

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: NEKO



Bc. Marek Dubský

Diverzita a abundance ptáků podél výškového gradientu Kamerunských hor

Diversity and abundances of birds along elevational gradient on Cameroon mountains

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Školitel: RNDr. Ondřej Sedláček, Ph.D.

Praha, 2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 7. 8. 2020

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli Ondřeji Sedláčkovi za trpělivost, cenné rady a pomoc při zpracování této práce a Mišovi Ferencovi hlavně za pomoc s programem QGIS. Dále bych rád poděkoval Jirkovi Hasmanovi za velkou pomoc se statistikou a Monice Neufussově za pomoc se stylistickou formou práce a také za morální podporu.

Abstrakt

Cílem této práce je popsat změny druhové diverzity ptačích společenstev podél elevačního gradientu na šesti kamerunských horách a na blízkém ostrově Bioko. Výsledky analýzy většinou potvrzují stanovené hypotézy, zejména ukazují, že druhová diverzita klesá s nadmořskou výškou a je závislá na rozloze. Shluková analýza ukazuje podobnost jednotlivých hor v konkrétních nadmořských pásech. Navzdory původní hypotéze vykazuje Kamerunská hora největší podobnost s horou Kupé, ačkoliv horská společenstva Kamerunské hory a ostrova Bioko se navzájem také podobají. Absolutně nejvyšší diverzita byla zaznamenána na Kamerunské hoře a na hoře Kupé, ale ve výšce nad 2100 m n. m. jsou druhově nejpestřejší hory Oku a Manenguba. Výsledky této práce přispívají k utvoření jasnější představy o faktorech ovlivňujících druhovou diverzitu, nicméně obsáhlejší data (zejména z hory Nlonako) a rozšíření dat např. o ptačí abundance by práci obohatily a umožnily podrobnější zkoumání druhové diverzity, zejména pak konkurenčních vztahů mezi jednotlivými druhy.

Klíčová slova

Druhová diverzita, Kamerun, ptačí společenstva, elevační gradient

Abstract

The aim of this thesis is to describe the changes of bird species diversity along elevation gradient on six mounts in Cameroon and nearby Bioko island. The results of the analyses confirm most of the defined hypotheses, especially they show that species diversity declines with altitude and rises with area. Cluster analysis shows the similarity of individual mountains in particular altitude zones. Despite the original hypothesis, mount Cameroon is found to be most similar to mount Kupé, although high mountain assemblages of mount Cameroon and Bioko island are very alike as well. The absolutely highest diversity was detected on mount Cameroon and mount Kupé, but above 2100 m above sea level mounts Oku and Manenguba are the most diverse. The results of this thesis contribute to a clearer notion about factors influencing species diversity; however, more thorough data (particularly from mount Nlonako) and data extension for e.g. bird abundance would enrich the study and it would enable us to perform more detailed diversity analysis, especially an analysis of competition relationship among species.

Keywords

Species diversity, Cameroon, bird assemblages, elevational gradient

Obsah

1. Úvod.....	2
2. Metodika.....	4
2.1. Altitudinální gradient diverzity.....	4
2.1.1. Teorie vysvětlující altitudinální gradient diverzity.....	4
2.1.2. Altitudinální gradient u ptáků.....	7
2.2. Oblast studie.....	9
2.2.1. Klima a popis studovaných hor.....	11
2.3. Kompilace dat.....	16
2.3.1. Nejdůležitější zdroje dat.....	17
2.3.2. Omezení dat.....	20
2.4. Úprava dat a analytické metody.....	22
3. Výsledky.....	25
3.1. Druhová diverzita Kamerunských hor.....	25
3.1.1. Závislost počtu ptačích druhů na nadmořské výšce.....	25
3.1.2. Průběh druhové diverzity ptáků ve studované oblasti.....	27
3.1.3. Species-area relationship.....	28
3.2. Podobnosti mezi společenstvy ptáků.....	29
3.2.1. Shluková analýza.....	29
3.2.2. Upravený Diceho koeficient - podobnosti společenstev ptáků.....	31
3.3. Výměna druhů s podobnou nikou podél elevačního gradientu.....	35
4. Diskuze.....	38
4.1. Druhová diverzita Kamerunských hor.....	38
4.2. Výsledky v kontextu literatury.....	40
4.3. Doplnění dat.....	42
4.4. Vztahy mezi společenstvy ptáků.....	45
4.5. Kompetice druhů s podobnou ekologickou nikou.....	46
5. Závěr.....	48
Použitá literatura.....	50
Přílohy.....	54

1. Úvod

Jedním z hlavních cílů ekologie posledních let je zkoumat zákonitosti rozložení druhové diverzity na planetě a co možná nejlépe popsat všechny faktory, jež se na ní podílí. Výsledky tohoto výzkumu mohou přispět k určení zajímavých oblastí z hlediska budoucího zoologického či botanického výzkumu, a zejména mohou poskytnout informace pro budoucí ochranné projekty soustředěné na zachování druhové diverzity.

Jedním ze základních schémat rozložení druhové diverzity na Zemi ve velkých škálách je latitudinální gradient, který je popisován jako negativní závislost počtu druhů na zeměpisné šířce. Jak uvádím ve své předchozí práci (Dubský 2015), na menších škálách ve většině případů rozhoduje zejména heterogenita prostředí. Poněkud speciálním faktorem ovlivňujícím diverzitu na malých škálách je altitudinální gradient diverzity. Altitudinální gradient diverzity kopíruje latitudinální, ale na rozdíl od něj se uplatňuje na malých plochách a vychází z nadmořské výšky, nikoliv zeměpisné šířky.

Cílem této diplomové práce je analyzovat distribuci druhové diverzity na 6 kamerunských horách¹ a ostrově Bioko² podél výškového gradientu, porovnat jednotlivá společenstva mezi sebou a zjistit jejich podobnosti a odlišnosti. Zároveň zkoumám, jak funguje druhový obrat ptáků s podobnou ekologickou nikou. Vzhledem k tomu, že oblast kamerunských hor je významným centrem ptačího endemismu na kontinentu (Berg et al. 2006, Bibby 1992, Stattersfield et al. 1998, Klerk et al. 2001, Graham et al. 2005), je snaha určit i nejdůležitější oblasti (hory) pro budoucí možnou ochranu a výzkum.

¹ Kamerunská hora, hory Kupé, Nlonako, Manenguba a Oku a Rumpi Hills s horou Rata

² ostrov Bioko patří pod Rovníkovou Guineu, leží na něm i hlavní město Malabo

Ve své práci ověřuji následující teze:

- 1 Druhová diverzita ptačích společenství je nejvyšší na úpatích hor a lineárně klesá se zvyšující se nadmořskou výškou. U některých hor je možné plató diverzity v nižších nadmořských výškách následované lineárním poklesem. Což platí pro elevační gradienty biodiverzity na humidních horách, kde se nejvyšší úhrn srážek nachází na úpatí hory (McCain 2009).
- 2 Ve stejných nadmořských výškách jsou společenství ptáků nejpodobnější na Kamerunské hoře a ostrově Bioko a to kvůli nejpodobnějšímu klimatu, izolovanosti obou hor a kvůli podobně dlouhému gradientu hor. Směrem na sever jsou podobná společenstva ptáků posunuta výše vzhledem k rozdílnému rozložení srážek a teplot. Naopak nejodlišnější společenstva ptáků hostí Mount Oku, vzhledem ke své geografické poloze v savanovém pásu.
- 3 K nahrazování druhů s podobnou ekologickou nikou (species turnover) podél elevačního gradientu dochází buď ostrou hranicí přechodu (jeden druh je okamžitě nahrazen druhým a nekoexistují ve středních nadmořských výškách) nebo naopak druhy spolu budou koexistovat ve středních nadmořských výškách a směrem k úpatí či vrcholu budou postupně převládat vybrané druhy.

2. Metodika

Cílem této práce je analyzovat chování a strukturu ptačích společenství na 7 horách Kamerunské linie podél elevačního gradientu. V této kapitole proto shrnuji teorii vztahující se k problematice altitudinálního gradientu diverzity, dále se zde věnuji popisu studovaných lokalit, metodice sběru dat a použitým statistickým analýzám.

2.1. Altitudinální gradient diverzity

Altitudinální gradient diverzity vyjadřuje negativní závislost počtu druhů na nadmořské výšce. Je popsán z mnoha oblastí světa a různých klimatických pásů, dotýká se, jak živočichů, tak rostlin, to vše naznačuje, že se jedná o obecně platný jev ve všech hornatých oblastech světa (McCain 2009, Romdal and Rahbek 2009, Stevens 1992, Wiens et al. 2007, Rahbek 1997, McCain 2007, Sanders 2002, Rahbek 1995, Heaney 2001, Brown 2001). V této podkapitole se věnuji teoriím vysvětlujícím příčinu altitudinálního gradientu diverzity a dále jeho průběh u ptačích společenstev.

2.1.1. Teorie vysvětlující altitudinální gradient diverzity

Úbytek druhové diverzity se zvyšující se nadmořskou výškou je obecně platné schéma akceptované ve vědeckých kruzích (Rahbek 1995). Přesné příčiny tohoto úbytku jsou ovšem dosud nedostatečně prozkoumány. Existuje několik teorií, jež vysvětlují úbytek druhové diverzity se zvyšující se nadmořskou výškou. Pravděpodobně nejzásadnější vliv na elevační gradient diverzity mají klimatické teorie. Obecně se soudí, že nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím snižování biodiverzity podél elevačního gradientu jsou klesající teplota a s ní spojená nižší produktivita, popřípadě další klimatické faktory zahrnující množství srážek,

vlhkost apod. (Rahbek 1995, McCain 2007, McCain 2009, Ruggiero and Hawkins 2008, Heaney 2001, Graham et al. 2005).

Teorie Ostrovní biogeografie je další z možných teorií vysvětlujících úbytek biodiverzity podél elevačního gradientu. Tato teorie uvádí, že biodiverzita na ostrovech je určena jejich rozlohou a vzdáleností od pevniny (složitější modely zahrnují i míru speciace a extinkce). Podle teorie Ostrovní biogeografie se biodiverzita směrem k vrcholu snižuje z důvodu zvyšující se vzájemné izolovanosti ploch (další podobný habitat ve 2000 m n. m. se nachází mnohem dál než další podobný habitat ve 200 m n. m.) a zároveň snižující se rozlohy ploch směrem k vrcholu (Stevens 1992, MacArthur 1972).

Další možné vysvětlení poskytuje elevační Rapoportovo pravidlo, jedná se o rozšíření Rapoportova pravidla, které je definováno jako pozitivní korelace mezi velikostí areálu rozšíření a zeměpisnou šířkou (Rapoport 1982). Jeho rozšíření tvrdí, že s rostoucí nadmořskou výškou se organismus musí vypořádat s širším spektrem klimatických proměnných (vlhkost, množství srážek, evapotranspirace, teplota), takže každý individuální jedinec musí být fyziologicky a behaviorálně schopný zvládnout všechny stavy těchto proměnných. Naopak v nižších nadmořských výškách je užší spektrum klimatických proměnných, kterým se jedinec musí přizpůsobit. Druhovú diverzita je zde vyšší díky přílivu druhů z blízkých nížinných oblastí. Tyto druhy jsou schopné zde přežít právě díky blízkosti svých původních areálů a s tím spojenou možností migrace, která zabraňuje jejich extinkcím. Nižší nadmořské výšky jsou díky této vlastnosti sink habitatem pro mnohem více druhů než střední a vyšší nadmořské výšky (Brown and Kodric-Brown 1977, Rahbek 1997, Sanders 2002), projevuje se zde Rapoportův rescue efekt (podle Stevens 1992).

Další možná vysvětlení altitudinálního gradientu druhové diverzity jsou z kategorie prostorových. Species area relationship je vztah mezi počtem druhů a celkovou plochou

zkoumané oblasti a zjednodušeně říká, že na větších plochách se nachází větší množství druhů (Connor and McCoy 1979). U většiny hor se celková plocha jednotlivých nadmořských pásů postupně snižuje od úpatí k vrcholu, což ale neplatí vždy, například McCain (2007) při zkoumání 34 horských profilů zjistila, že 8 z nich má největší plochu ve středních nadmořských výškách. Ovšem vzhledem k tomu, že většinou se plocha opravdu snižuje, dávalo by to vysvětlení altitudinálního gradientu (Rahbek 1997, McCain 2007). Některé studie ale ukazují, že species-area relationship nevysvětluje veškerou variabilitu altitudinálního gradientu, dokonce v některých případech výsledky ukazují i negativní korelaci mezi počtem druhů a plochou (Rahbek 1995, McCain 2007, McCain 2009).

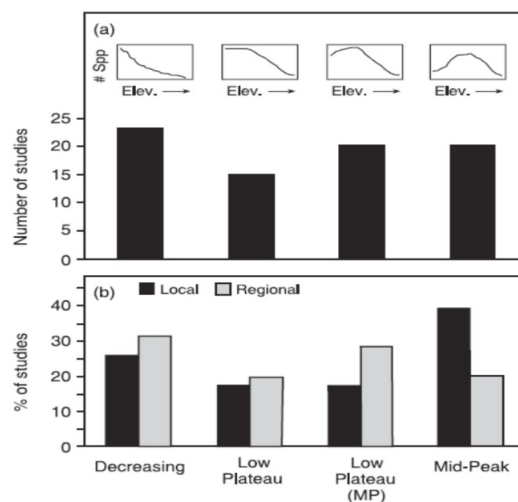
Jinou prostorovou hypotézou vysvětlující výškový gradient diverzity je Mid-domain efekt. Podle této hypotézy je nejvyšší diverzita druhů uprostřed geografických regionů. Základní premisou je, že u okrajů regionu je menší pravděpodobnost výskytu druhů s malými a středními areály rozšíření, kdežto uprostřed regionu se vyskytují všechny druhy s velkými areály rozšíření a je zde i vyšší pravděpodobnost výskytu druhů se středními a malými areály. Toto uspořádání způsobí, že uprostřed regionů je druhová diverzita vyšší než na jejich okrajích. V případě výškového gradientu jsou tedy okraji regionu úpatí a vrchol hory a nejvyšší diverzita se předpokládá ve středních nadmořských výškách (McCain 2007, Rahbek 1997, Colwell et al. 2004). Provedené studie ovšem nepotvrdily, že by Mid-domain efekt byl globálním faktorem ovlivňujícím diverzitu podél elevačního gradientu. Procenta vysvětlené variability byla poměrně nízká (McCain 2007, McCain 2009). Lepších výsledků se docílilo kombinací Mid-domain efektu a Species-area relationship (McCain 2007, Rahbek 1997). Ale podle McCain (2007) je diverzita druhů více závislá na klimatických faktorech než pouze na vysvětlení skrz prostorové hypotézy.

V této kapitole uvádím nejrelevantnější, popřípadě nejlépe testovatelné teorie vysvětlující působení altitudinálního gradientu. Existují i další teorie, které ale vzhledem k

zaměření této práce, přesahují její rámec. Jsou to například teorie ohledně rozdílného úsilí při sběru dat (Colwell and Coddington 1994), teorie zaměřující se na evoluční historii lokací a rozdílné míry speciace a extinkce (Wiens et al. 2007, Brown 2001, Heaney 2001), nebo teorie zaměřující se na biologické faktory – míru kompetice, efekt ekotonů, heterogenitu a komplexitu prostředí apod. (Heaney 2001). Tyto teorie jsou obecně velmi těžko testovatelné pro obecnou obtížnost definování základních charakteristik a také pro obtížnost měření všech charakteristik podél celého gradientu (McCain 2009).

2.1.2. Altitudinální gradient u ptáků

McCain (2009) v souhrnné rešerši 190 elevačních gradientů ze všech klimatických pásem, z ostrovů i z pevniny ukázala čtyři možné průběhy diverzity u ptačích společenství: klesající diverzitu podél elevačního gradientu, plató v nižších nadmořských výškách následované poklesem, plató v nižších nadmořských výškách s vrcholem ve středních nadmořských výškách a vrchol diverzity ve středních nadmořských výškách, viz Obrázek 1.

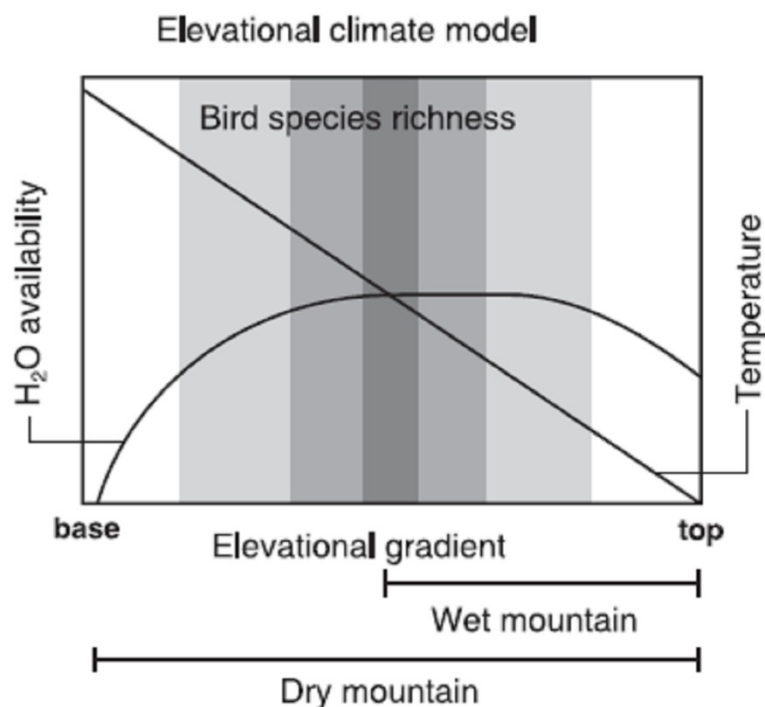


Obrázek 1 a) ukazuje počet studií ukazujících 4 možné průběhy ptačí diverzity podél elevačního gradientu, podle pořadí: lineárně klesající diverzita, plató v nižších nadmořských výškách, plató v nižších nadmořských výškách s vrcholem ve středních nadmořských výškách a vrchol diverzity ve středních nadmořských výškách

b) porovnání procent studií každého elevačního gradientu na lokální a regionální úrovni

(zdroj: McCain 2009)

Obecně platí, že v horách teplota lineárně klesá zhruba o $0,6^{\circ}\text{C}$ na 100 metrech výšky, ovšem srážky a dostupnost vody se mezi horami velice různí a značně záleží na lokálním klimatu, ale i expozici hory vůči větru (návětrná strana hora má vždy více srážek). U hor v suchém klimatu se nejvíce srážek objevuje ve středních nadmořských výškách a nejsušší jsou úpatí hory. Naopak v horách s vlhkým klimatem se nejvíce srážek objevuje právě u úpatí hory a směrem k vrcholu klesá. Se zahrnutím těchto informací vytvořila McCain (2009) klimatický model pro druhovou diverzitu ptáků podél elevačního gradientu, viz Obrázek 2.



Obrázek 2 Popis průběhu ptačí diverzity podél elevačního gradientu na suchých (Dry mountain) a vlhkých (Wet mountain) horách. Vlevo na grafu je úpatí hory, vpravo je vrchol. Křivka H_2O availability značí množství dostupné vody, křivka Temperature značí teplotu a zabarvené šedé sloupce značí druhovou bohatost s tím, že čím tmavší barva, tím více druhů se tam vyskytuje. (zdroj: McCain 2009)

Ve své analýze vycházím z modelu McCain (2009). Vzhledem k tomu, že se kamerunské hory, studovaná oblast mé práce, nachází v tropech a jsou jednou z nejvlhčích v Africe, předpokládám průběhy gradientů diverzity v podobě vrcholu v nižších nadmořských výškách s postupným klesáním, popřípadě plató v nižších nadmořských výškách s dále

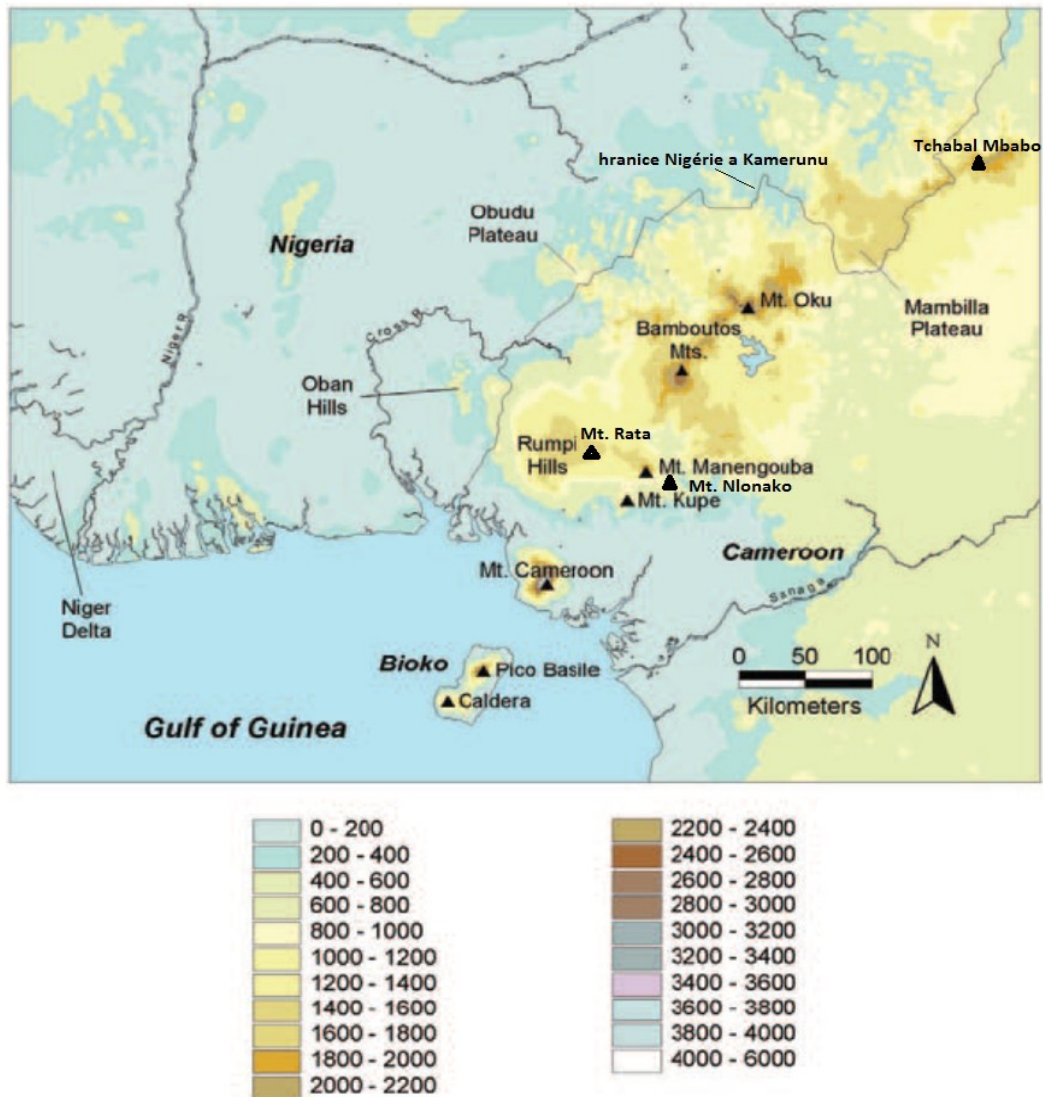
klesající diverzitou. Možnou výjimkou by mohla být hora Oku, která již zasahuje do pásma savan a je tedy výrazně sušší než ostatní.

2.2. Oblast studie

Oblastí západního Kamerunu a východní Nigérie se táhne několik pohoří a osamělých hor sopečného původu. Toto pásmo se nazývá Kamerunská linie a táhne se až do Guinejského zálivu, kde tvoří ostrovy Bioko, Princův ostrov, Svatý Tomáš a Annobón (Taylor et al. 2015, Graham et al. 2005, Pérez del Val et al. 1996). Jedná se o nejvyšší území v západní Africe s nejvyšší horou regionu Kamerunskou horou měřící 4095 m n. m., která je stále činnou sopkou (Fishpool and Evans 2001, Oates et al. 2004).

Tato oblast je označována, jako hotspot diverzity na kontinentální úrovni (Graham et al. 2005, Fishpool and Evans 2001, Stattersfield et al. 1998, de Klerk et al. 2002a, Oates et al. 2004, Bergl et al. 2006). Vyskytuje se zde celkem 28 endemických druhů ptáků vázaných na horský les (z toho 1 druh na Bioku) a 6 nížinných endemických druhů (Fishpool and Evans 2001, Pérez del Val et al. 1994, Bergl et al. 2006). V Pleistocénu byla oblast mnohem sušší, zhruba o 2-4°C studenější a klimatické podmínky byly celkově příznivější pro růst horského lesa, který se rozkládal na mnohem větší ploše než dnes, někde se vyskytoval i o 1000 metrů níže než dnes (Graham et al. 2005). Dříve tak měly druhy vázané na horské lesy pravděpodobně mnohem větší areály rozšíření a horská společenstva ptáků byla nejspíš mnohem méně izolovaná než dnes. Podle Graham et al. (2005) je vysoká míra endemismu této oblasti pravděpodobně způsobena izolovaností hor, jejich stálým klimatem a vysokou produktivitou prostředí. Ostrov Bioko dnes hostí 1 endemický druh a 46 druhů klasifikovaných jako druhy s omezeným (restricted) areálem rozšíření nebo endemických poddruhů a nehostí mnohem větší míru endemismu pravděpodobně kvůli tomu, že byl minimálně 30 000 let během glaciace spojen s pevninou (současná vzdálenost je 37 km od

kamerunské pevniny). Jakkoli je klasifikace poddruhu v biologii obtížná, tento jev ukazuje na potenciál pro budoucí speciace na ostrově (Peréz del Val et al. 1994).



Obrázek 3 Mapa části Kamerunu a Nigérie s naznačenými elevacemi (v metrech nad mořem) odlišenými barevně, vyznačeny všechny studované lokality a hora Tchabal Mbabo (upraveno dle Oates et al. 2004)



Obrázek 4 Mapa ukazující krajinný pokryv ve studované oblasti. Tmavě zelená - horský mlžný les, zelená - nížinný tropický les, světle zelená - degradovaný les, olivová - bezleší s občasnými stromy, šedá - mangrovový les, modrá - vodní plochy, žlutá - bezleší (upraveno dle Oates et al. 2004)

2.2.1. Klima a popis studovaných hor

V této části popisují jednotlivé hory zkoumané v rámci studie (Kamerunskou horu, hory Kupé, Nlonako, Manenguba a Oku, hornatou oblast Rumpi Hills s horou Rata a ostrov Bioko), jejich stručnou geografii a klima. Pokud není uvedeno jinak čerpám veškeré reálie z této sekce z Fishpool and Evans (2001) a Stuart (1986).

Kamerunská hora je nejvyšší hora západní Afriky, vyrůstá od hladiny Guinejského zálivu až do výšky 4095 m n. m. Je stále činnou sopkou a poslední erupce byla zaznamenána v roce 2000. Jedná se o izolovanou horu, od další oblasti s výškou nad 1000 m je vzdálená zhruba 80 km. Celková plocha hory je přibližně 1300 km², je nejdeštivějším místem celého Kamerunu, její jihozápadní svah je vystaven průměrným ročním srážkám kolem 10000 mm. Na východní straně hory leží město Buea ve srážkovém stínu, zde jsou průměrné roční srážky přibližně 2000 mm. Prší zde po celý rok, nicméně výraznější období dešťů trvá od dubna do listopadu. Dříve se na svazích rozkládal souvislý porost tropického lesa od hladiny moře až do výšky 2300 m n. m., zhruba od nadmořské výšky 1500 m n. m. přechází nížinný les v horský mlžný les, ve vyšších polohách nahrazen horskými loukami. Vlivem rozrůstání zemědělské půdy, těžby dřeva a vypalování lesů je dnes hranice lesa posunuta o několik stovek metrů výše, na jihovýchodním svahu hory až do 1000 m n. m.. Nachází se zde velmi rozmanitá avifauna, bylo zde nalezeno zhruba 370 ptačích druhů v čele s 2 endemity nacházejícími se pouze na Kamerunské hoře: frankolín kamerunský (*Francolinus camerunensis*) a kruhoočko kamerunské (*Speirops melanocephalus*). Jediným místem výskytu v Kamerunu je Kamerunská hora také pro vlaštovku kamerunskou (*Psalidoprocne fuliginosa*), která se ještě vyskytuje na ostrově Bioko, který patří Rovníkové Guineji. Za zmínku ještě stojí 2 endemické druhy rejsků, 1 endemický zástupce myšovitých a až 49 endemických druhů rostlin, z ohrožených velkých savců se zde vyskytují dril černolící (*Mandrillus leucophaeus*), kočkodan preussův (*Cercopithecus preussi*) a slon africký (*Loxodonta africana*).

Hora Kupé leží zhruba 90 km severovýchodně od Kamerunské hory. Tyčí se do výšky 2064 m n. m., základnu má ve výšce 700 m n. m.. V blízkosti hory Kupé se severně a severovýchodně ve vzdálenosti do 30 km nachází další 2 hory, které jsou součástí této studie, hory Manenguba a Nlonako. Západně od hory Kupé se nalézá pohoří Bakossi mountains, čili zde existuje propojení, jak s nížinným, tak s horským mlžným lesem v okolí. Hora Kupé se

nachází ve srážkovém stínu Kamerunské hory, srážky se zde pohybují mezi 3500-4100 mm za rok, ale na východní straně je to méně, protože je ve srážkovém stínu. Od listopadu do března zde trvá období sucha, kdy spadne minimum srážek. Průměrná teplota se po celý rok pohybuje kolem 24,5°C, ale v období sucha jsou mnohem větší rozdíly mezi denní a noční teplotou. Většina lesů pod 1000 m n. m. je přeměněna na zemědělskou krajinu, nad touto hranicí se zde nachází ještě zhruba 30 km² primárního sub-montánního a montánního lesa (Bowden et al. 2001). Bylo zde zaznamenáno 335 druhů ptáků, včetně oblastního endemita ťuhýkovce kamerunského (*Malaconotus kupeensis*). Dále za zmínku stojí přítomnost drila černolícího (*Mandrillus leucophaeus*), žijí zde velká společenstva čeledi outloňovitých, např. poto zlatý (*Arctocebus aureus*).

Hora Nlonako má geograficky podobnou polohu jako hora Kupé, je od ní vzdálená asi 28 km a je vysoká 1825 m. Pod vrcholem se rozkládá malý sopečný kráter. Klima je zde o něco sušší než na hoře Kupé, průměrné srážky se pohybují okolo 2800 mm za rok (Herrmann et al. 2005). Severní a západní svahy hory jsou značně narušené zemědělstvím a zbývající les je sekundární. Situace je zcela odlišná na jižním a východním svahu hory, kde je nad 1150 m n. m. nedotčený primární les, ovšem malé vesničky a sídla kolem 1000 m n. m. téměř úplně odřízly montánní a sub-montánní les od nížinného, který se rozprostírá na východ od hory. Bylo zde zaznamenáno 267 druhů ptáků, vyskytují se zde také sloni afričtí (*Loxodonta africana*), ovšem v posledních letech jejich počty klesají. Také zde nalezneme menší počet drilů černolících (*Mandrillus leucophaeus*), šimpanzů učenlivých (*Pan troglodytes*) a byla zde objevena populace kriticky ohrožené guerézy kamerunské (*Procolobus preussi*).

Hora Manenguba sousední s horami Kupé a Nlonako. Její základna je ve výšce 1100 m n. m. a vrchol ve výšce 2411 m n. m.. Ve výšce 1950 m n. m. se rozkládá sopečný kráter o průměru 3 km pokrytý loukami, močály a 2 kráterovými jezery. Klima je hodně podobné jako na hoře Nlonako, průměrné roční srážky jsou zde 2740 mm (Tefogoum et al. 2014). Největší

plocha lesa se nachází na jižním a jihovýchodním svahu hory, který je deštivější. Téměř neporušený les se rozprostírá od vrcholu až do 1500 m n. m., v jihovýchodní části až k základně hory ve výšce 1100 m n. m.. Severní svahy jsou využívány ke kultivaci plodin. V minulosti zde byl téměř jistě souvislý les až k hoře Kupé, která je vzdálena asi 30 km na jihozápad. Dnes je většina tohoto lesa přeměněna na zemědělskou půdu, ale stále zde zůstává několik zalesněných ploch. Bylo zde zaznamenáno 270 druhů ptáků. Na hoře Manenguba žijí 3 druhy kamerunských endemitských hlodavců (*Crocidura manengubae*, *Myosorex okuensis*, *Dendromus oreas*) a 2 druhy endemických žab.

Rumpi Hills s horou Rata jsou hornatá oblast nacházející se zhruba 80 km severně od Kamerunské hory a 50 km západně od hory Kupé a Bakossi mountains. Rumpi Hills jsou oblastí s mnoha vrcholy vyššími než 1000 m n. m., nejvyšší z nich je hora Rata s výškou 1768 m n. m.. Průměrné roční srážky se pohybují mezi 4000 - 6300 mm. Část této oblasti je pokryta sub-montánním lesem z velké části degradovaného kácením a přeměnou na zemědělskou krajinu. Hora Rata má zachovalejší les než okolní krajina. Žije zde 198 druhů ptáků, z dalších obratlovců stojí za zmínku výskyt drila černolícího (*Mandrillus leucophaeus*), kočkodana preussova (*Cercopithecus preussi*) a guerézy kamerunské (*Procolobus preussi*).

Hora Oku, jinak známá jako Killum-Ijim, leží zhruba 150 km severně od hory Manenguba. S výškou 3011 m n. m. je druhou nejvyšší horou Kamerunu a západní Afriky, její základna začíná ve výšce 1600 m n. m.. Okolní lesní rezervace má rozlohou 200 km², z čehož polovina je tropický montánní les. Jedná se o nejrozsáhlejší plochu lesa v celé oblasti Bamenda highlands, což je pohoří rozprostírající se kolem 6° severní šířky, které je součástí Kamerunské linie. Hora Oku již leží v savanovém pásu a tak jsou její klima i vegetace odlišné od ostatních hor v této studii. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje kolem 2000 mm a průměrná teplota je kolem 21°C. Okolní lesy mimo rezervaci jsou z převážné většiny přeměněny na zemědělskou půdu. Mezi lety 1988 a 2000 tato oblast zažívala masivní

deforestaci, což se naštěstí povedlo zvrátit zřízením Kilum-Ijim community forest rezervací. Jinak hrozila ztráta tohoto velmi cenného centra endemismu a hot spotu biodiverzity na kontinentu (Mbue and Ge 2010). V rezervaci bylo napočítáno 170 druhů ptáků. Žijí zde poslední větší populace turaka bannermanova (*Tauraco bannermani*) a leskňáčka horského (*Platysteira laticincta*). Prvně jmenovaný je běžný do výšky 2950 m n. m. a jeho populace čítá kolem 2000 párů, leskňáček je běžný do výšky 2600 m n. m. a jeho populace čítá až 1500 párů. Několik dalších endemitů Kamerunsko-Nigerijské oblasti se zde vyskytuje ve větších počtech, jsou to např.: bulbul kamerunský (*Andropadus montanus*), cetie nigerijská (*Bradypterus bangwaensis*) a snovač kamerunský (*Ploceus bannermani*). Hora Oku je velice důležitou lokalitou pro malé savce, žije zde endemický rod hlodavce *Lamottemys okuensis*, a dalších nejméně 7 druhů hlodavců je endemických pro Kamerun. Většina větších savců zde byla vyhubena, přežívá zde poslední menší populace kočkodana preussova (*Cercopithecus preussi*). Žije zde několik endemických druhů obojživelníků a bezobratlých, dokonce zde byly objeveny 3 nové druhy stromů a další druhy rostlin.

Ostrov Bioko leží 37 km jihozápadně od pobřeží Kamerunu, leží na něm hlavní město Rovníkové Guineji Malabo. Celková plocha ostrova je 2017 km², nejvyšší horou je Pico Basilé s výškou 3011 m n. m. nacházející se v severní části ostrova. V jižní části ostrova je nejvyšší horou Caldera de Luba s výškou 2261 m n. m.. Klíma na ostrově je velmi odlišné v gradientu od jihu na sever. Na jihu ostrova je průměrný roční úhrn srážek 10000 mm, na druhou stranu na severním pobřeží v hlavním městě je pouze 1932 mm za rok. Na vrcholu Pico Basilé spadne průměrně 3000 mm ročně, nejvyšší srážky spadnou kolem cca 1600 m n. m. a to zhruba 4000 mm (Pérez del Val 1996). Většina nížinného lesa do výšky 800 m n. m. byla přeměněna na kakaové nebo kávové plantáže, s výjimkou nejjihnějšího cípu ostrova, který není, vzhledem k vysokým srážkám, vhodný pro kultivaci plodin. V severní části ostrova se nad výškou 800 m n. m. nachází národní park. Vegetace je zde méně degradovaná,

i když se tu stále objevují plantáže, a na vrchol Pico Basilé vede silnice k meteorologické a rádiové stanici. Nížinný a sub-montánní les ve výšce zhruba 1800 m n. m. přechází v les montánní, který ve výšce 2500 m n. m. přechází v horské louky. Horský les, který se rozprostírá mezi 1800 - 2500 m n. m. zabírá plochu zhruba 76 km², což je přibližně 3,8% rozlohy ostrova (Pérez del Val 1996). Na Bioku bylo zaznamenáno 198 druhů ptáků, z toho 1 druh je endemický: kruhoočko fernandské (*Speirops brunneus*), a je zde klasifikováno dalších 46 endemických poddruhů (Pérez del Val et al. 1996). Někteří autoři (např. Fishpool and Evans 2001, Pérez del val et al. 1994) ještě uvádí leskňáčka ostrovního (*Batis poensis*) jako endemický druh, ale většina odborné veřejnosti jej bere jako poddruh leskňáčka sieraleonského (*Batis occulta*). Vyskytuje se zde 5 chráněných druhů primátů: kočkodan preussův a červenonosý (*Cercopithecus preussi* a *C. erythrotis*), gueréza černá a červená (*Colobus satanas* a *Procolobus badius*) a na jihu ostrova největší zbývající populace drila černolícího (*Mandrillus leucophaeus*). Na ostrově se dále vyskytují 3 endemické druhy ještěrek a 1 endemický druh ryby. Pláže na jihu ostrova jsou významnými hnízdišti pro 4 druhy mořských želv: kožatku obrovskou (*Dermochelys coriacea*), karetu zelenavou (*Lepidochelys olivacea*) a pro kriticky ohrožené karetu pravou a obrovskou (*Eretmochelys imbricata* a *Chelonia mydas*).

2.3. Kompilace dat

Pro účely této práce jsem vytvořil dataset elevačních rozšíření ptáků na 6 horách v Kamerunu a na ostrově Bioko. Data jsem kompiloval z různých publikovaných i nepublikovaných studií. Základem pro má data byla kniha anglického vědce S. N. Stuarda z roku 1986: Conservation of Cameroon montane forests. Jedná se o data z výzkumné expedice v letech 1983-1984. Expedice se věnovala elevačnímu rozpětí horských druhů ptáků na několika horách v Kamerunu, ale tato studie rovněž obsahuje údaje o elevačním výskytu

nížinných druhů ptáků, menších savců (zejména netopýrů) a plazů. Hlavními zdroji pro rozšiřování datasetu byly zejména výpravy Ch. G. R. Bowdena na horu Kupé, J. Peréze del Val na ostrov Bioko a výzkum týmu z katedry Ekologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy a jejich spolupracovníků v Kamerunu. Další použité zdroje jsou méně významné, zde uvádím jejich citace (Dowsett and Dowsett-Lemaire 1999, Dowsett-Lemaire and Dowsett 2001, Languy et al. 2005, Hendriks 2016, Fotso 2000, Grimes 1971, Fishpool and Evans 2001). Obecně lze říct, že množství informací vytažených z jednotlivých studií se velmi liší, některé přispěly daty pouze pro několik druhů ptáků, v některých jsou údaje o celém společenstvu na dané hoře.

2.3.1. Nejdůležitější zdroje dat

V následující kapitole uvádím nejpodstatnější zdroje dat pro tuto diplomovou práci. Detailně popisují cíle výprav a jejich metody sběru dat, zejména se soustředím na přesné období a oblast výzkumu.

S. N. Stuart (1986) - Conservation of Cameroon montane forests

- jedná se o terénní výzkum několika anglických vědců od listopadu 1983 do dubna 1984 s cílem zjistit status a ekologii horských druhů ptáků v Kamerunu, jako vedlejší cíl se podařilo určit status a ekologii dalších druhů ptáků, savců, plazů a obojživelníků. Dále bylo cílem zjistit současné hrozby pro horské ptáky Kamerunu a navrhnout řešení jejich ochrany.

- oblastí studie bylo 7 hor nebo horských oblastí Kamerunu. Výzkum na Kamerunské hoře trval zhruba od prosince 1983 do ledna 1984, prozkoumány byly jižní a jihovýchodní svahy hory od hladiny moře do 2300 m n. m.. Výzkum na hoře Kupé probíhal 2 týdny v únoru 1984. Hora Manenguba byla prozkoumána v průběhu týdne na konci února 1984. Hora Nlonako byla navštívena jen krátce, po dobu 3 dnů. V březnu 1984 probíhal výzkum 1 týden

v oblasti Rumpi Hills blízko hory Rata a další týden na hoře Oku. Dále byly podniknuty další 1-2 denní výpravy do oblasti Bamenda highlands.

- práce obsahuje podrobné informace o elevačním výskytu 52 horských a dalších nížinných druhů ptáků, dále obsahuje také záznamy o jejich abundancích na číselné škále 1-5

- sčítání ptačích druhů probíhalo podrobnou inventurizací všech biotopů (pomalé procházení), doplněné o mist-netting (chytání do nárazových sítí)

Ch. G. R. Bowden and S. M. Andrews (1994) - Mount Kupé and its birds

- popis elevačních rozpětí některých vzácnějších druhů ptáků na hoře Kupé. Obsahuje poznámky o tom, kde na hoře pozorovat ptáky, ale žádné údaje o tom, jak dlouho jejich výzkum probíhal

Ch. G. R. Bowden (2001) - The birds of Mount Kupé, southwest Cameroon

- checklist druhů ptáků, vyskytujících se na hoře Kupé, celkem 335 druhů. Obsahuje i data ze starších pozorování (od Serle i Eisentraut) a hlavní část je z vlastního výzkumu mezi lety 1991-1994

- byly použity 2 metody sběru dat, a to bodové sčítání (point counts) a mist-netting. Po celou dobu studie byl použit mist-netting minimálně po dobu celých 2 dnů na všech 3 stanovištích pro to vytipovaných (900 m, 1200 m a 1550 m n. m.). Bylo nachytáno přes 2000 ptáků

P. G. Rodewals et al. (1994) - The birds of Korup national park and Korup project area, southwest province, Cameroon

- Korup project area zasahuje až do oblasti Rumpi Hills, kde byl proveden 3týdenní výzkum a sběr dat

- celá studie trvala 3 roky a objevila 390 druhů ptáků, k počítání ptáku se využívalo zejména bodové počítání (point counts) a mist-netting, jsou zde zaznamenána i náhodná pozorování při práci v terénu

J. Pérez del val et al. (1994) - Species richness and endemism of birds in Bioko

- téměř 4-letý výzkum zaměřený na druhy ptáků vyskytující se na ostrově Bioko, celkem popsali 143 druhů ptáků, jejich ekologii, elevační rozpětí a i obecné informace o jejich abundancích

- během studie bylo nastraženo celkem 9 km sítí za celkových 100 dnů pozorování, sítě byly rozvěšeny po 400 metrech nadmořské výšky, mnoho ptáků bylo zaznamenáno také pouhým pozorováním

J. Pérez del Val (1996) - Las aves de Bioko, Guinea Ecuatorial, Guía de campo

- průvodce všemi ptáky vyskytujícími se na ostrově Bioko, jejich ekologie, elevační rozšíření, způsoby rozmnožování apod. Dále obsahuje popis geografie ostrova, jeho klima a vegetační pokryv.

- kniha zahrnuje data z předchozích expedic, které se na ostrově konaly, např. R. J. Dowsett and A. D. Forbes-Watson (1993) - Checklist of birds of the Afrotropical and Malagasy regions. Celkem jsou zde data o 196 druzích ptáků, z toho je 139 druhů rezidentů na ostrově, 14 druhů migrantů a 43 druhů občasných návštěvníků.

W. Serle (1950, 1954, 1965) - The British Cameroons

- studie britského přírodovědce zabývající se avifaunou Britského Kamerunu, autor zde popisuje pozorované druhy ptáků během svého pobytu v Kamerunu ve 40. a 50. letech. Práce obsahuje i údaje o nadmořských výškách a abundancích ptačích druhů.

Birds of Africa (1986 - 2004)

- osmidílný svazek knih pojednávající o ekologii, potravní speciaci, rozšíření a vhodném habitatu většiny ptáků Afriky

- záznamy zejména ze sekundárních zdrojů. Čerpal jsem zejména informace o potravních specializacích a habitatu, ve kterém se ptáci vyskytují

O. Sedláček et al. - nepublikované údaje

- výzkum ekologů z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a jejich spolupracovníků z Kamerunu zaměřený na studium funkční diverzity ptáků podél elevačního gradientu na Kamerunských horách

- sběr dat na Kamerunské hoře proběhl mezi lety 2010 - 2012 mezi prosincem a březnem na šesti lokalitách (v nadmořských výškách 350 m, 650 m, 1100 m, 1550 m, 1850 m, 2250 m n. m.). Standardizovaný průzkum ptačích společenstev založený na point counts, mist-netting a kontinuálním pozorování a záznamu všech ptačích druhů

2.3.2. Omezení dat

Některé oblasti mé studie jsou nedostatečně zmapovány, co se týká elevačního rozšíření ptáků, a pro lepší průkaznost analýz by bylo potřeba doplnit chybějící informace. V Tabulce 1 popisují, jaké kolik výzkumu bylo podniknuto na jednotlivých horách a o kolika druzích ptáků jsou informace v datasetu.

Lokalita	Počet ptačích druhů nalezených na lokalitě	Počet druhů ptáků v datasetu	Doba výzkumu na lokalitě
Kamerunská hora	370	307	2 roky
Hora Kupé	335	323	3-4 roky
Hora Manenguba	270	112	1 týden
Hora Nlonako	267	85	3 dny
Rumpi Hills	198	192	4 týdny
Hora Oku	170	124	1 týden
Ostrov Bioko	198	131	4 roky

Tabulka 1 Délka výzkumu na jednotlivých lokalitách (Zdroj: vlastní zpracování dat)

Kamerunská hora, hora Kupé, oblast Rumpi Hills s horou Rata a ostrov Bioko jsou poměrně dobře prozkoumané oblasti. Pro většinu ptáků vyskytujících se na těchto lokalitách jsou v datasetu údaje o elevačním rozšíření. Většina z chybějících druhů jsou druhy vodních ptáků, kteří nebyli do analýz vůbec zařazeni. Kamerunská hora leží přímo u moře, takže do celkového počtu druhů ptáků vyskytujících se na hoře byly započítány i nějaké druhy mořských ptáků, které byly taktéž vyloučeny. To samé platí pro ostrov Bioko. Vyložené chybějící údaje jsou maximálně v jednotkách druhů. Výzkum u většiny případů neprobíhal kontinuálně po celý rok, takže chybějící druhy mohou být například někteří palearktictí migranti, kteří nemuseli být v době výzkumu přítomni na lokalitě.

Ovšem data z dalších 3 hor v datasetu jsou nedostatečná a potřebovala by rozšířit. Hora Manenguba byla zkoumána jen 1 týden a to povětšinou kolem kráteru nacházejícího se v nadmořské výšce 1900 m. Další průzkum v nižších nadmořských výškách a také na svazích nad kráterem by značně obohatil naše znalosti. Průzkum na hoře Oku probíhal od 2200 m n. m. a pro doplnění dat je další průzkum v nižších nadmořských výškách žádoucí. Hora

Nlonako je nejhůře zmapovaná hora v mém datasetu. V literatuře jsem našel zmínky, že složení avifauny je velmi podobné avifauně na hoře Kupé (Fishpool and Evans 2001), po důkladnějším prozkoumání hory by analýzy měly ukazovat, že společenstva ptáků těchto hor jsou si nejpodobnější, což ale výsledky této práce nepotvrzují. Bohužel se mi nepodařilo získat 2 nepublikované zprávy pro WWF o mapování avifauny na hoře Oku a v oblasti hor Manenguba, Nlonako a Kupé: Dowsett-Lemaire, F. and Dowsett, R. J. (1998) Surveys of Oku Mt and other IBAs in NW Province (Cameroon) a Dowsett-Lemaire, F. and Dowsett, R. J. (1999) Survey of birds and amphibians on Mt Manenguba, Mt Nlonako, north Bakossi and around Kupe in 1998–99. Data z těchto výzkumů by doplnila chybějící místa v mém datasetu a obohatila analýzu.

2.4. Úprava dat a analytické metody

V této sekci stručně popisuji úpravu dat a statistické metody použité při jejich analýze. Data o elevačním rozšíření ptačích druhů na jednotlivých horách sesbíraná z více zdrojů jsem doplnil informacemi o jejich potravních preferencích, způsobu sběru potravy a vhodném druhu habitatu, ve kterém se vyskytují, z knih *Birds of Africa* (Fry et al. 1982). Jelikož se v práci soustředím na druhy vázané na tropický deštný les, případně vysokohorské bezlesí, vodní druhy jsem do datasetu nezahrnul.

Pro ilustraci orientační závislosti počtu druhů na nadmořské výšce používám korelační graf, vycházející z dat o elevačním rozšíření druhů. Dále pro zjištění závislosti počítám parciální Pearsonův korelační koeficient, který umožňuje oproti klasickému koeficientu kontrolovat potenciální vliv třetí proměnné, zde rozlohy jednotlivých pásů. Rozlohu nadmořských pásů všech hor počítám pomocí programu QGIS 2.18.2. Na Kamerunské hoře počítám všechny nadmořské pásy do vzdálenosti 30 km od vrcholu hory, vzhledem k rozlehlosti a izolovanosti hory. Na horách Rata a Oku počítám všechny pásy do vzdálenosti

20 km od vrcholu, na horách Kupé, Manenguba a Nlonako počítám všechny pásy do vzdálenosti 10 km, aby se vzájemně nepřekrývaly rozlohy jejich nadmořských pásů. Na ostrově Bioko počítám rozlohy všech nadmořských pásů na ostrově.

Za účelem snížení dimenzionality dat používám shlukovou analýzu, jejíž výsledek odhaluje podobnosti ptačích společenstev v nadmořských pásech napříč horami. Ke shlukovým analýzám používám program IBM SPSS 26.0. Dalším krokem je použití pokročilejší statistické metody výpočtu prostorové příbuznosti využívající upravený Diceho koeficient. Nejprve počítám míry příbuznosti mezi všemi společenstvy ptáků v nadmořských pásech všech hor, což mi vytváří matici měr příbuznosti všech společenstev mezi sebou. Výsledky pro lepší interpretaci znázorňuji v síťovém grafu pomocí programu Cytoscape 3.8.0. K vypočtení upraveného Diceova koeficientu používám statistický program EasyStat (Novotný et al. 2014). Myšlenka analýzy a její metody vychází z Hasman a Novotný (2016), kde lze též nalézt podrobnější metodiku výpočtů.

Síťový graf přehledně a komplexně znázorňuje podobnost jednotlivých pásů, které jsou znázorněny jako vrcholy grafu. Barevně jsou odlišeny jednotlivé hory a tvarem nadmořské výšky. Pásy, které si jsou druhovým složením nejpodobnější, se nacházejí na grafu blízko sebe, a čím nižší je jejich vzájemná podobnost, tím dále jsou na grafu pásy od sebe. K tvorbě grafu byl vytvořen algoritmus Force directed layout s výchozím nastavením a silou vazby odpovídajícím Diceho koeficientu, přičemž uvažovány byly jen vazby s hodnotou Diceho koeficientu vyšší než 0,25. Tloušťka hran mezi vrcholy odpovídá hodnotě Diceho koeficientu, přičemž vazby slabší než 0,4 nebyly pro přehlednost znázorněny.

Ke zjištění jakým způsobem dochází k nahrazování druhů s podobnou ekologickou nikou, používám rovněž upravený Diceho koeficient. Nejprve všechny druhy ptáků porovnávám podle jejich potravních specializací, a poté podle preferovaného druhu habitatu.

Druhy s vysokou mírou podobnosti u obou těchto charakteristik jsou vyhodnoceny jako podobné z hlediska jejich ekologické niky. U druhů, které jsou si podobné z hlediska ekologické niky, dále porovnávám výškové rozpětí, ve kterém se nachází v rámci jednotlivých hor. V případě, že výsledky porovnání naznačují, že jsou si druhy významně podobné, vyhodnocuji druhy jako schopny koexistence, bez dominantní konkurence. Naopak, pokud je míra podobnosti těchto druhů nízká, usuzuji, že jeden z druhů je dominantní a vytlačuje druhý do jiných nadmořských výšek, než by obývali, pokud by nebyli vystaveni konkurenci. Tuto hypotézu ověřuji porovnáním elevačního rozšíření druhů na hoře bez a s konkurentem. Nevýhodou této metody je její omezená aplikace – lze ji použít pouze v případě, že se druhy vyskytují na více horách v datasetu, a to na některé hoře samostatně a na jiné v přítomnosti konkurenta.

Konkrétně používám upravený Diceho koeficient ke zjištění podobností mezi jednotlivými druhy ptáků. Podobnost je na škále 0 až 1, přičemž 1 znamená, že ptáci mají danou vlastnost zcela shodnou, 0 znamená absolutní nepodobnost. Podobnosti jsem počítal pro potravní specializace, která jsou rozdělené do 4 kategorií (druh potravy, místo sběru potravy, taktika při lovu, na jakém povrchu loví), a pro habitat, ve kterém ptáci žijí (primární les, sekundární, atd.). Pro všechny dvojice ptáků tyto dvě hodnoty sčítám a stanovuji, že pokud je síla kombinace těchto dvou vztahů 1,75 nebo vyšší, mají ptáci podobnou ekologickou niku. Takové dvojice potom porovnávám z hlediska nadmořské výšky, ve které žijí na všech horách. Pokud je tento korelační vztah nižší než 0,4, tak spolu druhy příliš nekoexistují a znamená to, že jeden je silnějším konkurentem vytlačujícím toho druhého. V případě splnění obou podmínek (kombinace vztahů větší než 1,75 a korelační vztah nadmořské výšky nižší než 0,4) zjišťuji, na které hoře spolu tyto dva druhy nekoexistují, a porovnávám rozdíly v elevačním rozšíření oproti horám, kde spolu koexistují.

3. Výsledky

3.1. Druhová diverzita Kamerunských hor

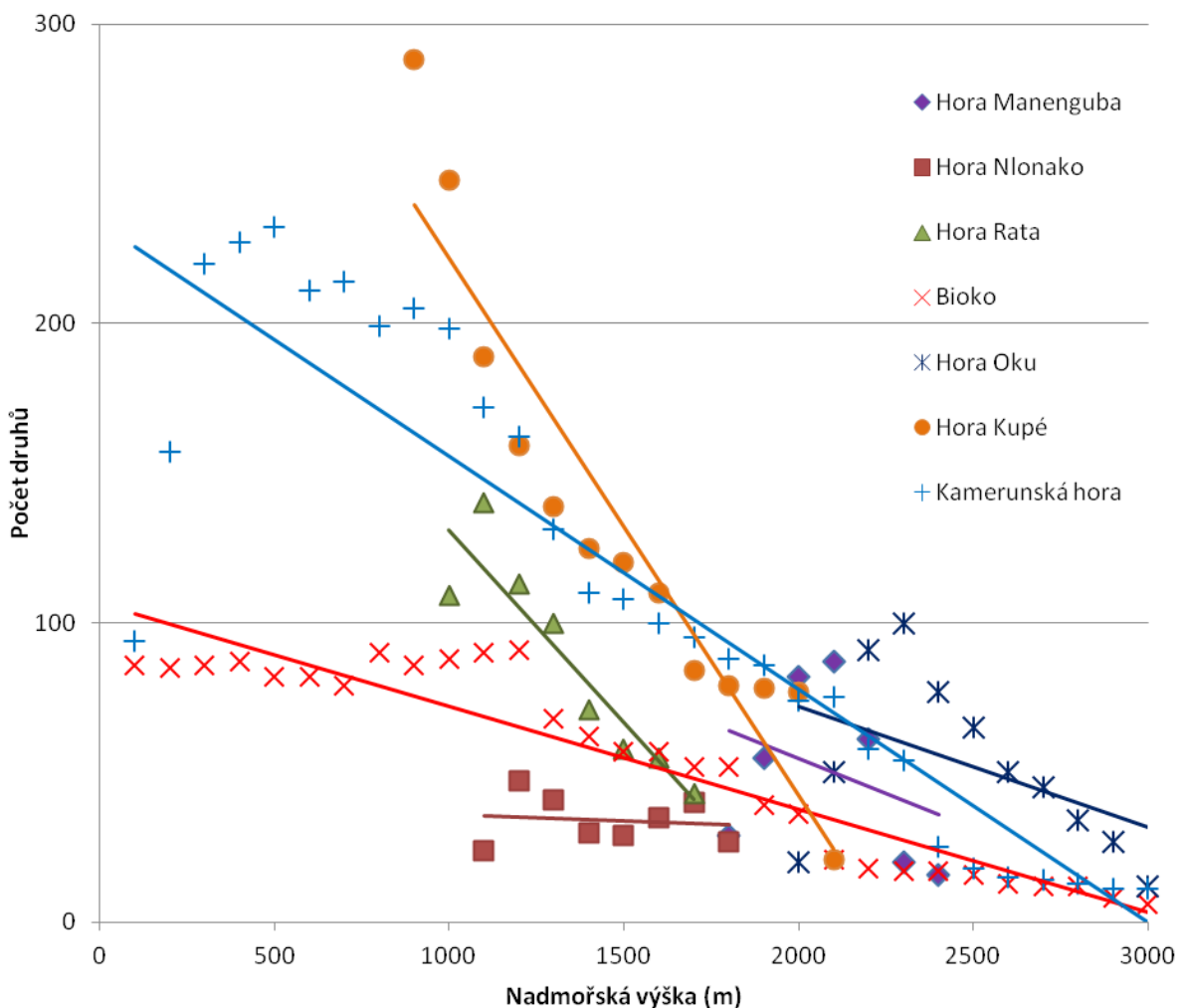
V následující kapitole shrnuji celkovou ptačí biodiverzitu studované oblasti a porovnání diverzity mezi jednotlivými horami. Dále se zde věnuji potvrzení negativní závislosti počtu druhů na nadmořské výšce, jak graficky, tak i pomocí parciálního Pearsonova korelačního koeficientu. Zároveň také graficky znázorňuji závislost počtu druhů na rozloze (species-area relationship).

3.1.1. Závislost počtu ptačích druhů na nadmořské výšce

Pro oblast vysokých hor západního Kamerunu a ostrova Bioko jsem nashromáždil údaje o celkem 409 druzích ptáků, včetně jejich elevačního rozšíření, potravních specializací a preferovaném habitatu. Téměř na všech horách je z grafického vyjádření evidentní negativní závislost počtu druhů na nadmořské výšce, viz Graf 1. Výjimku představuje hora Nlonako, u které je forma závislosti z grafického vyjádření nejasná. Negativní závislost ukázal až parciální Pearsonův korelační koeficient, se silou vztahu $-0,439$, ovšem vzhledem k signifikanci $0,325$ je výsledek neprůkazný. Výsledek značně ovlivňuje nedostatek dat z hory Nlonako, další průzkum je zde žádoucí.

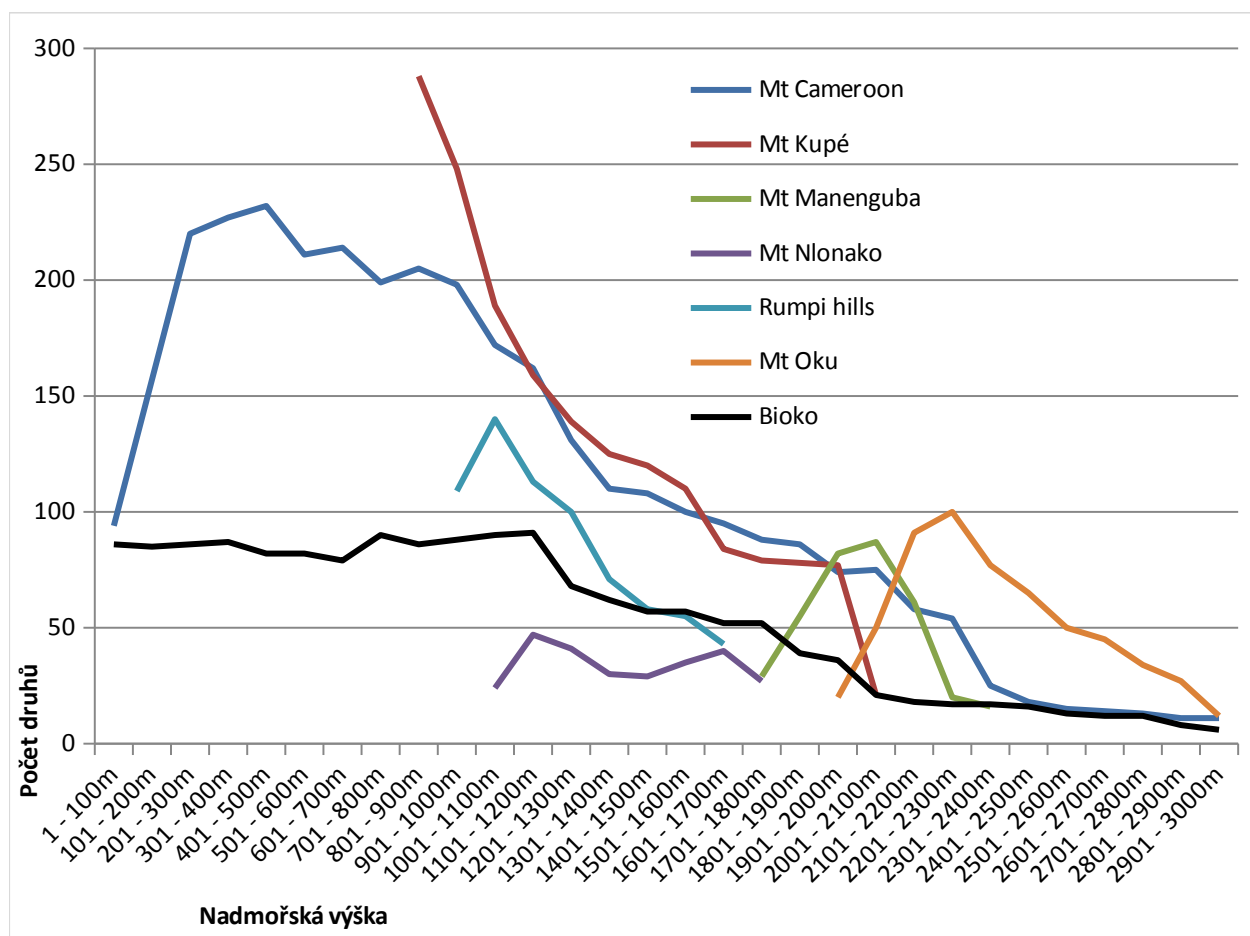
U kombinace všech hor ukázal parciální Pearsonův korelační koeficient negativní korelaci počtu druhů na nadmořské výšce se silou vztahu $-0,607$ a signifikancí $0,001$. Při analýze jednotlivých hor zvláště byly výsledky signifikantní pro Kamerunskou horu, hory Kupé a Oku a ostrov Bioko. Analýza pro horu Rata ukázala signifikantní negativní vztah pouze když jsem nepoužil kontrolu pro rozlohu. V tomto případě je pozitivní vztah mezi počtem druhů a rozlohou silnější než negativní vztah mezi počtem druhů a nadmořskou

výškou. Hora Manenguba také ukázala silnější pozitivní vztah mezi počtem druhů a rozlohou. Negativní vztah mezi počtem druhů a nadmořskou výškou nebyl signifikantní. Obecně lze říct, že statisticky nesignifikantní výsledky byly zjištěny u hor s kratšími gradienty (jen 7, 8 a 9 nadmořských pásů po 100 m), což mohlo ovlivnit výsledek testu. Na závěr dodávám, že jsem pro analytické zpracování dat ze statistiky vyřadil 4 nadmořské pásy, jelikož se v nich nacházely pouze jednotky druhů ptáků a zkreslovaly by testy i grafy (1601-1700 m na hoře Manenguba, 901 - 1000 m na hoře Nlonako a 1701 - 1900 m na hoře Oku).



Graf 1 Závislost počtu ptačích druhů na nadmořské výšce na 7 horách ve studované oblasti. (Zdroj: vlastní zpracování dat)

3.1.2. Průběh druhové diverzity ptáků ve studované oblasti



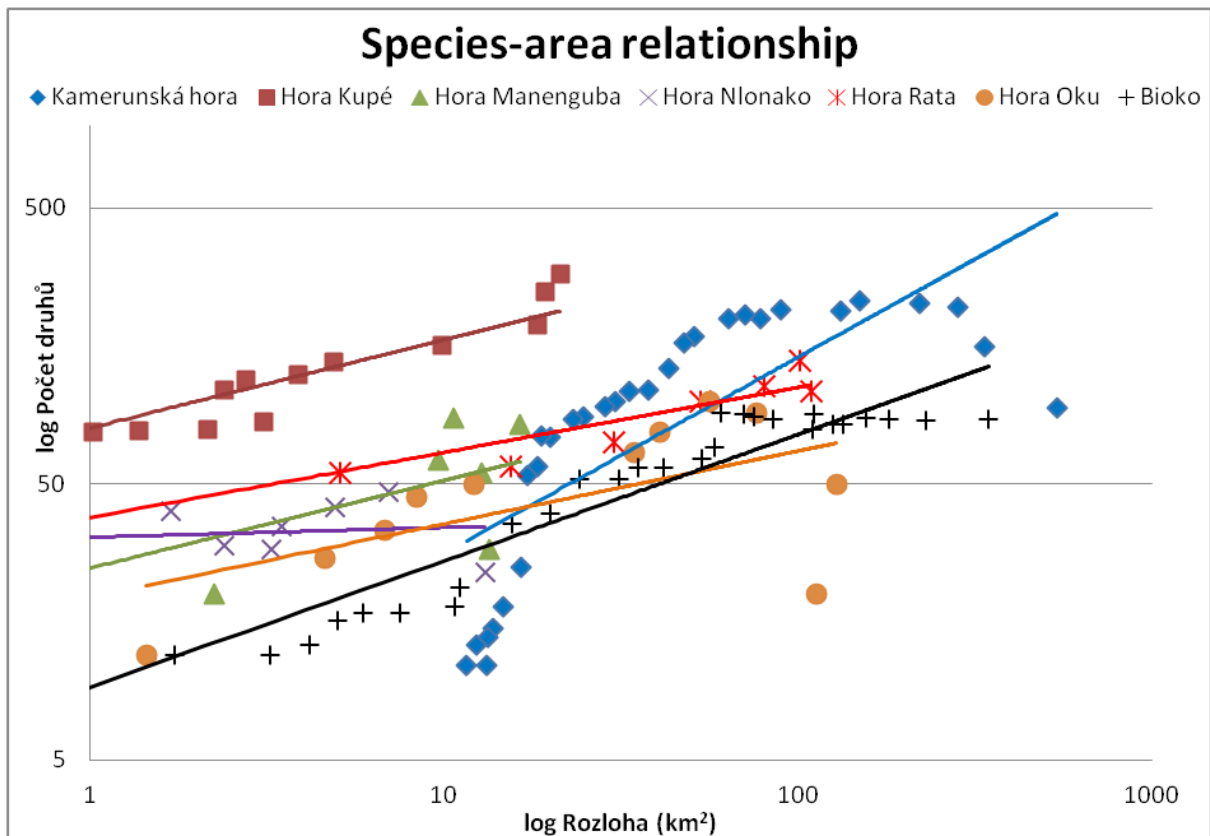
Graf 2 Průběh ptačí biodiverzity podél elevačního gradientu na kamerunských horách a ostrově Bioko. (Zdroj: vlastní zpracování dat)

V této podkapitole popisují průběh druhové diverzity v závislosti na elevačním gradientu ve studované oblasti. Průběhy diverzity na jednotlivých horách jsou znázorněny v Grafu 2. Nejvyšší druhová diverzita ptáků je na Kamerunské hoře a hoře Kupé. Na Kamerunské hoře diverzita druhů v nejnižších nadmořských výškách nejprve stoupá a svého maxima dosáhne kolem 500 m n. m., vytváří plató až do výšky 1000 m n. m., poté začíná téměř lineárně klesat až do výšky hranice lesa (2300m n. m.), dále následuje rapidní úbytek druhů ptáků (viz Graf 2). Hora Kupé je druhově nejbohatší horou v mé diplomové práci, celkem se zde našlo 323 druhů ptáků. Absolutně nejvyšší druhová diverzita se vyskytuje hned na úpatí hory mezi výškami 801-900 m, kde bylo napočítáno 288 druhů ptáků. Druhová

diverzita poměrně lineárně klesá podél celého gradientu hory, jediný výraznější propad je až na nejvyšším pásu hory, kde žije pouze 21 druhů ptáků. Hora Manenguba byla zkoumána až od nadmořské výšky 1900 m, takže v nižších polohách ukazuje nízkou druhovou diverzitu. Naopak v nadmořských výškách mezi 1901-2200 m je zde vyšší druhová diverzita než na Kamerunské hoře a hoře Kupé. Hora Nlonako je bohužel málo zmapovaná ohledně elevačního rozšíření tamních ptáků, ale podle dostupné literatury by měla být velice podobná hoře Kupé. Na hoře Rata je průběh druhové diverzity, po prvotním stoupání, ve formě lineárního klesání bez zásadních výkyvů. Nejvyšší druhová diverzita v polohách nad 2100 m n. m. se nachází na hoře Oku. I zde druhová diverzita v nižších nadmořských výškách stoupá a vrcholu dosáhne mezi 2201-2300 m n. m, poté lineárně klesá až k vrcholu. Druhová diverzita ptáků na ostrově Bioko má průběh plató v nižších nadmořských výškách až do 1200 m n. m., poté pozvolna lineárně klesá. Celkově je druhová diverzita na ostrově nižší než na pevninských horách (kromě hory Nlonako), což souhlasí s Teorií Ostrovní biogeografie (MacArthur and Wilson 1967).

3.1.3. Species-area relationship

Na Grafu 3 je znázorněn vztah mezi počtem druhů a rozlohou. U všech hor kromě hory Nlonako ukazuje korelační analýza signifikantně pozitivní vztah mezi počtem druhů a rozlohou. Omezenost dat u hory Nlonako pravděpodobně zkresluje výsledek analýzy pro tuto horu. Nejsilnější vztah se projevuje na Kamerunské hoře a ostrově Bioko, sklony ostatních přímků znázorňujících závislosti mezi počtem druhů a rozlohou jsou si navzájem velmi podobné, což značí, že vztah mezi počtem druhů a rozlohou je na zbylých horách podobný.



Graf 3 Závislost počtu druhů na ploše. (Zdroj: vlastní zpracování dat)

3.2. Podobnosti mezi společenstvy ptáků

Společenstva ptáků v jednotlivých nadmořských pásech všech hor jsem porovnal vzájemně mezi sebou pomocí shlukové analýzy a pomocí upraveného Diceho koeficientu. Výsledky znázorňuji pomocí tabulky a síťového grafu.

3.2.1. Shluková analýza

Ke snížení dimenzionality dat a objevení příbuzností mezi jednotlivými společenstvy ptáků jsem použil hierarchickou shlukovou analýzu. Pomocí dendrogramu jsem zjistil ideální počet shluků. Z analýzy jsem vyloučil 4 výškové pásy pro nedostatečnou komplexitu dat a možné zkreslení analýzy (1601-1700 m na hoře Manenguba, 901 - 1000 m na hoře Nlonako a 1701 - 1900 m na hoře Oku). Z hlediska množství poskytnutých informací je ideální použít 8 - 13 shluků. Více shluků separovalo každou horu zvlášť a méně naopak vytvořilo příliš velké celky.

Pro ilustraci výsledků jsem zvolil tabulku ukazující analýzu s 10 shluky (viz. Tabulka 2). První shluk obsahuje nížinná společenství ptáků Kamerunské hory (0 - 1200 m), hory Kupé (900 - 1100 m) a ostrova Bioko (0 - 1200 m). Shluk 2 reprezentuje horská společenstva ptáků na Kamerunské hoře (1200 - 2300 m), hoře Kupé (1100 - 2000 m), hoře Rata (900 - 1700 m) a ostrova Bioko (1200 - 2000 m). Přejít mezi nížinným a horským společenstvem na hoře Kupé je o 100 m níže než na 2 izolovaných horách. Společenstva ptáků na hoře Rata jsou celá přiřazena k horským společenstvům, pravděpodobně kvůli nižšímu úhrnu srážek a přeměně nížinného lesa na zemědělskou půdu. Třetí shluk je kombinací společenstev nad hranicí lesa na Kamerunské hoře (2300 - 3000 m) a hoře Oku (2900 - 3000 m). Čtvrtý a pátý shluk jsou nekompatibilní společenstva ptáků na vrcholu hory Kupé a hoře Manenguba (1700 - 1800 m). Shluk 6 je kombinací druhově celkově nejbohatších horských společenství na horách Manenguba (1800 - 2200 m) a Oku (2000 - 2900 m). Sedmý shluk zahrnuje již druhově chudší horská společenstva na hoře Manenguba (2200 - 2400 m). Shluk 8 zahrnuje veškerá společenstva na hoře Nlonako, oddělené od ostatních pravděpodobně nedostatečným množstvím dat. To samé zdůvodnění platí i pro devátý shluk, kde je zbývající ptačí společenstvo na hoře Oku (1900 - 2000 m). Ve shluku 10 se nachází horská společenstva ptáků a společenstva horských luk (přejít ve 2500 m n. m.) na ostrově Bioko (2000 - 3000 m).

	Shluk 1	Shluk 2	Shluk 3	Shluk 4	Shluk 5	Shluk 6	Shluk 7	Shluk 8	Shluk 9	Shluk 10
Mt Cam	0 -1200	1200 - 2300	2300 - 3000	-	-	-	-	-	-	-
Mt Kupe	900 -1100	1100 - 2000	-	2000 - 2100	-	-	-	-	-	-
Mt Man	-	-	-	-	1700 - 1800	1800 - 2200	2200 - 2400	-	-	-
Mt Nlo	-	-	-	-	-	-	-	1000 - 1800	-	-
Mt Rat	-	900 -1700	-	-	-	-	-	-	-	-
Mt Oku	-	-	2900 - 3000	-	-	2000 - 2900	-	-	1900 - 2000	-
Bioko	0 -1200	1200 - 2000	-	-	-	-	-	-	-	2000 - 3000

Tabulka 2 Příslušnost společenstev ptáků v nadmořských pásích k jednotlivým shlukům. (Zdroj: vlastní zpracování dat)

Výsledky analýzy s jiným počtem shluků nejsou příliš odlišné, jak můžeme vidět v Příloze 1. Při analýze se 13 shluky se hora Nlonako rozdělila do 2 celků s hranicí nad 1100 m. Ostrov Bioko se osamostatnil do svých 3 shluků. Jinak nedošlo k zásadní změně od analýzy s 10 celky. V analýze pro 8 shluků se seskupily první a druhý shluk do jednoho. Hory Manenguba a Oku se kromě úplného vrcholu hory Oku a 2 nejvyšších pásů hory Manenguba taktéž seskupily do jednoho celku. Z analýz tedy vyplývá, že vzájemně jsou si nejpodobnější společenstva na Kamerunské hoře, horách Kupé a Rata a ostrově Bioko. Další druhovým složením velmi podobnou dvojicí jsou hory Manenguba a Oku. Horská společenstva na horách Kupé a Rata se nacházejí o něco níže než horská společenstva na Kamerunské hoře a ostrově Bioko.

3.2.2. Upravený Diceho koeficient - podobnosti společenstev ptáků

Upraveným Diceho koeficientem jsem zjistil míry podobnosti mezi jednotlivými elevačními pásy a výsledky znázornil v síťovém graf (Graf 4). Hora Nlonako je opět řazena samostatně bez výrazných vazeb na ostatní hory, snad jen její nadmořský pás ve výšce 1601 - 1700 m má nějakou podobnost se stejně vysokých nadmořským pásem na hoře Rata. Kamerunskou horu analýza rozdělila do 3 částí: 1 - 1200 m, 1201 - 2300 m, 2301 - 3000 m.

Na rozmezí první a druhé části je nadmořský pás 1201 - 1300m, který je velmi podobný pásu nad ním, ale zároveň má silný vztah i k pásu nižšímu. Společenstva ptáků nad hranicí lesa jsou silně odlišná od společenstev žijících pod touto hranicí, což vytváří v grafu značnou mezeru mezi pásy kolem 2300 m. Nadmořský pás Kamerunské hory ve výšce 2301 - 2400 m má, kromě pásu téže hory o 100 m výš, silný vztah i k nadmořským pásům ve výškách 2001 - 2400 m na ostrově Bioko.

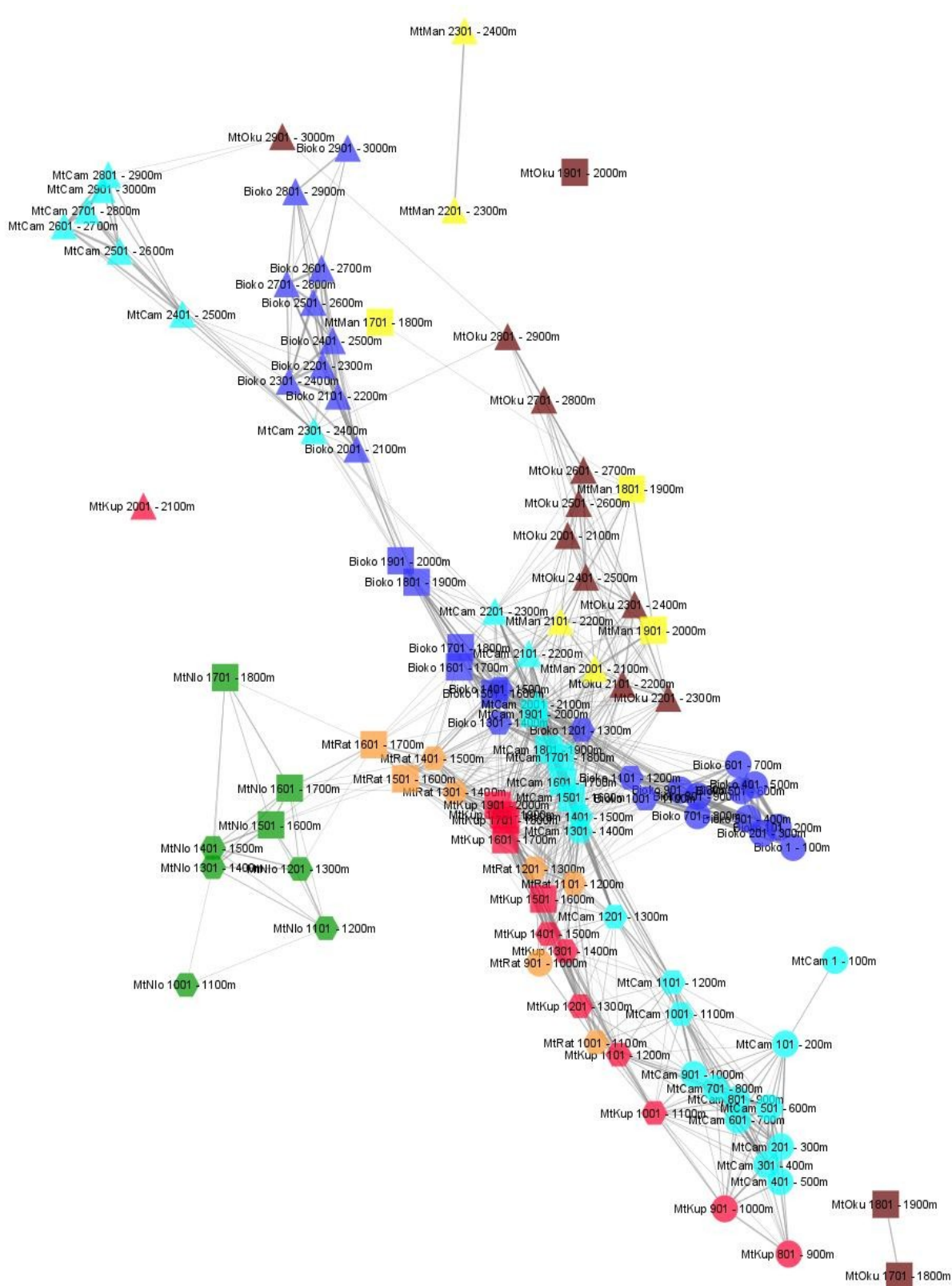
Velmi zajímavá je hora Kupé, jejíž nejnižší 2 nadmořské pásy (801-1000 m) se párují mnohem silněji s nízkými pásy Kamerunské hory (201-700 m), než s ostatními pásy hory Kupé. Znamená to, že společenstva ptáků žijící do 1000 m n. m. na hoře Kupé jsou nejpodobnější ptačím společenstvím žijícím na úpatí Kamerunské hory. Dále, ptačí společenstvo pásu 1001-1100 m na hoře Kupé je nejpodobnější společenstvu Kamerunské hory v páse o 100 m níže. Zbylé pásy hory Kupé se párují nejsilněji mezi sebou, s pásy na Kamerunské hoře zhruba stejné výšky a také s pásy hory Rata, přibližně o 100 m nižšími. Společenstva žijící na samém vrcholu hory Kupé stojí v analýze samostatně, nepodobají se žádným jiným společenstvům ostatních hor.

Nadmořské pásy na hoře Rata se nejsilněji párují mezi sebou a s nadmořskými pásy na hoře Kupé, což naznačuje, že ptačí společenstva jsou si velmi podobná podél celého výškového gradientu. Zároveň jsou nadmořské pásy hory Rata také úzce provázány s pásy na Kamerunské hoře, jak už jsem zmiňoval výše.

Ostrov Bioko se stejně jako Kamerunská hora dělí na 3 části: 1 - 1200 m, 1201 - 2000 m, 2001 - 3000m. Nadmořské pásy nejnižší části mají nejsilnější vztahy mezi sebou navzájem, zatímco nadmořské pásy ve střední části mají silné vztahy, jak mezi sebou, tak k nadmořským pásům na Kamerunské hoře vždy zhruba o 500 - 700 m výše a k vysokým pásům na ostrově Bioko. Zároveň mají nadmořské pásy ostrova Bioko ve výšce 1401-1800 m

spojení s nadmořskými pásy hory Rata stejné výšky. Nadmořské pásy ve výšce 1801 - 2000 m jsou spojnicí mezi pásy horského lesa a bezlesí na vrcholu horu. Nadmořské pásy vyšší než 2000 m mají nejsilnější vztahy mezi sebou navzájem a také s některými pásy horského bezlesí na Kamerunské hoře.

Hory Oku a Manenguba mají velké množství odlehlých hodnot, které se buď nepárují s žádnou jinou hodnotou nebo jen s druhou odlehlou hodnotou ze stejné hory. Nadmořské pásy na hoře Oku v nadmořských výškách 2001 - 2700 m se párují mezi sebou a také s nadmořskými pásy ve výškách 1801 - 2200 m na hoře Manenguba. Společenstvo ptáků na hoře Manenguba ve výšce 2101 - 2200 m je také podobné tomu na Kamerunské ve výšce 2101 - 2200 m. Společenstva na hoře Oku ve výškách 2701 - 2900 m jsou si nejpodobnější mezi sebou a také s dalšími společenstvy na této hoře. Společenstva ptáků ve výšce 2901 - 3000m jsou nejpodobnější společenstvům na Kamerunské hoře ve výškách 2801 - 3000m a také společenstvu na hoře Oku o 100 m níže.



Graf 4 Znárodnění síly vztahů mezi jednotlivými společenstvy ptáků. (Zdroj: vlastní zpracování dat)
 Barevně odlišeny jednotlivé hory: světle modrá - Kamerunská hora, červená - hora Kupé, oranžová - hora Rata, zelená - hora Nlonako, hnědá - hora Oku, žlutá - hora Manenguba, tmavě modrá - ostrov Bioko
 Tvary: kruh - společenstva v 1 - 1000 m, šestiúhelník - 1001 - 1500 m, čtverec - 1501 - 2000 m, trojúhelník - 2001 - 3000 m

3.3. Výměna druhů s podobnou nikou podél elevačního gradientu

U 64 dvojic ptačích druhů byla zjištěna kombinace vztahů potravní specializace a habitatu 1,75 nebo vyšší. Tyto dvojice považuji v rámci ekologické niky za podobné. Z těchto 64 dvojic byla u 51 dvojic (což je bezmála 80%) zjištěna síla podobnosti v nadmořských výškách nižší než 0,4. U 12 dvojic (téměř 20%) výsledky ukázaly nulovou míru podobnosti v nadmořských výškách, což znamená, že na žádné hoře se tato dvojice nevyskytuje ve stejných výškách, ačkoliv má podobnou ekologickou niku. Ovšem nutno podotknout, že 9 z těchto 12 dvojic se společně nevyskytuje na žádné hoře, nebo žijí v nesousedících nadmořských pásích. Například nížinný druh krahujec kaštanovoprstý (*Accipiter castanilius*) a horský krahujec rudonohý (*Accipiter erythropus*) oba žijí na Kamerunské hoře, přičemž první jmenovaný obývá nadmořský pás 201-500 m, zatímco druhý jmenovaný o 800 m výše. Podobně habitaty drozdíka hnědoprstého (*Alethe poliocephala*), který se vyskytuje na všech horách až do výšky 2000 m n. m., a *Bleda notata* (druh bulbulce), jejíž maximální elevační rozšíření je 400 m n. m., se sice nepatrně překrývají na Kamerunské hoře, nicméně se nezdá, že by se navzájem konkurenčně vytlačovali. Drozdík je citlivý na degradovaný habitat, kdežto *Bleda* dokáže žít i v zemědělské krajině.

Zbylé 3 dvojice zde rozeberu konkrétněji. Bulbulec vousatý (*Criniger chloronotus*) se vyskytuje na Kamerunské hoře a hoře Kupé maximálně do výšky 1000 m n. m., jeho konkurent bulbulec nigerijský (*Phyllastrephus poensis*) se vyskytuje na všech studovaných horách, ale má radši submontánní a horský les od výšky zhruba 750 m n. m. Bohužel v datasetu není žádná hora, kde by se bulbulec vousatý vyskytoval bez bulbulce nigerijského, takže mohu jen spekulovat, že by bez svého konkurenta měl větší elevační rozšíření. Z údajů o abundancích některých horských druhů ptáků (Stuart 1986) je patrné, že počty bulbulce nigerijského se podél elevačního gradientu nemění, takže případná konkurence se na jeho početních stavech neprojevuje. Data o abundancích bulbulce vousatého nejsou k dispozici.

Zoborožec žlutohlavý (*Ceratogymna elata*) se v mém datasetu vyskytuje pouze na Kamerunské hoře (50 - 900 m n. m.) a právě zde pravděpodobně posouvá do vyšších nadmořských výšek špačka žlutoocasého (*Poeoptera lugubris*), který se na téže hoře vyskytuje až od 1000 do 1200 m. Špaček žlutoocasý se vyskytuje například i na hoře Kupé, kde se objevuje již v 850 m, dále na dalších horách, kde se ale objevuje až od hranice 1000 m n. m. Hlavní složkou potravy obou dvou druhů ptáků je ovoce, které občas doplňují bezobratlými živočichy. Oba dva druhy sbírají potravu většinou v korunách stromů, zoborožec občas provádí i sběr ovoce na zemi, špaček nikoliv. Oba dva druhy zvládnou žít v primárním i sekundárním lese, ale také v nějaké formě zemědělské krajiny či mosaiky lesa a bezlesí, hlavním faktorem jejich výskytu v krajině je dostatek ovocných stromů, které je dokážou uživit.

Další dvojicí je holub bronzovokrký (*Columba iriditorques*) a turako žlutozobý (*Tauraco macrorhynchus*). Tyto 2 druhy se spolu vyskytují na Kamerunské hoře, ale zdá se, že se moc navzájem neovlivňují. Holub bronzovokrký je pták nížinného deštného lesa, na Kamerunské hoře se vyskytuje do výšky 700 m. Turako žlutozobý se vyskytuje téměř na všech horách v datasetu a jeho výskyt kopíruje rozšíření lesa. Hlavní složkou potravy obou ptáků je ovoce, které povětšinou sbírají v korunách stromů. Oba druhy jsou vázány na les, vyskytují se v primárním, ale i sekundárním lese, zvládnou obývat i galeriové lesy.

Dále zde rozebírám příklady dalších dvojic ptáků, kteří si pravděpodobně vzájemně konkurují. Lejskovec bělobřichý (*Elminia albiventris*) se vyskytuje téměř na všech horách v oblasti studie. Na místech, kde se vyskytuje společně s lejskovcem černočapkovým (*Elminia nigromitrata*) je jeho rozšíření posunuto nápadně výše, než na dalších horách. Například na Kamerunské hoře se lejskovec černočapkový vyskytuje do nadmořské výšky 800 m, lejskovec bělobřichý se zde vyskytuje od výšky 900 m. Jinak je tomu na hoře Kupé, tam se lejskovec bělobřichý vyskytuje až od výšky 1300 m, pravděpodobně je vytlačován lejskovcem

černočapkovým, který se tamtéž vyskytuje do nadmořské výšky 1550 m. Oba druhy ptáků jsou výhradní hmyzožravci s velmi podobnými strategiemi lovu a oba se vyskytují výhradně v primárním nebo sekundárním lese.

Kulišek sjoestedtův (*Glaucidium sjoestedti*) je sova vyskytující se v nížinném deštném lese podél Guinejského zálivu. V mém datasetu se vyskytuje na 3 horách, na Kamerunské hoře obývá nížinný deštný les ve výškách 275 - 1300 m n. m., jinak je tomu na hoře Kupé, kde se objevuje až ve výškách 1200 - 1500 m n. m. Hora Kupé je zároveň jedinou horou v mém datasetu, kde se vyskytuje orlík jestřábovitý (*Dryotrionchis spectabilis*) a to ve výškách 850 - 1600 m n. m. Zdá se, že vytlačuje kuliška z jeho preferovaného nížinného lesa až do horského lesa. Kulišek se většinou živí bezobratlými, ale zhruba 20% jeho potravy tvoří menší obratlovci, naprostou většinu kořisti orlíka tvoří malý obratlovci. Také mají velmi podobnou oblast lovu, na zemi nebo v nižším keřovém pásu a oba druhy jsou striktně vázané na primární deštný les.

Strdimil olivovobřichý (*Cinnyris chloropygius*) a strdimil severní (*Cinnyris reichenowi*) se společně vyskytují na 4 horách v datasetu, na všech se zdá být dominantní strdimil olivovobřichý, který obývá nížinné deštné lesy. Strdimil severní se vyskytuje jak v nížinném, tak horském lese až k jeho horní hranici. Spodní hranice výskytu se zdá být ovlivněna přítomností strdimila olivovobřichého. Na většině hor se strdimil severní objevuje až při zmizení strdimila olivovobřichého. Výjimkou je Kamerunská hora, kde se strdimil olivovobřichý vyskytuje ve výškách 275 - 1220 m a strdimil severní ve výškách 900 - 3000 m. Oba druhy jsou nektarivorní a jistou menší část jejich jídelníčku tvoří také bezobratlí a ovoce. Strdimil olivovobřichý shání potravu výhradně v nízkém keřovém pásu, naproti tomu strdimil severní shání potravu ve všech patrech lesa. Oba druhy se vyskytují v narušených lesních habitatech, zemědělské krajině, sekundárním lese a bezlesí. Strdimil severní obývá také primární les a horské louky nad hranicí lesa.

4. Diskuze

V této části shrnuji výsledky práce a diskutuji je v širším kontextu. Nejprve stručně uvádím zjištěný vývoj druhové diverzity podél elevačního gradientu a diskutuji, čím je způsoben její pokles s rostoucí nadmořskou výškou, a rozdíly mezi jednotlivými horami. Dále zasazuji své výsledky do kontextu dostupné literatury. V sekci 4.3 upozorňuji na nedostatky použitého datasetu, zvláště na nedostatečnou zmapovanost některých hor. Navrhuji také možné rozšíření a vylepšení datasetu.

4.1. Druhová diverzita Kamerunských hor

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na zmapování druhové diverzity ptáků 6 kamerunských hor a ostrova Bioko, její průběh podél elevačního gradientu kontinuálního deštného lesa a analýzu vztahů mezi ptačími společenstvy vyskytujícími se na těchto horách. Z korelační analýzy dat o elevačním rozšíření ptáků je patrné, že počet ptačích druhů lineárně klesá se zvyšující se nadmořskou výškou. I když korelační analýza na některých jednotlivých horách nebyla statisticky signifikantní, při analýze všech hor byly výsledky statisticky signifikantní a ukázaly silný negativní vztah mezi počtem druhů a nadmořskou výškou. Analýza také ukázala silný pozitivní vztah mezi počtem druhů a rozlohou, což souhlasí s teorií závislosti počtu druhů na ploše Species-area relationship (Connor and McCoy 1979). U jednotlivých hor, na kterých analýza neprokázala signifikantní negativní závislost počtu druhů na nadmořské výšce, výsledky ukazují pozitivní vztah mezi počtem druhů a rozlohou. Výjimkou byla hora Nlonako, kde kvůli nedostatečnému množství dat nevyšla signifikantně žádná korelace.

Celková biodiverzita studované oblasti je 409 druhů ptáků, v tomto čísle nejsou zahrnuty žádné vodní ani mořské druhy ptáků. Jedná se především o ptáky nížinného a horského deštného lesa, doplněné o druhy savanové, druhy přeměněné zemědělské krajiny a

druhy vyskytující se na horských loukách nad hranicí lesa. Absolutně nejvíc druhů ptáků se vyskytuje na Kamerunské hoře a na hoře Kupé, což souhlasí s klimatickými teoriemi o druhové diverzitě, protože obě hory mají nejvyšší roční úhrn srážek. Na ostrově Bioko není tak vysoká diverzita druhů, ikdyž se také jedná o oblast s vysokým ročním úhнем srážek, protože se jedná o izolovaný ostrov a jeho diverzita je více ovlivněna Teorií Ostrovní biogeografie.

I přesto, že Kamerunská hora je národním parkem, je nížinný deštný les na jejích východních svazích značně degradován. To je hlavní důvod počátečního zvyšování druhové diverzity s maximem v nadmořské výšce 500 m. Většina výprav na horu vychází z města Buea na jejím východním svahu, což je město s přibližně 300 000 obyvateli, kteří využívají deštný les pro palivové dřevo, sběr potravy, lov divokých zvířat (bush meat) a přeměnu lesa na zemědělskou krajinu. To vše vytváří velký tlak na ekosystém lesa, který je na východních svazích značně degradovaný až do výšky 1000 m. Pro lepší představu o elevačním rozšíření ptáků na této hoře by pomohla expedice na její západní a severní svah, které jsou mnohem hůře přístupné, a je zde stále relativně nenarušený nížinný deštný les.

Hora Kupé je druhově nejbohatší horou v oblasti studie. Druhová diverzita na hoře lineárně klesá s nadmořskou výškou, nejvíce druhů bylo pozorováno u úpatí hory. Největším ohrožením pro deštný les na hoře je přeměna v zemědělskou krajinu. Hora Kupé je pouze ekologickou rezervací spravovanou místní komunitou, změna na národní park by nejspíš pomohla lépe chránit unikátní faunu vyskytující se na hoře.

Ve výškách nad 2100 m n. m. je hora Oku druhově nejbohatší horou. Je to díky tomu, že leží již v savanovém pásu, takže v horských loukách nad hranicí lesa se vyskytují savanové druhy ptáků, kteří sem mohou migrovat z okolních stanovišť. Naopak společenstva ptáků nad hranicí lesa Kamerunské hory a ostrova Bioko jsou izolované od ostatních podobných a jejich

druhová diverzita je tudíž nižší. Většina lesa pod výškou 2000 m byla zničena, takže některé druhy ptáků preferující nižší nadmořské výšky jsou pravděpodobně nuceny rozšířit se do vyšších nadmořských výšek než je u nich obvyklé. Další možné vysvětlení, proč je hora Oku druhově nejbohatší ve vyšších nadmořských výškách, je jistou kombinací předešlých, vrcholy Kamerunské hory a Pico Basilé (ostrov Bioko) jsou od ostatního podobného habitatu izolované pásem deštného lesa, který je pro nelesní druhy ptáků naprosto neprostupný, proto nezvládnou migrovat na horské louky nad hranici lesa. Naopak lesy na hoře Oku jsou poměrně degradované a fragmentované, takže ptáci otevřené krajiny zvládnou migrovat přes zemědělské usedlosti a pole až nad hranici lesa, kde obohacují biodiverzitu (Sedláček et al. 2014).

4.2. Výsledky v kontextu literatury

Většina studií zabývajících se elevačním gradientem druhů na tropických horách je z oblastí And v Jižní Americe (např. Rahbek 1997, Forero-Medina et al. 2011, Ocampo-Peñuela and Pimm 2015, Ruggiero and Hawkins 2008) a z oblasti jihovýchodní Asie (např. Peh 2007, Sam et al. 2019, Marki et al. 2016, Brown 2001, Heaney 2001). Výzkumy na Africkém kontinentu se provádí spíše v oblasti Eastern Arc Mountains v Tanzánii, na náhorní plošině v Etiopii nebo v pohoří Virunga v Ugandě a Rwandě (např. Romdal and Rahbek 2009, Abebe et al. 2019, Burgess et al. 2006 and 2007). Studie zaměřující se na ptáky oblasti Kamerunských hor většinou dokumentují přítomné druhy ptáků v kontextu jejich ochrany, jen velice málo prací je zaměřeno přímo na diverzitu podél elevačního gradientu. V tomto směru moje práce přispívá k vědeckému bádání.

V souhrnné studii 190 elevačních gradientů McCain (2009) určila 4 možné průběhy biodiverzity podél nadmořské výšky. Hlavními faktory, které formovaly toto rozdělení, byly dostupnost vody a teplota. Vzhledem k tomu, že oblast Kamerunských hor patří mezi místa s

nejvyšším úhrnem srážek na Africkém kontinentu, tak by zde podle předpokladů McCain (2009) měl být průběh diverzity buď ve formě lineárního klesání s maximem u úpatí hory, nebo plató v nižších nadmořských výškách následované lineárním poklesem diverzity. Hory s největší diverzitou ve středních nadmořských výškách (mid-elevation peak) jsou spíše hory aridnějších oblastí, kde maximum srážek nepadá u úpatí hory, ale spíše kolem středních nadmořských výšek. V mém datasetu by takovou horou mohla být hora Oku, která se již nachází v pásu savan. Ovšem vzhledem k tomu, že většina lesů v nižších nadmořských výškách na hoře Oku je zničena a také neznáme přesné rozložení množství srážek podél elevačního gradientu, je to pouze domněnka.

Druhá diverzita na Kamerunské hoře nejprve v nejnižších nadmořských výškách stoupá a maxima dosáhne zhruba v 500 m n. m., poté mírně klesne a dále tvoří plató až do výšky 1000 m n. m., pak následuje lineární pokles až do výšky hranice lesa (2300 m n. m.), dále následuje strmější klesání až k vrcholu. Tento průběh diverzity se shoduje s teorií McCain (2009) o průběhu diverzity podél elevačního gradientu na humidních horách. Počáteční nárůst druhové diverzity je pravděpodobně zapříčiněn zničeným habitatem v nižších nadmořských výškách. Navíc většina výprav na Kamerunskou horu jde po jejích východních svazích, které leží ve srážkovém stínu. Zkoumání na západních a jihozápadních svazích hory by mohlo ukázat vyšší diverzitu v nízkých nadmořských výškách. I když tato lokalita je mnohem hůře přístupná a je také vystavena daleko vyššímu množství srážek (kolem 10 m za rok, někdy i více), je zde méně narušený kontinuální gradient lesa bez lidských sídel a zemědělských usedlostí.

Zajímavé je zde plató hodnot v nadmořských výškách mezi 500 - 1000 m. To se totiž shoduje s další nejdeštivější lokalitou v oblasti studie, ostrovem Bioko. Na ostrově Bioko je průběh druhové diverzity v nižších nadmořských výškách právě v podobě plató až do výšky 1200 m n. m., kde poté začíná lineární pokles. Na ostrově Bioko se úhrn srážek ve výškách

800 - 1800 m pohybuje mezi 3000 - 4000 mm za rok. Podle mapy rozložení srážek to vypadá, že 4000 mm srážek za rok spadne zhruba kolem výšky 1000 - 1200 m (Peréz del val 1996), dále následovaný poklesem. Nemám k dispozici přesné rozložení srážek na Kamerunské hoře, ale vzhledem k podobnosti a blízkosti obou hor se dá předpokládat, že kolem nadmořské výšky 1000 m spadne, podobně jako na Bioku, zhruba 4000 mm za rok. Na hoře Kupé, která je ve studované oblasti horou s nejvyšší druhovou diverzitou, se srážky na úpatí také pohybují kolem 4000 mm ročně. Bohužel nemám k dispozici konkrétní údaje o teplotě. Data ukazují, že druhová diverzita ptáků je závislá na počtu srážek, jak tvrdí většina studií (Rahbek 1995, McCain 2007, McCain 2009, Ruggiero and Hawkins 2008, Heaney 2001, Graham et al. 2005), v kombinaci s teplotou, ale pro tu nemám údaje. Podle dat, která mám k dispozici to vypadá, jako by druhová diverzita nestoupala neustále se zvyšujícím se množstvím srážek, ale dosahovala maxima kolem 4000 mm za rok a dál víc nestoupala. To by znamenalo, že všechny gradienty diverzity humidních teplých hor by měly mít podobu lineárního klesání s nejvyšší diverzitou na úpatí hory. Ty, které mají v nižších nadmořských výškách plató diverzity, mají roční úhrn srážek vyšší než 4000 mm u úpatí. Toto je ovšem pouze omezený náhled na vztah biodiverzity s úhrnem srážek. Problematika je ale mnohem komplexnější, zasahují do ní i další faktory, jako např. již zmiňovaná teplota (viz kapitola 2.1.1). Je zapotřebí dalšího výzkumu k podrobnějšímu rozvinutí této teorie.

4.3. Doplnění dat

Ostrov Bioko, Kamerunská hora, hora Kupé a hora Rata jsou relativně dobře zmapované oblasti, ačkoliv i zde by bylo vhodné některé informace doplnit a zpřesnit tak výsledky analýz a zlepšit obecné poznání o biodiverzitě oblasti. Je zde mnoho druhů ptáků (na hoře Kupé např. 45 druhů, na hoře Rata dokonce třetina druhů v datasetu), u kterých je k elevačnímu rozšíření informace pouze o jedné nadmořské výšce. Např. výskyt výřečka

skořicového (*Otus icterorhynchus*) na hoře Kupé je pouze v 1550 m n. m. Je velmi nepravděpodobné, že by se výreček vyskytoval pouze v této jediné nadmořské výšce. Doplněním přesného elevačního rozšíření i u vzácnějších a hůře pozorovatelných druhů by pomohlo udělat si lepší představu o druhové bohatosti ve všech nadmořských výškách a tím pádem by umožnilo sestavení kvalitnějších hypotéz o průběhu a příčinách elevačního gradientu diverzity.

Zbylé 3 hory v mém datasetu jsou zmapované nedostatečně. Pro hory Manenguba a Oku jsou v datasetu elevační informace jen zhruba o polovině druhů ptáků, kteří se na horách vyskytují. Tyto informace je pro další výzkum nutné doplnit. Hora Manenguba leží v těsné blízkosti hory Kupé a jejich druhové složení ptáků je velmi podobné (Fishpool and Evans 2001). Navíc je to nejvyšší hora v okolí asi 100 km a dosavadní výzkum ukazuje, že je druhově bohatá zejména ve vyšších nadmořských výškách. V okolí hory Oku se nachází největší plocha lesa v okolí minimálně 80 km, z větší části se jedná o horský les a nachází se zde poslední větší populace některých kamerunských endemitských druhů (Fishpool and Evans 2001). Jedná se o druhově nejbohatší horu v nadmořských výškách nad 2100 m a tudíž má velký význam pro další konkrétní výzkum zaměřený na elevační rozšíření ptáků. Hora Nlonako leží stejně jako hora Manenguba v blízkosti hory Kupé, její druhové složení je velmi podobné tomu na hoře Kupé (Fishpool and Evans 2001). Směrem na východ od ní se rozprostírá neporušený nížinný deštný les, kde ještě přežívají sloni afričtí (*Loxodonta africana*) a šimpanzi učenlivý (*Pan Troglodytes*). Takže je zde předpoklad výskytu některých vzácnějších nížinných druhů ptáků. Hora Nlonako je nejhůře zmapovanou horou v datasetu a aby mohla poskytovat relevantní informace do analýz o elevačních gradientech je nezbytné tyto data doplnit.

Pro získání lepšího přehledu o druhové diverzitě a elevačním rozšíření ptáků v oblasti Kamerunu a okolí je možné rozšířit dataset této práce o další gradienty lokálních hor. Jedním

z kandidátů je hora Tchabal Mbabo, ležící zhruba 220 km severně od horu Oku (vyznačena na Obrázku 3). Hora Tchabal Mbabo je vysoká 2456 m a nachází se zde nejseverněji položené tropické horské lesy v Kamerunu. V jejím okolí nejsou žádná velká lidská sídla, les je poměrně nepřístupný a je téměř neporušený. Není zde vyvíjen tlak ze strany lovu ani sběru palivového dřeva. Na jižním svahu hory se nachází savana, spásaná zvířaty místních vesničanů, s galeriovými lesy táhnoucími se podél vodních toků. Horský deštný les se nachází na severním velmi strmém svahu hory, který je špatně přístupný a místní vesničané ho, narozdíl od savany na vrcholu hory, nijak nevyužívají. Předěšlé výpravy zde našly přibližně 84 druhů ptáků, z toho 24 horských druhů (Smith and McNiven 1993, Larison et al. 2000). Tato hora je určitě dalším zajímavým cílem pro bližší zkoumání. Další vhodnou horou pro bližší zkoumání elevačního gradientu diverzity je hora Tchabal Ngandaba, která leží severně od hory Tchabal Mbabo. Nenalézá se na ní žádný souvislý horský les, ale její svahy jsou pokryty četnými galeriovými lesy a fragmenty lesa se zde také nachází v četných roklích a stržích. Předchozí studie zde objevily 132 ptačích druhů a většina byla ve vysokých početnostech, což znamená, že místní společenstvo ptáků je v dobré kondici (Larison et al. 2000). Dalšími možnými místy pro rozšíření studie jsou Obudu Plateau, Mambilla Plateau a Oban Hills ležící v Nigérii (znázorněny na Obrázku 3).

Většina dat použitých v této práci je 20 - 30 let stará, pro získání aktuálnějšího pohledu na stav biodiverzity ve studované oblasti je nutná revize veškerých dat a nový průzkum všech oblastí, obzvláště těch zasažených ztrátou původního habitatu. Dále by se kvalita dat vylepšila, pokud by primárním cílem výzkumu byl altitudinální gradient diverzity a výškové rozšíření ptačích druhů, a nebyla to jen vedlejším produktem při sběru dat. Rozsah práce by značně rozšířily i data o abundancích druhů v jednotlivých nadmořských výškách.

4.4. Vztahy mezi společenstvy ptáků

Shluková analýza ukázala, že se nížinná společenstva ptáků mění na horská ve výšce zhruba 1200 m n. m., na hoře Kupé je to o 100 m níže. Společenstva ptáků nad hranicí lesa se zásadně liší od těch lesních. Nejpodobnější jsou si horská společenstva ptáků 4 oblastí, Kamerunské hory, hory Kupé, hory Rata a ostrova Bioko. Společenstva na hoře Rata jsou řazena k horským pravděpodobně kvůli degradovanému habitatu nížinného lesa. Také je zde nižší úhrn srážek než na ostatních horách, takže horská společenstva jsou posunuta níže. Tuto teorii by potvrdilo i posunutí horského společenstva na hoře Kupé o 100 m níže, než u ostrova Bioko a Kamerunské hory. Společenstva na hoře Nlonako tvoří samostatný shluk, což potvrdil i upravený Diceho koeficient. Je to dáno nedostatečným množstvím informací o hoře a jejích ptačích společenstvech. Druhově nejbohatší vysokohorská společenstva na horách Oku (2001 - 2900 m) a Manenguba (1801 - 2200 m) jsou také řazena do stejného shluku. Na hoře Manenguba, stejně jako na hoře Oku, pravděpodobně dochází k obohacování vysokohorských společenstev o savanové druhy ptáků, kteří jsou schopni migrovat k vrcholu skrz fragmentovaný les. Nejvyšší společenstvo na hoře Oku je podobné společenstvům na Kamerunské hoře mezi 2301 - 3000 m. Druhově chudší společenstvo u vrcholu hory Oku se pravděpodobně podobá společenstvům nad hranicí lesa na Kamerunské hoře, která jsou celkově druhově chudší.

Upravený Diceho koeficient potvrdil výsledky ze shlukové analýzy a do vztahů mezi jednotlivými společenstvy ptáků vnesl ještě konkrétnější obrysy. Nížinná společenstva ptáků na hoře Kupé ve výškách 801 - 1000 m jsou si vzájemně velmi podobná, ale také jsou velmi podobná společenstvům ptáků na Kamerunské hoře ve výškách 201 - 700 m, a to více, než ostatním společenstvům na hoře Kupé. Tento jev připisují rozdílným klimatickým podmínkám obou hor, takže úhrn srážek a teplota mohou být v těchto výškách podobnější než ve stejně vysokých nadmořských pásech. Další možné vysvětlení je, že se jedná o úpatí hory,

a v datasetu se pravděpodobně vyskytly i nížinné druhy ptáků, které žijí v okolí hory a které jsou si v celé oblasti velmi podobné. Ve vyšších nadmořských výškách už jsou nahrazeni horskými druhy. Společenstva na horách Kupé a Rata jsou si velmi podobná, je to pravděpodobně dáno velmi podobným klimatem na obou horách. Společenstva na ostrově Bioko ve výškách 1 - 1200 m jsou si nejvíce podobná mezi sebou, to samé platí pro výšky 2001 - 3000 m. Horská společenstva na Kamerunské hoře, horách Kupé, Rata a ostrově Bioko ve výškách zhruba 1200 - 2000 m jsou si obecně nejpodobnější v celém datasetu.

4.5. Kompetice druhů s podobnou ekologickou nikou

Upravený Diceho koeficient jsem rovněž použil ke zjištění podobnosti ekologických nik jednotlivých druhů a také ke zjištění podobnosti jejich elevačního rozpětí na konkrétních horách. Při zadání parametrů, jak je uvedeno ve výsledcích jsem našel 64 dvojic, které měly velmi podobnou ekologickou niku, přičemž u 51 dvojic se příliš neshodovalo elevační rozšíření na jednotlivých horách. Při změně parametrů analýzy, při které bych stanovil hodnotu 1,49 jako hranici podobnosti ekologické niky (místo původní 1,75), by výsledky ukázaly mnohem více takových dvojic. Konkrétně by se našlo 510 dvojic s ekologicky podobnou nikou, z čehož 349 dvojic by se neshodovalo v elevačním rozšíření. Popisování všech konkrétních dvojic je nicméně časově i technicky náročné a přesahuje rámec této práce.

Pro další posuzování vlivu vzájemné konkurence jednotlivých druhů by bylo vhodné mít dostupné údaje o jejich abundancích. Tyto údaje by upřesnily analýzu a výsledky by poskytovaly větší jistotu, že se druhy skutečně vzájemně ovlivňují. Bulbulec vousatý (*Criniger chloronotus*) a bulbulec nigerijský (*Phyllastrephus poensis*) mají naprosto totožné potravní specializace i žijí ve stejném habitatu a data naznačují, že jsou navzájem konkurenty. Zdá se, že všeobecně rozšířený bulbulec nigerijský vytlačuje bulbulce vousatého do nižších pásem. Údaje o abundancích by ale tento vztah objasnilo lépe. To samé platí u zoborožce

žlutohlavého (*Ceratogymna elata*) a špačka žlutoocasého (*Poeoptera lugubris*). U této dvojice se zdá být silnějším konkurentem zoborožec žlutohlavý.

Kulíšek sjoestedtův (*Glaucidium sjoestedti*) a orlík jestřabovitý (*Dryotriorchis spectabilis*) by si na základě dat o potravě a technice lovu neměli konkurovat, neboť kulíšek loví svou kořist v noci a orlík je denní lovec, zaměřující se zejména na hady. Ovšem jak popisuje ve své práci Negro (2008), orlík svým zbarvením mimikuje jiného dravce, orla afrického (*Spizaetus africanus*), jehož hlavní složkou potravy jsou jiní ptáci. Kulíšek se tak pravděpodobně orlíkovi raději vyhýbá, aby se nestal kořistí. Dvojice strdimil olivovobřichý (*Cinnyris chloropygius*) a strdimil severní (*Cinnyris reichenowi*) vypadá jako typický příklad vzájemné konkurence. Na většině hor se strdimil severní objevuje až ve výškách, v nichž se strdimil olivovobřichý už nevyskytuje. Možné alternativní vysvětlení tohoto vztahu je, že strdimil olivovobřichý se specializuje na narušený nebo fragmentovaný habitat a nevyskytuje se v primárním lese. Takže se vyskytuje jen do nadmořských výšek, než se objeví neporušený závoj primárního deštného lesa. Naopak strdimil severní je sice schopen žít i v narušeném habitatu, ale preferuje primární deštný les. Takže se na lokalitách začíná vyskytovat až od nadmořských výšek, kde se nachází primární deštný les. Jejich rozšíření je tak možné vysvětlit přítomností vhodného habitatu, nikoliv konkurenčním vztahem.

5. Závěr

Cílem této diplomové práce je určit biodiverzitu ptáků, zejména horských druhů ptáků, v oblasti 6 hor západního Kamerunu a ostrova Bioko a analyzovat distribuci druhové diverzity podél elevačního gradientu. Dalším cílem je pak porovnat jednotlivá společenstva mezi sebou a zjistit jejich podobnosti a odlišnosti. Zároveň zkoumám, jakým způsobem probíhá druhový obrat ptáků s podobnou ekologickou nikou.

Druhově nejbohatšími horami ve studované oblasti jsou Kamerunská hora a hora Kupé, ačkoliv vysokohorská společenstva ptáků nad 2100 m n. m. jsou druhově nejbohatší na horách Oku a Manenguba. Data potvrzují teorii McCain (2009) o distribuci druhové diverzity podél elevačního gradientu na humidních horách. Průběh druhové diverzity podél elevačního gradientu má formu buď lineárního klesání s maximem počtu druhů u úpatí hory, nebo plató hodnot v nižších nadmořských výškách následované lineárním klesáním. Použité statistické metody potvrdily negativní závislost počtu druhů na nadmořské výšce, ale také pozitivní závislost mezi počtem druhů a rozlohou.

Nejpodobnější společenstva ptáků se nachází na Kamerunské hoře, horách Kupé a Rata a na ostrově Bioko. Obzvláště podobná jsou tamní horská společenstva ptáků ve středních nadmořských výškách 1200 - 2300 m. Zajímavostí je podobnost ptačích společenstev na hoře Kupé ve výškách 800 - 1000 m se společenstvy na Kamerunské hoře ve výškách 200 - 700 m, pravděpodobně z klimatických důvodů. Ptačí společenstva hor Manenguba a Oku se od ostatních poměrně liší (ve většině nadmořských pásů), ale navzájem jsou si tyto hory podobné. Co se týče ptačích společenstev nad hranicí lesa, velmi podobná jsou si společenstva na Kamerunské hoře a ostrově Bioko. Výsledky pro horu Nlonako

naznačují, že je tato hora naprosto separovaná od ostatních studovaných oblastí. Tento výsledek je ale pravděpodobně způsoben nedostatkem dat.

Výsledky analýzy určily 64 dvojic druhů ptáků jako druhy s podobnou ekologickou nikou. Z tohoto počtu mělo téměř 80% dvojic nízkou podobnost elevačního rozšíření na horách ve studované oblasti. Pro lepší představu o této problematice je však nutno data doplnit o přesnější elevační rozšíření jednotlivých ptáků a také o elevační gradient jejich abundancí.

Výsledky této práce poskytují lepší vhled do celkové biodiverzity a jejích změn podél elevačního gradientu unikátní endemické oblasti kamerunských hor a ostrova Bioko. Nicméně obsáhlejší data (zejména z hory Nlonako) a jejich rozšíření o početnosti ptačích druhů by práci do značné míry obohatila a umožnila podrobnější zkoumání dané problematiky, zejména pak problematiku vzájemných vztahů a interakcí mezi druhy s podobnou ekologickou nikou.

Použitá literatura

- Abebe, A. F., Cai, T., Wale, M., Song, G., Fjeldså, J., & Lei, F. (2019). Factors determining species richness patterns of breeding birds along an elevational gradient in the Horn of Africa region. *Ecology and Evolution*, *9*, 9609–9623. <http://doi.org/10.1002/ece3.5491>
- Bergl, R. A., Oates, J. F., & Fotso, R. (2006). Distribution and protected area coverage of endemic taxa in West Africa ' s Biafran forests and highlands. *Biological Conservation*, *134*, 195–208. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.013>
- Bibby, C. J. (1992). *Putting biodiversity on the map: priority areas for global conservation*. Cambridge: International council for bird preservation.
- Bowden, C. G. R. (2001). The birds of Mount Kupe, southwest Cameroon. *BirdLife International*, *23*(2), 13–44.
- Bowden, C. G. R., & Andrews, S. M. (1994). Mount Kupe and its Birds. *Bull ABC*, *1*(1), 13–18.
- Brown, J. H. (2001). Mammals on mountainsides : elevational patterns of diversity. *Ecology, Global*, *10*, 101–109.
- Brown, J. H., & Kodric-Brown, A. (1977). Turnover Rates in Insular Biogeography : Effect of Immigration on Extinction Author. *Ecology*, *58*(2), 445–449.
- Burgess, N. D., Balmford, A., Cordeiro, N. J., Fjeldsa, J., Kuper, W., Rahbek, Eric W. Sanderson, Jorn P. W. Sharlemann, J. Henning Sommer, Williams, P. H. (2006). Correlations among species distributions , human density and human infrastructure across the high biodiversity tropical mountains of Africa. *Biological Conservation*, *134*, 164–177. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.024>
- Burgess, N. D., Butynski, T. M., Cordeiro, N. J., Doggart, N. H., Fjeldsa, J., Howell, K. M., Stuart, S. N. (2007). The biological importance of the Eastern Arc Mountains of Tanzania and Kenya. *Biological Conservation*, *134*, 209–231. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.015>
- Burgess, N. D., Klerk, H. M. De, Crowe, T. M., & Fjeldsa, J. (2002). Patterns of species richness and narrow endemism of terrestrial bird species in the Afrotropical region. *Journal of Zoology*, *256*, 327–342. <http://doi.org/10.1017/S0952836902000365>
- Colwell, R. K., & Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *345*, 101–118. <http://doi.org/10.1098/rstb.1994.0091>
- Colwell, R. K., Rahbek, C., & Gotelli, N. J. (2004). The Mid-Domain Effect and Species Richness Patterns : What Have We Learned So Far ? *The American Naturalist*, *163*(3), 1–23. <http://doi.org/10.1086/382056>
- Connor, E. F., & McCoy, E. D. (1979). The Statistics and Biology of the Species-Area Relationship. *The American Naturalist*, *113*(6), 791–833. <http://doi.org/10.1086/283438>

- de Klerk, H. M., Crowe, T. M., Fjeldsa, J., & Burgess, N. D. (2002). Biogeographical patterns of endemic terrestrial Afrotropical birds. *Diversity and Distributions*, 8, 147–162.
- Dowsett, R. J., & Dowsett-Lemaire, F. (1999). New species and amendments to the avifauna of Cameroon. *Bull. B.O.C.*, 120, 179–185.
- Fishpool, L. D. C., & Evans, M. I. (2001). *Important bird areas in Africa and associated islands: Priority sites for conservation*. Cambridge: Birdlife international.
- Forero-Medina, G., Terborgh, J., Socolar, S. J., & Pimm, S. L. (2011). Elevational Ranges of Birds on a Tropical Montane Gradient Lag behind Warming Temperatures. *PLoS ONE*, 6(12), 1–5. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0028535>
- Fotso, R. (2001). A contribution to the ornithology of Mount Oku forest. *Malimbus*, 23, 1–12.
- Fry, C. H., Keith, S., Urban, E., & Woodcock, M. (n.d.). *The birds of Africa*. Academic press.
- Graham, C. H., Smith, T. B., & Languy, M. (2005). Current and historical factors influencing patterns of species richness and turnover of birds in the Gulf of Guinea highlands. *Journal of Biogeography*, 32, 1371–1384. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01284.x>
- Hasman, J., & Novotný, J. (2017). *Kdo, odkud, kam a s kým: prostorová příbuznost migračních skupin na globální, národní i lokální úrovni*.
- Heaney, L. R. (2001). Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 15–39.
- Herrmann, H.-W., Bohme, W., Herrmann, P. A., Plath, M., Schmitz, A., & Solbach, M. (2005). African biodiversity hotspots : The amphibians of Mt . Nlonako , Cameroon. *Salamandra*, 41(1-2), 61–81.
- Languy, M., Bobo, K. S., Motombi, F. N., Njabo, K. Y., Lapios, J. M., & Demey, R. (2005). New bird records from Cameroon. *Malimbus*, 27(2), 1–12.
- Larison, B., Smith, T. B., Fotso, R., & Mcniven, D. (2000). Comparative avian biodiversity of five mountains in northern Cameroon and Bioko. *Ostrich*, 71(1-2), 269–276. <http://doi.org/10.1080/00306525.2000.9639926>
- MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton university press.
- Marki, P. Z., Sam, K., Koane, B., Kristensen, J. B., Kennedy, J. D., & Jønsson, K. A. (2016). New and noteworthy bird records from the Mt . Wilhelm elevational gradient , Papua New Guinea. *Bull. B.O.C.*, 136(4), 263–271.
- Mbue, I. N., & Ge, J. (2010). Landscape Change in the Bamenda Highlands of Northwestern Cameroon : Modeling the Driving Forces of Smallholder Deforestation. *Esiat*, 813–816.
- Mccain, C. M. (2007). Area and mammalian elevational diversity. *Ecology*, 88(1), 76–86.
- Mccain, C. M. (2009). Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 346–360. <http://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00443.x>

- Nana, E. D., Sedláček, O., Bayly, N., Ferenc, M., Albrecht, T., Reif, J., Motombi, F. N., Hořák, D. (2014). Comparison of avian assemblage structures in two upper montane forests of the Cameroon volcanic line: lessons for bird conservation. *Biodiversity & Conservation*, 23, 1469–1484. <http://doi.org/10.1007/s10531-014-0677-7>
- Negro, J. J. (2008). Two aberrant serpent-eagles may be visual mimics of bird-eating raptors. *Ibis*, 150, 307–314.
- Oates, J. F., Bergl, R. A., & Linder, J. M. (2004). Africa's Gulf of Guinea Forests: Biodiversity Patterns and Conservation Priorities. *Advances in Applied Biodiversity Science*, 6, 1–90.
- Ocampo-Penuela, N., & Pimm, S. L. (2015). Elevational Ranges of Montane Birds and Deforestation in the Western Andes of Colombia. *PLoS ONE*, 10(12), 1–14. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0143311>
- Peh, K. S.-H. (2007). Potential effects of climate change on elevational distributions of tropical birds in Southeast Asia. *The Condor*, 109, 437–441.
- Peréz del Val, J. (1996). *Las aves de Bioko, Guinea Ecuatorial* (Edileasa). Vicente Pastor.
- Peréz del Val, J., Castroviejo, J., & Purroy, F. J. (1996). Species rejected from and added to the avifauna of Bioko island (Equatorial Guinea). *Malimbus*, 19(2), 19–31.
- Perez del Val, J., Fa, J. E., Castroviejo, J., & Purroy, F. J. (1994). Species richness and endemism of birds in Bioko. *Biodiversity and Conservation*, 3, 868–892.
- Rahbek, C. (1995). The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18(2), 200–205.
- Rahbek, C. (1997). The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *The American Naturalist*, 149(5), 875–902.
- Rapoport, E. H. (1982). *Areography: geographical strategies of species*. Oxford: Pergamon.
- Rodewald, P. G., Dejaifve, P., & Green, A. A. (1994). The birds of Korup National Park and Korup Project Area, Southwest Province, Cameroon. *Bird Conservation International*, 4, 1–68.
- Romdal, T. S., & Rahbek, C. (2009). Elevational zonation of afrotropical forest bird communities along a homogeneous forest gradient. *Journal of Biogeography*, 36, 327–336. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01996.x>
- Ruggiero, A., & Hawkins, B. A. (2008). Why do mountains support so many species of birds? *Ecography*, 31, 306–315. <http://doi.org/10.1111/j.2008.0906-7590.05333.x>
- Sam, K., Koane, B., Bardos, D. C., Jeppy, S., & Novotny, V. (2019). Species richness of birds along a complete rain forest elevational gradient in the tropics: Habitat complexity and food resources matter. *Journal of Biogeography*, 46, 279–290. <http://doi.org/10.1111/jbi.13482>
- Sanders, N. J. (2002). Elevational gradients in ant species richness: area, geometry, and Rapoport's rule. *Ecography*, 25, 25–32.
- Smith, T. B., & Mcniven, D. (1993). Preliminary survey of the avifauna of Mt Tchabal

- Mbabo , west-central Cameroon. *Bird Conservation International*, 3, 13–19.
- Stattersfield, A. J., Crosby, M. J., Long, A., & Wege, D. C. (1998). *Endemic bird areas of the world: Priorities for biodiversity conservation*. Cambridge: Birdlife international.
- Stevens, G. C. (1992). The Elevational Gradient in Altitudinal Range : An Extension of Rapoport' s Latitudinal Rule to Altitude. *The American Naturalist*, 140(6), 893–911.
- Stuart, S. N. (1984). *Conservation of Cameroon montane forests*. International council for bird preservation.
- Tefogoum, G. Z., Dongmo, A. K., Nkouathio, D. G., Wandji, P., & Dedzo, M. G. (2014). Geomorphological features of the Manengouba Volcano (Cameroon Line): assets for potential geopark development. *Geoheritage*, 6, 225–239. <http://doi.org/10.1007/s12371-014-0109-9>
- Wiens, J. J., Parra-Olea, G., Garcia-Paris, M., & Wake, D. B. (2007). Phylogenetic history underlies elevational biodiversity patterns in tropical salamanders. *Proceedings of The Royal Society B*, 274, 919–928. <http://doi.org/10.1098/rspb.2006.0301>
- William Serle. (1950). A contribution to the ornithology of the British Cameroons. *Ibis*, 92, 602–638.
- William Serle. (1954). A second contribution to the ornithology of the British Cameroons. *Ibis*, 96, 47–80.
- William Serle. (1964). A third contribution to the ornithology of the British Cameroons. *Ibis*, 107, 60–94.

Přílohy

Tabulka příslušnosti nadmořských pásů hor do jednotlivých shluků

Nadmořský pás	13 shluků	12 shluků	11 shluků	10 shluků	9 shluků	8 shluků
1: MtCam 1 - 100m	1	1	1	1	1	1
2: MtCam 101 - 200m	1	1	1	1	1	1
3: MtCam 201 - 300m	1	1	1	1	1	1
4: MtCam 301 - 400m	1	1	1	1	1	1
5: MtCam 401 - 500m	1	1	1	1	1	1
6: MtCam 501 - 600m	1	1	1	1	1	1
7: MtCam 601 - 700m	1	1	1	1	1	1
8: MtCam 701 - 800m	1	1	1	1	1	1
9: MtCam 801 - 900m	1	1	1	1	1	1
10: MtCam 901 - 1000m	1	1	1	1	1	1
11: MtCam 1001 - 1100m	1	1	1	1	1	1
12: MtCam 1101 - 1200m	1	1	1	1	1	1
13: MtCam 1201 - 1300m	2	2	2	2	1	1
14: MtCam 1301 - 1400m	2	2	2	2	1	1
15: MtCam 1401 - 1500m	2	2	2	2	1	1
16: MtCam 1501 - 1600m	2	2	2	2	1	1
17: MtCam 1601 - 1700m	2	2	2	2	1	1
18: MtCam 1701 - 1800m	2	2	2	2	1	1
19: MtCam 1801 - 1900m	2	2	2	2	1	1
20: MtCam 1901 - 2000m	2	2	2	2	1	1
21: MtCam 2001 - 2100m	2	2	2	2	1	1
22: MtCam 2101 - 2200m	2	2	2	2	1	1
23: MtCam 2201 - 2300m	2	2	2	2	1	1
24: MtCam 2301 - 2400m	3	3	3	3	2	2
25: MtCam 2401 - 2500m	3	3	3	3	2	2
26: MtCam 2501 - 2600m	3	3	3	3	2	2
27: MtCam 2601 - 2700m	3	3	3	3	2	2
28: MtCam 2701 - 2800m	3	3	3	3	2	2
29: MtCam 2801 - 2900m	3	3	3	3	2	2
30: MtCam 2901 - 3000m	3	3	3	3	2	2
31: MtKup 801 - 900m	1	1	1	1	1	1
32: MtKup 901 - 1000m	1	1	1	1	1	1
33: MtKup 1001 - 1100m	1	1	1	1	1	1
34: MtKup 1101 - 1200m	2	2	2	2	1	1
35: MtKup 1201 - 1300m	2	2	2	2	1	1

36:MtKup 1301 - 1400m	2	2	2	2	1	1
37:MtKup 1401 - 1500m	2	2	2	2	1	1
38:MtKup 1501 - 1600m	2	2	2	2	1	1
39:MtKup 1601 - 1700m	2	2	2	2	1	1
40:MtKup 1701 - 1800m	2	2	2	2	1	1
41:MtKup 1801 - 1900m	2	2	2	2	1	1
42:MtKup 1901 - 2000m	2	2	2	2	1	1
43:MtKup 2001 - 2100m	4	4	4	4	3	3
44:MtMan 1701 - 1800m	5	5	5	5	4	4
45:MtMan 1801 - 1900m	6	6	6	6	5	4
46:MtMan 1901 - 2000m	6	6	6	6	5	4
47:MtMan 2001 - 2100m	6	6	6	6	5	4
48:MtMan 2101 - 2200m	6	6	6	6	5	4
49:MtMan 2201 - 2300m	7	7	7	7	6	5
50:MtMan 2301 - 2400m	7	7	7	7	6	5
51:MtNlo 1001 - 1100m	8	8	8	8	7	6
52:MtNlo 1101 - 1200m	9	9	9	8	7	6
53:MtNlo 1201 - 1300m	9	9	9	8	7	6
54:MtNlo 1301 - 1400m	9	9	9	8	7	6
55:MtNlo 1401 - 1500m	9	9	9	8	7	6
56:MtNlo 1501 - 1600m	9	9	9	8	7	6
57:MtNlo 1601 - 1700m	9	9	9	8	7	6
58:MtNlo 1701 - 1800m	9	9	9	8	7	6
59:MtRat 901 - 1000m	2	2	2	2	1	1
60:MtRat 1001 - 1100m	2	2	2	2	1	1
61:MtRat 1101 - 1200m	2	2	2	2	1	1
62:MtRat 1201 - 1300m	2	2	2	2	1	1
63:MtRat 1301 - 1400m	2	2	2	2	1	1
64:MtRat 1401 - 1500m	2	2	2	2	1	1
65:MtRat 1501 - 1600m	2	2	2	2	1	1
66:MtRat 1601 - 1700m	2	2	2	2	1	1
67:MtOku 1901 - 2000m	10	10	10	9	8	7
68:MtOku 2001 - 2100m	6	6	6	6	5	4
69:MtOku 2101 - 2200m	6	6	6	6	5	4
70:MtOku 2201 - 2300m	6	6	6	6	5	4
71:MtOku 2301 - 2400m	6	6	6	6	5	4
72:MtOku 2401 - 2500m	6	6	6	6	5	4
73:MtOku 2501 - 2600m	6	6	6	6	5	4
74:MtOku 2601 - 2700m	6	6	6	6	5	4
75:MtOku 2701 - 2800m	6	6	6	6	5	4

76:MtOku 2801 - 2900m	6	6	6	6	5	4
77:MtOku 2901 - 3000m	11	11	3	3	2	2
78:Bioko 1 - 100m	12	1	1	1	1	1
79:Bioko 101 - 200m	12	1	1	1	1	1
80:Bioko 201 - 300m	12	1	1	1	1	1
81:Bioko 301 - 400m	12	1	1	1	1	1
82:Bioko 401 - 500m	12	1	1	1	1	1
83:Bioko 501 - 600m	12	1	1	1	1	1
84:Bioko 601 - 700m	12	1	1	1	1	1
85:Bioko 701 - 800m	12	1	1	1	1	1
86:Bioko 801 - 900m	12	1	1	1	1	1
87:Bioko 901 - 1000m	12	1	1	1	1	1
88:Bioko 1001 - 1100m	12	1	1	1	1	1
89:Bioko 1101 - 1200m	12	1	1	1	1	1
90:Bioko 1201 - 1300m	2	2	2	2	1	1
91:Bioko 1301 - 1400m	2	2	2	2	1	1
92:Bioko 1401 - 1500m	2	2	2	2	1	1
93:Bioko 1501 - 1600m	2	2	2	2	1	1
94:Bioko 1601 - 1700m	2	2	2	2	1	1
95:Bioko 1701 - 1800m	2	2	2	2	1	1
96:Bioko 1801 - 1900m	2	2	2	2	1	1
97: Bioko 1901 - 2000m	2	2	2	2	1	1
98:Bioko 2001 - 2100m	13	12	11	10	9	8
99:Bioko 2101 - 2200m	13	12	11	10	9	8
100:Bioko 2201 - 2300m	13	12	11	10	9	8
101:Bioko 2301 - 2400m	13	12	11	10	9	8
102:Bioko 2401 - 2500m	13	12	11	10	9	8
103:Bioko 2501 - 2600m	13	12	11	10	9	8
104:Bioko 2601 - 2700m	13	12	11	10	9	8
105:Bioko 2701 - 2800m	13	12	11	10	9	8
106:Bioko 2801 - 2900m	13	12	11	10	9	8
107:Bioko 2901 - 3000m	13	12	11	10	9	8

Tabulka 3: Příslušnost nadmořských pásů hor do jednotlivých shluků. (Zdroj: vlastní zpracování dat)