

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Metody akustického monitoringu diverzity ptáků

Lukáš Janka

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

k získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: prof. Mgr. Vladimír Remeš, Ph.D.

Olomouc 2024

Janka L. 2024. Metody akustického monitoringu diverzity ptáků [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci. 27 s. česky

Abstrakt

Ptačí druhově specifická vokalizace umožňuje monitoring ptáků vyjma klasických terénních metod i pomocí metod akustických. Hlavním způsobem je pasivní akustický monitoring (PAM), založený na využití automatických nahrávacích zařízení. Jejich výdrž baterií a velikost uložení umožňují nahrávání po dlouhý čas bez nutnosti zásahu pracovníka, což šetří čas a snižuje náklady na výzkum. Účinnost PAM je ovlivněna jak použitým hardwarem, nastaveným režimem nahrávání tak rozdílností vokalizace jednotlivých druhů. Porovnání účinnosti tradičních a akustických metod ukázalo v 10 z 11 případech shodnou nebo lepší účinnost PAM. Výzvou zůstává analýza velkého objemu obdržených dat, která je při manuální anotaci zvuků stále časově náročná. Předmětem studií je nyní zautomatizování zpracování nahrávek i vytvoření samostatně fungujícího klasifikátoru pro automatické rozeznání druhů obsažených v datovém souboru. Limitací pro vývoj takového klasifikátoru je variabilita zpěvu ptáků, překryv více zvuků v jeden čas a nedostatek silně popsaných souborů dat potřebných pro natrénování klasifikátoru založeného na principu strojového učení. V posledním desetiletí tak vzniklo velké množství datových souborů, nicméně univerzální program pro analýzu výsledků PAM stále nebyl vytvořen. Aktuálně vhodnou variantou tak může být použití jednoduchých modelů, které ulehčí zpracování nahrávek v kombinaci s prací experta, který ručně vyhodnotí protříbená data.

Pomocí pasivního akustického monitoringu a bodového sčítání byli mapováni ptáci v CHKO Litovelské Pomoraví. Výsledky porovnání metod korelovaly s výsledky literární rešerše – více druhů bylo detekováno pomocí PAM. Celkem bylo rozpoznáno 48 druhů.

Pasivní akustický monitoring lze na základě výsledků použít jako alternativu ke klasickým terénním metodám. Vhodný je zejména v těžce přístupném terénu, pro detekci krypticky zbarvených nebo nočních druhů případně pro monitoring druhů náchylných na vyrušování lidskou přítomností.

Klíčová slova: pasivní akustický monitoring, ptáci, druhová diverzita, automatická analýza, umělá inteligence, CHKO Litovelské Pomoraví, lužní lesy

Janka L. Methods of acoustic monitoring of bird diversity [bachelor's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 27 pp. Czech

Abstract

Bird species-specific vocalization allows monitoring of birds using acoustic methods in addition to classical field methods. The main method is passive acoustic monitoring (PAM), based on the use of automatic recording devices. Their battery life and storage size allow recording for long periods of time without the need for worker intervention, saving time and reducing research costs. The efficiency of PAMs is affected by the hardware used, the recording mode set and the differences in vocalization between species. Comparison of the efficiency of traditional and acoustic methods showed equal or better PAM efficiency in 10 out of 11 cases. The challenge remains the analysis of the large volume of data received, which is still time consuming when annotating sounds manually. Studies are now underway to automate the processing of the recordings as well as to develop a stand-alone classifier to automatically recognize the species contained in the data set. Limitations to the development of such a classifier include the variability of birdsong, the overlap of multiple sounds at a single time, and the lack of strongly labeled datasets needed to train a machine learning-based classifier. Thus, a large number of datasets have been produced in the last decade, but a universal program for analyzing PAM results has still not been developed. Thus, a currently suitable option may be the use of simple models to facilitate the processing of recordings combined with the work of an expert who manually evaluates the sifted data.

Using passive acoustic monitoring and point counts, birds in the Litovelské Pomoraví SPA were mapped. The results of the method comparison correlated with the results of the literature search – more species were detected by PAM. In total, 48 species were detected.

Based on the results, passive acoustic monitoring can be used as an alternative to classical field methods. It is particularly suitable in difficult terrain, for detecting cryptically coloured or nocturnal species or for monitoring species susceptible to disturbance by human presence.

Key words: passive acoustic monitoring, birds, species diversity, automatic analysis, artificial intelligence, Protected Landscape Area Litovelské Pomoraví, riparian forest

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Mgr. Vladimíra Remeše, Ph.D. a jen s použitím uvedených pramenů a literatury.

V Olomouci dne

.....

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
1. Cíle práce	1
2. Metody monitoringu ptáků	2
2.1. Mapování	2
2.2. Liniové sčítání	3
2.3. Bodové sčítání	3
3. Metody akustického monitoringu	5
3.1. Pasivní akustický monitoring	5
3.1.1. Faktory ovlivňující účinnost PAM	6
3.1.2. Porovnání PAM s bodovou sčítací metodou	7
3.1.3. Analýza výsledků PAM	9
4. Materiál a metody	12
4.1. Pasivní akustický monitoring	12
4.1.1. Harmonogram nahrávání	14
4.2. Bodové sčítání ptáků	14
4.3. Analýza dat	15
4.3.1. Analýza zvukových nahrávek	15
5. Výsledky	16
5.1. Bodová sčítací metoda	16
5.2. Analýza zvukových nahrávek	16
5.3. Porovnání účinnosti použitých metod	17
6. Diskuse	21
7. Závěr	23
8. Citovaná literatura	24

Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání identifikací druhů dle jednotlivých metod	19
---	----

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zaznačení lokalit v PR Litovelské luhy.....	12
Obrázek 2 Zaznačení lokalit v PR Hejtmanka a NPR Vrapač	13
Obrázek 3 Struktura rozmístění zvukových záznamníků.....	13
Obrázek 4 Pořadí sčítání jednotlivých bodů	15
Obrázek 5 Počet zjištěných druhů v závislosti na použité metodě	18
Obrázek 6 Počet druhů zjištěných pasivním akustickým monitoringem a bodovým sčítáním na lokalitách v CHKO Litovelské Pomoraví	18
Obrázek 7 Srovnání počtu identifikovaných jedinců bodovou sčítací metodou a mým poslechem nahrávek.....	20
Obrázek 8 Srovnání počtu identifikovaných jedinců bodovou sčítací metodou a poslechem Tomáše Koutného	20
Obrázek 9 Srovnání počtu identifikovaných jedinců poslechem mnou a Tomášem Koutným...	20

Poděkování

Především bych rád poděkoval doc. Mgr. Vladimíru Remešovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, ochotu a vstřícnost při konzultacích, za zapůjčení vybavení a za samotnou možnost uskutečnění bakalářské práce – byla to pro mne velmi přínosná a obohacující zkušenost. Dále bych rád poděkoval Tomáši Koutnému za pomoc s analýzou nahrávek. V neposlední řadě pak patří veliký dík mé rodinně a přítelkyni za podporu a pomoc nejen při vypracovávání bakalářské práce, ale i po celou dobu studia.

1. Cíle práce

Záměrem této bakalářské práce je vypracování rešerše literatury zabývající se metodami akustického monitoringu ptáků, aplikací těchto metod při výzkumu diverzity ptačích společenstev a její účinnost v porovnání s jinými výzkumnými metodami. Dále bude proveden terénní sběr dat pomocí pasivního akustického monitoringu a bodového sčítání, analýza těchto dat a porovnání účinnosti obou metod.

2. Metody monitoringu ptáků

Chceme-li získat spolehlivý přehled o situaci některého druhu, o populaci nebo obecně o druhovém složení určité oblasti, je třeba uskutečnit průzkum. V případě jeho opakování, při dodržení stejné metodiky a časového rozpětí, mluvíme o monitoringu (Sutherland et al., 2004). Díky dlouhodobému studiu získáváme ucelený soubor informací, který může pomoci například při managementu a ochraně stanovišť nebo populací, repatriaci druhů nebo při studiu změn životního prostředí a jejich dopadu.

Správný návrh způsobu monitoringu je klíčovým faktorem. Je třeba si uvědomit, jaké chceme obdržet informace, jakými metodami a za použití jakých zdrojů jsme toho schopni dosáhnout. Toto rozhodování je zpravidla kombinací kompromisů, požadovaná metoda může být například příliš nákladná, nebo díky ní nebudou získány správné informace. Výsledný návrh tak musí co nejlépe splňovat stanovený cíl (Voříšek et al., 2008). Jednou z hlavních otázek kladených při návrhu monitoringu je, jaká bude použita metoda sběru dat, protože žádná není univerzálně vhodná pro všechny výzkumy (Siegel, 2013). Co se týče sčítání ptáků, mezi aktuálně nejpoužívanější terénní metody se řadí mapování, sčítání na liniovém transektu a bodové sčítání (Voříšek et al., 2008).

2.1. Mapování

Metoda je založena na zaznamenávání polohy, chování a pohybu jednotlivých ptáků na studovaném území. Údaje jsou zakreslovány do detailní mapy, a při opakovaných návštěvách území lze stanovit jednotlivá hnízdní teritoria a odhadnout počet teritoriálních ptáků (Sutherland et al., 2004).

Výhodou mapování je, že poskytuje odhad hustoty druhu spíše než jen index početnosti, který je zpravidla přesnější než odhad hustoty získaný bodovým sčítáním, protože není zkreslen přítomností nehnízdících protahujících ptáků (Siegel, 2013).

Negativem je velká časová náročnost, kdy je potřeba přibližně deset návštěv na lokalitě pro stanovení teritorií jednotlivých druhů. Mapování je vhodné jen pro menší oblasti, přibližně 1-4 km². Složitá je i interpretace výsledků a jejich porovnání mezi studiemi, obě velmi závisí na dodržení stejných postupů všemi sběrateli dat. Dále je obtížné tuto metodu použít u neteritoriálních nebo nemonogamních druhů a na místech bez výrazných krajinných prvků nebo naopak ve velmi hustém prostředí, kde je orientace v terénu a zakreslení teritoria do mapy náročnější (Voříšek et al., 2008).

Mapování je tak vhodnou volbou převážně pro ekologické výzkumy, poskytující prostorová data v detailním měřítku. Zároveň je nevhodnější při potřebě lokalizace jednotlivých hnízdních teritorií (Sutherland et al., 2004).

2.2. Liniové sčítání

Podstata sčítání ptáků na liniovém transektu je průchod předem stanovenou trasou dané délky a zaznamenání ptáků na obou stranách linie. Dále je zaznamenána kolmá vzdálenost ptáka od transektu, a to v závislosti na použité metodice buď v přesné hodnotě, nebo v předem určených intervalech, například 0-25, 25-100 a více než 100 metrů (Voříšek et al., 2008).

Nevýhodami liniového sčítání může být, oproti bodovému sčítání, poskytování méně nezávislých bodů s daty, a tedy náročnější replikace studie, neboť jednotlivé záznamy ptáků zpravidla postrádají prostorovou informaci. Z toho důvodu také pozorování neposkytují údaje o vztahu k okolnímu biotopu. Tento nedostatek je zvláště patrný, pokud transekt prochází velmi diversifikovanou krajinou (Siegel, 2013). Vhodnou modifikací liniové metody lze ovšem uvedený nedostatek odstranit. Pokud jsou během sčítání přesné polohy ptáků zapisovány do mapy, například pomocí mobilní aplikace, je každé pozorování opatřeno souřadnicemi. Příkladem takto modifikované metody je například liniové sčítání druhů v ČR (Reif et al., 2018). Velký vliv má i terén ve kterém je transekt vytyčen, kdy kvalitního sčítání lze dosáhnout jen v relativně jednoduše prostupném terénu. Z toho důvodu jsou transekty v některých případech přirozeně vytyčeny na lépe průchozích místech, jako jsou cesty nebo průseky lesa. Data z takových míst pak nicméně neodráží správně okolní habitat (Siegel, 2013).

Sčítání na liniovém transektu je preferovanou metodou u mnoha výzkumů, a to primárně díky její přizpůsobivosti. Lze ji použít ve většině prostředí, mořském i suchozemském, pro výzkum jednotlivých druhů i skupin. Výhodou je i časová efektivita v porovnání s množstvím obdržených dat (Sutherland et al., 2004). Debatuje se také nad výhodou oproti bodovému sčítání, neboť výzkumník efektivněji využije čas strávený v terénu sčítáním po delší čas, neboť se sčítají ptáci po celou dobu průchodu a nikoli jen na některých místech (Siegel, 2013).

2.3. Bodové sčítání

Sčítání bodovou metodou spočívá v zaznamenání všech ptáků zjištěných na jednom bodě během daného času v dané vzdálenosti. Přesné hodnoty se liší mezi studiemi, hraniční hodnoty délky sčítání se pohybují od 2 do 20 minut. Vzdálenost pozorovaných jedinců může být opět zaznamenána v intervalech, nebo přesně změřena dálkoměrem. Intervaly jsou buď 2 a to 0-30 m a více než 30 m, doporučenější variantou je ovšem 3 intervaly: 0-30 m, 30-100 m a více než 100 m (Sutherland et al., 2004). V případě měření přesné vzdálenosti dálkoměrem je důležité nezaokrouhlovat hodnoty na nejbližší 5 nebo 10 m intervaly, dochází tak k akumulaci dat na určitých hodnotách, čímž je ztížena analýza dat (Thibault, 2020). Doporučená je i minimální vzdálenost mezi jednotlivými body a to alespoň 200 metrů, dle metodiky NEON (2020) je to 250 m. Také je vhodné po příchodu na bod dodržet určitý aklimatizační čas, a to alespoň minutu

(Sutherland et al., 2004). Podle Voříšek et al. (2008) jsou do celkového počtu pozorovaných druhů přidáni i všichni ptáci vyplašení po příchodu na lokalitu.

Mínusem bodové metody může být, že poskytuje indexy početnosti druhů pouze za předpokladu, že počet zaznamenaných ptáků je úměrný počtu skutečně přítomných jedinců. Nebere také v potaz druhově rozdílnou pravděpodobnost detekce, stejně jako liniové sčítání případně mapování a výsledky se tak mohou výrazně lišit v závislosti na zkušenostech sčítatele, rozdílnosti prostředí nebo jiných podmínkách. Tomuto problému se lze ovšem vyhnout modifikací metody, a to nezávislým sčítáním 2 pozorovatelů zároveň. Pravděpodobnost detekce se pak vypočítá podílem všech zjištěných ptáků obou pozorovatelů (Siegel, 2013).

Bodová metoda je nicméně velmi úspornou formou sčítání ptáků a je tak ideální volbou pro monitoring rozsáhlých území. Oproti nemoifikované metodě liniového sčítání má také velkou výhodu ve spojitosti záznamů s přesnou lokalitou a slouží tak lépe ke studiu korelace druhů s okolním habitatem, kvality prostředí a jiných ekologických proměnných (Siegel, 2013).

3. Metody akustického monitoringu

Ptáci patří mezi živočichy používající zvuky jako velmi variabilní dorozumivací prvek. Mohou je používat na komunikaci, sexuální nebo teritoriální projevy. Jsou druhově specifické a ptáci tak svými projevy poskytují informace o své přítomnosti, chování a interakcích s okolím (Gibb et al., 2019). Tato vlastnost pak umožňuje jejich monitoring nejen na základě optické identifikace, ale i akustické. V počátcích byly zvukové projevy nahrávány pomocí přenosných magnetofonů s nevelkým uložištěm, což znemožňovalo využití akustického monitoringu na větší škále (Browning et al., 2017). V 60. letech 20. století například použili Graber a Cochran (1959) magnetofonové nahrávky vokalizace za letu pro monitoring migrujících ptáků během noci. Průlomem využívání akustického monitoringu se stal přelom tisíciletí s nástupem digitálních zvukových záznamníků a prvních automatických nahrávacích systémů, anglicky automatic recording systems (ARS) (Obrist et al., 2010). V souvislosti s aktuálním trendem rychlého vývoje nových technologií, zjednodušujících sběr akustických dat a jejich následnou analýzu, se stává akustický monitoring velmi oblíbenou alternativou ke klasickým terénním metodám sběru dat (Sugai et al., 2019).

3.1. Pasivní akustický monitoring

Mluvíme-li o akustickém monitoringu v souvislosti s ptáky, jedná se zpravidla o pasivní akustický monitoring (PAM). Jeho podstatou je zachycení zvuků prostředí pomocí zvukových senzorů – mikrofony, rekordéry, ultrazvukové detektory (Gibb et al., 2019). Aktivní akustický monitoring oproti tomu zachycuje zvukové vlny, vyprodukované zařízením, odražené od monitorovaného organismu a prostředí, jako je například použití sonaru (Browning et al., 2017).

Pasivní akustický monitoring spočívá v rozmístění autonomních nahrávacích zařízení, anglicky autonomus recording units (ARU), v terénu a pomocí nich záznam zvuků prostředí (Peréz-Granados, Traba, 2021). Podstatou záznamníků je jejich naprogramování, aby nahrávaly bez přítomnosti člověka, ať už kontinuálně nebo v předurčených intervalech (Darras et al., 2018). Díky tomu lze získat velký objem dat, která oproti např. bodové metodě, nejsou ovlivněna přítomností sčítatele. V případě nahrávání po dlouhý čas také odpadá časové zkreslení výsledků, které se u krátce trvajících bodových nebo liniových sčítání může objevit. Terénní sběr dat pomocí PAM nevyžaduje přítomnost vysoce zkušeného pracovníka, čímž lze snížit náklady na výzkum (Digby et al., 2013). Komerčně prodávané záznamníky jsou sice nákladné, model Song Meter Mini použitý v této práci stojí přibližně 12 000 korun českých na kus (bez baterií a SD karty), nabízí se ovšem i levnější kvalitně srovnatelné alternativy typu AudiMoth, se základní pořizovací cenou okolo 1 200 korun českých bez baterií a SD karty (Hill et al., 2018). Terénní část práce je navíc možné svěřit veřejnosti, při dodržení standardizované metodiky a zkušený pracovník pak pouze analyzuje obdržená data (Budka et al., 2022).

3.1.1. Faktory ovlivňující účinnost PAM

Co tedy ovlivňuje úspěšnost pasivního akustického monitoringu? V prvé řadě je to volba techniky – záznamníků a mikrofonu. Nejlepších výsledků dosahuje PAM při použití mikrofonů s vysokým poměrem signálu k šumu (signal-to-noise ratio). Mikrofony s vyšším poměrem mají lepší kvalitu záznamu, neboť samotný mikrofon přidává méně šumu do nahrávky. Díky tomu se zlepšuje detekční vzdálenost a lze zachytit vzdálenější zvuky. Doporučená hodnota je alespoň 72 dB, ideálně 80 dB. Důležitá je také senzitivita mikrofonu, ty s vyšší senzitivitou jsou schopny zachytit i nízké hladiny zvuku bez zhoršeného výstupu (Darras et al., 2018). Dalším faktorem, ovlivňujícím kvalitu zvuku, je dynamický rozsah mikrofonu, respektive maximální hladina vstupního akustického tlaku (Max Input Sound Pressure Level). Pokud má mikrofon nízký rozsah, některé zvuky mohou být moc intenzivní a dojde k jejich zkreslení nebo ořezu (Metcalf et al., 2022). Roli nehraje pouze kvalita hardwaru, ale i jeho správné použití a umístění. Darras et al. (2018) doporučují použití dvou všesměrných mikrofonů pro nahrání zvuků z co největšího okolí. Umístěny by měly být rovnoměrně se zemí ve výšce 1,5–2 m a vzdálenost mezi samotnými mikrofony by měla být cca 25 cm. Umístění tímto způsobem poskytuje nahrávky nejlépe korelující s lidským sčítáním v terénu, neboť napodobuje lidské proporce – výška uší od země a jejich vzdálenost na hlavě.

Mimo volby hardwaru je třeba vzít v potaz i správný harmonogram nahrávání. Studie provedená Shaw et al. (2022) se zabývala vlivem intenzity nahrávání, denní fáze a délky nahrávky na poskytnuté výsledky. Vzhledem k tomu, že strojové modely učení používají pro analýzu spíše nespojitě úseky nahrávek, místo kontinuálních, byly pro určení intenzity nahrávání použity nespojitě úseky zvuku z původních nepřerušovaných nahrávek. Intenzita byla definována jako počet minutových úseků vybraných z nahrávky. Nejnižší hodnotou je jedna minutová nahrávka za hodinu, nejvyšší jedna nahrávka každé 3 minuty, tedy 20 za hodinu. Denní fáze byla buď rozbřesk, což je hodina před úsvitem, nebo ráno, definované jako hodina začínající 3 hodiny po svítání. Poslední proměnná, délka nahrávání, je počet nahrávacích dní v rozmezí 1 až 4 dny. Kombinací těchto proměnných vzniklo 60 scénářů a pomocí manuální anotace nahrávek byla stanovena druhová bohatost každé varianty. Nejvíce druhů bylo zaznamenáno za první 2 dny nahrávání, v ranní fázi a při vysoké intenzitě vzorkování každé 3 nebo 6 minut. Je třeba zmínit, že některé krepuskulární druhy byly zaznamenány pouze za rozbřesku a pro získání přehledu o kompletním druhovém složení lokality by tedy mělo být zahrnuto i nahrávání v této fázi. Důležité je i nahrávání na začátku a v pozdní části hnízdní sezony pro zachycení migrujících i zimujících druhů (Südbeck et al., 2005). Intenzitou nahrávání se zabývala i studie od Metcalf et al. (2022), porovnávala výsledky nahrávání s vysokým a nízkým časovým rozlišením v Amazonském deštném pralese. Vysoké rozlišení, 240 15sekundových nahrávek náhodně rozmístěných do vzorkovaného okna, porovnávali se 4 15minutovými nahrávkami ve stejném období. Vzorkováním při vysokém rozlišení 15vteřinových úseků byla zjištěna větší α -diverzita (o 50 %)

i γ -diverzita (o 10 %) oproti nízkému rozlišení. Vysoké časové rozlišení mělo menší počet falešně negativních nálezů a detekovalo 3× více vzácných druhů. Na základě výsledků tak doporučují PAM s vysokým časovým rozlišením jako primární metodu monitoringu diverzity ptáků v tropických oblastech.

Úspěšnost detekce některých druhů je ovlivněna také jejich vokalizací. Jedná se o druhy nezpívající, jejichž hlasové projevy jsou pouze krátké varující zvuky. Stejný problém je s bubnováním datlovitých ptáků. Pomocí něj nelze spolehlivě určit konkrétní druh, při terénním sčítání ovšem může upoutat pozorovatele, což může vést k rozdílné frekvenci zaznamenání datlovitých mezi PAM a bodovou sčítací metodou (Klingbeil a Willig, 2015). Špatně detekovatelný je i nenápadný zpěv některých druhů, který se může ztratit ve zpěvu ostatních, například v průběhu ranního chóru (Sedláček et al., 2015). Při použití ARU po dlouhý čas, případně častěji za hnízdní sezonu, dochází nicméně k vyrovnání rozdílu detekce méně nápadných druhů mezi terénním sčítáním a akustickým monitoringem (Klingbeil a Willig, 2015).

3.1.2. Porovnání PAM s bodovou sčítací metodou

Analýza, zda je pasivní akustický monitoring plnohodnotnou alternativou ke klasickým sčítacím metodám, například bodové, byla předmětem několika vědeckých studií (Zwart et al. 2014; Booker et al. 2015; Sedláček et al. 2015; Darras et al. 2018; Marin-Cudraz et al. 2019). Podle Alquezar a Machado (2015) v 7 studiích z 8 bylo použití ARU stejně nebo více účinné než bodová sčítací metoda.

Například studie od Sedláček et al. (2015) se zabývala akustickým monitoringem v lesích Národního parku Kamerunské hory ve státě Kamerun. V hnízdní sezoně provedl tým bodové sčítání na 16 místech vzdálených vždy alespoň 150 m od sebe, každý bod byl sčítán ve 3 rozdílných dnech vždy 15 minut. Ve stejném čase provedli nahrávání okolních zvuků pomocí záznamníků SongMeter, shodně 15 minut. Bodovým sčítáním bylo zjištěno 30 druhů, z nahrávek 29. Dle této studie lze PAM spolehlivě použít pro zjištění druhového složení na lokální úrovni. Zároveň lze pomocí nich určit hodnotu β -diverzity mezi jednotlivými sčítanými body. Se stejným záměrem byla provedena studie i na našem území střední Evropy, konkrétně v Polsku. Budka et al. (2022) sčítali bodovou metodou na 74 lučních stanovištích. V hnízdní sezoně proběhla dvě 10minutová sčítání, na počátku sezony (duben/květen) a na konci (konec května až konec června). Zaznamenání byli všichni zpozorování nebo slyšení ptáci, a to do kategorií dle vzdálenosti: ≤ 50 m, ≤ 100 m a ≥ 100 m. Během sčítání proběhlo také nahrávání zvuků okolní krajiny pomocí přenosného rekordéru Zoom H1n. Výsledky ukázaly, že rekordér zaznamenal více ptáků (průměrně 9.84 druhů) než pozorovatel do vzdálenosti 50 m (průměr 2.22 druhů) i do vzdálenosti 100 m (průměrně 6.60 druhů). Pozorovatel zaznamenal nicméně více druhů v neomezeném rádiu ≥ 100 m, průměrně 14.42 druhů. Během studie bylo 5 druhů zaznamenáno pouze záznamníkem a 20 pouze sčítatelem. Z těchto 20 ovšem bylo 7 dravců, majících široká

teritoria a až na výjimku motáka lužního (*Circus pygargus*) hnízdí mimo louky. Dalšíh 6 druhů (volavky, rybáci, křivky a kormoráni) hnízdí mimo luční biotop a 2 druhy byly typičtí jarní migranti – jespák bojovný (*Calidris pugnax*) a vodouš kropenatý (*Tringa ochropus*). Z typicky lučních druhů tak rekordér nezaznamenal pouze 5. Na základě těchto dat lze říci, že při dlouhodobém použití byl PAM stejně účinný při zaznamenání ptáků v okruhu ≤ 100 m a je tak schopen nahradit tradiční monitorovací metody. Zajímavým příkladem je i studie z Velké Británie od Zwart et al. (2014) monitorující lelka lesního (*Caprimulgus europaeus*). Jeho specifíkem je složitá detekce v terénu, protože je ptákem s krepuskulární až noční aktivitou a velmi dobrým maskováním. Terénní sběr dat byl proveden během hnízdní sezony metodou sčítání na liniovém transektu. Na každé lokalitě byly provedeny 4 průzkumy, projitím trasy za soumraku o délce 6 km s průběžným zastavováním a poslechem volání nebo zpěvu lelků. Nahrávání zvuků proběhlo na stejné trase pomocí záznamníků SongMeter SM2+ rozmístěných po jednom na každém kilometru, a to v čase 22.00 až 4.30. Analýza nahrávek byla provedena pomocí automatického rozpoznávače trénovaného na 213 vybraných zvukových projevech. Dle výsledků byly rekordéry ve stejném čase, jako probíhal sběr v terénu (22.00 až 00.00), schopny zaznamenat lelky v 5 z 11 případech, zatímco pozorovatel pouze ve 3 z 11. Při posouzení celého času nahrávání rozpoznaly záznamníky lelky v 8 případech z 11. V rozsahu celého týdne nahrávání zaznamenaly ARU v 19 případech z 22 a pozorovatelé pouze v 6 z 22. Terénní pracovník také nikdy nezjistil přítomnost lelka, kterou by automatický záznamník nedetekoval.

Z uvedených příkladů vyvstávají momenty, kdy je benefitem využít PAM namísto tradičních metod. Je to u druhů s nízkou frekvencí vokalizace, jako například lelek lesní, stejně tak u monitoringu druhů náchylných na vyrušování lidskou činností – tetřev hlušec (*Tetrao urugallus*), kalous pustovka (*Asio flammeus*) nebo sokol stěhovavý (*Falco peregrinus*) (Zwart et al., 2014). PAM také není ovlivněn sčítatelským zrakem nebo sluchem, díky čemuž lépe detekuje kryptické nebo vzácné druhy (Dong et al., 2013). Velmi výhodné je také využití na těžko přístupných lokalitách, obzvláště při použití moderních záznamníků s velkou pamětí a výdrží baterií (Digby et al., 2013), případně v oblastech s nízkou viditelností (Darras et al., 2018). Nelze také opomenout, že produktem každého PAM je velký soubor nahrávek, který má potenciál stát se tréninkovými daty pro modely strojového učení. V případě archivace dat lze také provést zpětnou analýzu, například po vyvinutí lepších automatických nástrojů (Leach et al., 2016). Besson et al. (2022) dále zmiňuje důležitý faktor ku prospěchu PAM. V případě přenosu dat ze záznamníků v reálném čase dochází k posunu ekologických výzkumů z post hoc éry k průběžně aktualizovaným předpovědím. V kombinaci se statistickými metodami a nástroji strojového učení umožňuje pasivní monitoring ekologii stát se špičkovou prediktivní vědou.

3.1.3. Analýza výsledků PAM

Vývoj technologií má velký pozitivní vliv na využívání pasivního akustického monitoringu jako hlavní metody výzkumu. Snižuje se cena automatických nahrávacích zařízení, prodlužuje se jejich výdrž baterií a zvětšuje datové uložení (Besson et al., 2022). Díky tomu lze nahrávací zařízení nechat nahrávat dlouhodobě a získat tak velký objem dat. Ty je nicméně třeba zpracovat a analyzovat. Při potřebě identifikovat jednotlivé druhy obsažené v nahrávkách byl tradičním způsobem analýzy manuální anotace zaznamenaných zvuků, ať už na základě poslechu nebo vizuálního hodnocení spektrogramu, zpravidla kombinací obojího. Manuální vyhodnocování je ovšem časově náročné, dle Alquezar a Machado (2015) je na jednu nahrávku o délce 15 minut potřeba dvojnásobek času na její analýzu. V závislosti na zkušenostech pracovníka může také manuální anotace poskytnout rozdílné výsledky (Symes et al., 2022). Pokrok automatického zpracování dat a vznikající velké soubory dat obsahující anotované nahrávky druhů, přinášejí potenciál na zautomatizování celého procesu, což by vedlo ke snížení nákladu a ušetření času (Cole et al., 2022).

Hlavní překážky, které musí být překonány pro úspěšné fungování automatického rozpoznávání, jsou následující. Za prvé je to velká variabilita vokálních projevů ptáků. Jeden druh může mít velmi široký repertoár zpěvu, stejně tak může být rozdíl geografický, kdy jedinci nebo populace stejného druhu mohou mít na různých lokalitách odlišný projev (Xie et al., 2023). Dále prolínání více zvuků v nahrávce najednou. Může se jednat o více druhů vokalizujících v jeden čas, například při ranním choru, případně rušení zpěvu okolními zvuky (vítr, déšť, hluk dopravy, lidská činnost). Právě tento překryv zvuků je jedním z největších problémů pro většinu aktuálních rozpoznávacích modelů (Goëau et al., 2016). Výraznou limitací je i omezený počet označených setů dat, zvláště pak těch se silným popisem, viz níže (Xie et al., 2023).

Automatická analýza ptačího zpěvu je tak velmi komplexním procesem, který se zpravidla dělí do tří kroků. Předzpracování výsledků, extrakce rysů a následně rozpoznávání. Prvním krokem je preemfáze (zesílení určité části frekvenčního spektra) zvukové nahrávky, odstranění šumu a následně rozdělení na segmenty. Výsledkem jsou relativně čisté segmenty ptačích zpěvů. V dalším kroku jsou rozpoznány určovací rysy jednotlivých druhů nebo jedinců, tedy jaké jsou charakteristiky jejich hlasového projevu. Toto určení rysů může být buď manuální, nebo automatické, založené na data-driven modelech, jako jsou neuronové sítě a autoenkodér. Nakonec je pak samotná klasifikace jednotlivých zvukových projevů, a to buď na druhy, nebo seskupení stejných projevů do clusteru (Xie et al., 2023). Právě poslední krok, tedy klasifikace zvukových projevů, je hlavním předmětem studií zabývajících se automatickým rozpoznáváním ptáků (Cole et al. (2022); Marchal et al. (2022); Morales et al. (2022)). Jedním příkladem je BirdNET, výsledek spolupráce americké Cornell Lab of Ornithology s Technologickou univerzitou v Chemnitzu, klasifikátor založený na konvoluční nervové síti. Cole et al. (2022) použili BirdNET

na analýzu 9minutových nahrávek, pořízených v parku Carnegie v Californii. Klasifikátor rozdělil nahrávku na nepřekrývající se úseky po 3 s, v každé poté vybral 3 druhy, u kterých měl nejvyšší jistotu zaznamenání na stupnici 0-1. Databáze BirdNET obsahovala přes 900 druhů. Poté bylo vybráno náhodně 100 3sekundových vzorků, které byly zkontrolovány manuálně – poslechem a kontrolou spektrogramu a manuálně anotovány. Z manuální anotace bylo vybráno 13 nejčastěji rozpoznávaných druhů a byla vypočtena přesnost detekce těchto druhů klasifikátorem. Výsledná přesnost programu BirdNET byla $>0,70$ (na škále 0-1) pro 9 z 13 vybraných druhů, průměrná hodnota byla 0,81 (SD=0,2) a pohybovala se od 0,29 u krkavce velkého (*Corvus corax*) až po 0,99 pro sojku západní (*Aphelocoma californica*).

Nejen pro BirdNET, ale i pro další klasifikátory fungující na principu hloubkového učení (deep learning), je velkým omezením nedostatek dat, na kterých lze model natrénovat. Moderní rozpoznávací algoritmy totiž pracují na principu učení s učitelem a bez učitele (semi-supervised learning), tedy nejdříve jsou natrénovány na známých datech a poté analyzují neznámá data. Pokud je rozdíl nových zvuků a známých dat větší než předem stanovená prahová hodnota, je zvuk určen jako nový/rozdílný (Xie et al., 2023). Problémem je, že většina souborů dat je slabě popsána neboli značí pouze přítomnost/nepřítomnost zvuku bez dodatečných časových informací (Morfi, Stowell, 2018). V souvislosti s trendem využívání pasivního akustického monitoringu jako validního způsobu studia ptáků, jsou vytvářeny nové silně popsané datové soubory, umožňující trénink, validaci nebo testování modelů strojového učení. Prvním byl NIPS4Bplus, který vzniknul jako tréninkový soubor pro soutěž Neural Information Processing Scaled for Bioacoustics (NIPS4B) z roku 2013. Jeho součástí je 687 nahrávek 87 druhů o celkové délce jedné hodiny, pořízených na území Francie a Španělska (Morfi et al., 2019). Dalším příkladem je soubor ptáků celého východu USA, publikovaný v roce 2021. Obsahuje 385 minut nahrávek ranního zpěvu a zahrnuje 48 druhů v 16 052 anotacích (Chronister et al., 2021). Z východu Spojených států, konkrétně z pracoviště Cornell Lab of Ornithology univerzity Sapsucker Woods v Ithace, pochází také soubor dat publikovaný v roce 2022, obsahující 285 hodin nahrávek zvuků prostředí s 50 760 anotacemi čítajícími 81 druhů (Kahl et al., 2022). Část této sady byla použita například jako testovací data při soutěži BirdCLEF v letech 2019–2021. BirdCLEF je jedna z hlavních soutěží věnujících se inovaci technologií v automatické detekci a klasifikaci akustických projevů ptáků (Gómez-Gómez et al., 2023). Dalším příkladem je soubor dat ptáků mokřadů na západu Středozemního moře, obsahující přes 200 minut nahrávek s 5795 anotovanými zvukovými projevy 20 endemitických druhů. Nahrávky pochází z národního parku Aiguamolls de l'Empord'a ležícím na severovýchodě Španělska (Gómez-Gómez et al., 2023). Velkým souborem dat obsahujícím však jen jeden druh, sýkoru koňadru (*Parus major*), je sada od (Recalde et al., 2023). Ta obsahuje přes 100 tisíc anotovaných zvuků, zpívaných přibližně 400 samci. Všechny zvuky jsou navíc propojeny s odpovídajícími metadaty (začátek a konec, typ zvuku, čas nahrávání atd.).

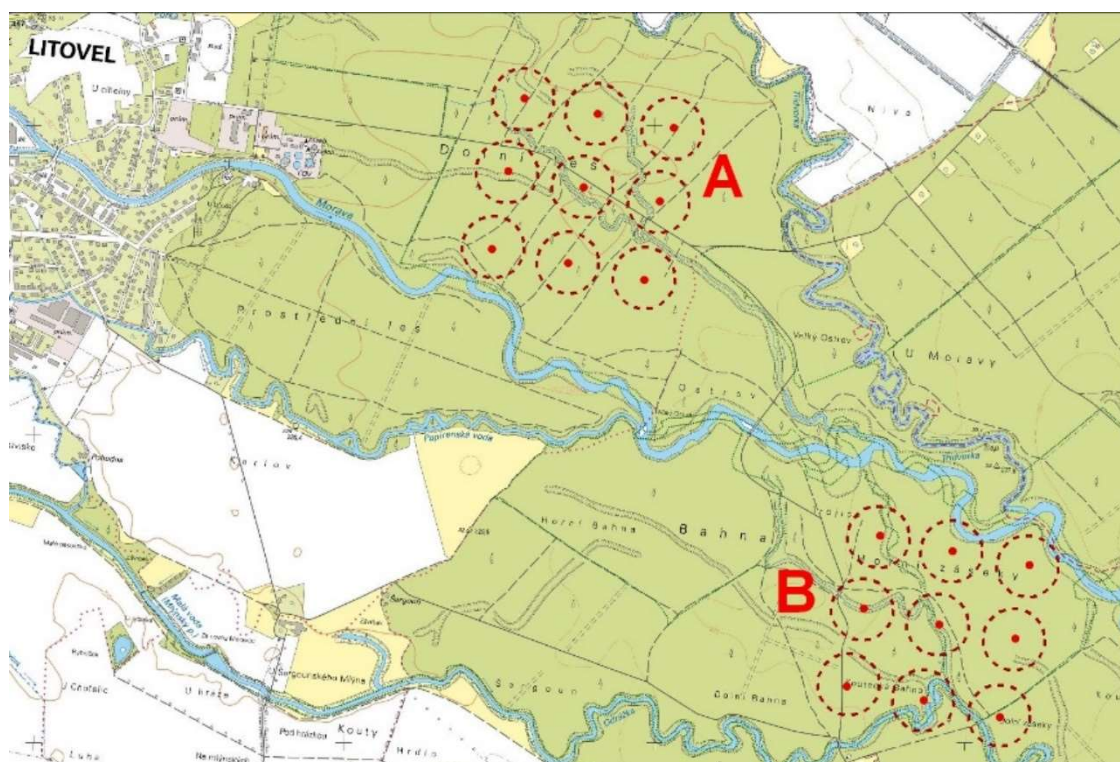
Budoucí úspěšnost automatické analýzy je v podstatě hlavním prediktorem budoucího pokroku celé metody pasivního akustického monitoringu. Aktuálně nejpoužívanější jsou rozpoznávací modely založené na hloubkových konvolučních neuronových sítích (DCNN). Ty ovšem pro své fungování potřebují vědět počet druhů které klasifikují. Moderní algoritmy na principu „semi-supervised learning“ přesný počet druhů znát nepotřebují, jsou tak vhodnější pro reálný terénní monitoring. Pro jeho spolehlivé fungování je ovšem třeba vytvořit větší a obsáhlejší modely a stejně tak větší a unifikované datové soubory, což je směr, kterým by měla aktuálně směřovat energie a prostředky (Xie et al., 2023). Aktuální kritikou rozpoznávacích modelů je i obtížnost interpretování váhy, parametrizující natrénovaný model. Naučená pravidla modelu lze ověřit pomocí nových, známých dat, nicméně nelze jim smysluplně porozumět a nelze tak posoudit aplikovatelnost modelu pro jiné klasifikační úlohy. Vhodnějším řešením tak nyní pro některé studie může být sestavení vlastního jednoduchého klasifikátoru specifického pro jejich záměr. Takový model může být použit pro vytřídění dat, ta budou poté zhodnocena expertem, který identifikuje druhy v nahrávce namísto klasifikátoru. Tento přístup je jednodušší a méně nákladnější než vytváření složitého specifického rozpoznávacího modelu. Mnoho ornitologů také postrádá vědomosti nutné pro práci s modely strojového učení a je tak třeba další vývoj přístupnějších a efektivnějších, obecně aplikovatelných pracovních postupů zahrnujících tyto modely (Liu et al., 2022).

4. Materiál a metody

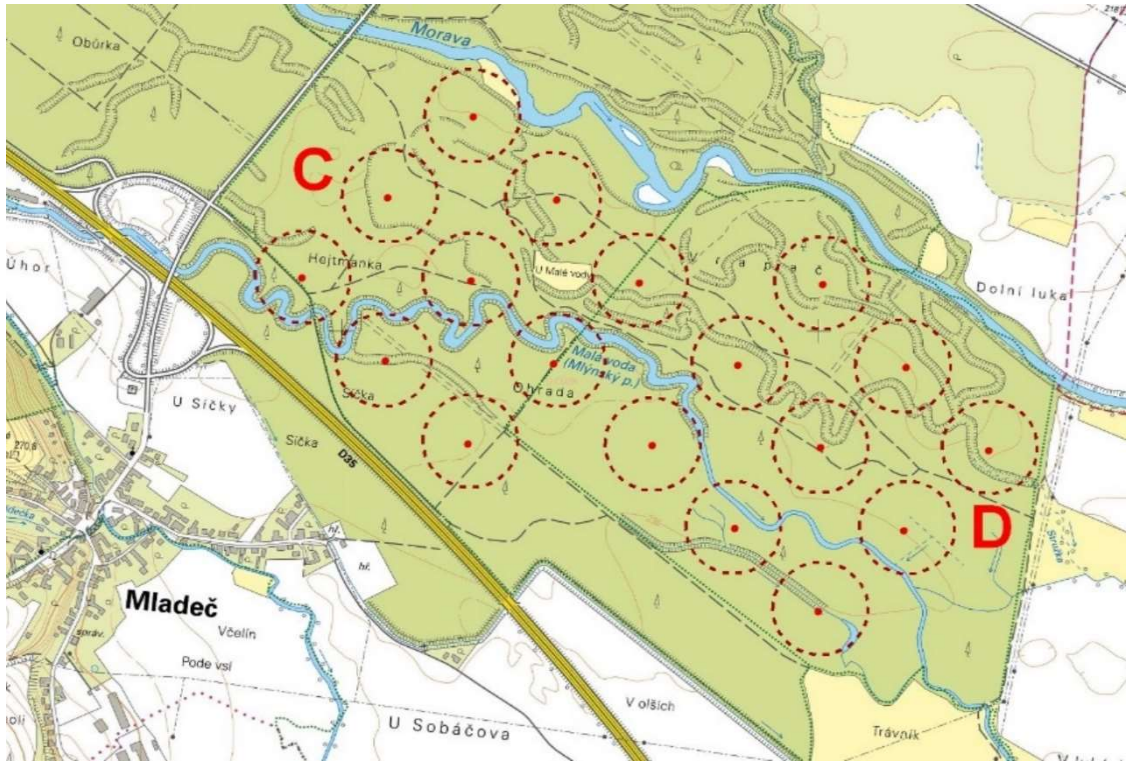
Design sběru dat byl navržen na základě metodologie pro sčítání hnízdících suchozemských ptáků od americké National Ecological Observatory Network, zkráceně NEON, což je program mapující a volně sdílející ekologická data z 81 suchozemských a sladkovodních ploch rozprostřených po celém území Spojených států Amerických (NSF NEON, 2024). Tento design byl zvolen pro možnost budoucího srovnání suchozemských ptáků v lesích na našem území a na území USA.

4.1. Pasivní akustický monitoring

Sběr dat probíhal v lužních lesích na území CHKO Litovelské Pomoraví během hnízdní sezony, v rozmezí od 25. 4.–4. 6. 2023. Předem byly pomocí ortofoto map vytypovány 4 lokality, na kterých byl souvislý pokryv zachovalého lužního lesa. Lokality byly vybrány tak, aby nebyly narušeny velkými vodními plochami nebo toky. Zároveň musely být ve vzdálenosti alespoň 10 m od cest a 50 m od budov (NEON, 2023). Vyhovující les byl nakonec na třech místech, a to v Přírodní rezervaci Litovelské luhy, Přírodní rezervaci Hejtmanka a v Národní přírodní rezervaci Vrapač. Zde byly vybrány lokality a označeny A, B, C, a D (obrázky 1 a 2).

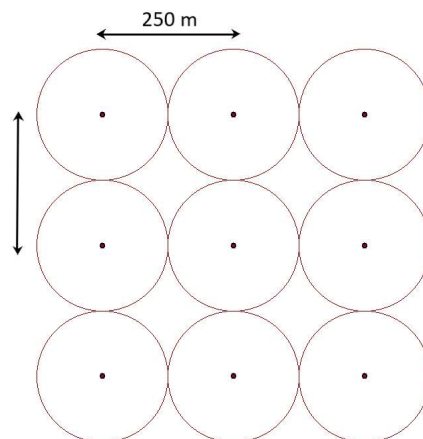


Obrázek 1 Zaznačení lokalit v PR Litovelské luhy



Obrázek 2 Zaznačení lokalit v PR Hejtmánka a NPR Vrapač

Na lokalitách byly poté rozmístěny zvukové záznamníky Song Meter Mini od firmy Wildlife Acoustics. Jedna lokace byla pokryta 9 záznamníky rozmístěnými v pravidelné mřížce 3x3, kdy vzdálenost mezi jednotlivými nahrávacími zařízeními byla 250 m (obrázek 3). V případech, kdy charakter lesa nedovolil, aby byla mřížka dokonale pravoúhlá, došlo ke zkosení mřížky max o 5°. Každý záznamník byl opatřen dvěma všesměrnými mikrofony směřujícími na opačnou stranu, každý se vstupem 18 dB. Frekvence nahrávání byla 44 kHz. Uchycení bylo provedeno na strom neinvazivní metodou, pomocí gumicuku upnutého kolem kmenu, do výšky přibližně 180 cm nad terén.



Obrázek 3 Struktura rozmístění zvukových záznamníků

4.1.1. Harmonogram nahrávání

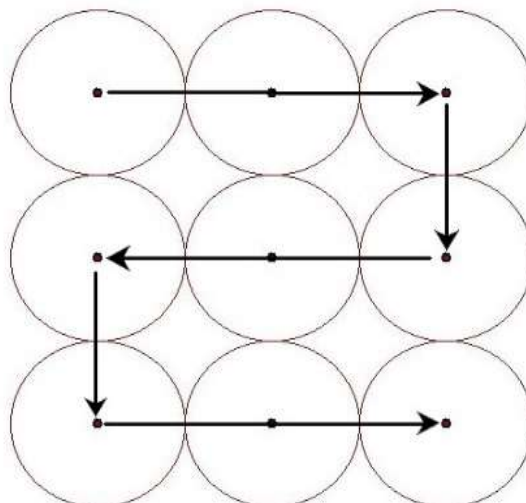
Pomocí mobilní aplikace byl nastaven časový rozvrh nahrávání jednotlivých záznamníků. Ranní nahrávání začínalo 30 minut před úsvitem a končilo 2,5 hodiny po východu slunce. V těchto 3 hodinách proběhlo 12 nahrávacích cyklů, 11 z nich o délce 6 minut, poslední jen 4 minuty, následovaných 10minutovou pauzou. Večerní nahrávání začínalo 2,5 hodiny před západem slunce a končilo 30 minut po něm. Opět proběhlo 12 nahrávacích cyklů stejných délek jako ranní nahrávání, oddělených 10minutovou pauzou. Čas východu a západu slunce si záznamník volí automaticky díky nastavené GPS lokaci a časovému pásmu každého zařízení.

Na každé lokaci probíhalo nahrávání 8 dní, následovaly 3 dny na zálohu dat a přesun záznamníků na novou lokalitu. První turnus nahrávání začal 25. 4. ráno a skončil 2. 5. večer. Druhý turnus začal 6. 5. ráno a skončil 13. 5. večer. Třetí turnus byl od rána 17. 5. do 24. 5. večer a čtvrtý turnus od rána 27. 5. do 4. 6. večer. První turnus probíhalo nahrávání na lokalitě A a B, druhý na lokalitě C a D. Třetí turnus byla opět lokalita A a B a čtvrtý opět lokalita C a D.

4.2. Bodové sčítání ptáků

Ve stejném režimu jako nahrávání probíhalo sčítání ptáku bodovou sčítací metodou. Počítání začalo na prvním bodě jedné devítice přibližně ve stejný čas, jako nahrávání záznamníků. Po příchodu na místo proběhly nejdříve aklimatizační 2 minuty, poté následovaly 2 sčítací cykly každý o délce 6 minut. Mezi cykly nebyla přesně daná časová pauza, data byla ovšem zapsána z každého cyklu samostatně. Zaznamenávány byly druhy ptáků v okruhu přibližně 100 metrů. Byl zapsán vždy počet jedinců druhu, způsob identifikace, zda akusticky či opticky, při možnosti určení pohlaví jedinců a jejich vzdálenost od bodu. Ta byla vždy změřena pomocí dalekohledu Meopta Optika LR 10x42 HD se zabudovaným laserovým dálkoměrem.

Po sečtení 1 bodu následoval přesun na další, během kterého sčítání neprobíhalo. Takto bylo v 1 dni sečteno všech devět bodů vybrané lokality. U každé devítice bodů probíhalo sčítání dvakrát za jeden turnus, například v pořadí nejprve devítice A, jiný den devítice B, poté opět A a opět B. U druhých sčítání stejných devític bylo opačné pořadí bodů, tedy pokud u prvního sčítání bylo pořadí bodů 1–9, druhé bylo v pořadí 9–1, viz obrázek 4. Bodové sčítání neprobíhalo za špatného počasí, které by mohlo ovlivnit aktivitu ptáků (bouřka, silný déšť, velký vítr, mlha). Výsledkem bodového sčítání bylo 288 záznamů.



Obrázek 4 Pořadí sčítání jednotlivých bodů

4.3. Analýza dat

Data z bodového sčítání byla v terénu zaznamenávána analogově do poznámkového bloku. Pro analýzu byly tedy přepsány do matice abundancí v programu Microsoft Excel. Matice abundancí byla poté převedena ve statistickém programu R na matici přítomnosti/nepřítomnosti (presence-absence) pomocí funkce `decostand` v knihovně `vegan`. Výpočet byl proveden pomocí funkce `t-test` knihovny `dplyr` a grafy pomocí funkce `ggplot` knihovny `ggplot2`. Mapové podklady byly vytvořeny v programu ArcGIS v prostředí ArcMap 10.8, pro podklad byla použita vrstva WMS ZM 10 dostupná z webových stránek geoportal.cuzk.cz.

4.3.1. Analýza zvukových nahrávek

Ke každému dni bodového sčítání na každém bodu byla vybrána jedna 6minutová nahrávka, z času co nejbližší času terénního sčítání. V případech, kdy nejbližší nahrávka byla nevhodná, například příliš mnoho rušivých zvuků, byla vybrána nejbližší vhodná. Takto bylo vybráno 144 nahrávek. Pomocí programu `RavenPro` byla každá nahrávka poslechnuta a byl prohlédnutý její spektrogram, na základě čehož byly vypsány všechny zaznamenané druhy. Počet poslechů jedné nahrávky nebyl nijak omezen. Nahrávky byly nezávisle poslechnuty a zaznamenány dvěma lidmi, mnou jako začínajícím ornitologem a Tomášem Koutným z Katedry zoologie Univerzity Palackého, který je zkušený ornitolog.

Pro porovnání druhové bohatosti stanovené jednotlivými metodami byl použit párový *t*-test v programu R 4.3.0. Data nebylo třeba transformovat, protože byla v normalitě a počet pozorování >30 . Byl také vypočítán průměrný počet druhů stanovený jednotlivými metodami, průměr je uveden se směrodatnou odchylkou SD. Způsob analýzy byl převzat ze studie od Sedláček et al. (2015), zabývající se stejnou problematikou.

5. Výsledky

5.1. Bodová sčítací metoda

Během celého období sčítání na jaře 2023 bylo mnou na všech lokalitách pozorováno celkem 33 druhů a 2822 jedinců (počet bodových sčítání - 288). Nejčastěji pozorovaným druhem byl střízlík obecný (*Troglodytes troglodytes*) zaznamenaný během 224 z 288 sčítání, sýkora koňadra (*Parus major*) v 207 případech a pěnkava obecná (*Fringilla coelebs*) během 202 sčítání. Pouze v jednom sčítání bylo pozorováno 5 druhů, a to hrdlička divoká (*Streptopelia turtur*), kachna divoká (*Anas platyrhynchos*), káně lesní (*Buteo buteo*), mlynařík dlouhoocasý (*Aegithalos caudatus*) a sýkora lužní (*Poecile montanus*). Nejvíce jedinců bylo zaznamenáno u sýkory koňadry s $n=284$, střízlíka obecného s $n=277$ a pěnkavy obecné s 274 jedinci. Průměrná druhová bohatost zjištěná bodovým sčítáním byla 7.94 ± 3.06 na bod ($n=288$).

5.2. Analýza zvukových nahrávek

Mnou provedená analýza 144 nahrávek ukázala přítomnost 31 druhů. Nejčastěji zaznamenaný byl kos černý (*Turdus merula*) v 123 případech, následovala pěnkava obecná v 118 nahrávkách a střízlík obecný v 117 nahrávkách. 6 druhů bylo zaznamenáno pouze v jednom případě, a to budničec lesní (*Phylloscopus sibilatrix*), bažant obecný (*Phasianus colchicus*), králíček ohnivý (*Regulus ignicapilla*), havran polní (*Corvus frugilegus*), dlask tlustozobý (*Coccothraustes coccothraustes*) a hrdlička zahradní (*Streptopelia decaocto*). Průměrná druhová bohatost zjištěná mým poslechem zvukových nahrávek byla 7.33 ± 1.73 na nahrávku ($n=144$).

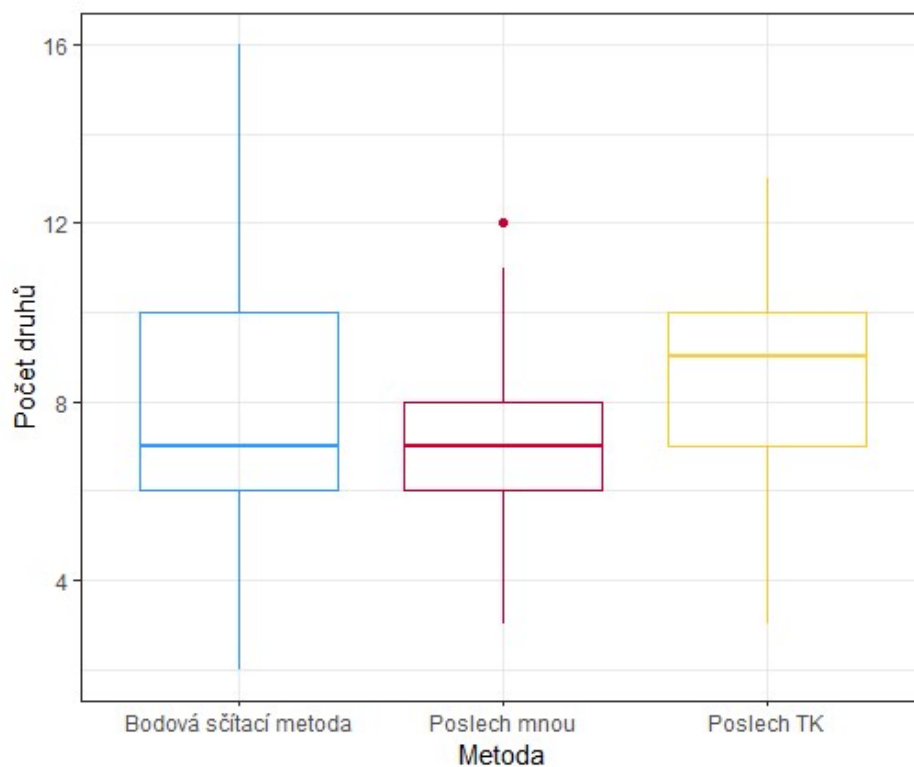
Poslech Tomáše Koutného ukázal ve stejném počtu nahrávek 47 druhů, nejfrekventovanější byla pěnice černohlavá (*Sylvia atricapilla*) v 136 nahrávkách, následovala pěnkava obecná a střízlík obecný se shodným počtem 109 záznamů. Počet druhů zaznamenaných pouze v jednom případě byl 11, jmenovitě káně lesní, hrdlička divoká i zahradní, strakapoud malý (*Dendrocopus minor*), šoupálek krátkoprstý (*Certhia brachydactyla*), rehek zahradní (*Phoenicurus phoenicurus*), drozd brávník (*Turdus viscivorus*), rákosník zpěvný (*Acrocephalus palustris*), sýkora babka (*Poecile palustris*), vlaštovka obecná (*Hirundo rustica*) a křivka obecná (*Loxia curvirostra*). V 39 případech bylo rozpoznáno bubnování/klování šplhavce bez možnosti zařazení do druhu, v jednom případě rod *Corvus* a v 18 případech hlasový projev strakapouda nezařaditelný do druhu. Průměrná druhová bohatost zjištěná analýzou Tomáše Koutného byla 8.58 ± 1.99 na nahrávku ($n=144$).

5.3. Porovnání účinnosti použitých metod

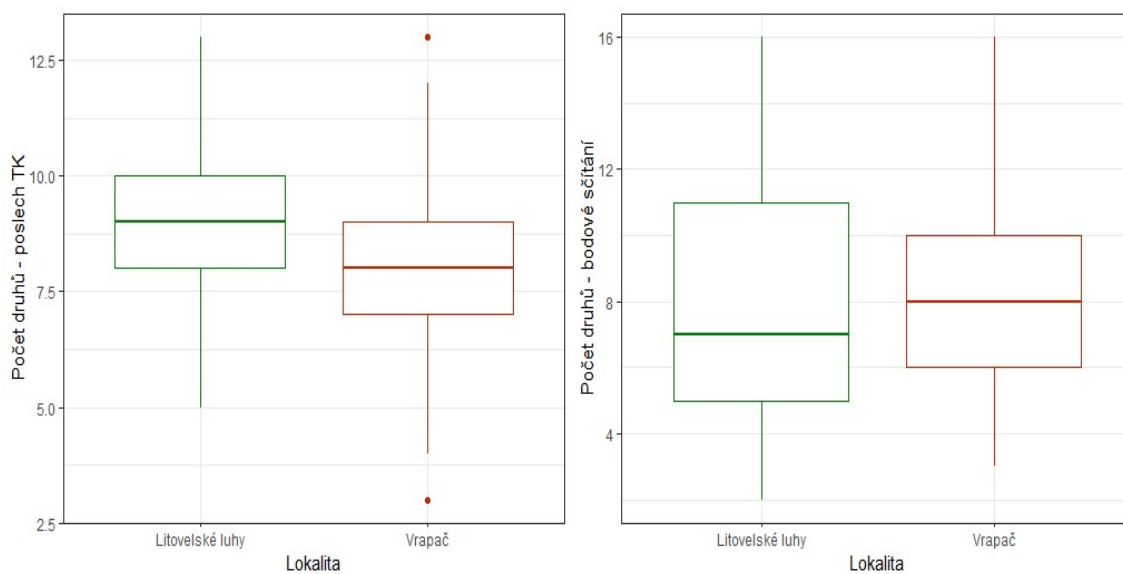
Pro účely porovnání bodové sčítací metody s PAM byla zvoleno z bodové sčítací metody vybráno každé 2. sčítání z jednotlivého bodu, aby bylo dosaženo stejného počtu sčítání jako nahrávek ($n=144$). Tato varianta byla vybrána na základě předpokladu, že během 2. sčítání byli ptáci na lokalitě již více zvyklí na přítomnost pozorovatele, byť před prvním sčítáním proběhly aklimatizační 2 minuty čekání. Varianta porovnání 288 nahrávek se stejným počtem bodových sčítání nebyla zvolena z časových důvodů. Z vybraných 144 bodových sčítání bylo identifikováno celkem 27 druhů, průměrně 7.97 ± 3.14 na nahrávku. Všechny identifikované jsem zaznamenal i poslechem zvukových nahrávek a k tomu 4 druhy navíc (káně lesní, havran polní, bažant obecný a králíček ohnivý). Bodovým sčítáním bylo identifikováno o 20 druhů méně, než identifikoval poslechem nahrávek Tomáš Koutný. Mnou provedeným poslechem nahrávek bylo zjištěno o 15 druhů méně než poslechem zkušeného ornitologa, 9 z těchto druhů bylo ovšem Tomášem Koutným zjištěno pouze v 1 případě. Jednotlivé počty identifikovaných druhů lze vidět v tabulce 1 a porovnání metod na obrázcích 7, 8, a 9.

Porovnání druhové bohatosti zjištěné bodovou sčítací metodou a mého poslechu nahrávek ukázalo signifikantní rozdíl (párový t -test, $t=2.412$, $df=143$, p -hodnota= 0.0171). Průměrný rozdíl byl 0.63. Porovnání bodové metody s poslechem Tomáše Koutného ukázalo také signifikantní rozdíl (párový t -test, $t=2.335$, $df=143$, p -hodnota= 0.021) s průměrným rozdílem 0.61. Na závěr jsem porovnal můj poslech nahrávek s poslechem Tomáše Koutného. Zde byl také signifikantní rozdíl ve zjištěné druhové bohatosti (párový t -test, $t=7.207$, $df=143$, p -hodnota= $3.02e-11$), průměrný rozdíl 1.24. Počty druhů lze vidět na krabicovém grafu v obrázku 5.

Největší počet druhů byl zjištěn poslechem Tomáše Koutného, proto jsem se rozhodl na základě jeho dat porovnat druhovou bohatost dvou mapovaných lokalit – PR Litovelské luhy a NPR Vrapač s přílehlou PR Hejtmanka. V Litovelských luzích byl průměrný počet druhů na jeden bod 9.12 ± 1.82 , ve Vrapači byl průměr 8.03 ± 2.01 druhů, značící signifikantní rozdíl (t -test, $t=3.434$, $df=142$, p -hodnota= 0.0008), průměrný rozdíl 1,097. Pro srovnání byly porovnány i výsledky bodového sčítání. Průměrný počet druhů v NPR Vrapač a PR Hejtmanka byl $7,99 \pm 2,84$ a v PR Litovelské luhy $7,94 \pm 3,43$ druhu. Bodovým sčítáním nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v počtu zjištěných druhů v závislosti na lokalitě (t -test, $t=-0,08$, $df=142$, p -hodnota= $0,9368$). Rozdíl v počtu druhů lze vidět na obrázku 6.



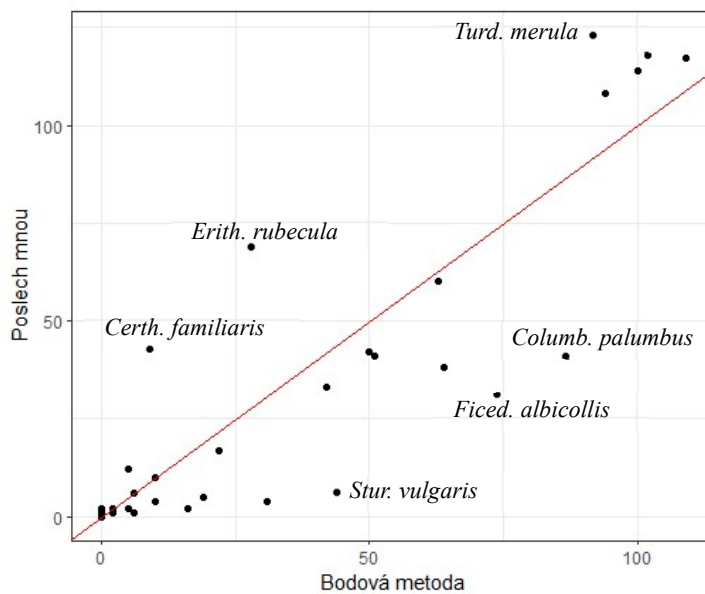
Obrázek 5 Počet zjištěných druhů v závislosti na použité metodě



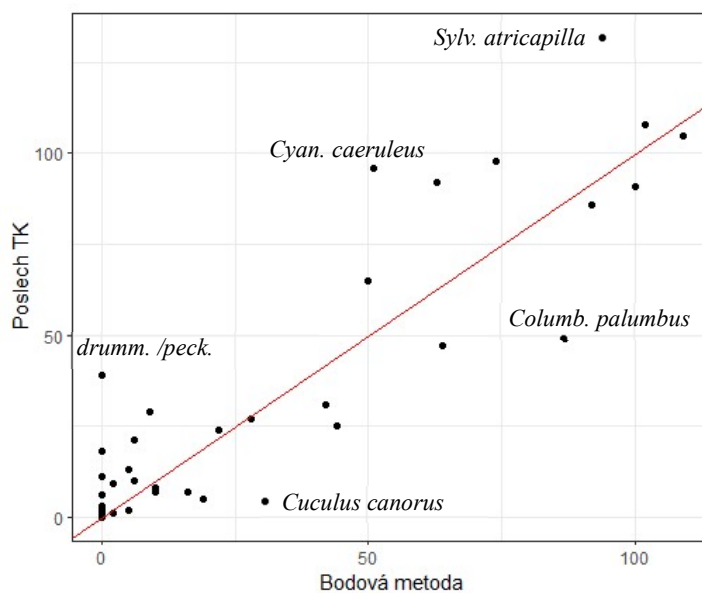
Obrázek 6 Počet druhů zjištěných pasivním akustickým monitoringem a bodovým sčítáním na lokalitách v CHKO Litovelské Pomoraví

Tabulka 1 Porovnání identifikací druhů dle jednotlivých metod

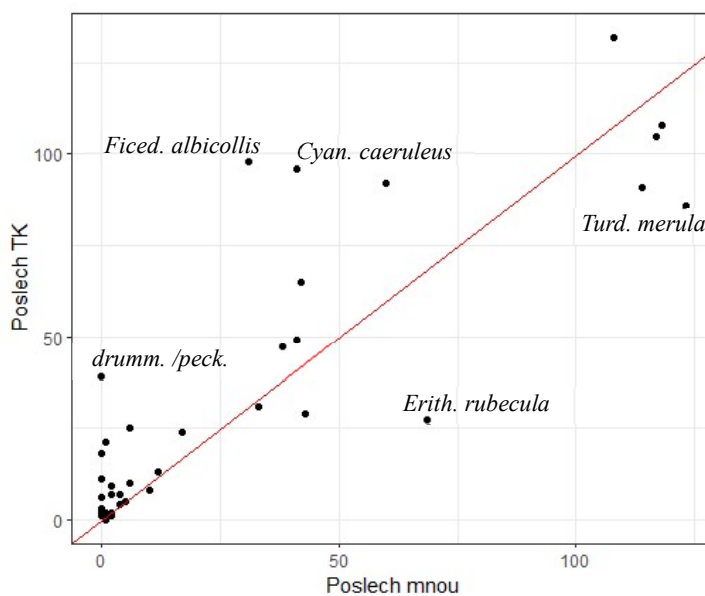
Druh	Počet záznamů (z celkového n=144)		
	Bodová metoda	Poslech mnou	Poslech TK
<i>Acrocephalus palustris</i>	0	0	1
<i>Buteo buteo</i>	0	2	1
<i>Certhia brachydactyla</i>	0	0	1
<i>Certhia familiaris</i>	9	43	29
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	6	1	21
<i>Columba oenas</i>	5	2	2
<i>Columba palumbus</i>	87	41	49
<i>Corvus corax</i>	0	0	2
<i>Covus corone</i>	10	10	8
<i>Corvus frugilegus</i>	0	1	0
<i>Corvus sp.</i>	0	0	1
<i>Cuculus canorus</i>	31	4	4
<i>Cyanistes caeruleus</i>	51	41	96
<i>Dendrocopus major</i>	50	42	65
<i>Dendrocopus medius</i>	5	12	13
<i>Dendrocopus minor</i>	0	0	1
<i>Dendrocopus sp.</i>	0	0	18
<i>drumming/pecking</i>	0	0	39
<i>Dryocopus martius</i>	19	5	5
<i>Emberiza citrinella</i>	16	2	7
<i>Erithacus rubecula</i>	28	69	27
<i>Ficedula albicollis</i>	74	31	98
<i>Fringilla coelebs</i>	102	118	108
<i>Garrulus glandarius</i>	10	4	7
<i>Hippolais icterina</i>	0	0	2
<i>Hirundo rustica</i>	0	0	1
<i>Locustella fluviatilis</i>	0	0	1
<i>Loxia curvirostra</i>	0	0	1
<i>Muscicapa striata</i>	0	0	11
<i>Oriolus oriolus</i>	42	33	31
<i>Parus major</i>	100	114	91
<i>Phasianus colchicus</i>	0	1	2
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	0	0	1
<i>Phylloscopus collybita</i>	64	38	47
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	2	2	9
<i>Picus canus</i>	0	0	6
<i>Picus viridis</i>	6	6	10
<i>Poecile palustris</i>	0	0	1
<i>Prunella modularis</i>	0	0	2
<i>Regulus ignicapillus</i>	0	1	2
<i>Sitta europaea</i>	22	17	24
<i>Streptopelia decaocto</i>	2	1	1
<i>Streptopelia turtur</i>	0	0	1
<i>Strix aluco</i>	0	0	3
<i>Sturnus vulgaris</i>	44	6	25
<i>Sylvia atricapilla</i>	94	108	132
<i>Sylvia borin</i>	0	0	2
<i>Troglodytes troglodytes</i>	109	117	105
<i>Turdus merula</i>	92	123	86
<i>Turdus philomelos</i>	63	60	92
<i>Turdus viscivorus</i>	0	0	1



Obrázek 9 Srovnání počtu identifikovaných jedinců bodovou sčítací metodou a mým poslechem nahrávek



Obrázek 7 Srovnání počtu identifikovaných jedinců bodovou sčítací metodou a poslechem Tomáše Koutného



Obrázek 8 Srovnání počtu identifikovaných jedinců poslechem mnou a Tomášem Koutným

6. Diskuse

V hnízdní sezoně 2023 proběhl v CHKO Litovelské Pomoraví terénní monitoring druhové diverzity ptáků pomocí dvou metod – bodovým sčítáním a pasivním akustickým monitoringem. Srovnání účinnosti těchto metod ukázalo jako úspěšnější akustický monitoring, výrazně více druhů stanovila i analýza zkušeným ornitologem oproti začínajícímu. Při porovnání druhové bohatosti dvou mapovaných lokalit vyšla jako druhově pestřejší PR Litovelské luhy jen v případě akustického monitoringu, bodovým sčítáním nebyl zjištěn rozdíl. Obecně tak lze pasivní akustický monitoring použít jako alternativu ke klasickým metodám mapování ptáků.

Výsledky terénního výzkumu v CHKO Litovelské Pomoraví korelovaly se výsledky uvedenými v rešerši. Porovnání bodové sčítací metody s analýzou nahrávek (obojí provedeno začínajícím ornitologem) ukázalo větší úspěšnost PAM. Osobně to přisuzuji více faktorům. Při analýze akustických dat je možnost přehrát nahrávku vícekrát a vrátit se k možným nejasným zvukům, což pomáhá v identifikaci náročnějších, ale i běžných druhů. V průběhu bodového sčítání jsem zároveň velkou část druhů upozoroval na základě zvukového projevu. Poslech nahrávek navíc probíhal o téměř rok později než terénní sběr dat. Během tohoto roku jsem se ornitologii věnoval relativně intenzivně a získal větší jistotu v rozpoznávání ptáků podle zvukových projevů.

Porovnání zvukové analýzy ode mne jako začínajícího ornitologa a Tomáše Koutného jako zkušeného pracovníka ukázala dle předpokladu větší úspěšnost odbornější analýzy. Tomáš Koutný byl také schopen zaznamenat více vzácnějších druhů jako jsou cvrčilka říční, sedmihlásek hajní, strakapoud malý, šoupálek krátkoprstý nebo pěnice slavíková (Šťastný et al., 2021).

Pro plnohodnotné porovnání obou metod by bylo potřeba srovnání výsledků bodového sčítání od zkušeného ornitologa s výsledky jeho poslechu, terénní sběr dat Tomášem Koutným bohužel z časových a kapacitních důvodů nebyl proveden. Většina uvedených studií, zabývajících se tímto porovnáním, například Sedláček et al. (2015), nicméně staví akustický monitoring do stejné pozice s ostatními metodami. Lze tak očekávat, že i při tomto porovnání by akustický monitoring předčil bodové sčítání.

Více druhů bylo zaznamenáno akustickým monitoringem v oblasti maloplošné přírodní rezervace Litovelské luhy. Rozloha této PR (347,51 ha) je větší než součet rozlohy NPR Vrapač a PR Hejtmanka - (192,73). Litovelské luhy jsou i více obklopeny dalším lužním lesem mimo maloplošné chráněné území. Vrapač a Hejtmanka jsou izolovanější úseky lesa (Ústřední seznam ochrany přírody, 2024). Možným důvodem identifikace menšího počtu druhů akustickým monitoringem v oblasti Vrapače může být i blízkost dálnice D35, která je velmi frekventovaná. Hluk projíždějících aut stěžuje identifikaci druhů pouze poslechem, v oblasti Litovelských luhů žádný podobný rušivý prvek není.

Mezi nejčastěji pozorované druhy patřily u všech metod kos černý, pěníce černošlavá, pěnkava obecná, střízlík obecný a sýkora koňadra. Jedná se o typické lesní druhy s jednoduše rozpoznatelným (sýkora koňadra) případně velmi hlasitým (střízlík obecný) zvukovým projevem. Všechny druhy se na území CHKO Litovelské Pomoraví běžně vyskytují a lze tedy očekávat jejich velké zastoupení. Druhy s nejmenším výskytem jsou naopak často druhy nepříliš typické pro lužní lesy – cvrčilka říční, křivka obecná, rákosník zpěvný, vlaštovka obecná. Nepřekvapivě byly cvrčilka říční a rákosník zpěvný identifikováni na bodech v těsné blízkosti vodních toků (B2 a B8), což je pro ně typičtější biotop (Svensson, 2016).

V rámci rozsahu bakalářské práce byl zpracován jen zlomek dat obstaraných terénním monitoringem – analyzováno bylo pouze 14,4 z 1 382 hodin čistého času nahrávek (přes 800 GB dat). Takovýto datový soubor může mít v budoucnosti velký význam, například jako tréninková data pro modely umělé inteligence, případně pro sledování ekologických změn na monitorované lokalitě CHKO Litovelské Pomoraví. Sesbíraná data budou také základem pro navazující diplomovou práci, která by měla mít za cíl porovnání druhové bohatosti různých lesních typů a srovnání s daty obdrženy z amerického programu NEON.

7. Závěr

Ptáky můžeme zařadit mezi bioindikační druhy a stav jejich populací ukazuje cenné informace o stavu prostředí, ve kterém se vyskytují. Rozvoj moderních technologií umožňuje jednodušší využití automatizovaných metod, jejich kompletní začlenění do výzkumu ovšem závisí na účinnosti proti klasickým, zavedeným postupům. Metody akustického monitoringu diverzity ptáků, jako jedné varianty automatizovaných postupů, bylo téma mé bakalářské práce. Dle rešerše dostupné literatury se monitoring ptačích společenstev pomocí ARU při správném nastavení ukázal jako adekvátní alternativa ke klasickým metodám, v některých případech dokonce jako vhodnější přístup. Výzvou nicméně stále zůstává analýza dat obdržených pomocí PAM a snaha o co největší automatizaci této části. Předmětem aktuálních studií je stanovení automatického postupu zjednodušujícího zpracování dat a také vytvoření klasifikátoru schopného samostatného rozpoznávání všech druhů v nahrávce. Tyto automatické postupy a klasifikátory jsou zpravidla hloubkové konvoluční nervové sítě založené na principech strojového učení s učitelem a bez učitele. Velkou limitací je nedostatek silně popsanych datových souborů nutných pro natrénování hloubkových modelů, jejichž vytvoření je časově náročné. Vytvoření takovýchto souborů je ovšem směr, kterým by se měla směřovat energie a prostředky dalšího výzkumu.

Výsledky terénního výzkumu provedené v CHKO Litovelské Pomoraví korelovaly s výsledky v rešerši, pasivní akustický monitoring byl schopen identifikovat více druhů než bodová sčítací metoda. Signifikantní rozdíl byl také při porovnání analýzy nahrávek zkušeným a začínajícím ornitologem.

Má práce by mohla být impulzem pro větší implementaci metody pasivního akustického monitoringu na našem území, ať už ve výzkumu, nebo například v ochraně přírody. Benefity jsou zvláště neinvazivnost metody, malé zapojení pracovníka v terénu a možnost dlouhodobého monitoringu bez žádného zásahu. Díky tomu je pasivní akustický monitoring vhodný k využití v klidových zónách chráněných území, v lokalitách s omezeným přístupem nebo v náročném terénu, a to nikoliv pouze pro zde uváděný monitoring ptáků. Použitím mikrofonů, hydrofonů a geofonů lze nahrávat ryby, savce, netopýry, hmyz, ale i lidské aktivity jako kácení nebo střelbu.

8. Citovaná literatura

- ALQUEZAR, Renata D. a MACHADO, Ricardo B., 2015. Comparisons Between Autonomous Acoustic Recordings and Avian Point Counts in Open Woodland Savanna. *The Wilson Journal of Ornithology*. roč. 127, č. 4, s. 712-723.
- BESSON, Marc; ALISON, Jamie; BJERGE, Kim; GOROCHOWSKI, Thomas E.; HOYE, Toke T. et al., 2022. Towards the fully automated monitoring of ecological communities. *Ecology letters*. roč. 25, č. 12, s. 2753-2775.
- BOOKER, Abraham L.; HALBERT, Portia; MCKOWN, Matthew W.; TERSHY, Bernie R. a CROLL, Donald A., 2015. A comparison of automated and traditional monitoring techniques for marbled murrelets using passive acoustic sensors. *Wildlife Society Bulletin*. roč. 39, č. 4, s. 813-818.
- BROWNING, Ella; GIBB, Rory; GLOVER-KAPFER, Paul a JONES, Kate E., 2017. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF Conservation Technology Series*. roč. 1, č. 2, s. 1-77.
- BUDKA, Michal; JOBDA, Marek; SZALANSKI, Pavel a PIÓRKOVSKI, Hubert, 2022. Acoustic approach as an alternative to human-based survey in bird biodiversity monitoring in agricultural meadows. *PLoS ONE*. roč. 17, č. 4, s. -.
- COLE, Jerry S.; MICHEL, Nicole S.; EMERSON, Shane A. a SIEGEL, Rodney B., 2022. Automated bird sound classifications of long-duration recordings produce occupancy model outputs similar to manually annotated data. *Ornithological Applications*. roč. 124, č. 2, s. -.
- DARRAS, Kevin; BATÁRY, Péter; FURNAS, Brett; CELLIS-MURIO, Antonio; WILGENBURG, Steven L. Van et al., 2018. Comparing the sampling performance of sound recorders versus point counts in bird surveys: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. roč. 55, č. 6, s. 2575-2586.
- DIGBY, Andrew; TOWSEY, Michael; BELL, Ben D. a TEAL, Paul D., 2013. A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*. roč. 4, č. 7, s. 675-683.
- DONG, Xueyan; TOWSEY, Michael; ZHANG, Jinglan; BANKS, Jasmine a ROE, Paul, 2013. A novel representation of bioacoustic events for content-based search in field audio data. *2013 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*. roč. -, č. -, s. 1-6.
- GIBB, Rory; BROWNING, Ella; GLOVER-KAPFER, Paul a JONES, Kate E., 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*. roč. 10, č. 2, s. 169-185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13101>.
- GOËAU, Hervé; GLOTIN, Hervé; VELLINGA, Willem-Pier; PLANQUÉ, Robert a JOLY, Alexis, 2016. LifeCLEF Bird Identification Task 2016: The arrival of Deep learning. *CLEF: Conference and Labs of the Evaluation Forum*. roč. 1609, č. 1, s. 440-449.

- GÓMEZ-GÓMEZ, Joan; VIDAÑA-VILA, Ester a SEVILLANO, Xavier, 2023. Western Mediterranean Wetland Birds dataset: A new annotated dataset for acoustic bird species classification. *Ecological Informatics*. roč. 72, č. -, s. -.
- GRABER, Richard R. a COCHRAN, William W., 1959. An Audio Technique for the Study of Nocturnal Migration of Birds. *The Wilson Bulletin*. roč. 71, č. 3, s. 220-236.
- HILL, Andrew P.; PRINCE, Peter; COVARRUBIAS, Evelyn Piña; DONCASTER, C. Patrick; SNADDON, Jake L. et al., 2018. AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*. roč. 9, č. 5, s. 1199-1211.
- CHRONISTER, Lauren; RHEINEHART, Tessa; PLACE, Aidan a KITZES, Justin, 2021. An annotated set of audio recordings of Eastern North American birds containing frequency, time, and species information. *Ecology*. roč. 102, č. 6, s. -.
- KAHL, Stefan; CHARIF, Russel a KLINCK, Holger, 2022. *A collection of fully-annotated soundscape recordings from the Northeastern United States*. Dataset. Verze 2.
- KLINGBEIL, Brian T. a WILLIG, Michael R., 2015. Bird biodiversity assessments in temperate forest: The value of point count versus acoustic monitoring protocols. *PeerJ*. roč. 3, č. 4, s. -.
- LEACH, Elliot; BURWELL, Chris J.; ASHTON, Louise A. a JONES, Darryl, 2016. Comparison of point counts and automated acoustic monitoring: detecting birds in a rainforest biodiversity survey. *EMU*. roč. 116, č. 3, s. 305-309.
- LIU, Ming; SUN, Qiyu; BREWER, Dustin E.; GEHRING, Thomas M. a EICKHOLT, Jesse, 2022. An ornithologist's guide for including machine learning in a workflow to identify a secretive focal species from recorded audio. *Remote sensing*. roč. 14, č. 15, s. -.
- MARCHAL, Jean; FABIANEK, Francois a AUBRY, Yves, 2022. Software performance for the automated identification of bird vocalisations: the case of two closely related species. *Bioacoustics*. roč. 31, č. 4, s. 397-413.
- MARIN-CUDRAZ, Thibaut; MUFFAT-JOLY, Bertrand; NOVOA, Claude; AUBRY, Philippe; DESMET, Jean-François et al., 2019. Acoustic monitoring of rock ptarmigan: A multi-year comparison with point-count protocol. *Ecological Indicators*. roč. 101, č. 1, s. 710-719.
- METCALF, Oliver C.; BARLOW, Jos; MARSDEN, Stuart; DE MOURA, Nargila Gomes; BERENQUER, Erika et al., 2022. Optimizing tropical forest bird surveys using passive acoustic monitoring and high temporal resolution sampling. *Remote sensing in ecology and conservation*. roč. 8, č. 1, s. 45-56.

- METCALF, Oliver; ABRAHAMS, Carlos; ASHINGTON, Bob; BAKER, Ed; BRADFER-LAWRENCE, Tom et al., 2022. *Good practice guidelines for long-term ecoacoustic monitoring in the UK*. 1. UK Acoustics Network.
- MORALES, Gabriel; VARGAS, Víctor; ESPEJO, Diego; POBLETE, Víctor; TOMASEVIC, Jorge A. et al., 2022. Method for passive acoustic monitoring of bird communities using UMAP and a deep neural network. *Ecological Informatics*. roč. 72, č. 10, s. -.
- MORFI, Veronica; BAS, Yves; PAMULA, Hanna; GLOTIN, Hervé a STOWELL, Dan, 2019. NIPS4Bplus: a richly annotated birdsong audio dataset. *PeerJ*. roč. 5, č. 223, s. -.
- MORFI, Veronica a STOWELL, Dan, 2018. Deep Learning for Audio Event Detection and Tagging on Low-Resource Datasets. *Applied sciences*. roč. 8, č. 8, s. -.
- NSF NEON, 2024. online. Dostupné z: <https://www.neonscience.org/>. [cit. 2024-04-10].
- OBRIST, Martin K.; PAVAN, Gianni; SUEUR, Jérôme; RIEDE, Klaus; LLUSIA, Diego et al., 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. In: *Manual on field recording techniques and protocols for all taxa biodiversity inventories*. 8. The Belgian Development Cooperation, s. 68-99. ISBN -.
- PERÉZ-GRANADOS, Cristian a TRABA, Juan, 2021. Estimating bird density using passive acoustic monitoring: A review of methods and suggestions for further research. *IBIS*. roč. 163, č. 3, s. 765-783.
- RECALDE, Nilo M.; ESTANDÍA, Andrea; PICHOT, Loanne; VANSSE, Antoine; COLE, Ella F. et al., 2023. A densely sampled and richly annotated acoustic dataset from a wild bird population. *BioRxiv*. roč. -, č. -, s. -.
- REIF, Jiří; TELENSKÝ, Tomáš; VOŘÍŠEK, Petr; VERMOUZEK, Zdeněk a FLOUSEK, Jiří, 2018. *Liniové sčítání druhů. Metodika pro spolupracovníky*. 1. Česká společnost ornitologická.
- SEDLÁČEK, Ondřej; VOKURKOVÁ, Jana; FERENC, Michal; DJOMO, Eric Nana; ALBRECHT, Tomáš et al., 2015. A comparison of point counts with a new acoustic sampling method: a case study of a bird community from the montane forests of Mount Cameroon. *Ostrich*. roč. 86, č. 3, s. 213-220.
- SHAW, Taylor; SCHÖNAMSGRUBER, Sina-Rebekka; CORDEIRO PEREIRA, João M. a MIKUSIŃSKI, Grzegorz, 2022. Refining manual annotation effort of acoustic data to estimate bird species richness and composition: The role of duration, intensity, and time. *Ecology and Evolution*. roč. 12, č. 11, s. -.
- SIEGEL, Rodney B., 2013. *Methods for Monitoring Landbirds: A Review Commissioned by Seattle City Lights Wildlife Research Advisory Committee (2000)*. 1. National Park Service. ISBN 978-1492826552.

- SÜDBECK, Peter; ANDRETTZKE, Hartmunt; FISHER, Stefan; GEDEON, Kai; SCHIKORE, Tasso et al., 2005. *Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands*. 1. Max-Planck-Institut für Ornithologie. ISBN 300015261X.
- SUGAI, Larissa Sayuri Moreira; RIBEIRO, José Wagner; LLUSIA, Diego a SILVA, Thiago Sanna Freire, 2019. Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *BioScience*. roč. 69, č. 1, s. 15-25.
- SUTHERLAND, William J.; NEWTON, Ian a GREEN, Rhys, 2004. *Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. 1. Oxford Uiverzity Press. ISBN 9780191036989.
- SVENSSON, Lars. *Ptáci Evropy, Severní Afriky a Blízkého východu*. 2. vydání. Plzeň: Ševčík, 2016. ISBN 978-80-7291-246-9.
- SYMES, Laurel B.; KITTLEBERGER, Kyle D.; STONE, Sophia M.; HOLMES, Richard T.; JONES, Jessica S. et al., 2022. Analytical approaches for evaluating passive acoustic monitoring data: A case study of avian vocalizations. *Ecology and Evolution*. roč. 12, č. 4, s. -.
- ŠŤASTNÝ, Karel; BEJČEK, Vladimír; MIKULÁŠ, Ivan a TELENSKÝ, Tomáš. *Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice 2014-2017*. Praha: Aventinum, 2021. ISBN 978-80-7442-130-3.
- THIBAUT, Katherine, 2020. *TOS Protocol and Procedure: BRD – Breeding Landbird Abundance and Diversity*. 1.
- Ústřední seznam ochrany přírody. Online. 2024. Dostupné z: <https://drusop.nature.cz/portal/>. [cit. 2024-04-13].
- VORŘÍŠEK, P.; KLVAŇOVÁ, A.; WOTTON, S. a GREGORY, R. D. (ed.), 2008. *A best practice guide for wild bird monitoring schemes*. 1st ed. Praha: česká společnost ornitologická. ISBN 978-80-903554-3-9.
- XIE, Jiangjian; ZHONG, Yujie; ZHANG, Junguo; LIU, Shuo; DING, Changqing et al., 2023. A review of automatic recognition technology for bird vocalizations in the deep learning era. *Ecological Informatics*. roč. 73, č. 1, s. -.
- ZWART, Mieke C.; BAKER, Andrew; MCGOWAN, Philip J. K. a WHITTINGHAM, Mark J., 2014. The Use of Automated Bioacoustic Recorders to Replace Human Wildlife Surveys: An Example Using Nightjars. *PLoS ONE*. roč. 9, č. 7, s. -.