, W. D. (2021). Niche separation of wetland birds revealed from airborne laser scanning. *Ecography*, 44(6), 907-918.
- 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.
- Thorn, S., Bäessler, C., Svoboda, M., & Müller, J. (2017). Effects of natural disturbances and salvage logging on biodiversity—Lessons from the Bohemian Forest. *Forest Ecology and Management*, 388, 113-119.
- Thorn, S., Werner, S. A., Wohlfahrt, J., Bäessler, C., Seibold, S., Quillfeldt, P., & Müller, J. (2016). Response of bird assemblages to windstorm and salvage logging—Insights from analyses of functional guild and indicator species. *Ecological indicators*, 65, 142-148.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Vítězslav Moudrý, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 4. 2. 2022

**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2022

**prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2023

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv struktury vegetace na diverzitu ptačích společenstev lesních ekosystémů v NP Šumava vypracovala samostatně pod vedením Ing. Vítězslava Moudrého, PhD. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, s odevzdáním diplomové práce a souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č.111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Houžné dne

.....



Poděkování:

Mé poděkování patří vedoucímu diplomové práce panu Vítězslavu Moudrému, za vedení práce, jeho trpělivost a cenné připomínky. Poděkování také patří моým rodičům za podporu při studiu.

## Abstrakt

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv struktury vegetace na druhovou diverzitu ptáků v Národním parku Šumava. Dílčím cílem bylo odvodit charakteristiky struktury vegetace a posoudit rozdíly ve vlivu struktury vegetace na diverzitu ptačích gild. Monitoring ptáků byl prováděn pomocí bodové metody z vymezeného bodu do vzdálenosti 50 m od sčítatele. Zajímavé druhy se zaznamenávaly i pro větší vzdálenost. K odhadu vzdálenosti v terénu se využilo vykreslení hranic (50 m, 100 m, 200 m) na podkladovém ortofoto v mapových podkladech. Následným krokem bylo vytvoření charakteristik vegetace z bodového mračna v okolí 50 m od sčítacího bodu. Bodová mračna byla zpracována v software LAStools. Odvozené vegetační charakteristiky zahrnovali například hustotu odrazů ve třech vegetačních patrech (bylinné patro, keřové patro, stromové patro), směrodatnou odchylku odrazů, maximální a průměrnou výšku vegetace.

Z výsledků je patrné, že pro celkovou diverzitu ptáků je hustota vegetace stromového patra jedna z nejdůležitějších proměnných. Stromové patro se ukazuje jako významný prediktor diversity guildy ptáků hnízdících v korunách stromů, či v dutinách, a stejně tak pro diverzitu guildy ptáků lovcích v korunách, či na kmenech stromů. Nejvyšší vysvětlená variabilita, která dosáhla 43 % byla u modelu pro ptačí guildu shánějící potravu v korunách stromů. Vysokých hodnot vysvětlené variability dosahoval také model (31,7 %) pro diverzitu guildy ptactva hnízdících v korunách stromů. Naopak velmi špatných modelů s minimální vysvětlenou variabilitou bylo dosaženo pro guildy ptáků hnízdících na zemi (17 %) a zejména pak v keřích (6 %). Výsledky této práce ukazují, že data získaná pomocí leteckého laserového skenování jsou využitelná pro studium diversity ptáků a biotopových nároků ptačích guild.

Klíčová slova: LiDAR, diverzita, Šumava, lesní ekosystém

## Abstract

The main aim of this thesis was to assess the influence of vegetation structure on bird species diversity in Šumava National Park. A sub-objective was to derive the characteristics of vegetation structure and to assess differences in the influence of vegetation structure on the diversity of bird guilds. Bird monitoring was carried out using the point method from a defined point within 50 m of the enumerator. Species of interest were recorded for longer distances. Plotting of boundaries (50 m, 100 m, 200 m) on the underlying orthophoto in the map base was used to estimate the distance in the field. The next step was to create vegetation characteristics from the point cloud in the vicinity of the 50 m census point. Point clouds were processed in LAStools software. The derived vegetation characteristics included, for example, the density of reflections in the three vegetation levels (herbaceous level, shrub level, tree level), standard deviation of reflections, maximum and average vegetation height.

The results show that tree canopy vegetation density is one of the most important variables for overall bird diversity. Tree floor appears to be a significant predictor of diversity of guilds of birds nesting in tree canopies or cavities, and likewise for diversity of guilds of birds foraging in tree canopies or on tree trunks. The highest explained variability, which reached 43%, was for the model for the guild of birds foraging in the treetops. High values of explained variability were also achieved by the model (31.7%) for the diversity of guild birds nesting in the tree canopy. Conversely, very poor models with minimal explained variability were achieved for guilds of birds nesting on the ground (17%) and especially in shrubs (6%). The results of this work show that data obtained by airborne laser scanning are useful for studying bird diversity and habitat requirements of bird guilds.

**Keywords:** LiDAR, diversity, Šumava, forest ecosystem

## Obsah

1. Úvod a cíle práce .....	9
2. Literární rešerše .....	10
2.1. Ekologická nika .....	10
2.2. Guildy .....	10
2.3. Vertikální a horizontální struktura vegetace .....	10
2.4. LiDAR a charakteristiky struktury vegetace.....	11
2.3. Modelování druhové diversity a distribuce .....	15
2.4. Šumava .....	16
2.4.1. Geologie a morfologie.....	16
3. Metodika .....	18
3.1. Metodika sčítání ptáků.....	18
3.2. Kódování bodů .....	19
3.3. Data leteckého laserového skenování .....	20
3.4. Klasifikace .....	20
3.5. Odvozené vegetační charakteristiky .....	21
3.6. Odstranění korelovaných charakteristik a tvorba modelu .....	22
4. Výsledky.....	25
4.1. Celková diverzita .....	25
4.2. Diverzita ptáků v hnízdících dutinách .....	26
4.4. Diverzita ptáků hnízdících v korunách .....	28
4.5. Početnost ptáků hnízdících na zemi .....	29
4.6. Diverzita ptactva lovících na kmeni .....	31
4.7. Početnost druhů lovících v korunách stromů .....	32
4.8. Neúspěšné modely .....	34
3. Diskuze .....	35
4. Závěr.....	37
5. Literatura .....	38

## 1. Úvod a cíle práce

Šumava patří mezi nejstarší pohoří střední Evropy. S Bavorským národním parkem, se kterým je úzce spjata, tvoří největší zalesněné území střední Evropy. Šumavské lesy, mají svoji dlouhou historii a jsou důležitým indikátorem stavu prostředí. Před lidským osídlením byla celá Šumava pokryta lesy. Většina šumavských lesů je člověkem značně ovlivněná. Buď člověk změnil jejich druhové složení nebo byly přeměněny v sekundární bezlesí, které je tvořeno převážně loukami. Nejtypičtější jsou pro Šumavu husté smrkové porosty, ty jsou však v převážné většině uměle vysazené.

Antropogenní změny skladby vegetace a funkcí ekosystému stále intenzivněji ovlivňují početnost druhů a přístupnost stanovišť pro živočichy, a rostliny (JONES et al. 2013). V národním parku Šumava je stálou otázkou, zda nechat les přirozenému vývoji nebo provádět lesnické hospodaření. Pro některé ptačí druhy jsou důležitou součástí tzv. posttěžební lokality. Pro zajištění účinné ochrany diverzity druhů je potřeba znalost jejich biotopových nároků. Jednou z možností je terénní sběr dat, který je nicméně velmi časově náročný, a tudíž omezený svým prostorovým rozsahem. Na druhou stranu moderní metody dálkového průzkumu Země umožňují efektivní sběr dat rozsáhlých oblastí. Jednou z metod dálkového průzkumu Země je letecké laserové skenování, které umožňuje sběr dat o 3D struktuře prostředí s vysokou přesností.

V této diplomové práci byla využita data získaná z leteckého laserového skenování, které proběhlo v červnu roku 2017, pro posouzení vlivu struktury vegetace na diverzitu ptačích společenstev lesních ekosystému. Cílem bylo posoudit vliv struktury vegetace v Národním parku Šumava na druhovou diverzitu ptačích druhů. Dílčím cílem bylo odvodit charakteristiky struktury vegetace a posoudit rozdíly ve vlivu struktury vegetace na diversitu ptačích gild.

## 2. Literární rešerše

### 2.1. Ekologická nika

Ekologická nika je prostor daný podmínkami prostředí, v nichž je daný druh schopný přežít a vytvářet populaci. Podmínky, které definují ekologickou niku, jsou většinou abiotické faktory prostředí, jakým jsou teplota, vlhkost a pH. Tyto faktory způsobují v organismu řadu fyziologických postupů, které determinují, jestli je prostředí obyvatelné. V takovém prostředí jsou organismy schopné přežít v celém rozsahu příznivějších podmínek. Ovšem aktivního růstu jsou způsobilé jen v užším rozsahu. Kvantifikace ekologické niky má zásadní význam pro ekologii, biogeografii a ochranu přírody (GRINNEL 1917). Ta poskytuje informace o tom, jak mohou populace druhů přetrvávat, jak více druhů dokáže žít na jednom stanovišti, a jak druhy reagují na změny prostředí (PEARMEN et. al 2008).

### 2.2 Guildy

Guilda je dílčí společenstvo druhů, které využívají dostupné zdroje shodným přístupem, tzn. druhy, které jsou ekologicky podobné, ale liší se specializací na část společné využívaného zdroje. Nedostatečný zdroj je málo potravy nebo nedostatek prostředků pro hnízdění, čímž může být například chybějící materiál pro stavění hnízd. Shromáždit druhy s podobnými rysy do guildy může přinést důležité poznatky o využití habitatů, než jen obecné studie na úrovni jednotlivých druhů (WIESBERG et al. 2014).

### 2.3. Vertikální a horizontální struktura vegetace

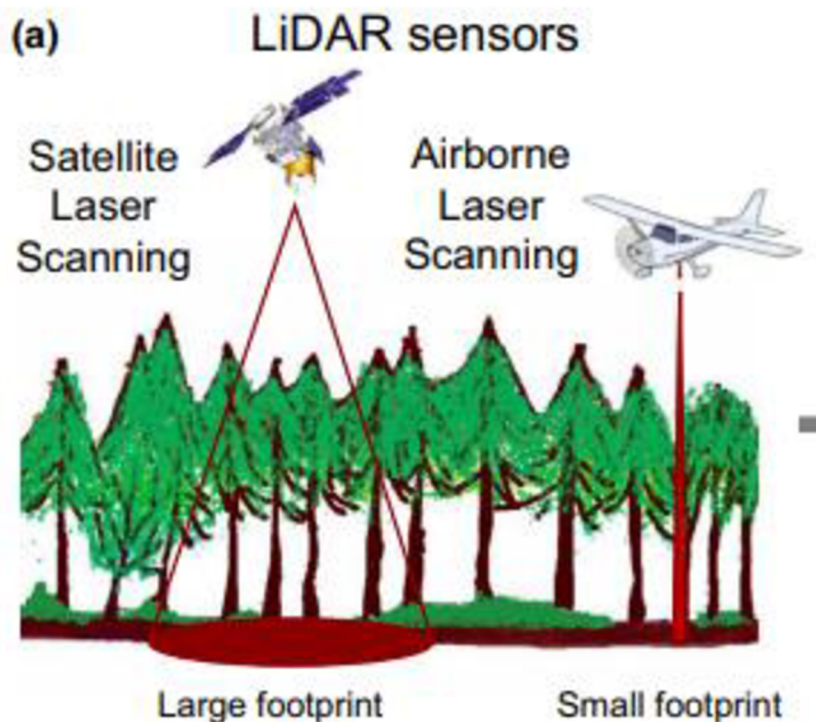
Vertikální a horizontální struktura vegetace je již dlouho uznávána jako důležitý faktor ovlivňující distribuci druhů, zejména ptáků (BAKX et al. 2019). Již vědecké práce z poloviny dvacátého století ukázaly, že diverzita ptactva je výrazněji ovlivněna strukturou vegetace než druhovou rozmanitostí rostlin (DAVIES et ASNER 2014). Nicméně debata o relativní důležitosti fyziognomie vegetace ve srovnání s floristickým složením a dalšími faktory ovlivňujícími rozšíření a rozmanitost druhů pokračuje dodnes (DAVIES et ASNER 2014). Je nicméně zřejmé, že 3D struktura ekosystémů ovlivňuje mnoho aspektů ekologie druhů, jejich rozšíření a abundanci.

Donedávna však metody sběru dat o 3D struktuře prostředí byly složité a náročné na práci, zejména ve velkých prostorových měřítkách. Modely stanovišť spoléhaly na

terénní data omezeného prostorového rozsahu nebo na data z pasivních dálkového průzkumu Země, které nejsou schopny proniknout přes nejvyšší část porostu a charakterizovat vertikální distribuce vegetace. Nedávné pokroky v technologii dálkového průzkumu Země, zejména LiDAR, tyto potíže úspěšně vyřešily. LiDAR umožňuje přesné měření 3D struktury ekosystémů napříč prostorovými měřítky od jednotlivých stromů až po celé státy (DAVIES et ASNER 2014).

## 2.4. LiDAR a charakteristiky struktury vegetace

Light Detection and Ranging (LiDAR) je metoda aktivního dálkového průzkumu Země (obr. 1). Technika je založena na technologii, která poskytuje jemnozrné informace o 3D struktuře ekosystémů (BAKX et al. 2019). Na rozdíl od technik pasivního dálkového průzkumu Země, jako jsou satelitní snímky a letecké fotografie, které spoléhají na odražené záření původně pocházející ze slunce, LiDAR vydává své vlastní světlo (laser). Přístroje LiDAR emitují laserové paprsky s krátkou dobou trvání (pulzy). Z času, které laser urazí k měřenému objektu a zpět do senzoru, a z polohy senzoru, lze získat informaci o poloze měřeného objektu ve třech rozměrech (x,y,z). Senzory obvykle vyzařují blízké infračervené světlo, typicky mezi 900 a 1 100 nm. LiDAR dokáže postoupit mezerami ve vegetaci, což umožňuje zjištění struktury vegetace, ale i terénu. Pokud chceme analyzovat prostorovou skladbu nebo výšku porostu, tak využíváme několikanásobných odrazů paprsků (DOLANSKÝ 2004). Pokud se v trase laserového paprsku objeví překážka, jako je vegetace, tak se část impulzu odrazí zpět a část impulzu proniká níže k zemskému povrchu. Jeden laserový paprsek tak umožňuje zaznamenávat až několik odrazů (JOHN 2011).



Obr. 1: Znáornění získání laserových dat ze satelitních nebo letecký sensorů (KOMA 2021)

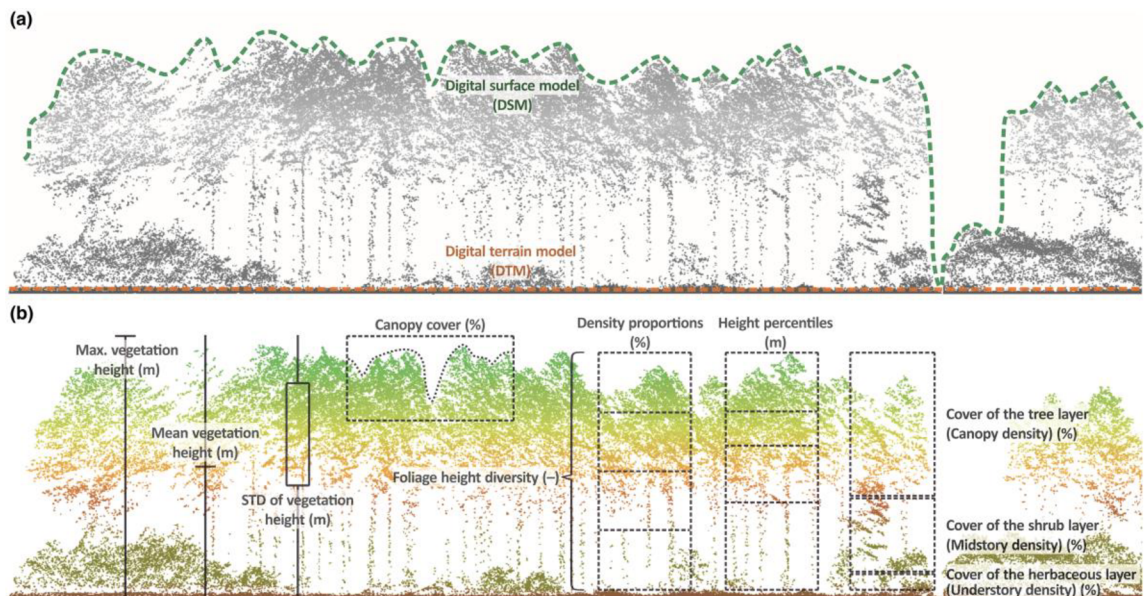
Systém LiDAR je založen na detekci objektů a měření vzdálenosti s využitím laserového zařízení. Je často používán v lesnictví k měření 3D struktury lesa. V poslední době přibývá také aplikací v ekologii a ochraně přírody (SIMONSON et al. 2014). Sensory se obvykle instalují na letadla (airborne laser scanning, ALS), ačkoli existují i pozemní systémy (terrestrial laser scanning, TLS). Rozlišení, při kterém jsou shromažďována data „mračna bodů“, ze kterých je 3D model sestaven, závisí na specifikacích přístroje, jakým je úhel, frekvence otáčení zrcadla a vzdálenost mezi senzorem a cílem. Čím blíže je snímač k objektu, tím větší je hustota mračna bodů a tím vyššího rozlišení lze dosáhnout. Používání a zpracování obrovských množství dat LiDAR ve velkém prostorovém rozsahu je náročné, proto je většina současných aplikací LiDARu omezena na lokální studie (BAKX et al. 2019).

Technologie leteckého laserového skenování umožňuje odvození řady proměnných charakterizujících terén a vegetační strukturu s velmi vysokou přesností (EVANS et. al. 2009). V první řadě LiDAR poskytuje příležitost vytvářet vysoce kvalitní výškové modely dvou odlišných typů. Model povrchu vegetace a dalších nadzemních objektů typicky tvořený z prvních odrazů a model terénu, typicky tvořený z posledních odrazů. První odrazy zahrnují obvykle koruny stromů. Takový model je označován jako



digitální model povrchu (DSM; digital surface model). Digitální model povrchu představuje nadmořskou výšku krajiny včetně veškeré vegetace a člověkem vytvořených objektů (např. budov). Zatímco model terénu obsahuje pouze topografii a je označován jako digitální model reliéfu (DTM; digital terrain model) (FARRELL et al. 2013).

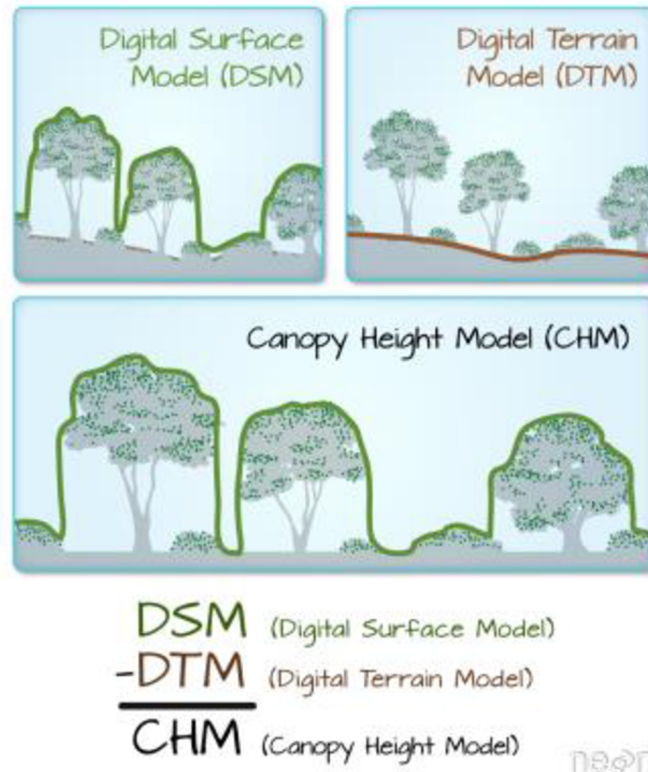
Při posuzování struktury vegetace je důležité rozlišovat, zda hodnotíme jen svrchní vrstvu vegetačního krytu, tzv. canopy (obr. 2a), nebo popisujeme do výpočtu veškerá vegetační patra, a detailní popis vertikálního profilu vegetace popisující její hustotu v určitých patrech nebo variabilitu ve výšce (obr. 2b; HUBER et al. 2016, MOUDRY et al. 2023). Pokud chceme dosáhnout detailního popisu vertikálního profilu vegetace, je třeba odvodit všechna vegetační patra, jakým je například hustota vegetace ve stromovém, keřovém a bylinném patře, či celková variabilita výšky odrazů (FARRELL et al. 2013).



Obr. 2: Typicky odvozované charakteristiky struktury vegetace (Moudrý et al. 2023)

Pro svrchní vrstvu vegetačního krytu se používá model výšky vegetace. Zde se využívá rastr, který deklaruje výšku povrchu vegetačního krytu, tzn. absolutní výšku vegetace nad terénem (KHOSRAVIPOUR et al. 2014). Pokud chceme využít tento model, rozlišujeme mezi dvěma základními postupy. První postup je ve vyrobení rastrů digitálního modelu povrchu a digitálního modelu terénu, kde se ukáže jejich následný rozdíl (obr. 3). Tento model použil ve své práci například FARRELL et al. (2013) a HUBER et al. (2016). Nedostatek tohoto přístupu činí vznik tzv. data pits neboli děr, které souvisí s charakterem vegetace. Vegetace vytváří nepravidelný povrch a laserový paprsek se často poprvé odrazí až v nižších patrech porostu (BERGEN et al. 2009).

Druhá metoda je založena na tvorbě CHM z bodového mračka s normalizovanou výškou, kde se pomocí prvních odrazů vytvoří finální podoba CHM (KHOSRAVIPOUR et al. 2014).



Obr. 3: Schématický model pro první model CHM

Neodmyslitelnou charakteristikou horizontální struktury vegetace typicky odvozované z CHM je například tzv. canopy cover, která představuje pokryvnost území vegetací (EVANS et al. 2009). Pokrytí koruny stromů dobře koreluje s vhodností stanovišť nebo biodiverzitou pro mnoho taxonů včetně ptáků. Mezery v korunách stromů mohou mít dopad na vhodnost stanoviště pro některé druhy a tím na druhovou rozmanitost. Pokryvnost území vegetací, definované jako procento pokrytí oblasti stromovou vegetací, lze odvodit právě z CHM. Důležitým faktorem pro diverzitu ptáků je procentuální pokrytí vegetace v jednotlivých vertikálních úrovních, tzn. zda je výskyt soustředěn v keřovém, nižším stromovém, či vyšším stromovém patře (BERGEN et al. 2009).

Mezi další charakteristiky vhodné pro specifikaci stanovištních nároků ptáků, které lze odvodit z LiDARu patří například maximální výška, či hustota vegetace. Maximální výšku vegetace lze vyjádřit z bodového mračka, a to jako hodnotu nejvyššího

vegetačního odrazu. Výška vegetace je spolu s objemovými mírami náhradou za důležité biotopové charakteristiky jako je sukcesní stadium a věk porostu.

### 2.3. Modelování druhové diversity a distribuce

Modelování druhové distribuce (*species distribution modelling*) je technika, která hledá vztah mezi distribucí či diverzitou druhů a podmínkami prostředí. Slouží k definici podmínek prostředí, kde se stanovuje trvalý nebo přechodný výskyt jedinců či populací zájmového druhu. Modelování je založeno na expertních posudcích a znalostech nároků druhů na podmínky prostředí. Dále pak na statistickém zpracování vztahu mezi nálezovými daty a podmínkami prostředí (ELITH et LEATHWICK 2010, MULLER 2010). Tento model můžeme použít k pochopení, jak působí a ovlivňují podmínky prostředí diversity, výskyt nebo početnost druhů. Zmíněná technika se používá napříč všemi obory, jakými jsou ekologie, biologie, epidemiologie či management invazních druhů (FRANKLIN 2010).

V případě modelování diversity a distribuce ptáků, je nutné uvažovat takové podmínky prostředí, které zrcadlí mechanismy výběru biotopu v hledání potravy, hnízdění a rozmnožování, což zahrnuje mimo jiné i strukturu vegetace (BRADBURY et al. 2005). Rostoucí dostupnost dat dálkového průzkumu Země nabízí nové příležitosti pro mapování a monitorování vegetační struktury ve velmi podrobném rozlišení a v širokém prostorovém rozsahu (KOMA et al. 2021). Zejména celostátní letecká laserová skenování (ALS), která jsou dostupná v mnoha státech Evropy poskytují ideální zdroj dat pro kvantifikaci struktury vegetace (MOUDRY et al. 2023). Díky rostoucí dostupnosti dat leteckého laserového skenování je stále více studií, které se zabývají vlivem struktury vegetace na distribuci a diversity druhů, zejména pak ptáků (BAKX et al. 2019).

Ze studií, které se tímto tématem zabývali lze jmenovat například studii LESAK et al. (2011) ve státě Wisconsin, kde se zabývali modelováním druhové diversity pěvců s uplatněním charakteristik, které popisují strukturu lesních porostů. Data leteckého laserového skenování byla využita také pro studium druhové diversity ptáků boreálních lesů v jihovýchodním Norsku (ELDEGARD et al. 2014). Podobně VOGELER et al. (2014) posuzovali vliv struktury vegetace v jehličnatých lesích na diverzitu ptačích druhů. V České republice byla bodová mračna leteckého laserového skenování využita například pro studium biotopových nároků tetřeva hlušce (*Tetrao urogallus*), který má na Šumavě poslední přirozený habitat pro přežití (ROUBÍNEK et ČERVENKA 2019). Zásadou dostupnosti bodových mračen s vysokou hustotou v NP Šumava, je možno získat podrobné informace o šumavských lesích. Podle charakteristik z bodového

mračna se ví i jaký strom je jehličnatý, listnatý nebo zda se jedná o souši. Data LiDARu se používají také na revitalizaci rašelinišť nebo je hojně využívají archeologové (ROUBÍNEK et ČERVENKA 2019).

## 2.4. Šumava

Šumava patří mezi největší zalesněné území České republiky s rozlohou 680,6 km<sup>2</sup>. Nejvyšším vrcholem české strany je Plechý (1378 m n. m.). K Šumavě bezpochyby patří Bavorský les, s nímž společně vytváří, nejdelší zalesněné území ve střední Evropě. K jihovýchodu Šumavy vystupuje pohraniční hřbet Trojmezí hornatiny, k severozápadu vybíhá Železnorudská hornatina, v neposlední řadě vnitrozemský hřbet Boubínské a Želnavské hornatiny, které od sebe dělí široká Vltavická brázda. K Šumavě bezpodmínečně patří Vltava, která je šumavskou největší řekou, na níž navazuje přítok Otava. Vltava s Otavou pramení v horských pláních na Šumavě (NP Šumava).

Národní park Šumava je rozdělen do čtyř zón. První zóna přírodní je vyčleněna na 27,7 % rozlohy NP Šumava. Druhá zóna přírodě blízká skýtá 24,5 % rozlohy, tato zóna je převážně o lesních ekosystémech, které mohou být v budoucnu převedeny do zóny přírodní. Zóna soustředěné péče je na rozloze NP Šumava 46,6 %. Jedná se o lesní nebo zemědělské pozemky, kde se o přírodu bude pečovat. Poslední zóna je zóna kulturní krajiny, která má rozlohu 1,2 %.

### 2.4.1. Geologie a morfologie

#### Pedologie a geologie

Šumava má celkově horský charakter s nadvládou kyselých půdotvorných substrátů. Do nadmořské výšky 800 m převahuje kambizemě, ve vyšších nadmořských výškách (1 000 – 1 200 m n. m.) jsou to kryptopodzoly, v neposlední řadě jsou podzoly, které najdeme nad hranicí 1 200 m n. m. (NP ŠUMAVA). Na Šumavě najdeme převážně druhy rul a granitů (vyvřelé horniny). Tyto horniny jsou odolné, protože dokázaly lépe vzdorovat zvětrávání a odnosu, díky těmto horninám vznikly skalní útvary nebo terénní vyvýšeniny (NP ŠUMAVA).

#### Klima

Šumava se nachází v oblasti přechodného střeoevropského klimatu a podle klimatického členění patří hlavní část pohoří do chladné klimatické oblasti. Hlavní část

klimatické oblasti zaujímá pohraniční pásmo Šumavy s přilehlým údolím Vltavské brázdy nad 800 m n. m. a jihozápadní svahy Boubínské hornatiny a Želnavské hornatiny. Druhá část tvoří severní a severovýchodní svahy a přilehlá část Šumavského podhůří. K nejchladnějším částem Šumavy patří Šumavské pláně, které jsou s rozlohou 450 km<sup>2</sup> nejrozsáhlejší souvislou plochou ve střední Evropě, tak vysoce položenou (ANDĚRA & ZAVŘEL 2003). Průměrné roční teploty se pohybují, v závislosti na nadmořské výšce, od 6 °C (750 m n. m.) do 3 °C (1300 m n. m.) (NP Šumava 2020).

## Flóra

Šumavské lesy tvoří především smrkové porosty s příměsí buku a jedle. Z fyto geografického hlediska, v kontextu širších vztahů, leží celá Šumava ve středoevropské provincii středoevropské květenné oblasti temperátního pásma Evropy. Nižší polohy Šumavy jsou z fyto geografické oblasti mezofytikum, které je charakterizováno jako oblast zonální vegetace středoevropského opadavého lesa, zaujímající suprakolinní až submontánní vegetační stupeň, s klimatem mírně oceánickým s přechodem do mírné kontinentality. Na Šumavě z rámce mezofytika vybočuje extrazonální chladnomilná květena horská-oreofytikum, v níž až na nepatrné výjimky chybí zastoupení teplomilných druhů. Vegetační stupeň je montánní až supramontánní. Skladba rostlinstva odpovídá středohorské oblasti centrální Evropy. Pro Šumavu jsou typické porosty pralesovitého charakteru se stromy až 400 let starými (NP Šumava 2020).

## Fauna

Fauna Šumavy se dotvářela do dnešní podoby během postglaciálu a původně měla téměř výhradně lesní charakter. S větší kolonizací Šumavy člověkem nastaly změny duhového spektra zoocenóz. Na složení Šumavy se ze zoogeografického hlediska podílí jednak formy s širokým holarktickým či palearktickým rozšířením, středoevropské prvky fauny, včetně alpských a karpatských forem. Podílí se také prvky subatlantské, atlantské a pontomediteránní. Zásadní význam, z hlediska výskytu původních lesních druhů, mají primární ekosystémy, které se zachovaly pouze ve fragmentované podobě. Důležitou složkou biocenóz jsou boremontánní a borealpinní prvky fauny, kde jejich výskyt má relativní charakter a často se jedná o velmi malé populace. Z živočišných druhů, které se trvale vyskytují na území NP, jich cca 100 druhů patří mezi zvláště chráněné (NP Šumava 2020).



### 3. Metodika

#### 3.1. Metodika sčítání ptáků

Sčítání ptáků probíhalo pomocí bodové metody z vymezeného bodu do 50 m od sčítatele. Umístění bodů v NP Šumava je vidět na obrázku č.4. Zvláště se zaznamenávaly jedinci nad 50 m (především zajímavé druhy jako datlík tříprstý, tetřev hlušec, kos horský apod.). K těmto jedincům za hranicí 50 m se uváděla vzdálenost odhadem od sčítatele. K odhadu vzdálenosti v terénu se využilo vykreslení hranic (50 m, 100 m, 200 m) na podkladovém ortofoto v mapových podkladech nebo QGIS projektu. Po příchodu na bod se 5 minut čekalo, až se ptactvo uklidní a začalo opět vokalizovat. Každý bod byl sčítán dvakrát za hnízdní sezónu v roce 2020. První kontrola byla provedena mezi 2. polovinou dubna a 1. polovinou května. Druhá kontrola byla od 2. poloviny května do 1. poloviny června. Zde se kladl důraz na to, aby minimální doba mezi první a druhou kontrolou na jednom bodě, byla 14 dní.



Obr. 4: Mapa s označením bodů v NP Šumava

Sčítání většinou probíhalo v době bezvětrí nebo maximálně mírného vánku a zejména bez vydatného deště. Důležitý byl také čas, který byl od svítání po dobu 4 hodin. Pozdější sčítání nebylo bráno v zřetel. Zaznamenávali se všichni slyšení či vidění jedinci. Ve většině případů se jednalo o zpívajícího samce. Tam, kde byl hustý

porost, se bylo možno pohybovat do malé vzdálenosti od sčítacího bodu, zejména pro zvýšení pravděpodobnosti podchycení málo slyšitelných druhů (např. králícci) a omezení podhodnocování těchto ploch v porovnání s otevřenějšími porosty. V případě polomů s otevřeným porostem byla slyšitelnost lepší, tudíž nebyl nutný pohyb po stanovišti.

### 3.2. Kódování bodů

Porosty byly rozděleny do 4 kategorií, které se při sčítání bodů střídaly v jednom dni (tabulka 1). Důvodem bylo, aby se omezil vliv aktuálních podmínek v daném dni na jeden určitý typ plochy. První kategorií byl živý porost zapojený (ZPZ), který se skládal z větších celků nepoškozených porostů, pokrývaly co nejširší rozpětí nadmořské výšky. Jednalo se především o smrčinu, kdy nevadila malá příměs jiné dřeviny do 10 %. Druhou kategorií byla maloplošná disturbance (MD), kde se jednalo o malá oka disturbovaného porostu, spíše v nižších polohách, v matici zdravých porostů. Velkoplošná disturbance byla třetí kategorií. Jednalo se především o velké plochy poškozených porostů, často ve vrcholových částech Šumavy. Tato kategorie se dále dělila na velkoplošné disturbance poškozené větrem (VDV) a na disturbance poškozené kůrovcem (VDK). Poslední kategorií byl živý porost – shluky (ZPS), zejména shluky živých stromů ve velkoplošně poškozených porostech, pozůstatky živých porostů, vyskytují se ve vyšších polohách v matici velkoplošných polomů. V případě kategorie ZPS a ZPZ se jedná o dospělé vysoké porosty do 50 let věku, průměry kmenů jsou kolem 35 cm.

<i>Počet z FID</i>	<i>Popis</i>				
<i>NMV</i>	<i>MD</i>	<i>VD</i>	<i>ZPS</i>	<i>ZPZ</i>	<i>Celkový součet</i>
<i>790-890</i>	<b>10</b>			<b>12</b>	<b>22</b>
<i>890-990</i>	<b>7</b>			<b>13</b>	<b>20</b>
<i>990-1090</i>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
<i>1090-1190</i>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>41</b>
<i>1190-1290</i>		<b>19</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>32</b>
<i>1290-1390</i>		<b>6</b>			<b>6</b>
<b><i>Celkový součet</i></b>	<b>27</b>	<b>43</b>	<b>21</b>	<b>60</b>	<b>151</b>

Tabulka 1: Zastoupení jednotlivých typů ploch s ohledem na gradient nadmořské výšky

### 3.3. Data leteckého laserového skenování

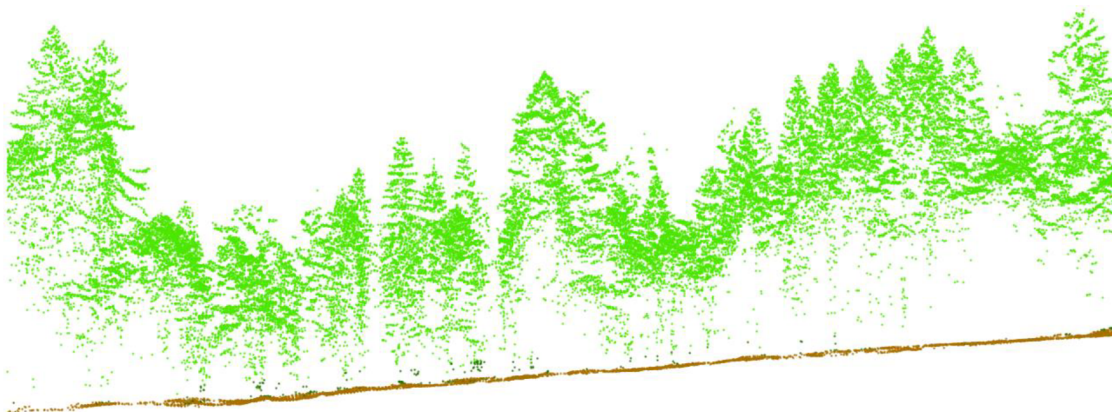
Data leteckého laserového skenování pořídila společnost MILAN GeoService GmbH v červnu 2017 v období olistění pomocí skeneru Riegl LMSQ680i. Data byla získána pomocí vrtulníku letícího ve výšce 550 m nad zemí s rychlostí 60 uzlů a 60% překrytím letových linií. Hustota mračna bodů byla v průměru 55 bodů na metr čtvereční. Společnost MILAN GeoService GmbH zpracovala mračno bodů, které bylo klasifikováno do tříd terénu, vegetace, a budov. Mračno je vztaheno k souřadnicovému referenčnímu systému DHDN/3-degree Gauss–Kruger zona 4 (EPSG: 31468) a s výškou zaznamenanou jako ortometrické výšky. Data leteckého laserového skenování byla tvořena 36 dílčími soubory tzv. dlaždicemi a zpracována s využitím nástrojů LAStools, verze 230123. Celá Šumava byla rozdělena do 2 km dlaždic s malým bufferem. Další analýzy byly provedeny prostřednictvím ArcGIS for Desktop 10.4.1. Na všech bodech se pomocí Buffer vytvořila zóna 100 m a v každém bufferu byly spočítány vegetační charakteristiky.

### 3.4. Klasifikace

Pomocí uspořádání bodů mračna z laserového leteckého skenování jsou vytvářeny třídy vlastností. S použitím několika dalších funkcí mohu z těchto vrstev generovat další výsledky laserového snímání. Nejprve se separovaly odrazy představující terén od budov, vegetačního krytu a dalších nadzemních objektů. Na tento krok je potřeba nástroj *lasground*, který nám umožňuje rozdělit body do dvou základních skupin (odrazy od terénu a odrazy od objektů nad terénem).

Dalším nástrojem byla funkce *lasheight*, která byl potřeba pro analýzu výšky odrazů, díky čemuž vznikla výškově normalizovaná data. Po spuštění nástroje, kde byla použita funkce *replace* z byla nahrazena nadmořská výška výškou bodu nad terénem. Samotné odrazy od vegetace a budov jsou pak klasifikovány nástrojem *lasclassify*. V předkládané práci byla provedena pouze experimentální klasifikace několika dlaždic. I přes dostupnost automatických algoritmů je klasifikace náročný proces, který vyžaduje důkladné ladění a není v silách jedince přesně klasifikovat tak velkou oblast jakou je Šumava. Pro odvození vegetačních charakteristik tak bylo využito již dostupné klasifikace od poskytovatele dat (příklad klasifikovaného mračna je zobrazen na obrázku č.5.

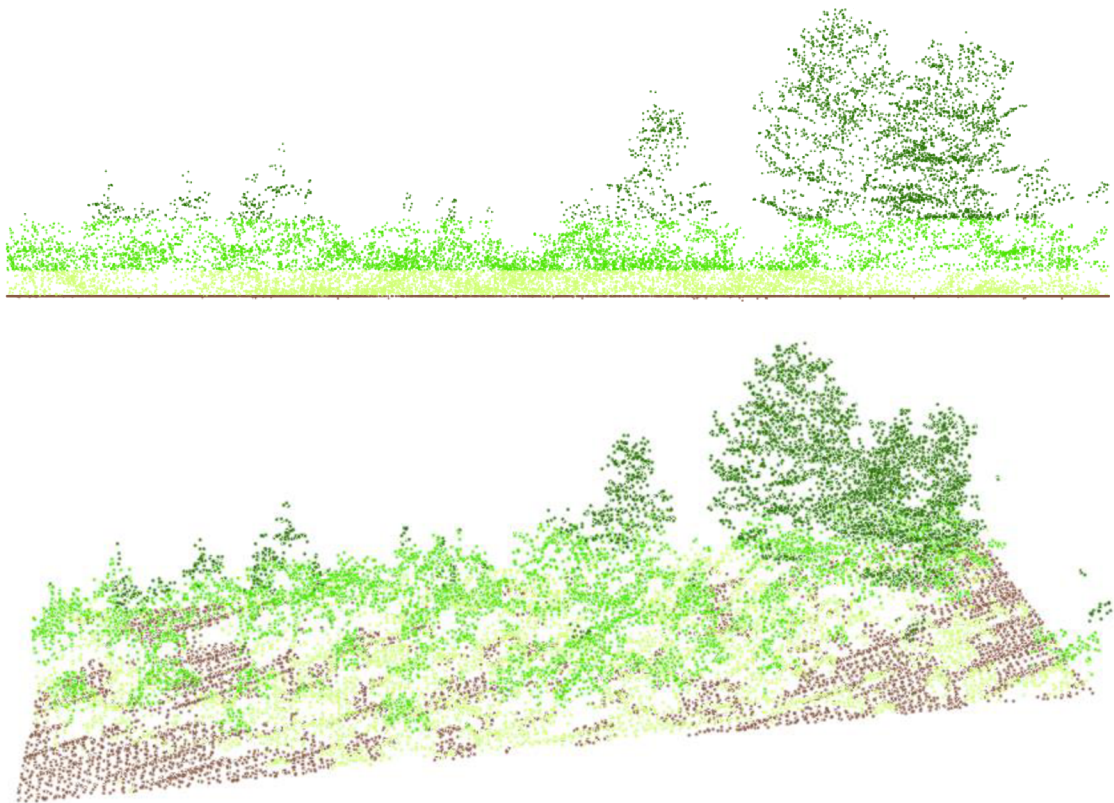




Obr. 5: Profil bodovým mračnem klasifikovaným do tříd terén a vegetace

### 3.5. Odvozené vegetační charakteristiky

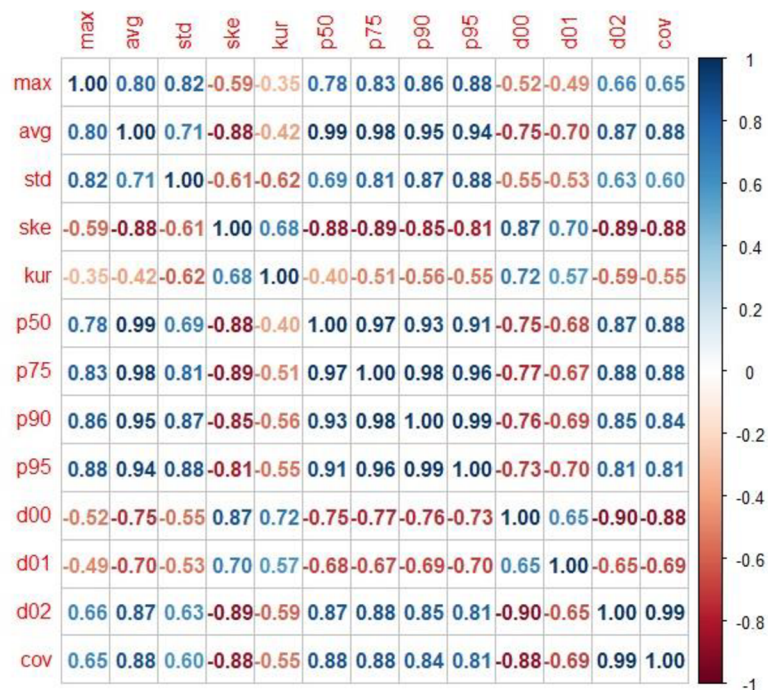
Z bodového mračna byly vypočítány následující vegetační charakteristiky: Průměrná směrodatná odchylka odrazů od vegetace (std); celková pokryvnost vegetací (cov); 50, 75, 90 a 95procentní percentil odrazů od vegetace. Dále byly odrazy od vegetace rozděleny do třech dílčích vegetačních pater. Moravec (1994) definoval výšky, které odpovídají bylinnému, keřovému i stromovému patru. Porost s výškou do 1 m definuje bylinné patro, výška 1–3 m definuje keřové patro a poslední stromové patro odpovídá výšce nad 3 m (viz obrázek 6). Dalšími spočítanými charakteristikami byly maximální a průměrná výška odrazů (m), šikmost (skewness), špičatost (kurtosis) a pokryvnost vegetací (%).



Obr 6.: Vegetační profil (nahore) a 3D zobrazení (dole) odlišující tři vegetační patra: bylinné (0 - 1 m), keřové (1 - 3 m) a stromové (nad 3 m). Odrazy od terénu jsou zobrazeny hnědou barvou.

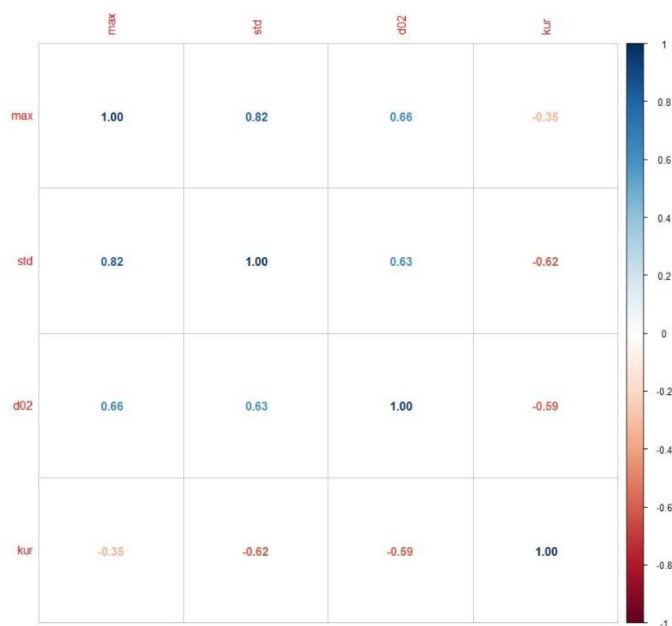
### 3.6. Odstranění korelovaných charakteristik a tvorba modelu

Před tvorbou samotných modelů bylo nutné odstranit charakteristiky vegetace, které byly vzájemně korelované. Byl vypočítán korelační koeficient pro všechny charakteristiky, v programu R studio a byly vybrány vzájemně nekorelované a ekologicky snadno interpretovatelné charakteristiky (tabulka 2). Pomocí funkce *corrplot* byla graficky znázorněná korelační matice (obr. 4). Hranice vysoké korelace byla stanovena hodnota 0,8.



Obr 4.: Korelační matice mezi proměnnými

Nejméně korelované byly prediktory *max*, *d02*, *kur* a *std* (obr. 5)



Obr 5. Grafické znázornění mezi vybranými proměnnými

Samotné modelování bylo provedeno pomocí Boosted regression trees (BRT). Jedná se o v ekologii oblíbené modely, zejména pro svou jednoduchost a flexibilitu (ELITH et al. 2008). Nastavení BRT bylo následující: learning rate (0.005), bag.fraction

(0.5), tree.complexity (1), max.trees (5000). Pro tvorbu modelů bylo použito Poissonovo rozdělení, protože celková početnost druhů získává celé a nezáporné hodnoty. Modely byly vyhodnoceny na základě vysvětlené variability, která byla vypočtena dle následujícího vzorce:  $(\text{mean total deviance} - \text{mean deviance}) / \text{mean total deviance} * 100$ . Dále byla vyhodnocena důležitost jednotlivých proměnných v každém modelu a vytvořeny grafy závislosti diversity na studovaných charakteristikách vegetace.

<i>max</i>	Maximální výška odrazů (m)
<i>std</i>	Směrodatná odchylka odrazů (m)
<i>kur</i>	Kurtosis (-)
<i>d00</i>	Hustota odrazů v bylinné patře (%)
<i>d01</i>	Hustota odrazů v keřové patře (%)
<i>d02</i>	Hustota odrazů ve stromovém patře (%)
<i>cov</i>	Pokryvnost vegetací (%)

Tabulka 2: Vysvětlené zkratky u zvolených proměnných

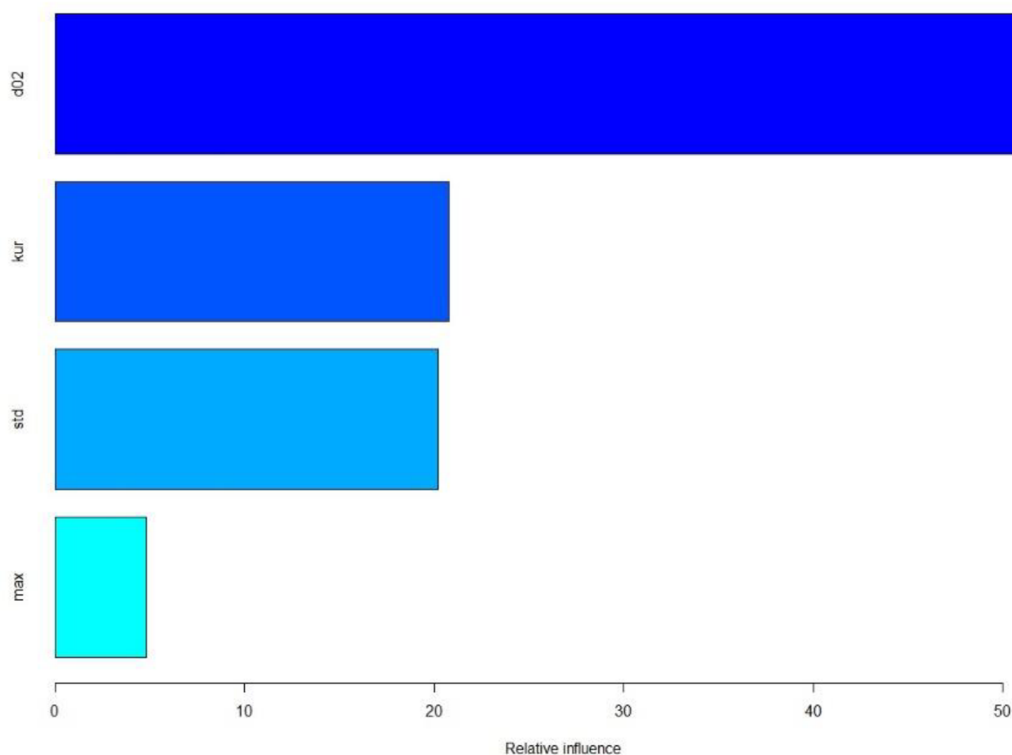
## 4. Výsledky

### 4.1. Celková diverzita

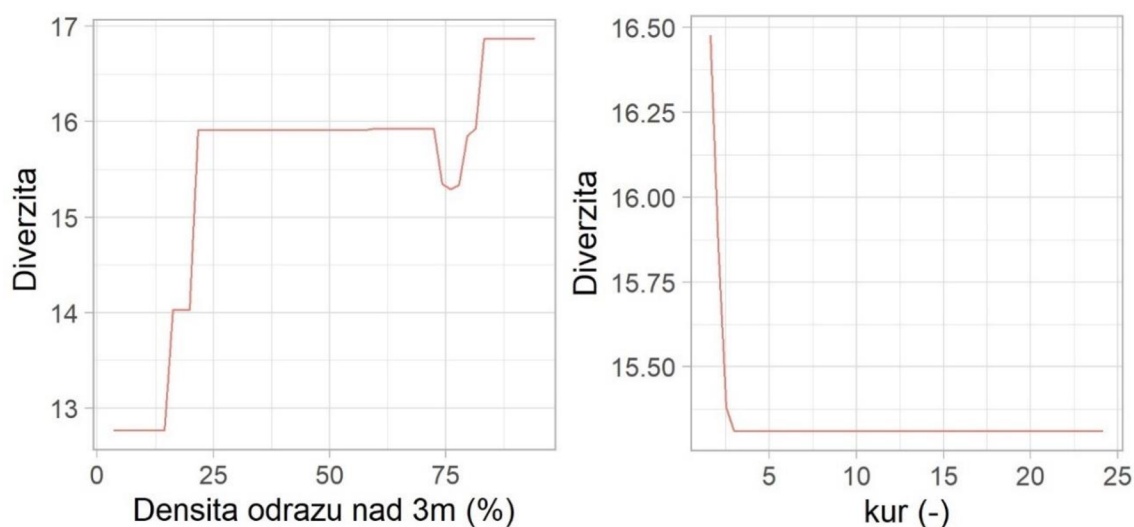
Model celkové diversity ptactva vysvětlil 18 % z celkové variability (tabulka 3). Nejdůležitější proměnnou vysvětlující nejvíce variability (54,2 %) se ukázala být hustota odrazů ve stromové patře (d02). Z grafu č. 2 je patrné, že s rostoucí denzitou odrazů od stromové vegetace stoupá druhová diverzita. Nejméně výraznější nárůst byl zaznamenán pro hustotu odrazů 25 – 50 %. Jako druhá nejdůležitější proměnná se ukázala kurtosis a směrodatná odchylka, které shodně vysvětlily kolem 20 % variability. Jako poslední leč velmi málo důležitá proměnnou byla zařazena maximální výška odrazů, která vysvětlila pouhých 4,8 % z celkové vysvětlené variability (graf 1).

<b>mean total deviance</b>	<b>0.603</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.403</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.493</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>18 %</b>

Tabulka 3: Celková vysvětlená deviance pro model 1



Graf 1: Význam jednotlivých proměnných pro model 1



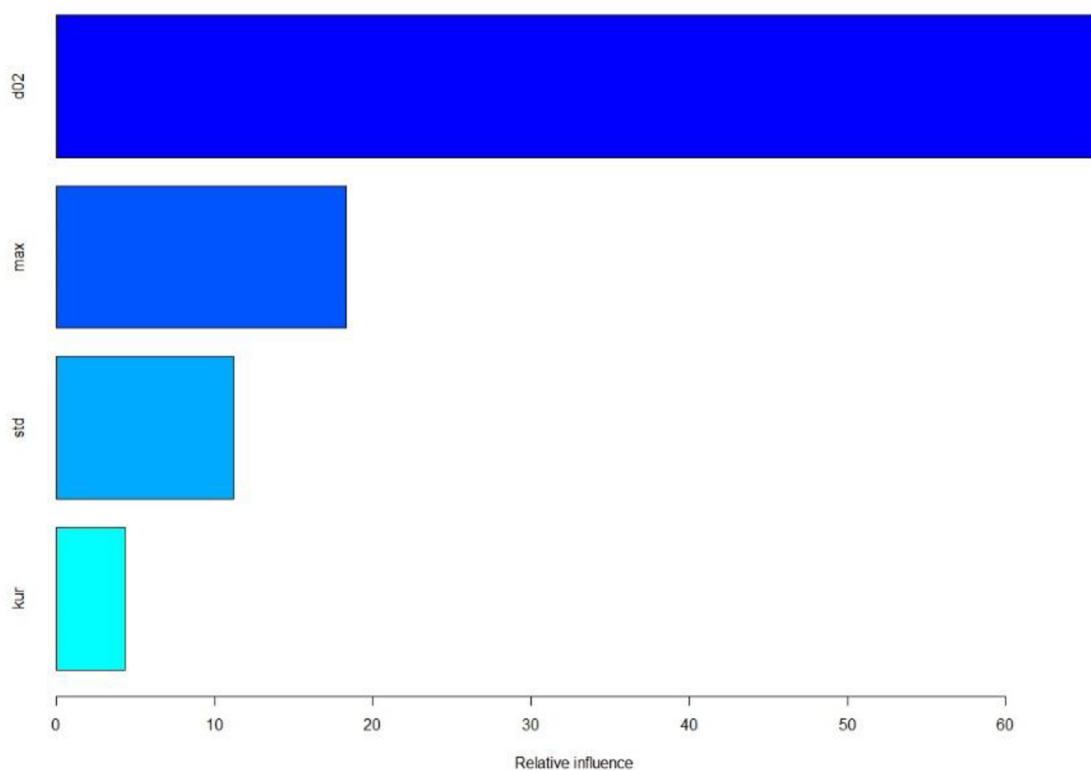
Graf 2: Vliv hustoty odrazů stromového patra (vlevo) a špičatosti (vpravo) na celkovou diverzitu.

#### 4.2. Diverzita ptáků v hnízdících dutinách

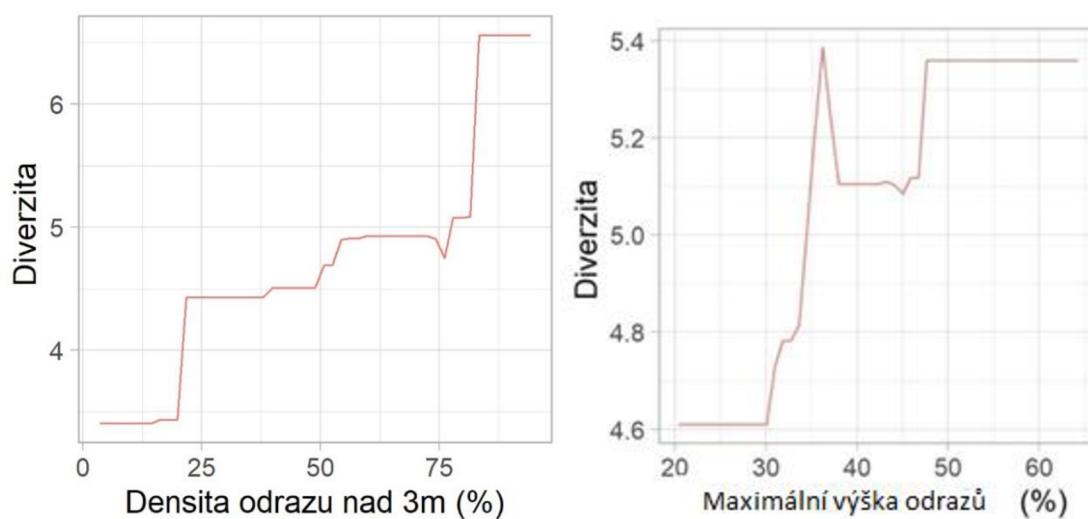
Pro diversitu gildy ptáků hnízdících v dutinách je vysvětlená variabilita 42 % (tabulka 4). Nejvýznamnější proměnnou je opět hustota odrazů ve stromovém patře (d02), která vysvětlila 66,2 % z celkové vysvětlené variability (graf 3). S rostoucí hustotou odrazů od stromové vegetace stoupá počet druhů hnízdících v dutinách. Nárůst je zpočátku pozvolný a k výraznému skoku dochází pro hustotu stromového patra vyšší než 75 % (graf 4). Druhou nejvýznamnější proměnnou je maximální výška odrazů vysvětlující 18,3 %. Směrodatná odchylka výšky odrazů od vegetace vysvětlila pouhých 11,2 % a špičatost 4,3 % z celkové vysvětlené variability.

<b>mean total deviance</b>	<b>0.839</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.352</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.478</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>42 %</b>

Tabulka 4: Vysvětlená deviance pro guildu ptáků v hnízdících dutinách



Graf 3: Význam jednotlivých proměnných pro guildu Hn\_dutina\_pocet\_druhu.



Graf 4: Vliv hustoty odrazů stromového patra (vlevo) a maximální výšky odrazů od vegetace (vpravo) na diverzitu v hnízdících dutinách.

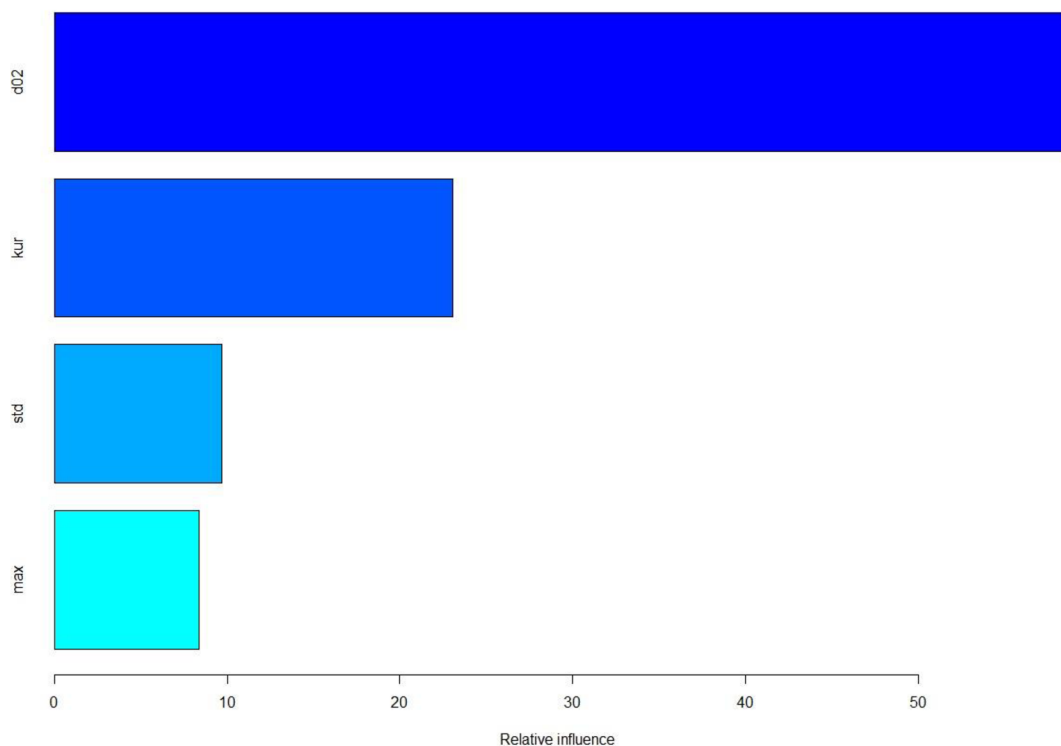


#### 4.4. Diverzita ptáků hnízdících v korunách

Pro gildu ptáků hnízdících v korunách model vysvětluje 31,7 % variability (tabulka 5) s nejvýznamnějším prediktorem hustoty odrazů od vegetace ve stromovém patře (d02), která vysvětlila 58,9 % z celkové vysvětlené variability (graf 5). Z grafu č. 6 je patrný výrazný nárůst diversity ptáků hnízdících v korunách pro hodnoty density stromového patra mezi 25 – 50 %. Dalším významným prediktorem je kurtosis (23,1 %).

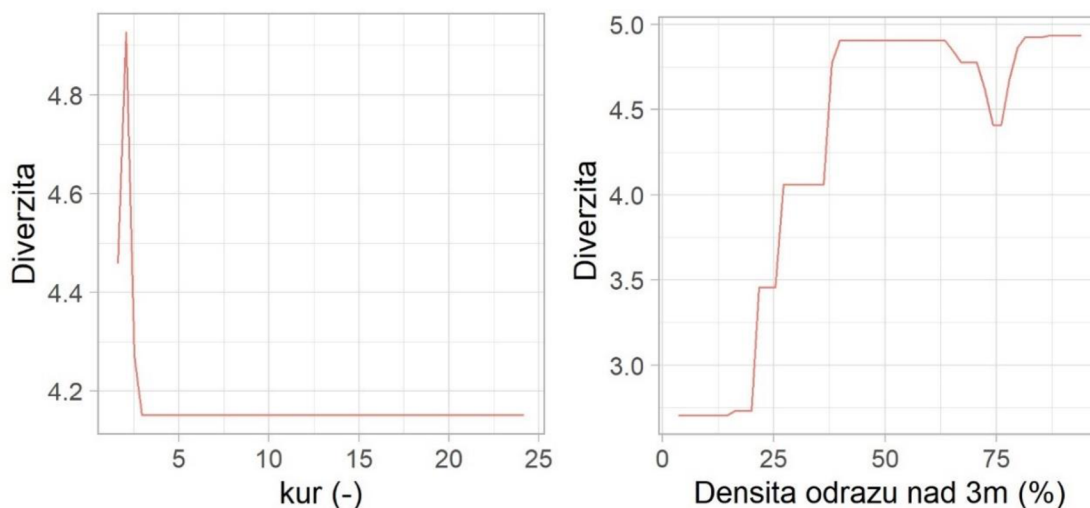
<b>mean total deviance</b>	<b>0.725</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.396</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.495</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>31,7 %</b>

Tabulka 5: Celková deviance pro početnost ptactva v hnízdících korunách



Graf 5: Význam jednotlivých proměnných pro gildu ptáků hnízdících v korunách





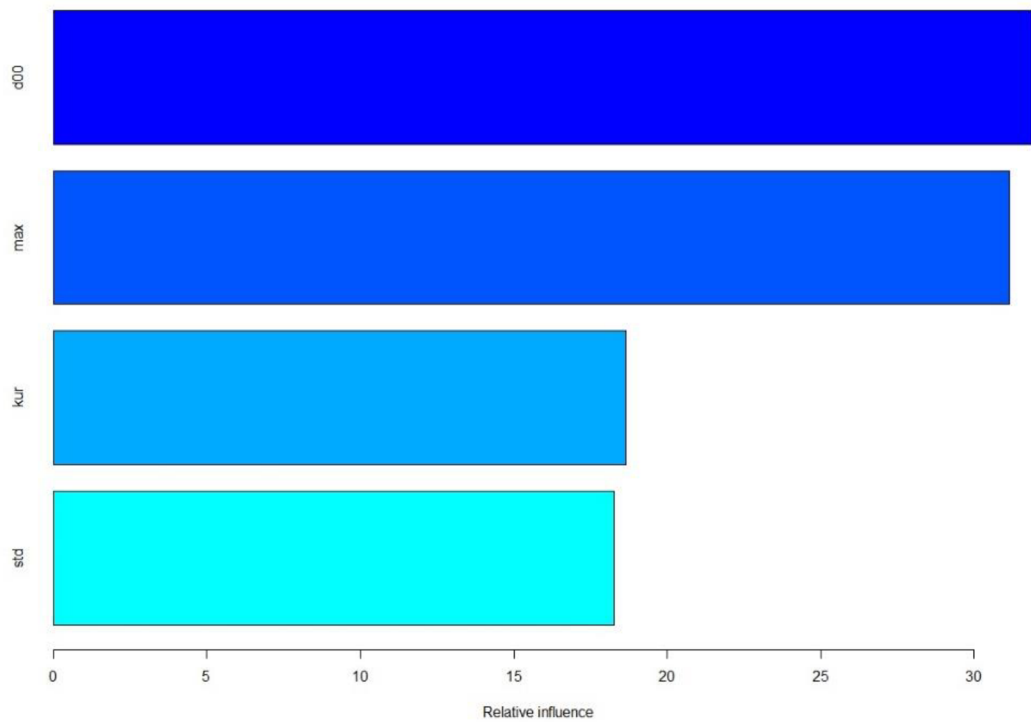
Graf 6: Vliv Kurtosis (vlevo) a hustoty vegetace ve stromovém patře (vpravo) na diverzitu ptáků hnízdících v korunách stromů.

#### 4.5. Početnost ptáků hnízdících na zemi

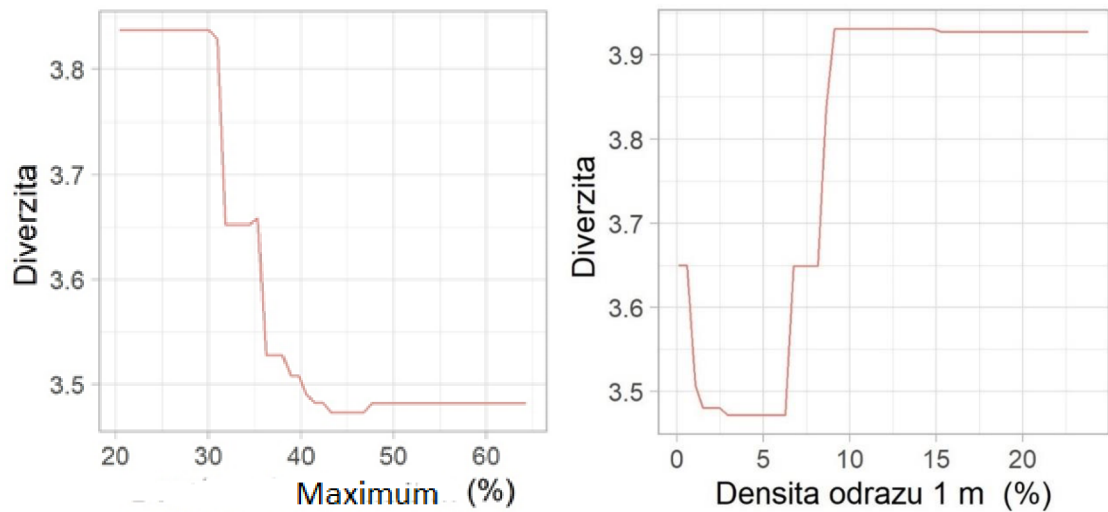
Pro gildu ptáků hnízdících na zemi činí vysvětlená variabilita 17,4 % (tabulka 6). Nejdůležitější proměnná vysvětlující nejvíce variability se ukázala být hustota odrazů v bylinném patře (d00), která vysvětlila 32 % z celkové vysvětlené variability (graf 7). S rostoucí densitou bylinného patra rostla i diverzita ptáků hnízdících na zemi. Druhá podobně významná proměnná byla maximální výška odrazů od vegetace, která vysvětlila 31,8 %. S rostoucí maximální výškou vegetace klesala diversita ptáků hnízdících na zemi (graf 8). Ostatní proměnné byly spíše nevýznamné.

<b>mean total deviance</b>	<b>0.276</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.201</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.228</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>17,4 %</b>

Tabulka 6: Celková vysvětlená deviance pro gildu ptáků hnízdících na zemi



Graf 7: Význam jednotlivých proměnných pro gildu Hn\_zem\_pocet\_druhu.



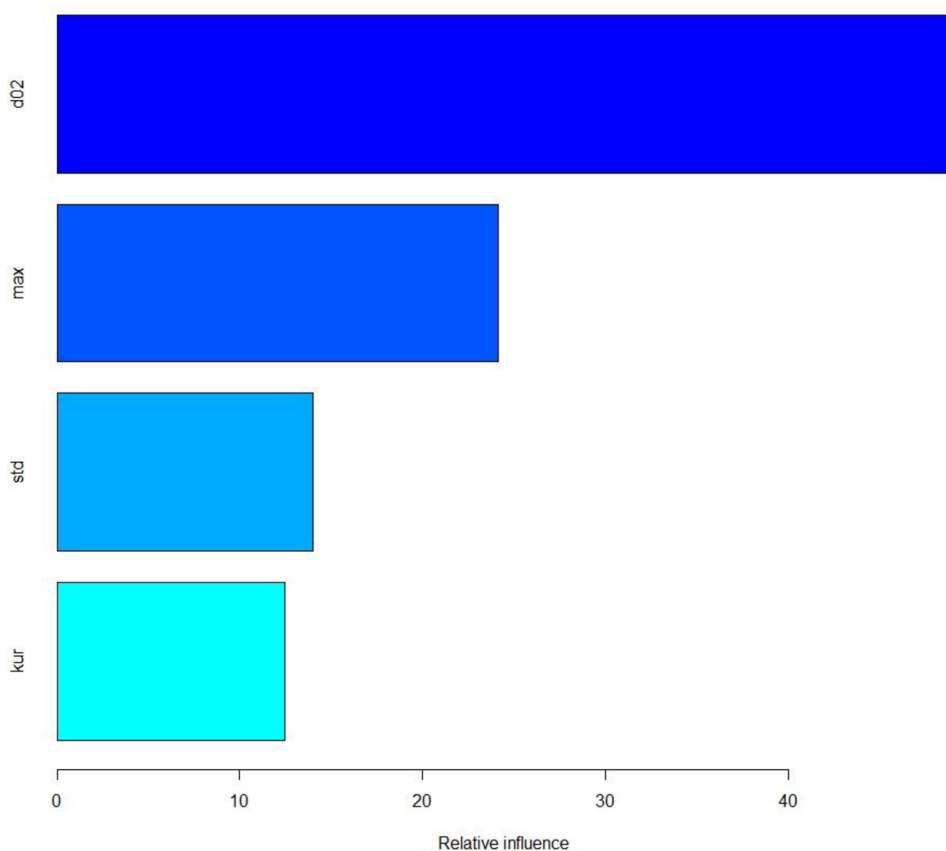
Graf 8: Vliv density odrazů do 1 m (vlevo) a Maximální výška odrazů (vpravo) na početnost ptactva v bylinném patře.

#### 4.6. Diverzita ptactva lovcích na kmeni

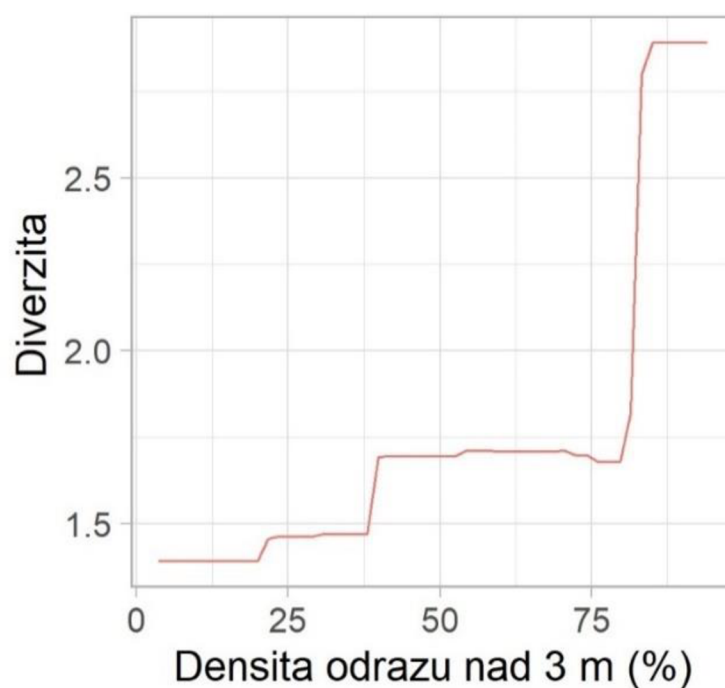
Pro diversitu gildy ptáků lovcích na kmeni model vysvětlil 28,8 % (tabulka 7), přičemž nejdůležitější prediktor byla densita vegetace ve stromovém patře (d02), která vysvětlila 49,4 % z celkové vysvětlené variability (graf 9). S narůstající hodnotou hustoty stromového patra se zvyšuje diverzita ptáků lovcích na kmeni, přičemž nejvýznamnější nárůst je kolem 30 % a 75 % (graf 10). Další v pořadí byly maximální výška vegetace (24,1 %), směrodatná odchylka odrazů od vegetace (14,1 %), a kurtosis (12,4 %).

<b>mean total deviance</b>	<b>0.904</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.503</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.644</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>28,8 %</b>

Tabulka 7: Vypočítaná celková deviance pro diverzitu ptáků lovcích na kmeni



Graf 9: Význam jednotlivých proměnných pro guildu ptáků lovcích na kmeni.



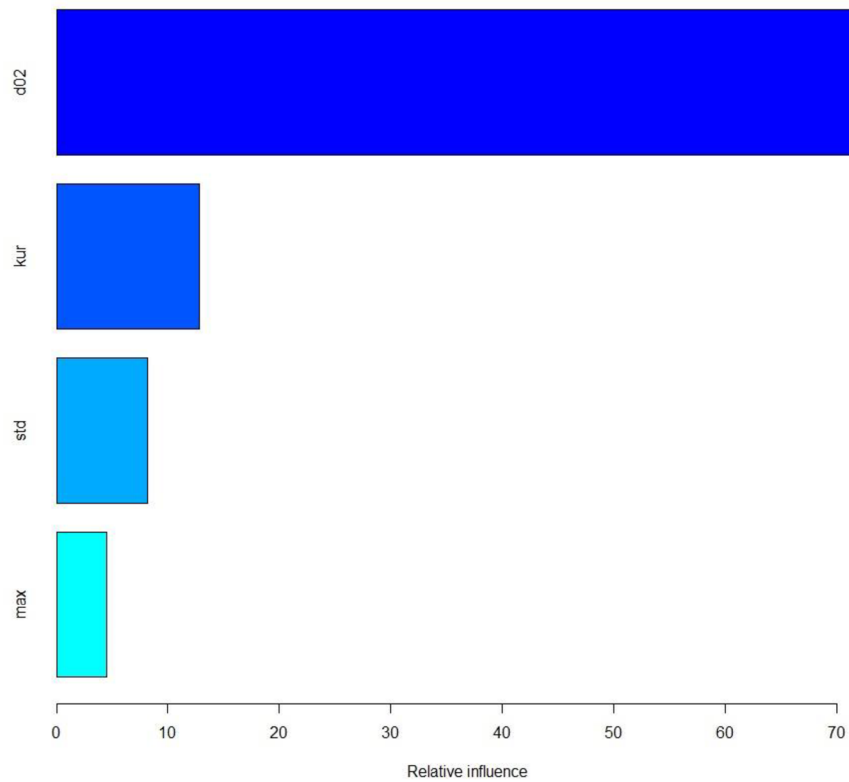
Graf 10: Vliv hustoty stromového patra na diversitu gildy ptáků lovících potravu na kmeni.

#### 4.7. Početnost druhů lovících v korunách stromů

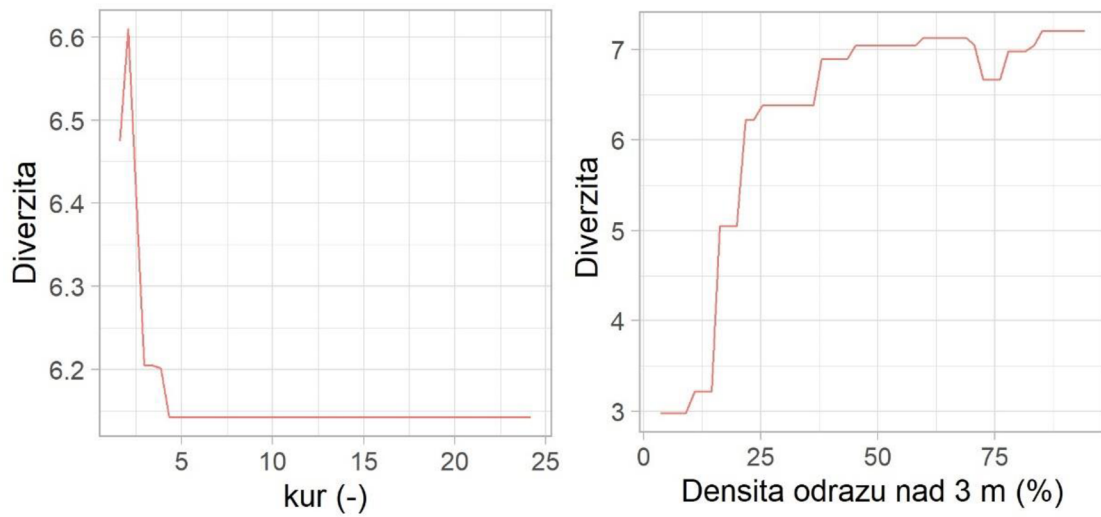
Model pro gildu Lov\_koruna\_pocet\_druhu vysvětluje 43,7 % variability (tabulka 8). Významnými prediktory je stromové patro (d02) s 74,6 % a kurtosis s 12,8 % (graf 11). Pro početnost druhů lovících v korunách stromů má přes 74 % vliv stromové patro. Kurtosis na početnost ptactva hnízdících v korunách stromů má pouhých 12 %, směrodatná odchylka odrazů 11 % a maximální výška odrazů od vegetace je pod 10 %. Z grafu č. 12 je patrné, že s rostoucí hustotou odrazů od stromového patra se početnost ptáků lovících v korunách zvyšuje.

<b>mean total deviance</b>	<b>0,890</b>
<b>mean residual deviance</b>	<b>0.364</b>
<b>estimated cv deviance</b>	<b>0.501</b>
<b>Celková vysvětlená deviance</b>	<b>43,7 %</b>

Tabulka 8: Vysvětlená deviance pro diverzitu ptactva lovících v korunách stromů



Graf 11: Význam jednotlivých proměnných



Graf 12: Vliv špičatosti (vlevo) a hustoty odrazů od stromového patra (vpravo) na diverzitu ptáků

#### 4.8. Neúspěšné modely

Guilda potravy na zemi skýtá vysvětlená deviance modelu pouze 6,2 %, tudíž model není úspěšný. Stejně je na tom guilda druhů lovicích potravy v keřích, kde bylo vysvětleno 2,4 %. U guildy ptáků hnízdících v keřích bylo modelem vysvětleno pouze 6 %, tudíž model není úspěšný a ani dále rozebírán.

### 3. Diskuze

V této práci byl hodnocen vliv vegetace na vybrané ptačí gildy v NP Šumava. Zkoumané znaky jsou důležité pro vyhledávání vhodného biotopu pro hnízdění, na které navazuje rozmnožování. Dostupnost vhodných biotopů a úkrytů snižuje riziko predace. VOGELER et al. (2014) ve své studii popisuje, že struktura porostu úzce souvisí se způsobností pohybu a ke zdárnému shánění potravy.

Z výsledků je patrné, že struktura vegetace hraje zásadní roli pro guildu ptáků hnízdících na stromech, v dutinách, v korunách, zatímco pro ostatní gildy, ptáci hnízdící na keři, lovíci na keři a na zemi je důležitost minimální. K podobným závěrům došel i WEISBERG et al. (2014), který zkoumal vliv struktury vegetace na diversitu ptáků podél řeky Walker v Nevadě a Kalifornii. Jejich výsledky ukazují, že gildy ptáků lovicích na zemi, ptáci hnízdící v dutinách i lesní druhy vyžadují vysokou heterogenitu ve struktuře vegetace, zatímco ptáci lovíci či hnízdící na zemi, a ptáci lovíci na keři nejsou na struktuře porostu tolik závislé. BERGEN et al. (2009) ve své práci uvádí, že pro početnost ptactva je pokryvnost klíčová nad jednotlivými úrovněmi výšky.

Hustota vegetace stromového patra se ukázala jako jedna z nejdůležitějších proměnných vysvětlující počet zaznamenaných ptačích druhů pro většinu ptačích guild. Je to významný prediktor pro ptačí gildy využívající k hnízdění stromové patro, to samé platí pro diverzitu hnízdící v korunách stromů, v dutinách, a také pro lokaci ve shánění potravy. Tyto výsledky potvrzuje ve své studii také LESAK et al. (2011), kde psal, že početnost druhu hnízdící v korunách stromů úzce souvisí s hustotou vegetace stromového patra. Podle této studie význam stromového patra pro ptactvo hledající potravu na zemi, což částečně vyšlo i v předkládané studii, může zrcadlit spíše všeobecné požadavky druhu na stanoviště, tzn., že jsou zde přijatelné podmínky pro bezobratlé, které jsou častou potravou ptáků. Tam, kde se nachází vysoké stromy, jsou pravidelně využívány jako potravní místa, a místa pro hnízdění (VEIRLING et al. 2014). Druhy hnízdící v dutinách vykazovaly určitou citlivost na strukturu lesa, především na hustotu středního a spodního patra (THOR et al. 2016).

Densita vegetace v keřovém patře se ukázala být nevýznamným prediktorem. Vyznačuje se vysokou mírou korelace s ostatními proměnnými, tudíž poskytuje pouze informaci, která je obsažena již v ostatních proměnných. Na druhou stranu VOGELER et al. (2014) zkoumal vliv hustoty vegetace v keřovém patře (1–2.5 m) na druhovou diversitu ptáků v jehličnatých lesích severní Ameriky a zaznamenal pozitivní vliv hustoty keřového patra na celkovou diverzitu ptáků a na diversitu ptáků hnízdících na zemi.

Hustota vegetace v intervalu do 1 m reprezentující procentuální zastoupení vegetace v bylinném patře, měla pouze minimální efekt, a to zejména pro gildu ptáků hnízdících na zemi. Obecně lze očekávat, že vyšší diverzita bude spojena s vyšším zastoupením vegetace v bylinném patře. Nicméně tento trend není úplně jednoznačný.

Maximální výška odrazů od vegetace měla pozitivní vliv na diverzitu druhu hnízdící v dutinách a lovcích na kmeni, zatímco na počet druhů hnízdících na zemi byl efekt negativní.

Trochu překvapivě se v modelech příliš neuplatnila směrodatná odchylka odrazů od vegetace. Vysoká směrodatná odchylka odrazů od vegetace je typická pro členitý porost, kde se vyskytuje bohatý podrost i stromové patro. Tedy ideální prostředí pro hnízdění širšího spektra druhů. Nicméně i v jiných studiích se směrodatná odchylka odrazů od vegetace ukázala jako nevýznamný prediktor (VOGELER et al. 2014). Podle DAVIES et ASNER (2014), nicméně, záleží na tom, jaká část druhů se v dané oblasti nachází.



## 4. Závěr

Data leteckého laserového skenování jsou velmi dobře aplikovatelná pro získání struktury vegetace v NP Šumava a pro odvození charakteristik vegetace, které mají vliv na diverzitu ptačích druhů. Výsledky této práce ukazují, že použité charakteristiky vegetace mají svá nepochybná pozitiva, ale i negativa. Mezi nejvýznamnější proměnné, které mají prokazatelný vliv na diverzitu ptáků lze zařadit hustotu vegetace ve stromovém patře, maximální výška odrazů od vegetace, procentuální pokryvnost vegetací a kurtosis. Pro celkovou početnost ptactva byl zvolen výsledný model, který celkově vysvětlil 18 % variability. Pro guildu druhů hnízdících v dutinách stromů byla vysvětlená deviance modelu 42 %. Taková hodnota se dá považovat za vysokou hodnotu, protože druhovou početnost ptactva nepochybně ovlivňují další faktory (např. klima), které nebyly v této práci zkoumány. Druhý nejvýznamnější model dosahoval vysvětlené variability (31,7 %) pro diversitu guildy ptactva hnízdících v korunách stromů. Vysokých hodnot vysvětlené variability také dosahoval model (28,8 %) pro diverzitu ptactva lovících na kmeni. Dalším zkoumáním vlivu struktury vegetace na diverzitu ptačích společenstev lesních ekosystému v NP Šumava, by bylo vytvoření modelů rozšíření určitých zvolených druhů ptáků, což by mohlo vést k lepšímu pochopení jejich biotopových nároků.

## 5. Literatura

Anděra M., Zavřel P. 2003: Šumava. Baset, Praha

Bakx T. R. M., Koma T., Seijmonsbergen A. C., Kissling W., 2019: Use and categorization of Light Detection and Ranging vegetation metrics in avian diversity and species distribution research. *Diversity and Distributions* 00: 1–15.

Bergen K. M., Goetz S. J., Dubayah R. O., Henebry G. M., Hunsaker C. T., Imhoff M. L. et Radloff V. C., 2009: Remote sensing of vegetation 3-D structure for biodiversity and habitat: review and implications for lidar and radar spaceborne missions. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 114.

Bradbury R. B., Hill R. A., Mason D. C., Hinsley S. A., Wilson J. D., Balzter H. et Bellamy P. E., 2005: Modelling relationships between birds and vegetation structure using airborne LiDAR data: a review with case studies from agricultural and woodland environments. *Ibis* 147(3): 443-452.

Davies A. B. et Asner G. P., 2014: Advances in animal ecology from 3D-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in ecology & evolution* 29(12): 681-691.

Dolanský T., 2004: Lidary a letecké laserové skenování. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.

Eldegard K., Dirksen J. W., Ørka H. O., Halvorsen R., Næsset E., Gobakken T. et Ohlson M., 2014: Modelling bird richness and bird species presence in a boreal forest reserve using airborne laser-scanning and aerial images. *Bird Study* 61(2): 204-219.

Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of animal ecology*, 77(4), 802-813.

Elith J. et Leathwick J. R., 2010: Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40(1): 677-697.

Evans J. S., Hudak A. T., Faux R. et Smith A., 2009: Discrete return lidar in natural resources: Recommendations for project planning, data processing, and deliverables. *Remote Sensing* 1(4): 776-794.

Farrell S. L., Collier B. A., Skow K. L., Long A. M., Campomizzi A. J., Morrison

Franklin J., 2010: Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.

Grinnel, R. B. & D. Berrigan (1917). Testing evolutionary hypotheses of acclimation. In *Animals and temperature: Phenotypic and evolutionary adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, 205-237.

Huber N., Kienast F., Ginzler C. et Pasinelli G, 2016: Using remote-sensing data to assess habitat selection of a declining passerine at two spatial scales. *Landscape ecology* 31(9): 1919-1937.

John J., 2011: Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. *Počítačová podpora v archeologii* 3: 24–28.

Jones T. G., Arcese P., Sharma T., Coopsa N. C. 2013: Describing avifaunal richness with functional and structural bioindicators derived from advanced airborne remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 34(8): 2689–2713.

Koma, Z., Grootes, M. W., Meijer, C. W., Nattino, F., Seijmonsbergen, A. C., Sierdsema, H., ... & Kissling, W. D. (2021). Niche separation of wetland birds revealed from airborne laser scanning. *Ecography*, 44(6), 907-918.

Lesak A. A., Radeloff V. C., Hawbaker T. J., Pidgeon A. M., Gobakken T. et Contrucci K., 2011: Modeling forest songbird species richness using LiDAR-derived measures of forest structure. *Remote Sensing of Environment* 115(11): 2823-2835.

Moudrý, V., Cord, A., Gábor, L., Laurin, G.V., Barták, V., Gdulová, K., Malavasi, M., Rocchini, K. S., Prošek, J., Klápště, P., Wild, J. (2023). Vegetation structure derived from airborne laser scanning to assess species distribution and habitat suitability: The way forward *Diversity and Distributions*, 29, 39-50.

NP Šumava 2020: Národní park Šumava, Vimperk, online: <https://www.npsumava.cz/sprava-np/>

Pearman, P. B., Guisan, A., Broennimann, O. & Randin, C. F. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 149-158.

R Core Team, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Roubínek, J., Červenka, J., (2019). Laser, který nepálí aneb Šumavské lesy pod laserovým skenerem, *Šumava* (10-11).

Simonson, W.D., Allen, H.D. & Coomes, D.A. (2014) Remotely sensed indicators of forest conservation status: case study from a Natura 2000 site in southern Portugal. *Ecological Indicators*, 24, 636– 647.

Thorn, S., Bässler, C., Svoboda, M., & Müller, J. (2017). Effects of natural disturbances and salvage logging on biodiversity—Lessons from the Bohemian Forest. *Forest Ecology and Management*, 388, 113-119.

Thorn, S., Werner, S. A., Wohlfahrt, J., Bässler, C., Seibold, S., Quillfeldt, P., & Müller, J. (2016). Response of bird assemblages to windstorm and salvage logging—Insights from analyses of functional guild and indicator species. *Ecological indicators*, 65, 142-148.

Vierling K. T., Swift C. E., Hudak A. T., Vogeler J. C. et Vierling L. A., 2014: How much does the time lag between wildlife field-data collection and LiDARdata acquisition matter for studies of animal distributions? A case study using bird communities. *Remote Sensing Letters* 5(2): 185-193.

Vogeler J. C., Hudak A. T., Vierling L. A., Evans J., Green P. et Vierling K. T., 2014: Terrain and vegetation structural influences on local avian species richness in two mixed-conifer forests. *Remote sensing of environment* 147: 13-22.

Weisberg P. J., Dilts T. E., Becker M. E., Young J. S., Wong-Kone D. C., Newton W. E., Ammon E. M., 2014: Guild-specific responses of avian species richness to LiDAR-derived habitat heterogeneity. *Acta Oecologica* 59: 72 – 83.