

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Přírodovědecká fakulta**

**Test metodiky detekce floaterů v populaci sýčka obecného  
(*Athene noctua*) pomocí pasivního akustického  
monitoringu**

**Diplomová práce**

**Bc. Lucie Hornátová**

Školitel: RNDr. Pavel Linhart, Ph.D.

České Budějovice 2022

Hornátová, L. (2022): Test metodiky detekce floaterů v populaci sýčka obecného (*Athene noctua*) pomocí pasivního akustického monitoringu. [A test of the methodology for detection of floaters in a population of little owl (*Athene noctua*) using passive acoustic monitoring. Mgr. Thesis in Czech.] – 44 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

**Anotace:**

In the presented work, I created pilot study that tested the method of detecting floaters in the bird population. The tested method uses automatic recorders to record vocal activity in bird territory, including acoustic events of territorial male, neighbouring male and possible floaters. This study was tested on population of Little owls (*Athene noctua*).

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích, dne 7. prosince 2022

---

Lucie Hornátová

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala svému školiteli Pavlovi Linhartovi za pomoc a trpělivost při tvorbě této diplomové práce, především mu patří dík za provedení simulací v terénu. Dále bych chtěla poděkovat všem majitelům pozemků, na nichž probíhal monitoring, za spolupráci, Martinu Šálkovi a Sangeethu Sailasovi za další dodatečné informace k nahrávkám a lokalitám. V neposlední řadě musím poděkovat rodičům a partnerovi, kteří mě během celého studia podporovali.

## Obsah

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod .....                                                                 | 1  |
| 1.1 Floateri.....                                                            | 1  |
| 1.1.1 Význam floaterů v populaci .....                                       | 1  |
| 1.1.2 Detekce floaterů.....                                                  | 2  |
| 1.1.3 Floateri v sovích populacích.....                                      | 4  |
| 1.2 Pasivní akustický monitoring .....                                       | 4  |
| 1.2.1 Využití pasivního akustického monitoringu u sov .....                  | 6  |
| 2 Cíle práce.....                                                            | 8  |
| 3 Metodika.....                                                              | 9  |
| 3.1 Vybavení pro sběr dat – nahrávač AudioMoth.....                          | 9  |
| 3.2 Sběr dat.....                                                            | 10 |
| 3.3 Simulace floaterů.....                                                   | 11 |
| 3.4 Analýza nahrávek .....                                                   | 12 |
| 3.5 Statistické analýzy .....                                                | 12 |
| 3.6 Kaleidoscope .....                                                       | 13 |
| 3.6.1 Vyhodnocení úspěšnosti detekce programem Kaleidoscope.....             | 14 |
| 4 Výsledky.....                                                              | 16 |
| 4.1 Sběr dat.....                                                            | 16 |
| 4.2 Detekce vokalizace sýčka programem Kaleidoscope.....                     | 16 |
| 4.3 Detekce simulovaných vpádů.....                                          | 18 |
| 4.3.1. Úspěšnost vyvolání odpovědi na simulaci.....                          | 18 |
| 4.3.2 Faktory ovlivňující viditelnost simulace na spektrogramu nahrávky..... | 18 |
| 4.3.3 Detekce simulací na nahrávkách .....                                   | 20 |
| 4.4 Vyhodnocení počtu jedinců na lokalitě .....                              | 22 |
| 4.4.1 Zhodnocení počtu jedinců na lokalitě – sezóna 2021 .....               | 22 |
| 4.4.2 Zhodnocení počtu jedinců na lokalitě – sezóna 2022.....                | 26 |
| 5 Diskuze .....                                                              | 31 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Automatická detekce hlasů sýčka pomocí programu Kaleidoscope ..... | 31 |
| 5.2 Simulace floaterů.....                                             | 32 |
| 5.3 Detekce floaterů.....                                              | 34 |
| 6 Závěr.....                                                           | 36 |
| 7 Literatura .....                                                     | 37 |

# 1 Úvod

## 1.1 Floateři

Floateři (anglicky „floaters“) jsou definováni jako nereprodukující se jedinci, kteří nevlastní žádné teritorium, ale potulují se po širším území, které může zahrnovat teritoria ostatních jedinců. Floateři jsou nejčastěji popisováni a studováni u ptačích populací (Newton 1998, Penteriani et al. 2011), ale můžeme se s nimi setkat i u plazů (Duffield & Bull 2002), savců (Wauters & Lens 1995, Hung et al. 2004) a hmyzu (Field et al. 1998, Pedersen & Boomsma 1999, Nagy et al. 2011).

Většinu floaterů tvoří nejčastěji samci, přičemž floateři zastupují přibližně 30 až 70 % všech samců v populaci (Newton 1998). Výjimečně mohou tvořit větší procento (až 83 %), což bylo pozorováno např. u lejska černohlavého (*Ficedula hypoleuca*) (Sternberg et al. 2002, Lenda et al. 2012).

Samice se jako floateři vyskytují méně často, ovšem můžeme se s nimi setkat zejména u populací, kde je přebytek samic. Výskyt samičích floaterů byl popsán např. u špačků obecných (*Sturnus vulgaris*) (Stutchbury & Robertson 1987), motáků lužních (*Circus pygargus*) (Arroyo et al. 2007), výra velkého (*Bubo bubo*) (Campioni et al. 2010) a mravenečnickovce šedoprského (*Formicarius moniliger*) (Kirshel et al. 2011).

Z hlediska stáří jedinců se floatery nejčastěji stávají mladí jedinci, kteří opustí teritorium svých rodičů a ihned nenaleznou své vlastní teritorium. Věkové složení floaterů bylo zkoumáno například u výřečka rjúkjúského (*Otus elegans*), kde jedinci mladší než 2 roky tvořili 50 % floaterů a jedinci v rozmezí stáří tří až čtyř let tvořili 37 % (Severinghaus 2002).

### 1.1.1 Význam floaterů v populaci

Jak již bylo zmíněno výše, floateři jsou definováni jako jedinci nevlastníci teritorium, kteří sice jsou schopni reprodukce, ale nereprodukují se. Přítomnost floaterů v populaci byla na základě této definice často spojována s nedostatkem zdrojů na daném území, tj. nedostatek teritorií nebo nedostatek partnerů (Penteriani et al. 2011). Nicméně výzkum floaterů ukázal, že situace není tak jednoznačná (Blas & Hiraldo 2010).

Evolučně je výskyt floaterů v populaci spojován s tzv. „*delayed maturation*“, kdy jedinci, kteří odloží reprodukci mají následně vyšší fitness. Floateři se mohou ale vyskytovat i na územích, kde je dostatek hnízdních příležitostí, avšak floateři je nechtějí využít. Při takovém scénáři vyčkávají, až se uvolní kvalitnější teritorium, které se následně může odrazit v jejich

reprodukční úspěšnosti – např. alkouni úzkozobí (*Uria aalge*), kteří si dobrovolně zvolí strategii floaterů mají šanci v následujících letech získat kvalitnější teritorium oproti tomu, které vlastnili dříve, pokud jej vlastnili (Kokko et al. 2004). Výzkum ústřičníků velkých (*Haematopus ostralegus*) dokonce prokázal, že floateři skutečně vyčkávají a sbírají informace o obsazených teritoriích v jejich okolí (Bruinzeel & van de Pol 2004). Sesbírané informace o teritoriích následně zvyšují šanci těchto floaterů na získání pozorovaných teritorií oproti jiným jedincům, kteří se v okolí těchto teritorií nevyskytovali (Bruinzeel & van de Pol 2004).

Většina floaterů se snaží být nenápadná, aby na sebe příliš neupozorňovali jedince vlastníci teritoria, v jejichž okolí se nacházejí. Byly však zdokumentovány i případy, kdy se floateři chovají jinak a představují hrozbu pro jedince hnízdící teritoriálně (Arcese 1987). Teritoriální jedinci pak musí vynakládat větší úsilí, aby obhájili své teritorium, což může vést k jejich nižší reprodukční úspěšnosti (Pilz & Smith 2004, Bretagnolle et al. 2008), omezení velikosti teritoria (Norton et al. 1982) nebo dokonce k jeho úplné ztrátě (Newton 1979).

Dalo by se tedy říci, že floateři jsou jedinci, kteří využívají opatrné strategie pozorování a vyčkávání k tomu, aby následně mohli získat co nejlepší teritorium a tím maximalizovali svůj reprodukční úspěch a fitness.

Přítomnost a počet floaterů v populaci má také velký význam pro ochranu živočichů (Penteriani et al. 2011). Velikost populace bývá často určována počtem hnízd nebo hnízdících párů. Tyto údaje ovšem neberou v potaz přítomnost floaterů v populaci, a tak mohou být údaje o velikosti populace zkreslené (Penteriani et al. 2011). To může být klíčové především pro populace ohrožených živočichů. Například u populace orla královského (*Aquila heliaca*) byl počet hnízd považován za relativně stabilní až do poklesu počtu dospělých jedinců. Naštěstí byli tito jedinci nahrazeni floatery, kteří obsadili jejich teritoria. (Katzner et al. 2007, Rudnick et al. 2008).

### **1.1.2 Detekce floaterů**

Floatery je v populaci těžké odhalit (Penteriani et al. 2011, Moreno 2016). Jejich přítomnost a početnost může být odhadována pomocí experimentů a pozorování. Floateři mohou být v populaci detekováni a sledováni pomocí individuálního značení všech přítomných jedinců na lokalitě (Penteriani & del Mar Delgado 2012). Tato metoda je ale velmi náročná, pokud vezmeme v úvahu populace druhů, které jsou velmi početné. Mimo to, některé druhy jsou velmi náročné na odchyt a je tudíž náročné všechny jedince označit.

Pro studium přítomnosti a počtu floaterů v populaci mohou být využity i neinvazivní metody. Mezi takové metody patří v ptačích populacích analýza DNA ze vzorků výkalů a peří (Rudnick et al. 2008). Množství floaterů v populaci může být také odhadováno na základě údajů o rychlosti nebo i četnosti obsazení opuštěného teritoria novým jedincem, nicméně tento druh pozorování je velmi pracný a částečně také zahrnuje individuální značení jedinců (Driscoll et al. 1999, Fedy & Stutchbury 2004, Schweizer & Whitmore 2013, Mumme 2015).

Nejspolehlivějším ale zároveň velmi invazivním způsobem, jak experimentálně zjistit přítomnost a odhadnout početnost floaterů na dané lokalitě je odstranění teritoriálních jedinců (jejich odchyt a přesun na jiné místo) a následné pozorování jedinců, kteří tato uvolněná teritoria obsadí. Tito jedinci jsou jako floateři bráni pouze v případě, že se v nově obsazeném teritoriu ještě tentýž rok rozmnoží. Tyto experimenty byly provedeny na různých druzích, mezi které patří např. lesňáček modrohřbetý (*Dendroica caerulescens*) (Marra & Holmes 1997), ostnák hnědoocasý (*Metopidius indicus*) (Butchart et al. 1999), vida vějířová (*Euplectes axillaris*) (Pryke & Anderson 2003), ústřičník velký (*Haematopus ostralegus*) (Bruinzeel & van de Pol 2004), tyran královský (*Tyrannus tyrannus*) (Cooper et al 2009) nebo rehek domácí (*Phoenicurus ochruros*) (Villavicencio et al. 2013).

Tato experimentální metoda je nepochybně užitečná, avšak neumožňuje vždy kompletní zhodnocení populace floaterů, jelikož floaterů může být v populaci mnohem více než je teritorií, která jsou uvolněna v rámci experimentu (Moreno, 2016). V některých případech tak mohou být teritoriální jedinci na lokalitě odstraněni i opakovaně (Stutchbury 1994) Některá teritoria zároveň nemusí být obsazena floatery, ale sousedními jedinci, kteří chtějí získat lepší teritorium než je to, které aktuálně vlastní (Butchart et al. 1999, Pryke & Anderson 2003, Fedy & Stutchbury 2004, Villavicencio et al. 2013).

V neposlední řadě také úspěšnost experimentu a zhodnocení floaterů v populaci závisí na pohlaví jedinců, kteří jsou z lokality odstraněni. Pokud jsou z lokality odstraněny celé páry nemusí být obsazení floatery stejně úspěšné jako v případě, kdy jsou odstraněni pouze samci, protože v populaci floaterů nemusí být dostatek samic (Marra & Holmes 1997).

Práce zaměřující se na akustickou identifikaci jedinců často zmiňují vokalizace, které pravděpodobně mohou patřit jedincům bez teritorií uvnitř studované oblasti (Laiolo et al. 2007, Vögeli et al. 2008, Kirschel et al. 2011, Petrusková et al. 2016). Tyto studie naznačují, že akustické metody by mohly být účinnou a neinvazivní metodou, jak floatery detekovat.

Možnost detekování floaterů v populaci by mohla přinést možnost jejich dalšího studování a rozšíření znalostí o ekologii a ochraně druhů (Penteriani et al. 2011, Brekke et al. 2015).

### **1.1.3 Floateři v sovích populacích**

Ačkoli jsou floateři jsou studováni především u ptačích populací (Newton 1998, Penteriani et al. 2011), počet sovích druhů, u kterých jsou floateři zmiňováni je překvapivě nízký.

Nejvíce se výzkum floaterů u sov provádí na výroví velkém (*Bubo bubo*), kde existuje několik prací, které srovnávaly floatery a hnízdící jedince – jmenovitě srovnávaly výběr habitatu (Campioni et al. 2010, Campioni et al. 2012), sociální status (Campioni et al. 2010), vokální aktivitu (Martínez & Zuberogoitia 2002) nebo třeba pohyb po teritoriu (Penteriani et al. 2015). U výrů byl také v rámci tohoto fenoménu zkoumáno soužití floaterů a teritoriálních jedinců, např. z hlediska výběru odsedávek (Campioni et al. 2010).

Floateři jsou zmiňováni také u jiných druhů např. výra virginického (*Bubo virginianus*) (Rohner 1997) nebo puštíka západního (*Strix occidentalis occidentalis*) (LaHaye et al. 1994). Telemetrická studie na puštíkoví obecném (*Strix aluco*) zmiňuje floatery, ovšem pouze v kontextu juvenilních jedinců (Sunde & Bølstad 2004). U sovek statných (*Ninox strenua*) byli pozorováni potulující se jedinci, kteří se zdržovali poblíž hnízdících párů (McNabb et al. 2006). McNabb et al. (2006) nezmiňují v práci stáří těchto jedinců, ale označují je jako floatery, avšak uvádí, že tito jedinci byli málo vokálně aktivní a byli tolerováni hnízdícími páry, kolem kterých se zdržovali. Tato práce tedy naznačuje, že by se mohlo jednat o floatery, kteří se zdržují v blízkosti hnízdících párů a čekají na uvolnění teritoria (McNabb et al. 2006).

S floatery se můžeme setkat i u sov pálených (*Tyto alba*), kde jsou zmiňováni v práci, která se zabývala populační dynamikou druhu (Klok & de Ross 2007). Bohužel, v této studii je zmiňováno i nedostatečné množství dat o floaterech, což jen potvrzuje fakt, že floateři v sovích populacích jsou málo studovaným fenoménem (Klok & de Ross 2007).

## **1.2 Pasivní akustický monitoring**

Rozvoj pasivního akustického monitoringu a s ním souvisejícího výzkumu úzce souvisí s vývojem nahrávacích zařízení (Sugai et al. 2019). Využití nahrávačů usnadnilo monitoring živočichů, především ptáků (Johnson et al. 1981), ačkoli tehdejší kazetové nahrávače neumožňovaly nahrávání bez přítomnosti člověka (Parker 1991, Vielliard 1993, Haselmayer & Quinn 2000). S vývojem digitálních nahrávačů rostl význam akustického monitoringu, jelikož tyto nahrávače jsou mnohem vhodnější alternativou ke kazetovým nahrávačům díky malé

velikosti, větší záznamové kapacitě a vyšší kvalitě audiozáznamu (Obrist et al. 2010). V minulém desetiletí došlo k rozvoji automatických nahrávačů, které umožnily nahrávání vokalizace po výrazně delší dobu, bez nutnosti denní kontroly člověkem. Zároveň je možné tyto nahrávače programovat a určovat tak denní dobu nahrávání, stejně jako délku zaznamenávaného časového úseku (Sueur et al 2012, Digby et al. 2013).

Automatické nahrávače přináší spoustu výhod, především zvyšují časové i prostorové pokrytí monitorované oblasti v porovnání s klasickým nahráváním na lokalitě (Ribeiro et al. 2017, Wrege et al. 2017). Oproti klasickému nahrávání, kde musí být přítomen člověk s nahrávacím zařízením, nejsou vokalizující zvířata během pasivního akustického nahrávání nijak rušena, tudíž je zaznamenávána autentická vokalizace jedinců.

Nicméně pasivní akustický monitoring s sebou ale nese i řadu rizik se kterými je třeba počítat. Jednou z hlavních nevýhod je absence kontextu nahrávek (kolik jedinců je na lokalitě, odkud se ozývají, co se na lokalitě děje apod.). Během aktivní periody nahrávače jsou zaznamenávány veškeré zvuky z okolí, což s sebou může přinášet i rušivé elementy (jiná zvířata, antropogenní zvuky), které mohou rušit nebo kompletně překrýt vokalizaci druhu, který chceme sledovat. Dalším rizikem je kvalita nahrávek, která je obecně nižší než u audiozáznamů, které jsou pořízeny při nahrávání „z ruky“. Kvalita nahrávek se také odvíjí od počasí, rušivých elementů zmíněných výše a také členitost území, kde je audiozáznam pořizován, včetně zástavby. Jelikož je nahrávač na lokalitě ponechán bez dozoru, je tu i možnost odcizení nebo poškození nahrávače.

V neposlední řadě je třeba zmínit vyhodnocování dlouhodobých audiozáznamů, které může být velmi časově náročné, zejména při manuálním procházení dat, bez využití programů automatické detekce vokalizace (Sugai et al. 2019).

I přes uvedené nevýhody je pasivní akustický monitoring využívající automatické nahrávače významně se rozvíjejícím odvětvím biologického výzkumu (Laiolo 2010, Shonfield & Bayne 2017). Tato metoda umožňuje výzkum živočichů, u kterých je použití jiných monitorovacích metod velmi složité. Příkladem takových organismů jsou živočichové, kteří se vyskytují na omezeném území, jsou noční nebo žijí v těžko dostupných oblastech. (Blumstein et al. 2011, Bayne and Stralberg 2015, Wood et al. 2019). Pro záznam vzácných událostí, mezi něž patří i potenciální interakce mezi vlastníky teritorií jejich sousedy a floatery, je využití pasivního akustického monitoringu velmi výhodné.

### 1.2.1 Využití pasivního akustického monitoringu u sov

U kryptických a nočních druhů, mezi něž sovy bezesporu patří, je využití akustických monitoringových metod velmi výhodné. Nicméně, playbackové provokace nebo nahrávání spontánní vokalizace sov je velmi náročné. Proto je v posledních letech pasivní akustický monitoring u sov aktuálním tématem.

Práce Shonfielda et al. (2018) se zabývala využitím automatických nahrávačů a automatické detekce soví vokalizace. Jejich cílem bylo především zaznamenat a detekovat vokalizace tří sov, které se vyskytují napříč Kanadou a USA – puštika proužkovaného (*Strix varia*), sýce rousného (*Aegolius funereus*) a výra virginského (*Bubo virginianus*). Výsledky této práce byly velmi slibné, jelikož bylo pořízeno a zpracováno mnohem více nahrávek, než by bylo možné při tradičních akustických výzkumech. Zároveň úspěšnost detekce vokalizace automatickým rozpoznáváním soví vokalizace byla velmi vysoká (nízké množství falešně pozitivních výsledků), ačkoli přesnost (*precision*) byla více variabilní (Shonfield et al. 2018).

Velké množství dat z pasivního akustického monitoringu může být využito různými způsoby, tato data mohou být například skvělým nástrojem pro studium behaviorální ekologie sov, jelikož toto téma lze u většiny sovích druhů jen velmi těžko studovat (Wood et al. 2019).

Pasivní akustický monitoring puštika západního (*Strix occidentalis caurina*) a puštika proužkovaného (*Strix varia*) se ukázal jako vhodný způsob pro detekování hnízdících párů v populaci (Duchac et al. 2020).

Dlouhodobý akustický monitoring také může přinášet užitečné informace o druzích, které byly zatím jen málo studované, například kvůli špatné dostupnosti. Celoroční akustický monitoring kulíšků brazilských (*Glaucidium brasilianum*) byl využit pro stanovení hlavních období vokalizace a hnízdních událostí, což jsou velmi přínosné informace pro další studium tohoto druhu (Peréz-Granados et al. 2021). Dalším podobným příkladem může být řecká studie na puštíkovi obecném (*Strix aluco*) (Astaras et al. 2022), která zkoumala vokální aktivitu tohoto druhu. V této studii byly automatické nahrávače využity na území národního parku v Rodopech, jakožto neinvazivní metody monitoringu (Astaras et al. 2022).

V neposlední řadě přináší pasivní akustický monitoring důležité informace o sovích druzích, které jsou ohrožené a sběr dat o nich je náročný i když zároveň klíčový ve snahách o jejich ochranu. Příkladem takové sovy může být sovka statná (*Ninox strenua*), ohrožený druh sov z Austrálie. Komplexní práce Alexandera (2022) přinesla důležité informace o vokalizaci tohoto druhu, včetně podkladů pro automatickou detekci vokalizace tohoto druhu, využití

pro monitorování reprodukční úspěšnosti druhu nebo možnosti využití pro tzv. „*citizen science*“.

## 2 Cíle práce

Cílem práce bylo vytvoření pilotní studie, která vyzkouší, zda je na dlouhodobých audiozáznamech možné identifikovat hlasy samců sýčka obecného vlastních teritorium od ostatních jedinců (sousedí, floateri).

Testovala jsem následující hypotézy:

1. Nahrávky pořízené autonomním nahrávačem mohou sloužit k určení počtu jedinců na lokalitě.
2. Nahrávky z autonomních nahrávačů mohou sloužit k detekci floaterů v přírodě.
3. Floateri je možné na nahrávce určit podle frekvenční modulace hlasu (tvaru houku).
4. Floateri lze na nahrávce určit podle počtu současně vokalizujících jedinců.

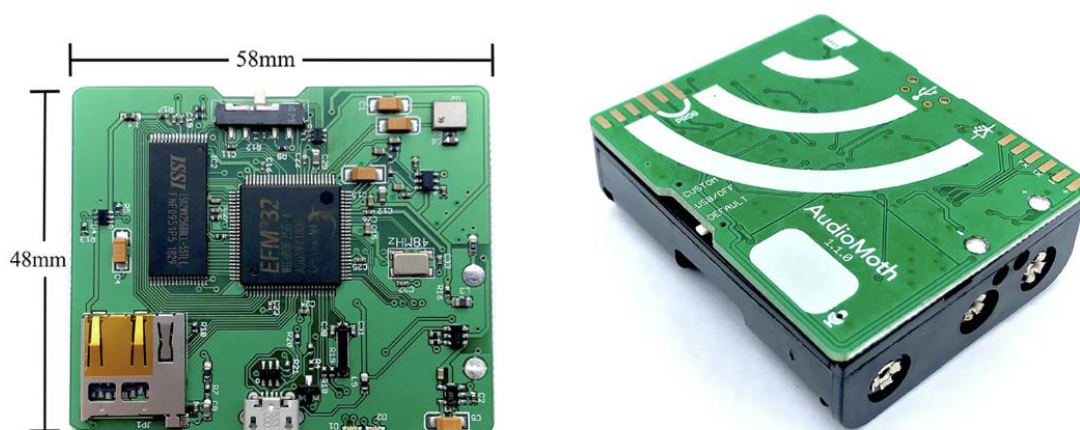
Výsledky této práce by mohly výrazně přispět k detekci floaterů v populaci, a to neinvazivní metodou, která má minimální dopad na studovaný druh. Detekce interakcí teritoriálních samců se sousedy a floateri v populaci sýčka obecného by mohla přinést důležité poznatky pro ochranu tohoto druhu na území ČR.

## 3 Metodika

### 3.1 Vybavení pro sběr dat – nahrávač AudioMoth

Pro sběr dat byl použit automatický nahrávač AudioMoth od společnosti Open Acoustic Devices. Jedná se o malý lehký nahrávač o rozměrech 58 x 48 x 18 mm a hmotnosti 80 g včetně 3 baterií typu AA, kterými je zařízení napájeno (Hill et al. 2019).

Samotný nahrávač je jednoduché zařízení skládající se z desky plošných spojů (PCB – printed circuit board, viz Obr. 1), na které je zabudovaný mikrofón typu MEMS (Micro-Electro-Mechanical System). Zařízení má slot na microSD kartu, na kterou jsou ukládány pořízené audiozáznamy ve formátu WAV. Nahrávač je možné připojit k počítači kabelem přes micro-USB (A) port a pomocí aplikace nastavit konfiguraci nahrávače.



*Obr. 1: Hardware automatického nahrávače AudioMoth. Převzato z: Hill et al. (2019).*

Aby bylo možné umístit nahrávač do terénu, je potřebné na něj vyrobit vlastní obal (stačí např. i jen zipovací plastový sáček) nebo pořídit speciální voděodolné pouzdro dostupné pro tento typ nahrávače. Toto pouzdro má popruh, který umožňuje nahrávač připevnit např. na větev stromu (viz Obr. 2).



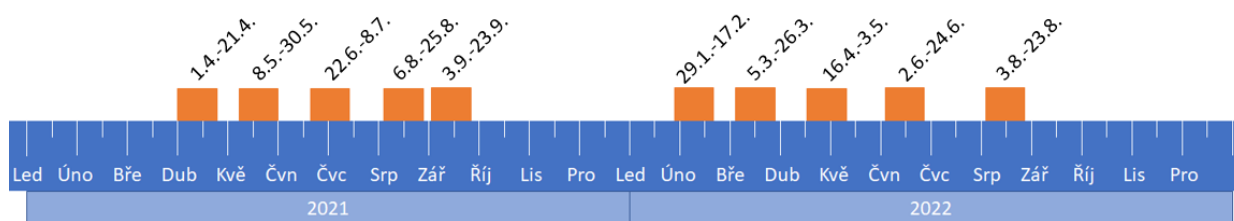
*Obr. 2: Nahrávač v originálním pouzdře, příklad umístění na stromě.*

Oproti jiným dostupným automatickým nahrávačům má AudioMoth nízkou cenu a nižší spotřebu energie. V současné době se pravděpodobně jedná o nejlevnější programovatelný záznamník zvuku určený pro dlouhodobé umístění v terénu. Jeho cena se aktuálně pohybuje okolo 70 USD. S lithiovými bateriemi dokáže zaznamenat cca 200-250 hodin záznamu, v závislosti na nastavení. Zároveň je v porovnání s ostatními nahrávači malý a nenápadný a je velmi snadné ho nastavit a uvést do provozu (Hill et al. 2019).

Dle prací, které porovnávali různé automatické nahrávače je AudioMoth srovnatelný s dražšími nahrávači na trhu. (Toenies & Rich 2021). Práce, která zkoumala detekovatelnost šakalů (*Canis aureus*) pomocí automatického nahrávače AudioMoth uvádí, že lze vizuálně detekovat ve spektrogramech nahrávek vytí velké skupiny šakalů až do vzdálenosti 800 m (Graf & Lathauf 2021).

### **3.2 Sběr dat**

V rámci této diplomové práce byla nahrávána vokální aktivita v okolí budek sýčků obecných. Nahrávání probíhalo během dvou sezón v letech 2021 a 2022 na území severních Čech, kde je dlouhodobě monitorována populace tohoto druhu. Během každé sezóny bylo nahráváno v průběhu pěti měsíců (viz Obr. 3).



Obr. 3: Grafické znázornění nahrávacích period během sezón 2021 a 2022.

V sezóně 2021 bylo rozmístěno celkem 6 nahrávačů na různých lokalitách, přičemž polovina těchto nahrávačů byla umístěna u budek izolovaných jedinců, kteří nemají žádný zjevný akustický kontakt s jinými jedinci, a druhá polovina byla umístěna u jedinců, kteří mají sousedy v doslechové vzdálenosti. Tímto rozdělením nahrávačů bylo zajištěno, že na polovině sledovaných lokalit byli v nahrávkách přítomni alespoň dva samci.

Nahrávače byly umístěny poblíž budek, ve kterých sýčci hnízdí. Pokud na lokalitě nebylo známo místo, kde sýček hnízdí, byl nahrávač umístěn na místo, kde byl zaznamenán při mapování nebo poblíž místa odkud nejčastěji vokalizuje (např. po konzultaci s majitelem nemovitosti, na které sýček sídlí). Nahrávač byl umístěn ve voděodolném pouzdru ve výšce cca 150 cm nad zemí na vegetaci nebo jiném vhodném předmětu v okolí (např. na plotě).

V sezóně 2022 bylo rozmístěno celkem 7 nahrávačů, kdy 1 dodatečný nahrávač byl přidán na zcela novou lokalitu s izolovaným jedincem, protože v roce 2021 bylo zaznamenáno zmizení samce na jedné z lokalit. Na opuštěné lokalitě byl nicméně nahrávač umístěn i v roce 2022, aby bylo možné zaznamenat případné obsazení teritoria jiným jedincem.

Vokální aktivita v okolí budky byla zaznamenávána denně po dobu 10 hodin v čase od 20:00 do 6:00, za jednu noc nahrávač vytvořil 20 audiosouborů o délce 30 min. Z důvodu omezené kapacity baterií bylo během jednoho měsíce sledování zaznamenáno pouze cca 21 dní kompletního audiozáznamu. Počet dní s kompletním audiozáznamem se lišil v průběhu roku, jelikož výdrž baterií je ovlivněna počasím (v chladnějších měsících byla výdrž nižší).

### 3.3 Simulace floaterů

Ve sledovaném období byl na každé z lokalit simulován vpád cizího jedince pomocí playbacku hlasu jiného samce. Tyto simulace provedl Pavel Linhart. Datum, čas a počet provedených simulací mi nebyl znám, jelikož mým úkolem bylo nalézt tyto události v akustickém záznamu, a tím ověřit spolehlivost detekce ostatních nalezených interakcí mezi samci.

Playback hlasu jiného samce trval cca 3–5 minut a byl prováděn z různých vzdáleností a směrů vzhledem k nahrávači tak, aby bylo možné ověřit úspěšnost odhalení různých simulací v audiozáznamu. Playback pokračoval i po případné odpovědi provokovaného samce.

Simulace proběhly jednou na každé lokalitě v roce 2021 ( $n = 6$ ) a třikrát na každé lokalitě v roce 2022 ( $n = 21$ ). Jako stimulus byly použity dvě různé kvalitní nahrávky spontánního teritoriálního houkání každá od jiného samce. Bylo v plánu držet hlasitost na konstantní úrovni (zhruba 80 dB v 1 m), ale tato základní hladina byla na místě playbacku někdy korigována pokud se zdálo, že místní podmínky lokace by vedly k neadekvátně hlasitému playbacku nebo zjevně hrozilo nebezpečí, že playback nebude na nahrávce slyšet. Lokace playbacku byla vybírána tak, aby místo playbacku bylo do cca 300 m od nahrávče (1x cca 500 m), playback byl pouštěn z různých směrů a pokud možno tak, aby nebyl blokován budovami, nebo jen malým množstvím budov.

### **3.4 Analýza nahrávek**

Analýza nahrávek byla provedena v programu Cornell Raven Pro (verze 1.6.1.). Bylo použito následující nastavení spektrogramu: window length = 64 ms, window type = Hann; time grid overlap = 50 %.

Během analýz byly veškeré nahrávky manuálně anotovány, přičemž v záznamu bylo rozlišováno teritoriální volání sýček od ostatních hlasových projevů (např. alarm call, excitement calls). Ostatní hlasové projevy nebyly dále třízeny a rozlišovány. Zároveň byl zaznamenán počet současně se ozývajícími jedinci v anotovaných úsecích, což sloužilo jako ukazatel minimálního počtu jedinců na lokalitě.

### **3.5 Statistické analýzy**

Statistické analýzy související s úspěšností simulací floaterů na lokalitách byly provedeny v programu R pro Windows (verze 1.3.1073, RStudio Team).

Abych zjistila, které faktory ovlivňují, zda je na spektrogramech viditelná simulace floatera, testovala jsem vliv vzdálenosti simulace (kontinuální proměnná, logaritmus (metry)), směru simulace vzhledem k nahrávači (faktor, 2 úrovně; FRONT – simulace prováděné ve výšce 90°směrem k mikrofonu; OTHER – simulace prováděné z jiných směrů vzhledem k mikrofonu (ze stran, ze zadu);  $n(\text{FRONT}) = 11$  ;  $n(\text{OTHER}) = 16$ ) a počtu budov mezi nahrávčem a zdrojem simulace (kontinuální proměnná, 0–3 budovy) pomocí zobecněného lineárního smíšeného modelu (GLMM) s binomickým rozdělením (simulace byla/nebyla

viditelná na spektrogramu). Lokalita byla zadána jako faktor s náhodným efektem. Signifikance jednotlivých proměnných byla testována pomocí LRT (likelihood-ratio test), kdy jsou srovnávány modely, které obsahují a neobsahují testovanou proměnnou.

Má úspěšnost nalezení simulace v audiozáznamu byla ověřena permutačním testem.

### 3.6 Kaleidoscope

Jelikož je manuální zpracování nahrávek velmi časově náročné, rozhodla jsem se během této pilotní studie také testovat využití programu Kaleidoscope Pro (verze 5.4.2), jakožto nástroje pro automatickou identifikaci úseků noci, kde vokalizuje sýček.

Pomocí dat, která byla sebrána první měsíc nahrávání (duben 2021) byl vytvořen v programu Kaleidoscope tzv. „*simple classifier*“. Jedná se o statistický model, který na základě nahrávek vytvoří klastry podobných vokalizací. K vytvoření modelu bylo použito 525 ukázek vokalizace (jednotlivých houků) sýčků ze všech lokalit. Parametry pro klastrování vokalizace byly následující: frekvenční rozsah: 200-2000 Hz, minimální délka detekce: 0,1 s, maximální délka detekce 0,5 s, interval mezi slabikami: 0 s, FFT Window = 10,67 ms. Všechny parametry byly nastaveny tak, aby co nejvíce odpovídaly vokalizaci sýčka.

První výsledky jednoduchého klasifikátoru byly dále manuálně hodnoceny a tříděny na správné a falešné detekce, tak aby došlo k lepší specifikaci detekčního modelu. Tímto postupem byl z jednoduchého klasifikátoru získán mnohem přesnější „*advanced classifier*“. Tento „*advanced classifier*“ byl dále použit k detekování úseků noci, které měly obsahovat teritoriální vokalizaci sýčka. „*Simple*“ a „*advanced classifier*“ jsou termíny používané v dokumentaci programu Kaleidoscope (Wildlife Acoustics 2019).

Na základě tohoto klasifikátoru Kaleidoscope označil úseky noci (30minutový úsek uložený jako jeden soubor), které měly obsahovat vokalizaci sýčka. U každého úseku byla zároveň vyhodnocena jeho podobnost s modelem, který Kaleidoscope vytvořil na škále 0-1, přičemž nižší číslo znamená větší podobnost s modelem. Uživatel volí hodnotu podobnosti, při které bude zvuk v nahrávce považován za cílový. S hladinou podobnosti jsem zkoušela experimentovat tak, abych ve výsledcích dostala minimální počet nahrávek, kde sýček byl, ale Kaleidoscope ho v nahrávce nenašel (=falešně negativní), ale zároveň, abych předešla velkému množství falešně pozitivních výsledků (false positives). Nakonec byla tato hladina podobnosti stanovena na 0,85.

Další sebrané nahrávky byly nejdříve analyzovány v programu Kaleidoscope. Následně však tato data byla i manuálně značena člověkem (mnou), aby mohla být vyhodnocena úspěšnost detekce sýččí vokalizace modelem, který vytvořil Kaleidoscope. Na základě těchto dat byly následně záznamy zařazeny do 4 kategorií, jak ukazuje tabulka (Tab. 1).

Tab. 1: Klasifikační kategorie audiosouborů.

| Klasifikace modelem (daná Kaleidoscopem) |   |                         |                         |
|------------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| Správná klasifikace<br>(daná člověkem)   |   | +                       | -                       |
|                                          | + | Pravdivě pozitivní (PP) | Falešně negativní (FN)  |
|                                          | - | Falešně pozitivní (FP)  | Pravdivě negativní (PN) |

### 3.6.1 Vyhodnocení úspěšnosti detekce programem Kaleidoscope

Pro vyhodnocení úspěšnosti detekování vokalizace sýčka programem Kaleidoscope bylo počítáno několik ukazatelů, které umožňují zhodnocení efektivity a přesnosti detekce.

Prvním ukazatelem, který byl testován, byla klasifikační přesnost (*accuracy*), kdy bylo zjišťováno procento správně zařazených úseků pomocí Kaleidoscopu, tj. úseků, které byly vyhodnoceny jako pravdivě pozitivní (true positives) nebo pravdivě negativní (true negatives).

Tato přesnost detekce byla počítána pomocí následujícího vzorce:

$$\text{Klasifikační přesnost} = \frac{(PP + PN)}{(PP + PN + FP + FN)} \quad (1)$$

(PP = pravdivě pozitivní, PN = pravdivě negativní, FP = falešně pozitivní, FN = falešně negativní)

Druhou proměnnou, která byla testována, byla přesnost detekce vokalizace (*precision*). Přesnost detekce udává podíl záznamů, které Kaleidoscope označil jako pozitivní (tj. dle jeho modelu obsahují vokalizaci sýčka), tuto vokalizaci skutečně obsahovalo a bylo konečně vyhodnoceno jako pravdivě pozitivní (true positives).

Přesnost detekce vokalizace byla počítána pomocí vzorce:

$$\text{Přesnost} = \frac{PP}{PP+FP} \quad (2)$$

(PP = pravdivě pozitivní, FP = falešně pozitivní)

Posledním ukazatelem, který byl testován byla úplnost detekce vokalizace (*recall*), která udává jaký podíl úseků, které obsahují vokalizaci sýčka, model Kaleidoscopu vyhodnotil pozitivně, tj. dle jeho modelu vokalizaci sýčka obsahují.

Úplnost detekce vokalizace byla počítána pomocí níže uvedené rovnice:

$$\text{Úspěšnost} = \frac{PP}{PP+FN} \quad (3)$$

(PP = pravdivě pozitivní, FN = falešně negativní)

## 4 Výsledky

### 4.1 Sběr dat

V rámci této práce byla zaznamenávána vokální aktivita sýčka na 6 lokalitách v sezóně 2021 a na 7 lokalitách v sezóně 2022. V každé sezóně byla nahrávána vokalizace v pěti časových obdobích, které jsou zaneseny v tabulce (Tab. 2).

Průměrně bylo v každém období zaznamenáno 21 dní bez přerušení, avšak skutečný počet dní se v jednotlivých měsících lišil, kvůli počasí, které ovlivňuje výdrž baterií. Počet zaznamenaných hodin uvedených v tabulce (Tab. 2) je celkový za všechny lokality. Celkem bylo nahráno 13 400 hodin záznamu, který byl následně analyzován.

Tab. 2: Přehled sesbíraných dat podle období nahrávání, počet zaznamenaných dní a hodin.

| Období nahrávání | Počet zaznamenaných dní | Počet zaznamenaných hodin |
|------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1.4.-21.4.2021   | 21                      | 1 260                     |
| 8.5.-30.5.2021   | 23                      | 1 380                     |
| 22.6.-8.7.2021   | 17                      | 1 020                     |
| 6.8.-25.8.2021   | 20                      | 1 200                     |
| 3.9.-23.9.2021   | 21                      | 1 260                     |
| 29.1.-17.2.2022  | 20                      | 1 400                     |
| 5.3.-26.3.2022   | 22                      | 1 540                     |
| 16.4.-3.5.2022   | 18                      | 1 260                     |
| 2.6.-24.6.2022   | 23                      | 1 610                     |
| 3.8.-23.8.2022   | 21                      | 1 470                     |
| <b>CELKEM</b>    | <b>206</b>              | <b>13 400</b>             |

### 4.2 Detekce vokalizace sýčka programem Kaleidoscope

Součástí této práce bylo také vyhodnocení programu Kaleidoscope jako nástroje pro usnadnění práce s detekcí vokalizace sýčka. Mým záměrem bylo v programu Kaleidoscope vytvořit takový klasifikátor, který by umožnil detekovat soubory, které neobsahují vokalizaci sýčka (a nemusí být tedy dále manuálně prohlíženy) a soubory, které vokalizaci sýčka obsahují a na které je třeba se zaměřit vzhledem k dalším analýzám. Cílem bylo získat pokud možno všechny vokalizace. Soustředila jsem se tedy na optimalizaci ukazatele úplnosti (*recall* – nález všech vokalizací sýčka).

Úspěšnost detekce vokalizace byla testována na 5 lokalitách, kde byly zaznamenání sýčci, 2 lokality, kde došlo ke zmizení sýčků testovány nebyly. Testovala jsem úspěšnost detekce v průběhu dvou nahrávacích období ze sezóny 2022 – nahrávací období duben (16.4.-

3.5.2022) a nahrávací období srpen (3.8.-23.8.2022). Tato dvě období byla zvolena, abych otestovala úspěšnost detekce při vysoké frekvenci vokalizace sýček (duben) a při nízké frekvenci vokalizace sýček (srpen).

Výsledky úspěšnosti detekce jsou zaznamenány v tabulce (Tab. 3). Malý podíl falešně negativních výsledků se odráží ve vysokém procentu úplnosti (*recall*) modelu, což znamená, že převážná většina úseků, která obsahovala vokalizaci sýčka byla Kaleidoskopem správně vyhodnocena. Bohužel, moje výsledky zároveň ukazují velký podíl falešně pozitivních výsledků, které se promítají do nízké přesnosti (*precision*) modelu.

Poměr úspěšně klasifikovaných souborů (pravdivě pozitivní a pravdivě negativní) je značně variabilní, zjevný je velký podíl falešně pozitivních detekcí. Klasifikační přesnost (*accuracy*) Kaleidoskopu je rozdílná na různých lokalitách, což je pravděpodobně způsobeno specifiky daných lokalit (matoucí zvuky, které Kaleidoscope chybně vyhodnocuje jako sýčka – např. dětské výskání nebo kočičí mňoukání).

Tab. 3: Výsledky úspěšnosti detekce programem Kaleidoscope. (PP = pravdivě pozitivní, PN = pravdivě negativní, FP = falešně pozitivní, FN = falešně negativní).

| Lokalita | Období | PP  | PN  | FP  | FN | Celk. | Klas. přesnost (%) | Přesnost (%) | Úplnost (%) |
|----------|--------|-----|-----|-----|----|-------|--------------------|--------------|-------------|
| BRI      | duben  | 69  | 153 | 245 | 13 | 480   | 46,25              | 21,97        | 84,15       |
|          | srpen  | 23  | 141 | 253 | 3  | 420   | 39,05              | 8,33         | 88,46       |
| CER      | duben  | 152 | 155 | 158 | 15 | 480   | 63,96              | 49,03        | 91,02       |
|          | srpen  | 1   | 55  | 17  | 0  | 73    | 76,71              | 5,56         | 100,00      |
| RDN      | duben  | 249 | 37  | 168 | 6  | 460   | 62,17              | 59,17        | 97,65       |
|          | srpen  | 133 | 51  | 287 | 9  | 480   | 38,33              | 31,67        | 93,66       |
| RDK      | duben  | 224 | 93  | 145 | 38 | 500   | 63,40              | 60,70        | 85,50       |
|          | srpen  | 204 | 41  | 212 | 23 | 480   | 51,04              | 49,04        | 89,87       |
| SLA      | duben  | 14  | 54  | 310 | 0  | 387   | 17,99              | 4,32         | 100,00      |
|          | srpen  | 20  | 52  | 348 | 0  | 420   | 17,14              | 5,43         | 100,00      |

Přínos Kaleidoskopu pro naši práci by nebyl příliš významný, jelikož pro detekci floaterů je nutné zaznamenat každý hlas. Při nastavení, kdy je redukováno množství falešně negativních výsledků, aby bylo možné zachytit veškerou vokalizaci, zároveň vzrůstá počet úseků, které jsou vyhodnoceny jako falešně pozitivní. Velké množství falešně pozitivních výsledků však neusnadňuje práci, neboť se tím zvyšuje počet úseků noci, které musí být manuálně kontrolovány člověkem.

### 4.3 Detekce simulovaných vpádů

#### 4.3.1. Úspěšnost vyvolání odpovědi na simulaci

Na každé z lokalit bylo sledováno, zda se samec, v jehož teritoriu byla simulace prováděna, bude ozývat a dávat simulovanému floaterovi najevo svou přítomnost.

V roce 2021 byla provedena 1 simulace na každé lokalitě. Na všech lokalitách, kde byl přítomen sýček (5 lokalit ze 6) byla zaznamenána odpověď samce na playback, úspěšnost vyvolání odpovědi na obsazených lokalitách byla tedy 100%.

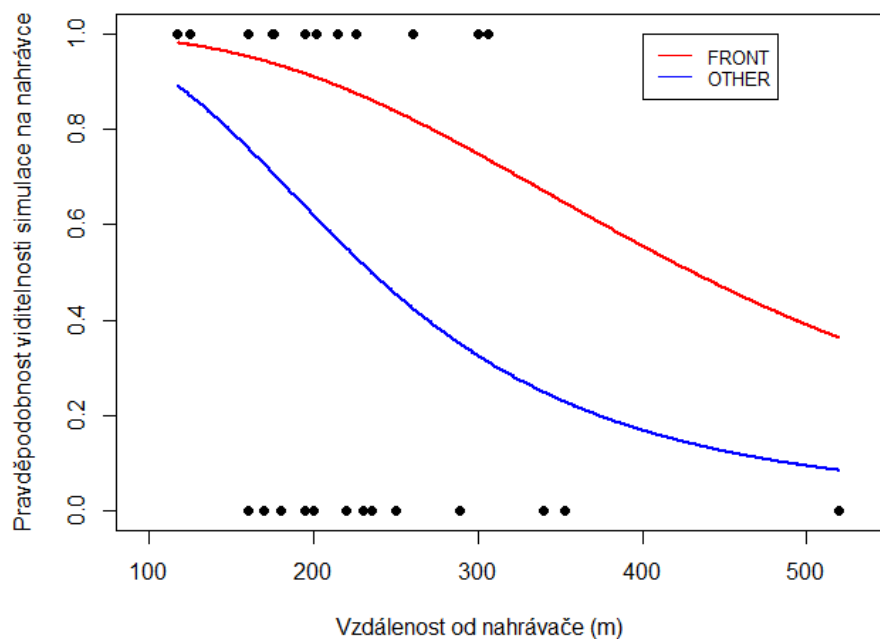
V následující sezóně 2022 byly po předchozích zkušenostech provedeny 3 simulace na každé lokalitě. Na lokalitách, kde byl přítomen sýček (5 ze 7) byla zaznamenána odpověď na alespoň jednu ze simulací. Na 4 lokalitách sýček odpověděl na všechny tři simulace floatera. Celková úspěšnost odpovědi na simulace na obsazených lokalitách byla v této sezóně 86,7 %.

#### 4.3.2 Faktory ovlivňující viditelnost simulace na spektrogramu nahrávky

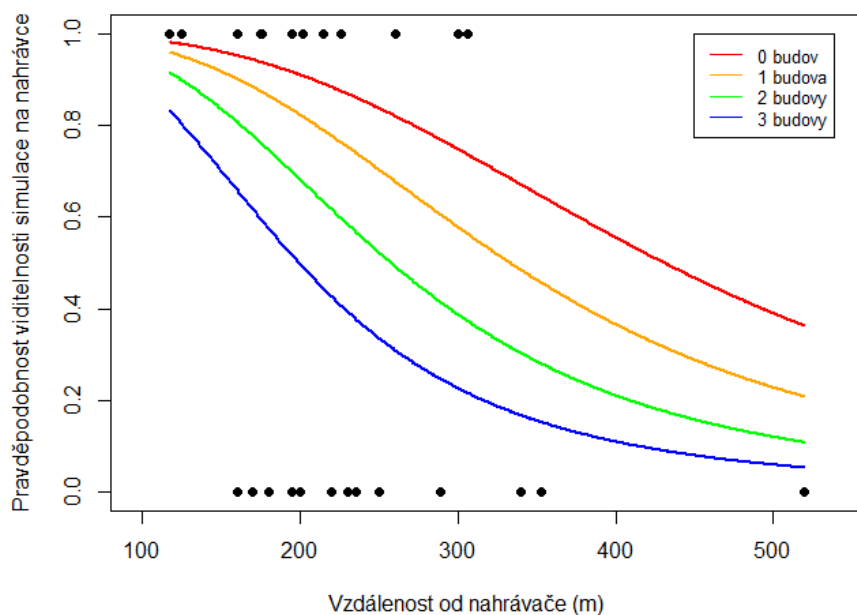
Celkem bylo provedeno 27 simulací – 1 simulace na každé ze 6 lokalit v roce 2021 a 3 simulace na každé ze 7 lokalit v roce 2022. Bohužel ne všechny tyto simulace byly viditelné na spektrogramech, proto jsem testovala vliv tří faktorů, které by mohly mít vliv na viditelnost simulací na spektrogramu – vzdálenost zdroje playbacku od nahrávače, počet budov mezi zdrojem simulace a směr zdroje simulace vzhledem k mikrofonu nahrávače.

Vliv těchto faktorů byl testován zobecněným lineárním smíšeným modelem (GLMM) a likelihood-ratio testem (LRT). Tyto analýzy ukázaly negativní vliv všech faktorů na viditelnost simulace – vzdálenost ( $\beta = -6,917$ ;  $SE = 4,5784$ ;  $z(27) = -1,511$ ;  $p = 0,0545$ ), počet budov ( $\beta = -0,772$ ;  $SE = 0,5281$ ;  $z(27) = -1,462$ ;  $p = 0,1275$ ), směr simulace ( $\beta = -1,816$ ;  $SE = 1,1032$ ;  $z(27) = -1,462$ ;  $p = 0,0837$ ). Žádný z testovaných faktorů neměl signifikantní vliv na detekovatelnost simulací, ačkoliv vliv vzdálenosti a směru simulace se signifikantnímu výsledku blížil. Celkový model byl signifikantně lepší než nulový model, který obsahoval pouze faktor s náhodným efektem (LRT;  $p = 0,043$ ).

Na grafu (Obr. 4) je prezentovaná závislost vzdálenosti a směru simulace vzhledem k nahrávači. Pokud je zdroj simulace orientovaný vzhledem k mikrofonu v nahrávači z jiného směru než zepředu, je pravděpodobnost viditelnosti simulace na spektrogramu výrazně snížena. Podobně, na dalším grafu, který zobrazuje závislost vzdálenosti a počtu budov mezi zdrojem simulace a nahrávačem (Obr. 5), můžeme vidět snižující se pravděpodobnost viditelnost simulace se vzrůstajícím počtem budov.



Obr. 4: Závislost vzdálenosti a směru zdroje simulace. FRONT – simulace prováděné ve výšce  $90^\circ$  směrem k mikrofonu; OTHER – simulace prováděné z jiných směrů vzhledem k mikrofonu (ze stran, ze zadu).

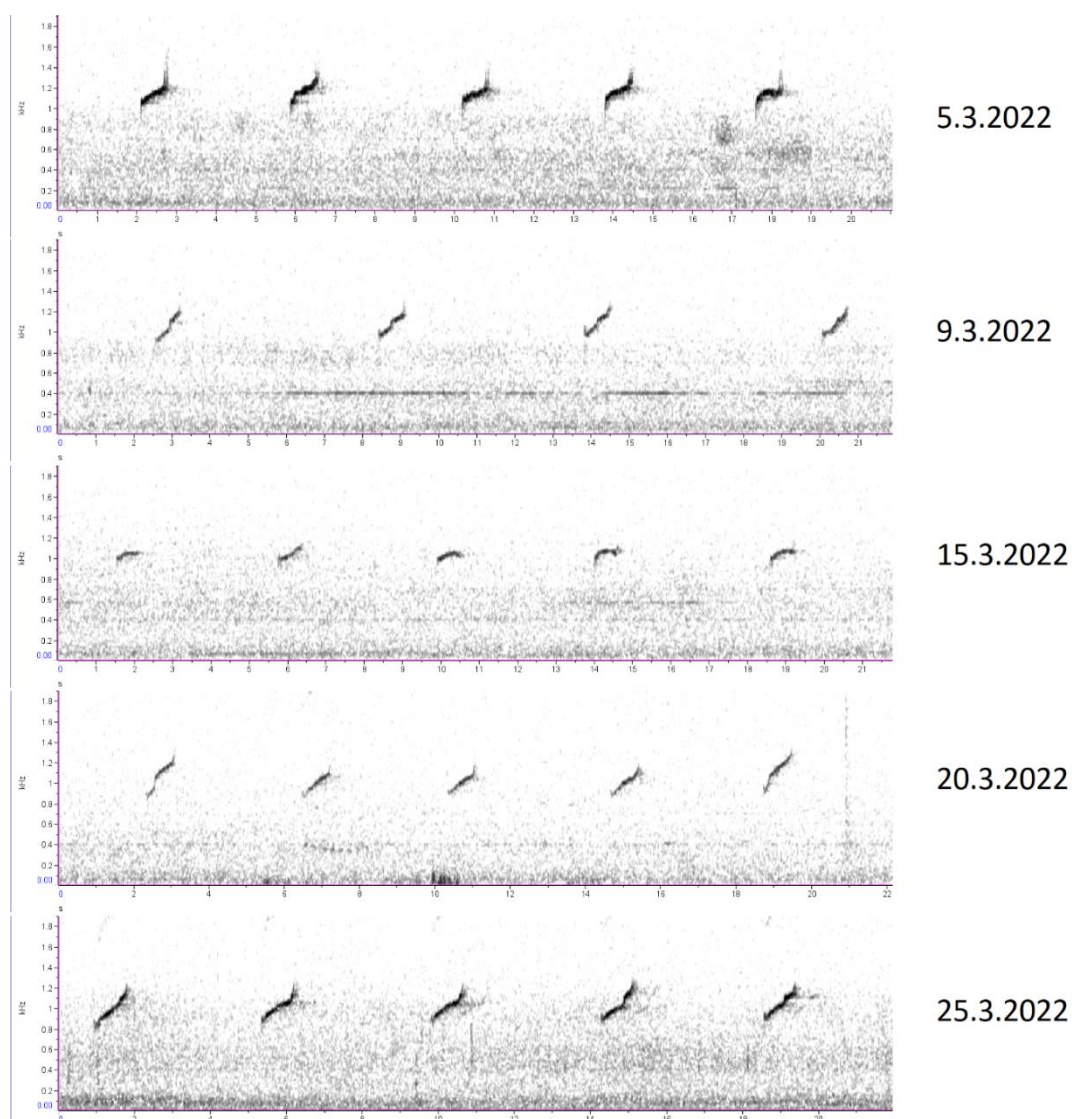


Obr. 5: Závislost vzdálenosti zdroje simulace a počtu budov mezi ním a nahrávajícím.

### 4.3.3 Detekce simulací na nahrávkách

#### 4.3.3.1 Detekce simulací na nahrávkách podle frekvenční modulace teritoriálního hlasu

Původním záměrem bylo vyhodnocovat počet jedinců na lokalitě podle frekvenční modulace jejich teritoriálních hlasů (Linhart & Šálek 2017). Bohužel, po analýze prvních dat jsem zjistila, že tato metoda se zřejmě pro vyhodnocení dlouhodobých nahrávek příliš nehodí, protože modulace hlasů některých sýčků se může v čase měnit a obsahovat několik variant, které mohou být velmi podobné ostatním samcům (viz Obr 6). Zároveň se u hlasů zaznamenaných z větší vzdálenosti charakteristická modulace hlasu stává nezřetelnou. V neposlední řadě nebylo pro tento test dost materiálu, protože simulace, které byly prováděny na teritoriích s více samci a které by bylo možné pro test této metody použít, často nebyli na spektrogramu viditelné nebo je nešlo použít z jiných důvodů (např. málo úseků, kde volá domácí samec se sousedem).



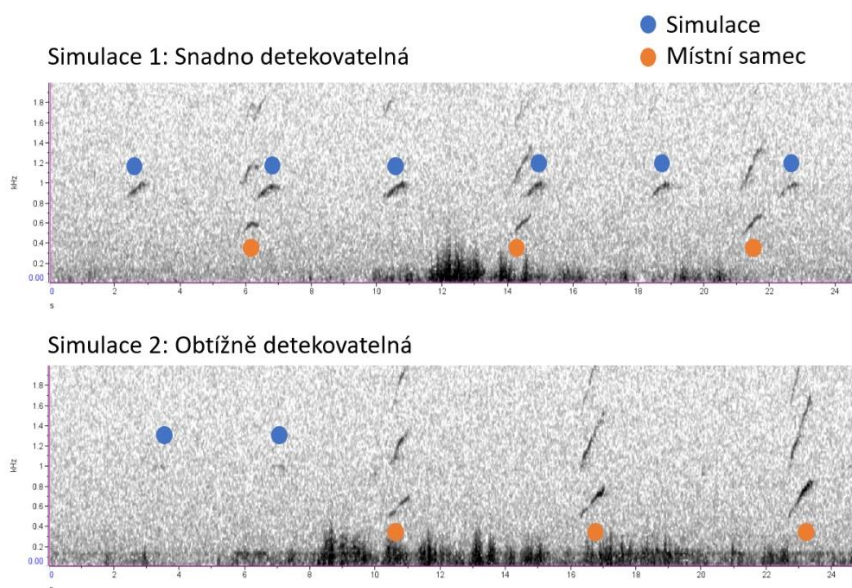
Obr. 6: Variabilita frekvenční modulace hlasu samce z lokality BRI v průběhu jednoho nahrávacího období (březen 2022).

Při dalším vyhodnocování dat jsem se proto rozhodla zaměřit na počet současně se ozývajících jedinců s následnou kontrolou frekvenční modulace jejich hlasů pro případné zpřesnění identity ozývajících se jedinců.

Pro zjišťování počtu jedinců na lokalitě byl také rozhodující typ hlasu, který byl zaznamenán. Pokud se současně ozývali dva jedinci, kteří vokalizovali teritoriálním typem hlasu, byli tito jedinci vyhodnoceni jako dva samci. V případě, že alespoň jeden ze současně se ozývajících jedinců vokalizoval jiným typem hlasu než teritoriálním, byla zaznamenána přítomnost dvou jedinců, avšak bez specifikace, zda se jednalo o dva samce nebo o samce a samici.

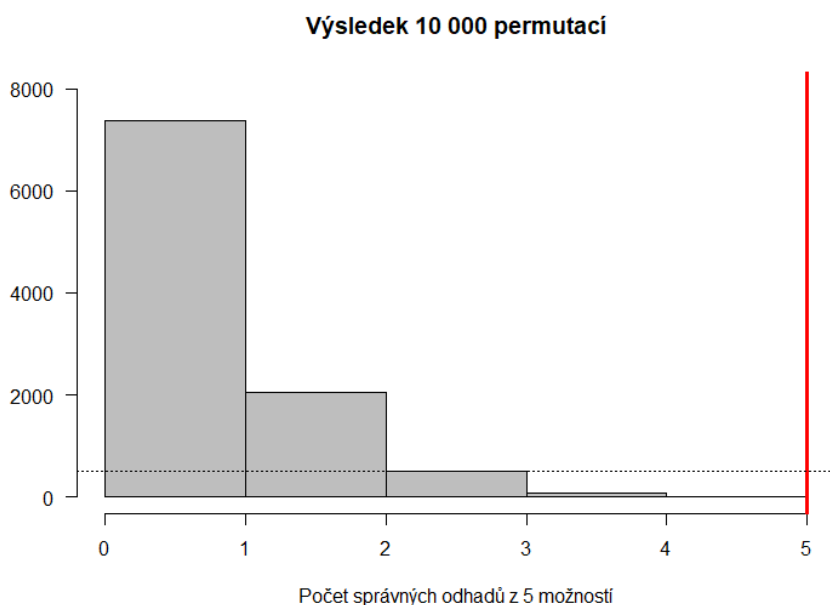
#### 4.3.3.2 Detekce simulací na nahrávkách podle počtu teritoriálně volajících jedinců

Vzhledem k faktu, že ani všechny simulace v teritoriích izolovaných samců nebyly na záznamu pořízeným nahrávačem viditelné, bylo pro test detekovatelnosti simulací použito pouze 5 sad nahrávek, přičemž každá sada obsahovala 5 audiosouborů (celkem 25 nahrávek k hodnocení). Jeden z pěti souborů v každé sadě obsahoval simulaci, zbylé čtyři nikoli. Mým úkolem bylo v každé sadě identifikovat konkrétní soubor, který obsahoval simulaci, včetně přesného určení časového úseku simulace. Zda se v daném úseku vyskytuje simulace či nikoli, bylo posuzováno na základě počtu současně se ozývajících samců (jedinců vokalizujících teritoriálním typem hlasu). Náročnost jednotlivých sad byla odlišná, jak ukazuje obrázek (Obr. 7), na kterém je hlas místního samce označen oranžovými tečkami a hlas sýčka pouštěného z reproduktoru během simulace je označen tečkami modrými. Lze ale říci, že převažovaly obtížně detekovatelné simulace (3-4 simulace z pěti).



Obr. 7: Ukázka lehce detekovatelné simulace a obtížně detekovatelné simulace v setech nahrávek.

V každé sadě jsem správně identifikovala soubor se simulací i s konkrétním určením času, moje úspěšnost detekce simulací tedy byla 100%. Moje úspěšnost detekce tedy byla vyšší než by bylo při náhodném tipování, což potvrzuje i permutační test ( $p < 0,001$ ). Výsledek permutačního testu je zobrazen na grafu (Obr. 8). Ve většině náhodných odhadů nebyla určena správně ani jediná z hledaných simulací. V průměru (i mediánu) byla náhodným odhadem určena jedna z hledaných simulací. Červená linie zobrazuje mou úspěšnost a přerušovaná linie značí statisticky významnou hladinu 0,05 od kdy je úspěšnost vyšší než by odpovídalo náhodnému výběru (4 a 5 správně určených simulací).



Obr. 8: Znárodnění úspěšnosti detekce při náhodném tipování.

#### 4.4 Vyhodnocení počtu jedinců na lokalitě

##### 4.4.1 Zhodnocení počtu jedinců na lokalitě – sezóna 2021

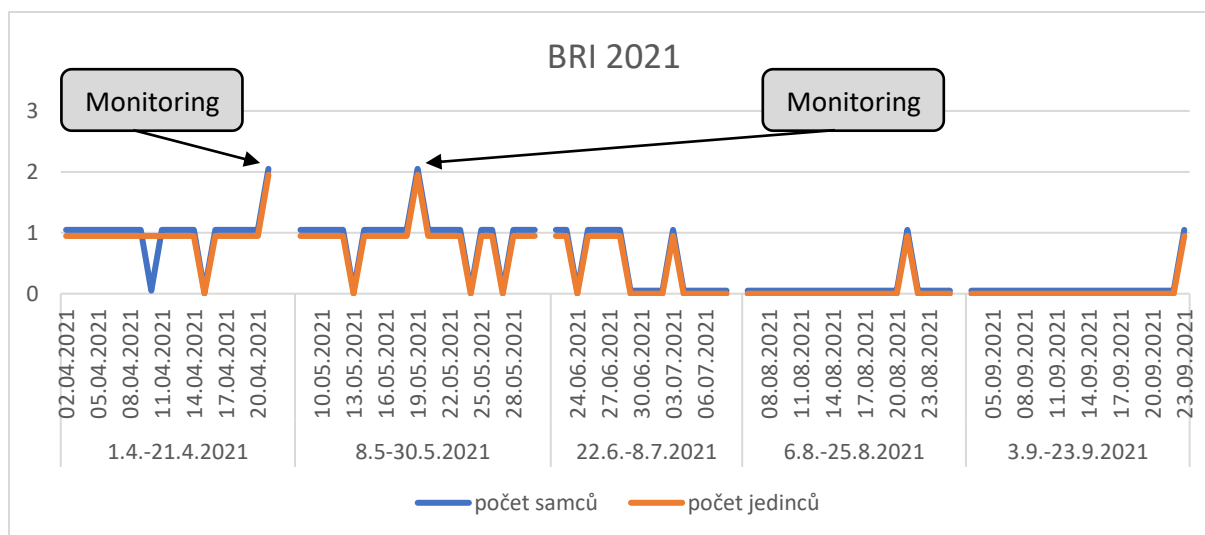
V sezóně 2021 byly nahrávače umístěny na 6 lokalitách, přičemž na polovině lokalit byl předpokládán výskyt pouze jednoho jedince a na druhé polovině výskyt dvou jedinců, jak je uvedeno v tabulce (Tab. 4). Předpokládaný počet samců vycházel z dat, která byla sesbírána při monitoringu sýčka v roce 2020.

Konkrétní umístění nahrávačů a jména lokalit nemohou být uveřejněna (sýček je na území ČR kriticky ohroženým druhem), proto budu ve výsledcích pracovat pouze s kódy označující jednotlivé lokality.

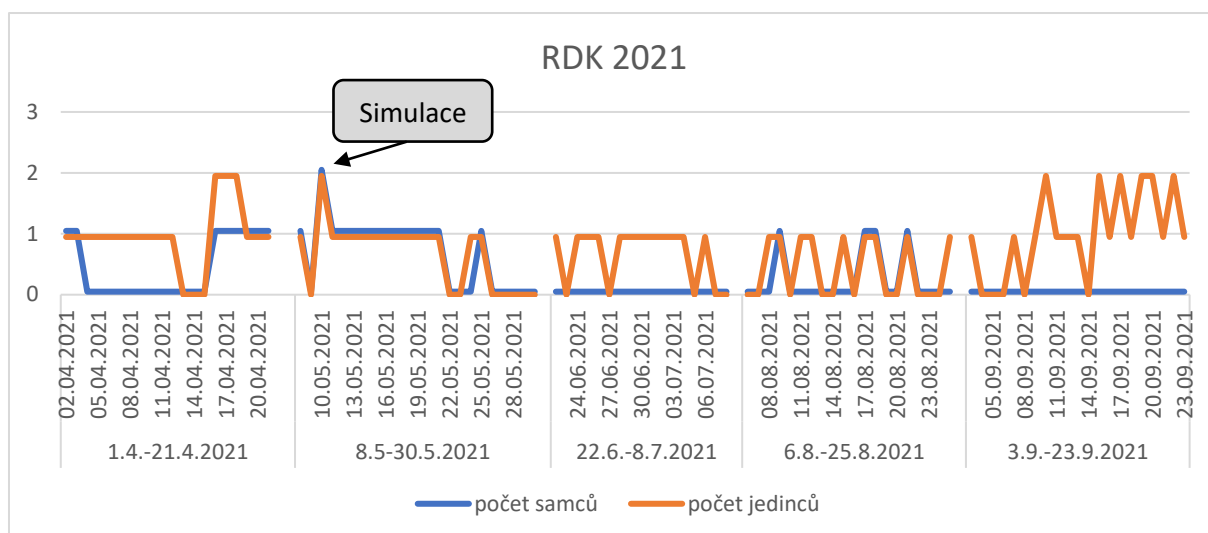
Tab. 4: Předpokládaný počet jedinců na lokalitách s nahrávačem a počet jedinců vyhodnocený na základě audiozáznamu pro sezónu 2021.

| Lokalita   | Předpokládaný počet samců | Zaznamenaný počet samců |
|------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>BRI</b> | 1                         | 1                       |
| <b>CER</b> | 2                         | 1                       |
| <b>LUK</b> | 1                         | 0                       |
| <b>RDN</b> | 3                         | 2                       |
| <b>RDK</b> | 1                         | 1                       |
| <b>SLA</b> | 2                         | 2                       |

Na lokalitách BRI a RDK byl předpokládaný počet samců stejný, tj jeden, což audiozáznam z roku 2021 potvrdil (Obr. 9 a Obr. 10). Oba samci intenzivně vokalizovali během hnízdního období (duben–květen), v pozdějších měsících se teritoriálně téměř neozývali. Samec na lokalitě RDK v září pravděpodobně vokalizoval jiným typem hlasu než teritoriálním, což naznačuje oranžová křivka na grafu (Obr. 10). Na obou lokalitách byly zaznamenány výjimečné události, kdy byla zaznamenána teritoriální vokalizace dvou jedinců, což je ale doklad zaznamenané provokace jedinců v rámci monitoringu (Obr. 9) a simulací provedených v rámci této práce (Obr. 10). Na lokalitě BRI kromě dvou dnů v nichž probíhal monitoring nebyli zaznamenáni dva jedinci, což by mohlo znamenat, že se jednalo a nespárovaného samce.

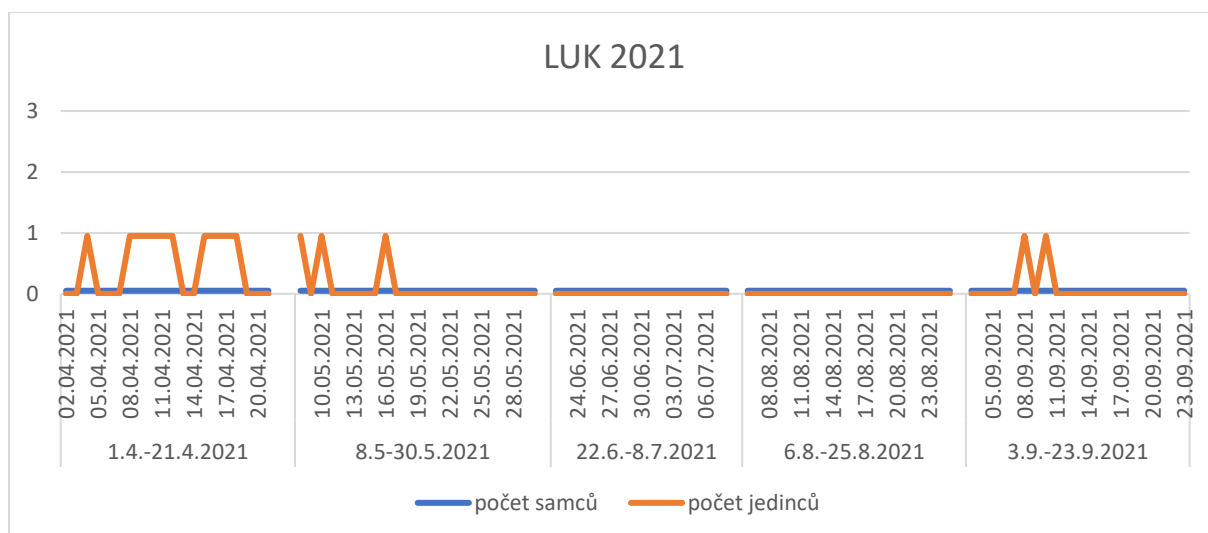


Obr. 9: Vývoj počtu jedinců na lokalitě BRI v průběhu nahrávacích období v roce 2021.



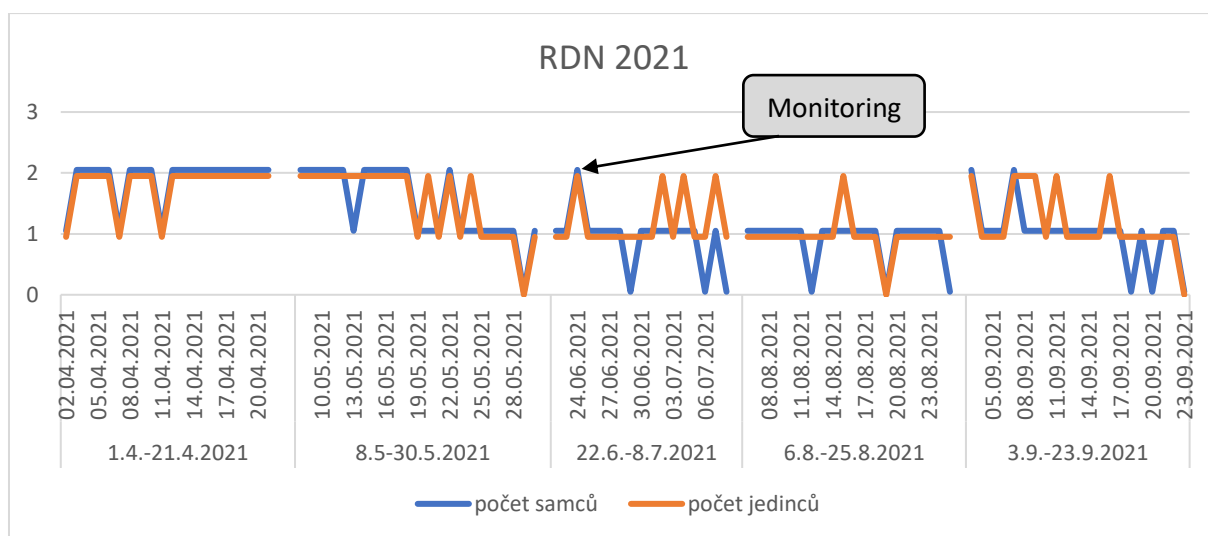
Obr. 10: Vývoj počtu jedinců na lokalitě RDK v průběhu nahrávacích období v roce 2021.

Lokalita LUK měla taktéž obsahovat jednoho samce, bohužel zde nebyla zaznamenána žádná teritoriální vokalizace (Obr. 11). Samec teritorium z neznámých důvodů opustil nebo uhynul, ale konkrétní informace o jeho osudu bohužel nemáme. Během této sezóny však byly na místě zaznamenány jiné typy vokalizací, pravděpodobně samice, která na lokalitě zbyla sama a pohybovala se zde ještě nejméně měsíc a půl od posledního záznamu samce na lokalitě (březen 2021) (oranžová linie na Obr. 11).

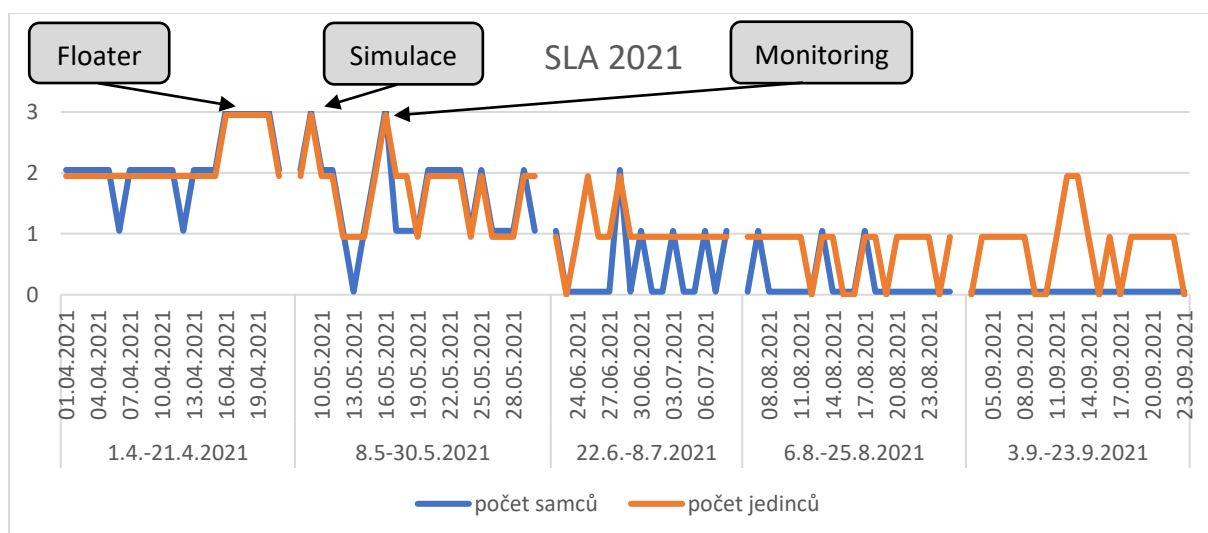


Obr. 11: Vývoj počtu jedinců na lokalitě LUK v průběhu nahrávacích období v roce 2021.

Na lokalitách RDN a SLA jsem zaznamenala teritoriální vokalizaci 2 samců (Obr. 12 a Obr. 13; ve vzdálenosti 350 m respektive 250 m). Na lokalitě RDN nebyl pravděpodobně zaznamenán třetí samec, který hnízdl cca 450 m od záznamníku. Nejvyšší aktivita obou samců byla opět během hnízdního období (duben-květen), stejně jako na lokalitách BRI a RDK. Na lokalitě SLA byla v dubnu zaznamenána dlouhodobější (5 po sobě následujících nocí) teritoriální vokalizace 3 samců, z čehož lze usoudit, že se na lokalitě objevil floater (Obr. 13). Odchytky, které jsou v grafech vyznačeny (Obr. 12 a Obr. 13), jsou pravděpodobně opět zaznamenaná playbacková provokace během monitoringu sýčků.

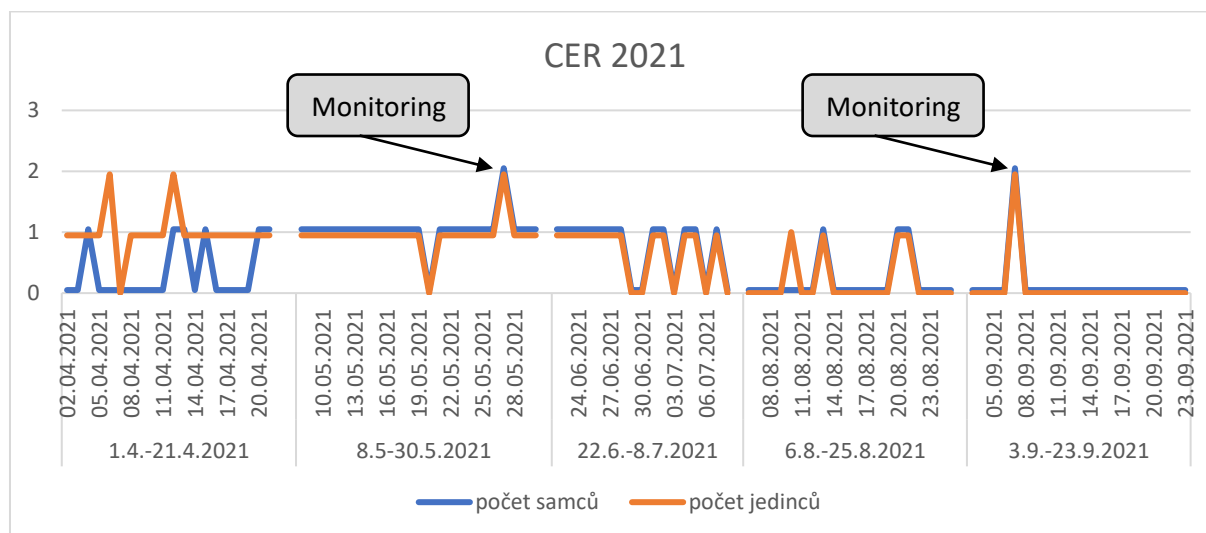


Obr. 12: Vývoj počtu jedinců na lokalitě RDN v průběhu nahrávacích období v roce 2021.



Obr. 13: Vývoj počtu jedinců na lokalitě SLA v průběhu nahrávacích období v roce 2021.

Třetí lokalitou, kde byli očekáváni dva samci, byla lokalita CER, nicméně na nahrávce byla zaznamenána teritoriální vokalizace pouze jednoho jedince (Obr. 14). Dvě jednorázové události, kdy se současně ozývali dva samci, jsou s největší pravděpodobností zaznamenané monitoringové nebo odchytové akce doprovázené playbackem (Obr. 14). Je potvrzeno, že druhý samec na této lokalitě v roce 2021 rovněž hnízil i se ozýval (ve vzdálenosti cca 450 m).



Obr. 14: Vývoj počtu jedinců na lokalitě CER v průběhu nahrávacích období v roce 2021.

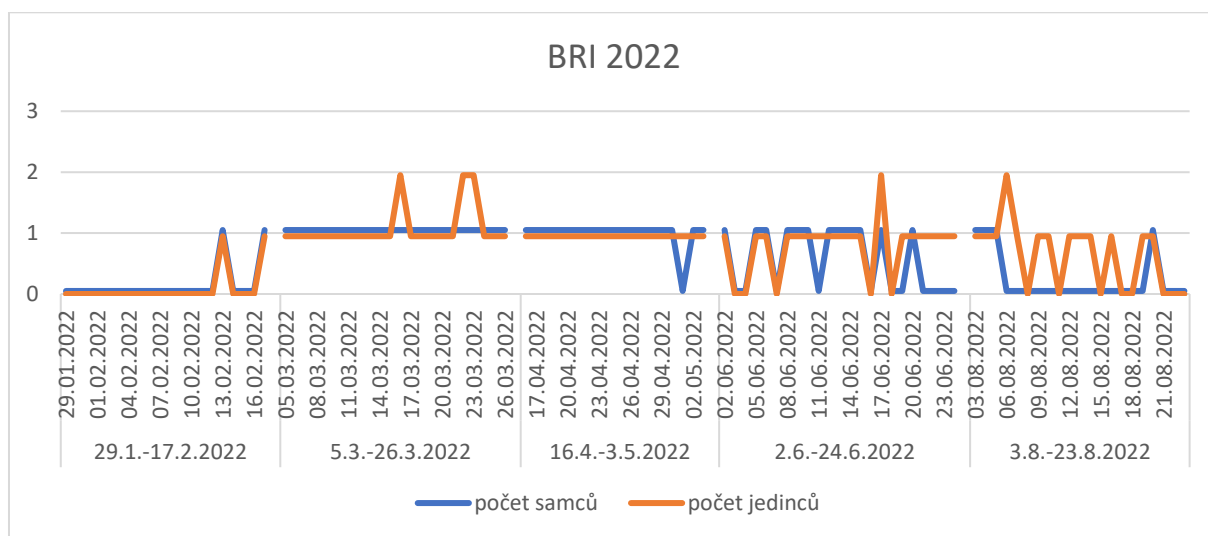
#### 4.4.2 Zhodnocení počtu jedinců na lokalitě – sezóna 2022

V sezóně 2022 byly nahrávače umístěny na stejných 6 lokalitách jako v minulé sezóně. Jelikož došlo ke zmizení samce z lokality LUK, byl přidána navíc nová lokalita BRE, na které se měl vyskytovat jeden samec. Na lokalitě LUK byl nahrávač ponechán, pokud by lokalita byla obsazena novým jedincem. Předpokládaný počet samců vycházel z dat, která byla sesbírána při monitoringu sýčka v roce 2021 (Tab. 5).

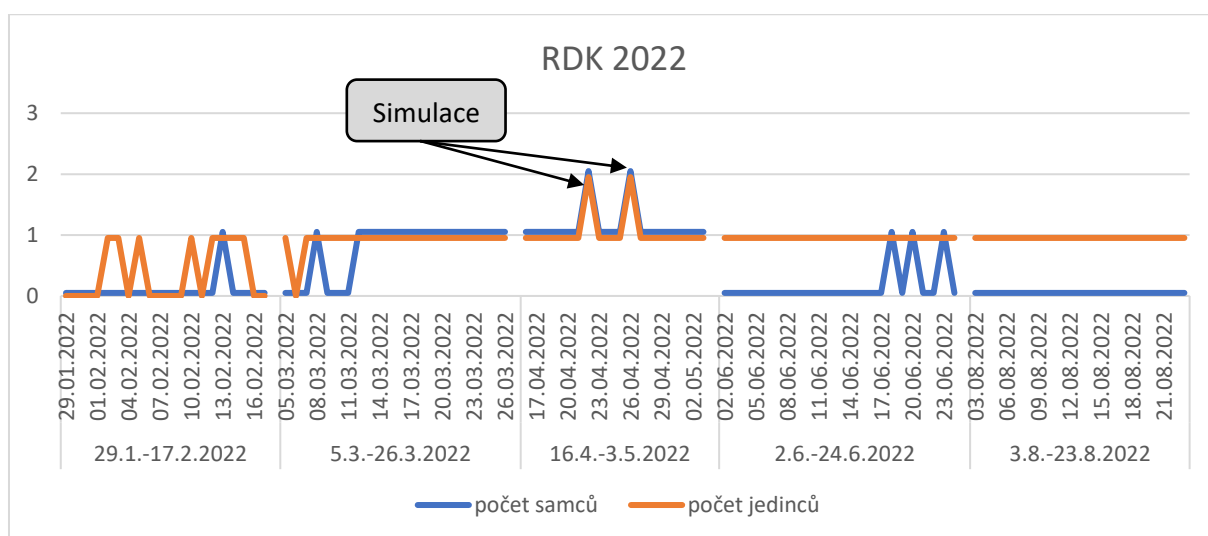
Tab. 5: Předpokládaný počet jedinců na lokalitách s nahrávačem a počet vyhodnocený na základě audiozáznamu pro sezónu 2022.

| Lokalita   | Předpokládaný počet samců | Zaznamenaný počet samců |
|------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>BRI</b> | 1                         | 1                       |
| <b>CER</b> | 2                         | 1                       |
| <b>LUK</b> | 0                         | 0                       |
| <b>RDN</b> | 3                         | 2                       |
| <b>RDK</b> | 1                         | 1                       |
| <b>SLA</b> | 2                         | 1                       |
| <b>BRE</b> | 1                         | 0                       |

Stejně jako v minulé sezóně byl na lokalitách BRI a RDK zaznamenán jeden samec, což bylo v souladu s předpokládaným počtem jedinců (Obr. 15 a Obr. 16). Oproti roku 2021 se zdá, že samec z lokality BRI byl spárovaný, protože jsem na lokalitě opakovaně zaznamenala neteritoriální vokalizace, které pravděpodobně patřily samici (Obr. 15). Oba samci opět aktivně vokalizovali v hnízdním období (březen–květen). Na lokalitě RDK byly zaznamenány výjimečné události, kdy byla zaznamenána teritoriální vokalizace dvou jedinců. Obě události jsou však simulace floaterů, které byly na lokalitě prováděny v rámci této práce (Obr. 16). Jinak na lokalitě RDK nebyly zaznamenány náraz hlasy dvou jedinců, ačkoliv lokalitu obýval pár, který úspěšně vyvedl mláďata.

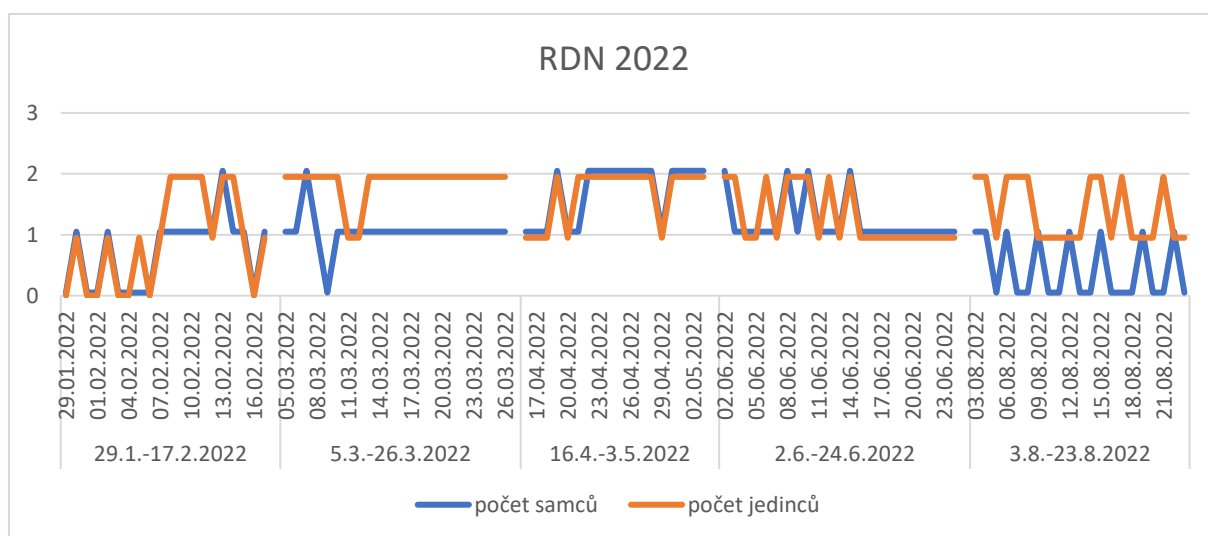


Obr. 15: Vývoj počtu jedinců na lokalitě BRI v průběhu nahrávacích období v roce 2022.

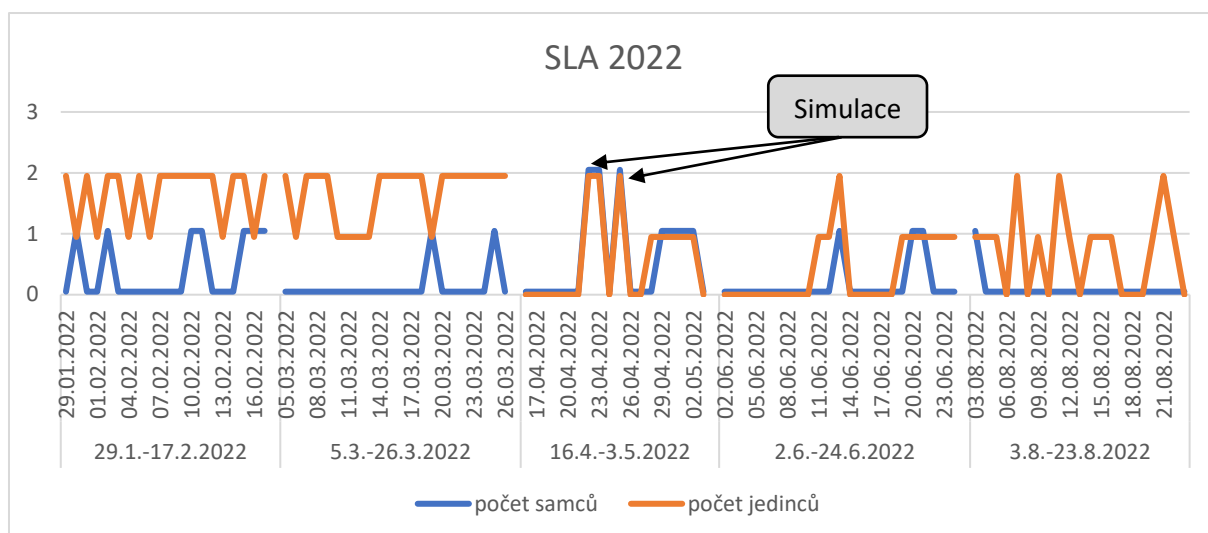


Obr. 16: Vývoj počtu jedinců na lokalitě RDK v průběhu nahrávacích období v roce 2022.

Na lokalitě RDN byla zaznamenána teritoriální vokalizace 2 samců, stejně jako v předešlém roce (Obr. 17). Opět pravděpodobně nebyl zaznamenáno teritoriální houkání třetího samce, který opět hnízdl ve vzdálenosti cca 450 m. Bohužel, na lokalitě SLA, došlo ke zmizení samce, u jehož budky byl nahrávač umístěn. Na záznamu byla tedy vokalizace pouze sousedního páru a samice, která na lokalitě zůstala sama (Obr. 18). Oproti ostatním lokalitám se zde často vyskytovaly vokalizace dvou jedinců, z nichž však ani jedna vokalizace nebyla teritoriální houkání. To by mohlo naznačovat kompetici dvou samic o zbylého samce, nebo změnu v charakteru interakcí mezi ovdovělou samicí a samcem sousedícího páru. Ovdovělá samice pravděpodobně nehnízdlila, ale zdržovala se na lokalitě více než rok od posledního záznamu jejího samce. Na lokalitě SLA jsem opět pozorovala výrazné krátkodobé odchylky v počtu samců období na konci dubna, což jsou zaznamenané simulace v rámci této práce (Obr. 18).

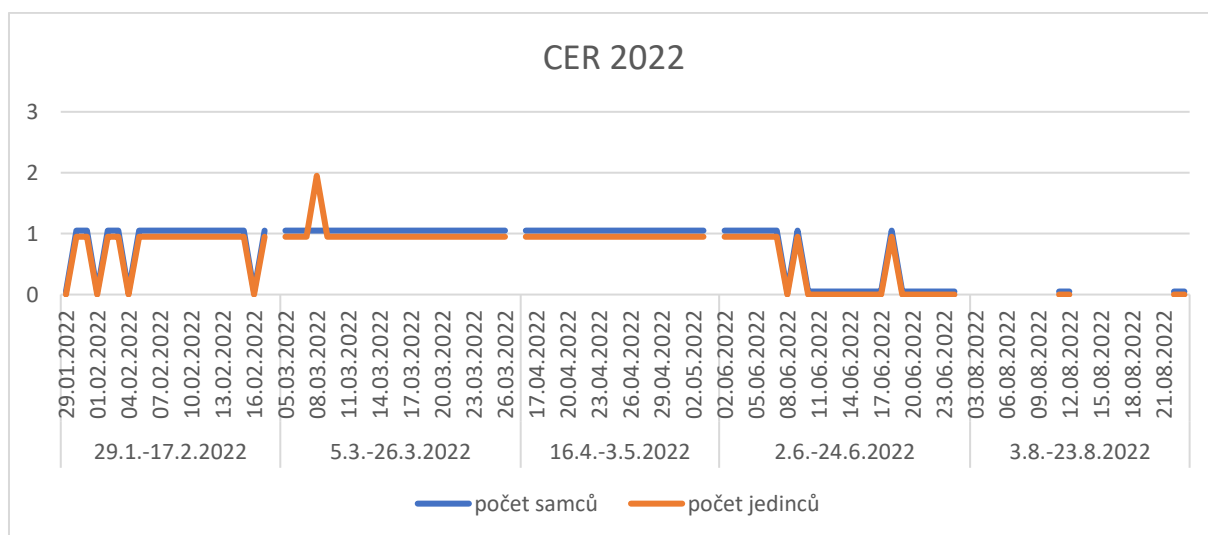


Obr. 17: Vývoj počtu jedinců na lokalitě RDN v průběhu nahrávacích období v roce 2022.



Obr. 18: Vývoj počtu jedinců na lokalitě SLA v průběhu nahrávacích období v roce 2022.

Na lokalitě CER byl v roce 2022 zaznamenán pouze jeden samec, stejně jako v předešlém roce (Obr. 19) ačkoliv jiný pár opět hnízdl a ozýval se cca 450 m od záznamníku. Na této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výchytky v počtu vokalizujících samců. Bohužel, poslední nahrávací období (od 3.8.2022 do 23.8.2022) nebylo zcela zaznamenáno, jelikož nahrávač nefungoval správně a nezaznamenával vokalizaci dle nastavení.



Obr. 19: Vývoj počtu jedinců na lokalitě CER v průběhu nahrávacích období v roce 2022.

Na lokalitě LUK, kde byl nahrávač ponechán pro případ obsazení teritoria novým samcem, nebyla zaznamenána žádná vokální aktivita sýčka, což naznačuje, že teritorium zůstalo opuštěné, a i samice, která zde minulou sezónu byla, přesídlila jinam, případně uhynula.

Nově přidaná lokalita BRE byla také bez záznamu vokalizace sýčka a samec, který zde byl odchycen v roce 2021, tedy teritorium opustil, nebo uhynul.

## 5 Diskuze

### 5.1 Automatická detekce hlasů sýčka pomocí programu Kaleidoscope

Program Kaleidoscope se dle mých výsledků neukázal jako užitečný nástroj pro usnadnění zpracovávání velkého množství nahrávek z automatických nahrávačů. V této práci byl vytvořen jedním směsný klasifikátor, pomocí kterého jsem klasifikovala veškeré lokality. Tento postup byl zvolen, protože jsem předpokládala, že s vyšším počtem vokalizací vzroste přesnost modelu. Zároveň, pokud jsou do modelu zahrnuty vokalizace z různých lokalit a od různých sýčků, je zde vyšší pravděpodobnost, že Kaleidoscope detekuje sýčka v novém souboru.

Zvolený přístup se ale nezdá jako příliš vydařený. Pro další testování by bylo možné vytvořit pro každou lokalitu zvláštní klasifikátor, a tím i v každé lokalitě upřesnit, co má být klasifikováno jako sýček a co nikoli (např. podobné zvuky jiných zvířat, především koček). Při individuálním přístupu pro každou lokalitu bychom pravděpodobně zachovali stále velkou úplnost (*recall*) klasifikátoru, ale zároveň bychom tím snížili množství falešně pozitivních výsledků, a tím by byl daný model přesnější. Na druhou stranu by takový přístup byl pracnější na přípravné práce a rostl by s počtem lokalit. Navíc by se při takovém přístupu ztratila univerzalita použití a rychlá přenositelnost na novou lokalitu nebo nového samce třeba i v době, kdy jedinci nevokalizují tak často.

Ačkoli byl Kaleidoscope primárně vytvořen pro detekci vokalizace netopýrů, má své využití i u širokého spektra dalších druhů, i u sov. Duchac et al. (2020) využili Kaleidoscope, aby detekovali vokalizaci puštíka západního (*Strix occidentalis caurina*) a puštíka proužkovaného (*Strix varia*). V této práci byly taktéž využity automatické nahrávače, avšak jiného typu než v této práci. Zároveň tento výzkum probíhal v neobydlených lesních oblastech, tudíž zde bylo méně zvuků, které by mohly být pro Kaleidoscope matoucí (např. hlasy lidí). V neposlední řadě je nutné zmínit, že tento výzkum se zabýval detekcí hnízdicích párů, tudíž zde nebyl velký tlak na zachycení veškeré vokalizace ve srovnání s naší prací, která se zaměřovala na detekci floaterů a kde bylo důležité zachytit veškerou zaznamenanou vokalizaci sýčků.

Kromě sov byl Kaleidoscope využit v bioakustických studiích zaměřující se na jiné nepěvce např. kukačku obecnou (*Cuculus canorus*) (Xia et al. 2019) nebo potu obecného (*Nyctibius griseus*) a potu velkého (*Nyctibius grandis*) (Pérez-Granados & Schuchmann 2020). V obou pracích byl Kaleidoscope využit pro analýzu velkého množství dat, které byly pořízeny

pomocí autonomních nahrávačů, ale opět ani v jednom z těchto případů nešlo autorům o zaznamenání veškeré vokalizace daného druhu.

## 5.2 Simulace floaterů

Součástí této práce byla i simulace vpádu floaterů na území teritoriálních jedinců. Bohužel všechny tyto simulace nebyly na spektrogramu viditelné ani v poměrně krátkých vzdálenostech okolo 200 m (při intenzitě playbacku cca 80 dB v jednom metru), na kterou je houkání sýčka ze zkušenosti běžně slyšitelné. Důvodů, proč nebyly simulované vpády na spektrogramech vidět, může být několik:

- **Hlasitost simulací**

Hlasitost našich simulací byla přibližně 80 dB. Hlasitost zpěvu a volání ptáků se v terénu měří mnohem méně než jiné aspekty vokalizací, protože je měření intenzity zvuku poměrně náročné. Brackenbury (1979) ukázal, že hlasitost 20 běžných středoevropských pěvců se pohybuje v rozmezí 74-100 dB. Novější studie na slavíkovi obecném (*Luscinia megarhynchos*) (Brumm 2004), budníčkovi tlustozobém (*Phylloscopus schwarzi*) a budníčkovi temném (*Phylloscopus fuscatus*) (Opaev & Shishkina 2021) tento rozsah potvrzují.

U sov hlasitost vokalizace nebyla zkoumána, avšak v poslední době se odhadují detekční rádiie různých druhů ptáků, včetně sov. Detekční rádius pěvců, jejichž vokalizace obsahuje vysoké tóny, je při hlasitosti 90 dB velmi malý, v porovnání se sovami, které mají při stejné hlasitosti efektivní rádius detekce větší (Yip et al. 2017). Simulovaná vokalizace např. kalouse ušatého (*Asio otus*), sýce rousného (*Aegolius funereus*) a sýce amerického (*Aegolius acadicus*) byla na různých modelech automatických nahrávačích spolehlivě detekovatelná na 350 m, u větších druhů jako je např. puštík vousatý (*Strix nebulosa*) nebo puštík proužkovaný (*Strix varia*) byla hranice spolehlivé detekovatelnosti na 407 m (Yip et al. 2017).

Je možné, že simulace byla málo hlasitá a neodpovídá hlasitosti s jakou by vokalizoval opravdový sýček. To je možné doložit i na faktu, že vokalizace skutečných sýčků, sousedních jedinců, je na spektrogramech viditelná, ačkoli vokalizují z větší vzdálenosti než je hranice vzdálenosti simulací v této práci (tj. 300 m). V několika případech došlo k blízkému přiblížení sýčka k místu playbacku a bylo pozorováno, že ačkoliv playback vidět na spektrogramu nebyl, hlas živého sýčka ze stejné vzdálenosti patrný byl. Tento efekt by mohl být ale z části vysvětlen i vyšší pozicí živého sýčka na budově nebo vegetaci.

- **Výška zdroje simulace a záznamníku**

Všechny simulace byly prováděny reproduktorem, který byl držen ve výšce cca 1 m nad zemí. Tento způsob simulace ptačí vokalizace nicméně neodpovídá tomu, v jaké výšce by vokalizoval cizí sýček, který by dorazil na dané území. Ptáci obecně vyhledávají vyšší místa na budovách a vegetaci, aby se jejich vokalizace lépe nesla prostředím a zvuk interferoval jen s minimem okolních objektů, čímž je zajištěno, že se zvuk nese na delší vzdálenost (Mathevon et al. 1996, Padgham 2004).

Simulace, které byly provedeny v rámci této práce mohly interferovat s velkým množstvím objektů, což rušilo šíření zvuku, a proto nebyly pravděpodobně některé simulace viditelné. Pro realističtější provedení simulací podobných simulací by tedy bylo pravděpodobně vhodné, mít reproduktor, kterým je pouštěna simulace, umístěný výše, např. pomocí nějaké teleskopické tyče, která umožní provádět simulace ve větší výšce. Tento přístup byl například využit v práci Markolf et al. (2022), která testovala využití pasivního akustického monitoringu u lemurů bledých (*Phaner pallescens*). Tím by došlo ke zlepšení šíření zvuku prostředím. Rovněž záznamníky byly ve většině případů umístěny do 2 m nad zemí a umístění ve vyšší poloze by zvětšilo detekční radius.

Vliv okolních objektů, zejména budov, na viditelnost simulací na spektrogramu nebyl doposud nikde testován, avšak byl testován vliv vegetace na viditelnost simulace. Yip et al. (2017) zjistili, že simulace různých druhů ptáků provedené v lesních habitatech jsou detekovatelné na kratší vzdálenosti než simulace v otevřeném habitatu.

- **Senzitivita záznamníků AudioMoth**

S úspěšností zaznamenání simulací floaterů na nahrávce také nepochybně souvisí typ zvoleného nahráváče. Jedna z pilotních studií zabývajících se využitím nahráváče AudioMoth, které byly použity v této práci, uvádí, že tyto nahráváče jsou schopny zaznamenat výstřel z brokovnice až na vzdálenost 1 km, ale neuvádějí hlasitost tohoto zvuku (Hill et al. 2018). V této práci autoři zároveň připouští, že efektivita AudioMothu je závislá na směru zdroje zvuku vzhledem k mikrofону v nahráváči (Hill et al. 2018). Práce, která srovnávala AudioMoth s jinými automatickými nahráváči uvádí, že tento typ je srovnatelný s dražšími nahráváči na trhu (např. typu SongMeter), nicméně je nutné dodat, že v této práci nebyla testována vzdálenost, na kterou je zvuky možné detekovat (Toenies & Rich 2021).

Přesto, ani nejlepší nahráváče nejsou schopné detekovat veškerou vokalizaci na lokalitě. Studie srovnávající různé automatické nahráváče a lidského pozorovatele potvrzují, že

automatické nahrávače zaznamenají menší procento vokalizací a na kratší vzdálenosti než člověk (Yip et al. 2017).

- **Počasí a vlastnosti vzduchu**

Faktory počasí, především teploty, vlhkosti vzduchu a síly a směru větru, nebyly v této práci brány v potaz, ačkoli mohou mít velký vliv na šíření zvuku prostředím. Čím vyšší je teplota a vlhkost vzduchu, tím lépe se zvuk šíří prostředím (Bradbury & Vehrencamp 1998). Všechny simulace v jedné sezóně byly prováděny v rámci 3-4 po sobě následujících nocí, tudíž předpokládáme, že podmínky (zejména teplota a vlhkost vzduchu) byla po celou dobu noci přibližně stejná. Síla a směr větru mohou ovlivňovat zvuk výrazněji, jelikož mohou snižovat rychlost zvuku a ohýbat zvuk při vysílání simulace proti směru větru (Bradbury & Vehrencamp 1998). Nicméně, simulace byly prováděny pouze za příhodných povětrnostních podmínek, kdy rychlost větru nepřesahovala 3 m/s.

- **Terén**

Posledním faktorem, který v práci nebyl taktéž sledován je členitost terénu, zejména poloha zdroje simulace a nahrávače v něm. Na jedné z lokalit byl nahrávač umístěn na vrcholu kopce a většina simulací byla prováděna pod tímto kopcem. V kombinaci se zástavbou ve svahu tyto simulace nebyly na spektrogramu viditelné.

Zvuk interferuje se všemi překážkami, které jsou větší než vlnová délka daného zvuku, čímž za těmito překážkami vzniká zvukový stín. Snížení intenzity zvuku je závislé na několika faktorech, konkrétně: na vlnové délce zvuku, na poloze zdroje zvuku (v této práci na poloze zdroje simulace), na poloze pozorovatele za překážkou (tedy orientaci a poloze nahrávače) a v neposlední řadě na poloze a tvaru překážky s níž zvuk interferuje (Kaňka & Skotnicová 2019).

### **5.3 Detekce floaterů**

Procento floaterů v populaci se různí druh od druhu a ačkoli je v literatuře uváděno, že floateři tvoří přibližně 30-70 %, můžeme očekávat, že v populaci sýčka obecného v České republice bude toto procento výrazně nižší.

Populace sýčka obecného v ČR je dlouhodobě na poklesu (Šálek & Schröpfer 2008, Mayer et al. 2021), pokles počtu jedinců byl krom jiného zaznamenán i v této práci, kdy došlo ke zmizení 3 samců (na lokalitách, LUK, BRE, SLA) a pravděpodobně i jedné samice (lokalita LUK). Lze tedy očekávat, že floaterů v této populaci bude velmi málo. Vzhledem k těmto

skutečností je velkým úspěchem, že se nám jednoho floatera podařilo v roce 2021 na lokalitě SLA detekovat.

Otázkou však zůstává, jaká je vokální aktivita floaterů konkrétního druhu na daném místě. Během akustického monitoringu lindušky lesní (*Anthus trivialis*) byl detekován významný podíl floaterů, což značí že floateři v populaci lindušek jsou vokálně aktivní. Literatura ovšem naznačuje, že u některých druhů sov jsou floateři málo vokálně aktivní – např. u výra virginského (Rohner 1997) a výra velkého (Martínez & Zubergoitia 2002).

## 6 Závěr

V této práci se mi podařilo vytvořit pilotní studii, která zkoumala využití dlouhodobých audiozáznamů pro detekci floaterů v populaci.

V této práci jsem testovala využití programu Kaleidoscope jakožto nástroje pro automatickou detekci sýččí vokalizace. Tato práce ukazuje, že Kaleidoscope není vhodným nástrojem pro urychlení analýzy výsledků ze studie tohoto typu.

Floatery lze na dlouhodobých audiozáznamech detekovat pomocí počtu současně vokalizujících jedinců na lokalitě. Detekce floaterů na základě frekvenční modulace jedinců je velmi komplikovaná. Nahrávky z autonomních nahrávačů mohou sloužit k detekci floaterů v přírodě a určení počtu jedinců na lokalitě.

## 7 Literatura

**Alexander, C. (2022)** Passive acoustic monitoring of Australia's largest owl: Using automatic species recognition to detect the powerful owl (*Ninox strenua*) (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).

**Arcese, P. (1987)** Age, intrusion pressure and defence against floaters by territorial male song sparrows. *Animal Behaviour*, 35(3):773-784.

**Arroyo, B. E., Bretagnolle, V. & Leroux, A. (2007)** Interactive effects of food and age on breeding in the Montagu's Harrier *Circus pygargus*. *Ibis*, 149(4):806-813.

**Astaras, C., Valeta, C. & Vasileiadis, I. (2022)** Acoustic ecology of tawny owl (*Strix aluco*) in the Greek Rhodope Mountains using passive acoustic monitoring methods. *Folia Oecologica*, 49(2):110-116.

**Bayne, E. M., Stralberg, D., & Nixon, A. (2015)** Adapting monitoring to more effectively assess the impacts of climate change on Alberta's biodiversity. *Edmonton, Alberta, Canada: Alberta Biodiversity Monitoring Institute*.

**Blas, J. & Hiraldo, F. (2010)** Proximate and ultimate factors explaining floating behavior in long-lived birds. *Hormones and Behaviour*, 57(2):169–176.

**Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemens, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G., Deppe, J. L., Krakauer, A. H., Clark, C., Cortopassi, K. A., Hanser S. F., McCowan, B., Ali, A. M. & Kirschel, A. N. (2011)** Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology*, 48(3):758-767.

**Brackenbury, J. H. (1979)** Power Capabilities of the Avian Sound-Producing System. *Journal of Experimental Biology*, 78(1):163–166.

**Bradbury, J.W., Vehrencamp, S.L. (1998)** *Principles of Animal Communication*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, ISBN: 0-87893-100-7.

**Brekke P., Ewen J. G., Clucas G & Santure A. W. (2015)** Determinants of male floating behaviour and floater reproduction in a threatened population of the hihi (*Notiomystis cincta*). *Evolutionary Applications*, 8(8):796–806.

- Bretagnolle, V., Mougeot, F. & Thibault, J. C. (2008)** Density dependence in a recovering osprey population: demographic and behavioural processes. *Journal of Animal Ecology*, 77(5):998-1007.
- Bruinzeel, L. W. & van de Pol, M. (2004)** Site attachment of floaters predicts success in territory acquisition. *Behavioral Ecology*, 15(2):290-296.
- Brumm, H. (2004)** The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, 73:434-440.
- Butchart, S. H. M., Seddon, N. & Ekstrom, J. M. M. (1999)** Polyandry and competition for territories in bronze-winged jacanas. *Journal of Animal Ecology*, 68(5):928-939.
- Campioni, L., Delgado M. D. M. & Penteriani, V. (2010)** Social status influences microhabitat selection: breeder and floater Eagle Owls *Bubo bubo* use different post sites. *Ibis*, 152(3):569-579.
- Campioni, L., Delgado, M. D. & Penteriani, V. (2010)** Social status influences microhabitat selection: breeder and floater Eagle Owls *Bubo bubo* use different post sites. *Ibis*, 152(3):569-579.
- Campioni, L., Lourenço, R., Delgado, M. D. M. & Penteriani, V. (2012)** Breeders and floaters use different habitat cover: should habitat use be a social status-dependent strategy? *Journal of Ornithology*, 153(4):1215-1223.
- Cooper, N. W., Murphy, M. T., Redmond, L. J. & Dolan, A. C. (2009)** Density-dependent age at first reproduction in the eastern king bird. *Oikos*, 118(3):413-419.
- Digby A., Towsey M., Bell B. D. & Teal P. D. (2013)** A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(7):675–683.
- Driscoll, D. E., Jackman, R. E., Hunt, W. G., Beatty, G. L., Driscoll, J. T., Glinski, R. L., Gatz, T. A. & Mesta, R. I. (1999)** Status of nesting bald eagles in Arizona. *Journal of Raptor Research*, 33(3):218-233.
- Duchac, L. S., Lesmeister, D. B., Dugger, K. M., Ruff, Z. J. & Davis, R. J. (2020)** Passive acoustic monitoring effectively detects Northern Spotted Owls and Barred Owls over a range of forest conditions. *The Condor*, 122(3), duaa017.

- Duffield, G. A. & Bull, M. C. (2002)** Stable social aggregations in an Australian lizard, *Egernia stokesii*. *Naturwissenschaften*, 89(9):424-427.
- Fedy, B. J. M. & Stutchbury, B. (2004)** Territory switching and floating in white-bellied antbird (*Myrmeciza longipes*), a resident tropical passerine in Panama. *Auk*, 121(2):486–496.
- Field, J., Foster, W., Shreeves, G. & Sumner, S. (1998)** Ecological constraints on independent nesting in facultatively eusocial hover wasps. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 265(1440):973-977.
- Graf, L. & Hatlauf, J. (2021)** Distance estimation of howling golden jackals (*Canis aureus*) using relative sound level. *Mammal research*, 66(4):567-572.
- Haselmayer J, Quinn J. S. (2000)** A comparison of point counts and sound recording a bird survey methods in Amazonian southeast Peru. *The Condor*, 102(4):887–893.
- Hill, A. P., Prince, P., Piña Covarrubias, E., Doncaster, C. P., Snaddon, J. L. & Rogers, A. (2018)** AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5):1199-1211.
- Hill, A. P., Prince, P., Snaddon, J. L., Doncaster, C. P., & Rogers, A. (2019)** AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX*, 6:e00073.
- Hung, C. M., Li, S. H., & Lee, L. L. (2004)** Faecal DNA typing to determine the abundance and spatial organisation of otters (*Lutra lutra*) along two stream systems in Kinmen. *Animal Conservation forum*, 7(3):301-311.
- Johnson, R. R., Brown, B. T., Haight, L. T., & Simpson, J. M. (1981)** Playback recordings as a special avian censusing technique. *Studies in Avian Biology*, 6(6):68-75.
- Kaňka, J. & Skotnicová, I. (2019)** Stavební akustika. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-8-3/#13>.
- Katzner, T., Milner-Gulland, E. J. & Bragin, E. (2007)** Using modelling to improve monitoring of structured populations: Are we collecting the right data? *Conservation Biology*, 21(1):241-252.

- Kirschel, A. N. G., Cody, M. L., Harlow, Z. T., Promponas, V. J., Vallejo, E. E. & Taylor, C. E. (2011)** Territorial dynamics of Mexican Ant-thrushes *Formicarius moniliger* revealed by individual recognition of their songs. *Ibis*, 153(2):255-268.
- Klok, C. & de Roos, A. M. (2007)** Effects of vole fluctuations on the population dynamics of the barn owl *Tyto alba*. *Acta Biotheoretica*, 55(3):227-241.
- Kokko, H., Harris, M. P. & Wanless, S. (2004)** Competition for breeding sites and site-dependent population regulation in a highly colonial seabird, the common guillemot *Uria aalge*. *Journal of Animal Ecology*, 73(2):367-376.
- LaHaye, W. S., Gutiérrez, R. J. & Akcakaya, H. R. (1994)** Spotted owl metapopulation dynamics in southern California. *Journal of Animal Ecology*, 63:775-785.
- Laiolo P., Voegeli M., Serrano D. & Tella J. L. (2007)** Testing acoustic versus physical marking: two complementary methods for individual-based monitoring of elusive species. *Journal of Avian Biology*, 38(6):672–681.
- Laiolo, P. (2010)** The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biological Conservation*, 143(7):1635–1645.
- Lenda, M., Maciusik, B., & Skórka, P. (2012)** The evolutionary, ecological and behavioural consequences of the presence of floaters in bird populations. *North-Western Journal of Zoology*, 8(2):394-408.
- Linhart P. & Šálek M. (2017)** The assessment of biases in the acoustic discrimination of individuals. *PLOS ONE*, 12(5):e0177206.
- Markolf, M., Zinowsky, M., Keller, J. K., Borys, J., Cillov, A. & Schülke, O. (2022)** Toward Passive Acoustic Monitoring of Lemurs: Using an Affordable Open-Source System to Monitor *Phaner* Vocal Activity and Density. *International Journal of Primatology*, 43:409-433.
- Marra P. P. & Holmes, R. T. (1997)** Avian removal experiments: Do they test for habitat saturation or female availability? *Ecology*, 78(3):947-952.
- Martínez, J. A. & Zuberogoitia, I. (2002)** Factors affecting the vocal behaviour of Eagle Owls *Bubo bubo*: effects of sex and territorial status. *Ardeola*, 49(1):1-9.
- Mathevon, N., Aubin, T. & Dabelsteen, T. (1996)** Song degradation during propagation: importance of song post for the wren *Troglodytes troglodytes*. *Ethology*, 102(3):397-412.

- Mayer, M., Šálek, M., Fox, A. D., Juhl Lindhøj, F., Jacobsen, L. B., & Sunde, P. (2021)** Fine-scale movement patterns and habitat selection of little owls (*Athene noctua*) from two declining populations. *PloS one*, 16(9):e0256608.
- McNabb, E. G., Kavanagh, R. P. & Craig, S. A. (2007)** Further observations on the breeding biology of the powerful owl *Ninox strenua* in South-Eastern Australia. *Corella*, 31(1):6-9.
- Moreno J. (2016)** The unknown life of floaters: The hidden face of sexual selection. *Ardeola*, 63(1):49–77.
- Mumme, R. L. (2015)** Demography of slate-throated redstarts (*Myioborus miniatus*): a non-migratory Neotropical warbler. *Journal of Field Ornithology*, 86(2):89-102.
- Nagy, H. B., Laszlo, Z., Koeber, S., Szallassy, N., & Devai, G. (2011)** Population size effects on the behaviour of *Libellula fulva* (Odonata: Libellulidae) males, a five year study. *North-Western Journal of Zoology*, 7(1):39-46.
- Newton, I. (1979)** *Population Ecology of Raptors*. T & AD Poyser Ltd, London.
- Newton, I. (1998)** *Population limitation in birds*. Academic Press, San Diego, CA. ISBN: 9780125173667
- Norton, M. E., Arcese, P. & Ewald, P. W. (1982)** Effect of intrusion pressure on territory size in black-chinned hummingbirds (*Archilochus alexandri*). *The Auk*, 99(4):761-764.
- Obrist M. K., Pavan G., Sueur J., Riede K., Llusia D. & Marquez R. (2010)** Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. *Abc Taxa*, 8:68–99.
- Opaev, A. S., & Shishkina, E. M. (2021)** Song amplitude and population density in two sympatric warblers, *Phylloscopus schwarzi* and *P. fuscatus*. *Bioacoustics*, 30(3):272-283.
- Padgham, M. (2004)** Reverberation and frequency attenuation in forests - Implications for acoustic communication. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(1):402-410.
- Parker T. A. (1991)** On the use of tape recorders in avifaunal surveys. *Auk*, 108(2):443–444.
- Pedersen, J. S. & Boomsma, J. J. (1999)** Effect of habitat saturation on the number and turnover of queens in the polygynous ant, *Myrmica sulcinodis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 12(5):903-917.

**Penteriani, V. & del Mar Delgado, M. (2012)** There is a limbo under the moon: what social interactions tell us about the floaters' underworld. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 66(2):317-327.

**Penteriani, V., del Mar Delgado, M. & Campioni, L. (2015)** Quantifying space use of breeders and floaters of a long-lived species using individual movement data. *The Science of Nature*, 102(5):1-12.

**Penteriani, V., Ferrer, M. & Delgado, M. M. (2011)** Floater strategies and dynamics in birds, and their importance in conservation biology: towards and understanding of nonbreeders in avian populations. *Animal Conservation*, 14(3):233-241.

**Pérez-Granados, C., & Schuchmann, K. L. (2020)** Monitoring the annual vocal activity of two enigmatic nocturnal Neotropical birds: the Common Potoo (*Nyctibius griseus*) and the Great Potoo (*Nyctibius grandis*). *Journal of Ornithology*, 161(4):1129-1141.

**Pérez-Granados, C., Schuchmann, K. L. & Marques, M. I. (2021)** Passive acoustic monitoring of the Ferruginous Pygmy-Owl (*Glaucidium brasilianum*) over a complete annual cycle: seasonality and monitoring recommendations. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 1-8.

**Petrusková T., Pišvejcová I., Kinštová A., Brinke T. & Petrusek A. (2016)** Repertoire-based individual acoustic monitoring of a migratory passerine bird with complex song as an efficient tool for tracking territorial dynamics and annual return rates. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(3):274–284.

**Pilz, K. M. & Smith, H. G. (2004)** Egg yolk androgen levels increase with breeding density in the European starling, *Sturnus vulgaris*. *Functional Ecology*, 18(1):58-66.

**Pryke, S. R. & Anderson, S. (2003)** Carotenoid-based epaulettes reveal male competitive ability: experiments with resident and floater red-shouldered widow birds. *Animal Behaviour*, 66(2):217-224.

**Ribeiro J. W., Sugai L. S. M. & Campos-Cerqueira M. (2017)** Passive acoustic monitoring as a complementary strategy to assess biodiversity in the Brazilian Amazonia. *Biodiversity and Conservation*, 26(12):2999–3002.

**Rohner, C. (1997)** Non-territorial 'floaters' in great horned owls: space use during a cyclic peak of snowshoe hares. *Animal Behaviour*, 53(5):901-912.

- Rudnick, J. A., Katzner, T. E., Bragin, E. A. & DeWoody, J. A. (2008)** A non-invasive genetic evaluation of population size, natal philopatry, and roosting behavior of non-breeding eastern imperial eagles (*Aquila heliaca*) in central Asia. *Conservation Genetics*, 9(3):667-676.
- Šálek, M., & Schröpfer, L. (2008)** Population decline of the little owl (*Athene noctua Scop.*) in the Czech Republic. *Polish Journal of Ecology*, 56(3):527-534.
- Schweizer, C. L. & Whitmore, R. C. (2013)** Movements of the mangrove warbler in Baja California Sur. *Western Birds*, 44(1):262-272.
- Severinghaus, L. L. (2002)** Home-range, movement and dispersal of Lanyu Scops Owls (*Otus elegans*). *Ecology and conservation of owls*, 58-67.
- Shonfield, J. & Bayne, E. (2017)** Autonomous recording units in avian ecological research: current use and future applications. *Avian Conservation and Ecology*, 12(1):14.
- Shonfield, J., Heemskerk, S. & Bayne, E. M. (2018)** Utility of automated species recognition for acoustic monitoring of owls. *Journal of Raptor Research*, 52(1):42-55.
- Sternberg, H., Grinkov, V. G., Ivankina, E. V., Ilyina, T. A., Kerimov, A. & Schwarz, A. (2002)** Evaluation of the size and composition of nonbreeding surplus in a Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* population: removal experiments in Germany and Russia. *Ardea* 90(3):461-470.
- Stutchbury, B. J. & Robertson, R. J. (1987)** Behavioral tactics of subadult female floaters in the tree swallow. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 20(6):413-419.
- Stutchbury, B. J. (1994)** Competition for winter territories in a Neotropical migrant: the role of age, sex and color. *The Auk*, 111(1):63-69.
- Sueur, J., Gasc, A., Grandcolas, P., & Pavoine, S. (2012)** Global estimation of animal diversity using automatic acoustic sensors. *Sensors for ecology*. Paris: CNRS, 99-117.
- Sugai, L. S. M., Silva, T. S. F., Ribeiro Jr, J. W., & Llusia, D. (2019)** Terrestrial passive acoustic monitoring: review and perspectives. *BioScience*, 69(1):15-25.
- Sunde, P. & Bølstad, M. S. (2004)** A telemetry study of the social organization of a tawny owl (*Strix aluco*) population. *Journal of Zoology*, 263(1):65-76.
- Toenies, M. & Rich, L. N. (2021)** Advancing bird survey efforts through novel recorder technology and automated species identification. *California Fish and Wildlife*, 107(2):56-70.

- Vielliard J. (1993)** Recording wildlife in tropical rainforest. *Bioacoustics*, 4(4):305–311.
- Villavicencio, C. P., Apfelbeck, B. & Goy-Mann, W. (2013)** Experimental induction of social instability during early breeding does not alter testosterone levels in male black redstarts, asocially monogamous songbird. *Hormones and Behavior*, 64(3):461-467.
- Vögeli M., Laiolo P., Serrano D. & Tella J. L. (2008)** Who are we sampling? Apparent survival differs between methods in a secretive species. *Oikos*, 117(12):1816–1823.
- Wauters, L. A. & Lens, L. (1995)** Effects of food availability and density on red squirrel (*Sciurus vulgaris*) reproduction. *Ecology*, 76(8):2460-2469.
- Wildlife Acoustics, Inc. (2019)** *Kaleidoscope Pro 5 User Guide*.  
<http://condor.wildlifeacoustics.com/Kaleidoscope.pdf>.
- Wood, C. M., Gutiérrez, R. J. & Peery, M. Z. (2019)** Acoustic monitoring reveals a diverse forest owl community, illustrating its potential for basic and applied ecology. *Ecology*, 100(9):1-3.
- Wrege P. H., Rowland E. D., Keen S. & Shiu Y. (2017)** Acoustic monitoring for conservation in tropical forests: Examples from forest elephants. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(10):1292–1301.
- Xia, C., Deng, Z., Lloyd, H., Møller, A. P., Zhao, X., & Zhang, Y. (2019)** The function of three main call types in common cuckoo. *Ethology*, 125(9):652-659.
- Yip, D., Leston, L., Bayne, E., Sólymos, P., & Grover, A. (2017)** Experimentally derived detection distances from audio recordings and human observers enable integrated analysis of point count data. *Avian Conservation and Ecology*, 12(1):11.