

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra zoologie



**Sezónní změny a faktory ovlivňující hlasovou
aktivitu plcha velkého (*Glis glis*)**

Anna Bartoňová

Diplomová práce

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Zoologie

Forma studia: Prezenční

Olomouc 2022

Vedoucí práce: Mgr. Peter Adamík, Ph.D.

Bartoňová A. 2022. Sezónní změny a faktory ovlivňující aktivitu plcha velkého (*Glis glis*) [diplomová práce]. Olomouc: Katedra zoologie PřF UP v Olomouci. 36 s. Bez příloh. Česky.

Abstrakt

Pasivní akustický monitoring je stále častěji využívaná metoda, která je vhodná pro všechny živočichy se zvukovým projevem, ale především pro noční, kryptické nebo jinak špatně detekovatelné druhy. Ve své diplomové práci jsem se zaměřila na akustické projevy plcha velkého (*Glis glis*) v oblasti Nízkého Jeseníku během jeho aktivní sezóny od června do října v letech 2017 a 2018. Pozorovala jsem rozdíly v hlasové aktivitě mezi oběma roky i mezi jednotlivými měsíci. V roce 2017 byl vidět postupný nárůst jejich aktivity s vrcholem v srpnu, zatímco v roce 2018 byl vrchol aktivity v červnu s následným klesáním. Plší volání bylo též závislé na fotoperiodě a zpravidla se plši ozývali po západu a před východem slunce. S prodlužující nocí se tak prodlužovala také doba jejich aktivity. V červnu a červenci měla plší aktivita unimodální rozdělení a v srpnu se dalo pozorovat bimodální rozdělení. Na aktivitu plchů měl vliv také hluk okolí vyvolaný změnami v počasí a v roce 2018 byl zjištěn negativní vliv iluminace měsíce na délku volání. Dále jsem ověřila, že programy AM a AMViewer jsou vhodné pro akustický monitoring plcha velkého.

Klíčová slova: plch velký (*Glis glis*), pasivní akustický monitoring, hlasová aktivita, sezónní aktivita, cirkadiánní rytmy

Bartoňová A. 2022. Seasonal changes and factors influencing the activity of the edible dormouse (*Glis glis*) [diploma thesis]. Olomouc: Department of Zoology, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc. 36 pp. No appendices. Czech.

Abstract

Passive acoustic monitoring is an increasingly used method suitable for all animals producing sound but especially for nocturnal, cryptic or otherwise difficult to detect species. In my diploma thesis I focused on acoustic displays of the edible dormouse (*Glis glis*) in the area of Nížký Jeseník during its active season from June to October in year 2017 and 2018. I observed differences in vocal activity between the two years and between individual months. In 2017 I saw a gradual increase in their activity peaking in August, while in 2018 their activity peaked in June and was followed by a decline. Dormouse calling was also dependent on photoperiod and most of the times they called after sunset and before sunrise. As the night was longer their activity also lengthened. In June and July their activity had unimodal distribution and in August we could see bimodal distribution. Noise in the environment caused by changes in the weather also had an effect on the activity of dormouse. In 2018 I found negative influence of the illumination of the moon on the duration of calls. I also verified that the AM and AMViewer programs are suitable for acoustic monitoring of dormouse.

Key words: edible dormouse (*Glis glis*), passive acoustic monitoring, acoustic activity, seasonal activity

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Petera Adamíka, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Mgr. Peteru Adamíkovi, Ph.D za dobré vedení, čas a hlavně trpělivost. Práce byla podpořena studentskou grantovou soutěží Univerzity Palackého v Olomouci (IGA_PrF_2022_028 a IGA_PrF_2021_010).

Obsah

1	Úvod.....	2
1.1	Akustický monitoring.....	3
2	Cíle práce	9
3	Metodika	10
3.1	Lokalita.....	10
3.2	Sběr dat.....	10
3.3	Zpracování dat.....	10
4	Výsledky	13
4.1	Metodické srovnání výsledků.....	13
4.2	Vliv sezónních změn a faktorů na plší volání	15
5	Diskuze	26
6	Závěr	30
7	Literatura.....	31

Seznam obrázků

Obrázek 1 Spektrogram plšího volání zobrazený v programu AMViewer.	11
Obrázek 2 Porovnání kumulativní délky volání plchů za noc při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí. Noci 1-10 jsou z roku 2017 a 11-20 jsou z roku 2018.	13
Obrázek 3 Vztah mezi kumulativní délkou volání za noc zjištěnou při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí.	13
Obrázek 4 Porovnání počtu volání za noc při použití programu AMViewer a při fyzickém poslechu celých nocí na vzorci 20 nocí. Noci 1-10 jsou z roku 2017 a 11-20 jsou z roku 2018.	14
Obrázek 5 Vztah mezi počtem volání za noc zjištěný při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí.	14
Obrázek 6 Průměrný počet volání za hodinu na jednotlivých lokalitách v letech 2017 a 2018. Pro výpočet průměrného počtu volání byla použita délka noci (čas od západu do východu slunce) a počet volání za noc. Příмка zobrazuje průměrnou hodnotu počtu volání za hodinu ($0,87 \pm 1,38$ v roce 2017 a $2,40 \pm 1,85$ v roce 2018).	15
Obrázek 7 Průměrná délka jednoho volání v minutách na jednotlivých lokalitách v roce 2017 a 2018. Graf byl zbaven odlehlých hodnot kvůli lepší vizuální přehlednosti. Příмка zobrazuje průměrnou délku jednoho volání v minutách ze všech lokalit ($1,32 \pm 1,91$ min v roce 2017 a $1,41 \pm 1,94$ min v roce 2018).	16
Obrázek 8 Box plot počtu volání za hodinu v jednotlivých týdnech v sezóně. Příмка zobrazuje průměrnou hodnotu počtu volání za hodinu ($0,87 \pm 1,38$ v roce 2017 a $2,40 \pm 1,85$ v roce 2018).	17
Obrázek 9 Průměrný počet volání za hodinu v rámci sezóny v roce 2017 a 2018. Průměrný počet volání je počítán jako průměr ze všech lokalit v danou noc. Linie znázorňuje sedmidenní klouzavý průměr.	18
Obrázek 10 Průměrná délka volání v minutách za hodinu v rámci sezóny v roce 2017 a 2018. Průměrná délka volání je počítána jako průměr ze všech lokalit v danou noc. Linie znázorňuje sedmidenní klouzavý průměr.	19
Obrázek 11 Volání plchů v rámci sezóny vzhledem k západu slunce v roce 2017. Rozložení pořadových dní v rámci měsíců – červen 169-181, červenec 182-212, srpen 2013-243, září 244-273.	20
Obrázek 12 Volání plchů v rámci sezóny vzhledem k západu slunce v roce 2018. Rozložení pořadových dní v roce v rámci měsíců – červen 173-181, červenec 182-212, srpen 213-243, září 244-273, říjen 274-289.	20
Obrázek 13 Četnost volání v hodinovém intervalu od západu slunce v roce 2017 a 2018.	21
Obrázek 14 Četnost volání v hodinovém intervalu od západu slunce v jednotlivých měsících v roce 2017 a 2018. Osa x ukazuje četnost volání a osa y ukazuje hodinový interval od západu slunce.	22
Obrázek 15 Sezónní změna v délce volání v roce 2017. Obrázek ukazuje data a fitovaný model.	23
Obrázek 16 Sezónní změna v počtu volání za hodinu v roce 2017. Obrázek ukazuje data a fitovaný model.	24
Obrázek 17 Vztah mezi iluminací a délkou volání v roce 2018.	25

1 Úvod

Existuje mnoho metod pro monitoring živočichů, přičemž můžeme sledovat množství údajů, například početnost a strukturu populace, velikost domovského okrsku, aktivitu, chování a zdravotní stav zvířat. Metody můžeme rozdělit na přímé (invazivní), kdy při získávání dat přicházíme se zvířetem do kontaktu nebo s živočichem manipulujeme, a nepřímé (neinvazivní), kdy pro získání dat není zapotřebí manipulace ani kontakt s jedincem. Mezi přímé metody patří přímé pozorování, pasti, sítě, telemetrie, značkovací metoda, odchyt a lovecké záznamy. K nepřímým metodám řadíme fotopasti, otiskové tubusy, chlupové pasti, monitoring pobytových znaků, akustický monitoring, ale také dotazníky či rozhovory s místními lidmi, myslivci a správci chráněných území (Mackay 2008).

Při výběru správné metody je potřeba zvážit finanční náročnost, dopady na sledovaná zvířata (např. velikost vysílačky vzhledem k velikosti těla), vhodnost dané metody pro konkrétní druh, charakteristiku prostředí a v neposlední řadě, jestli má daný druh denní nebo noční aktivitu. Mnoho studií podporuje tvrzení, že například pro větší přesnost detekce druhu a jeho početnosti je dobré zvolit více metod, to však v mnoha případech není možné a je tedy o to důležitější zvolit nejvhodnější metodu.

Mezi nejjednodušší přímé metody patří pozorování, při kterém můžeme kromě velikosti populace také zjistit složení populace nebo chování jednotlivců. Další často používanou metodou jsou pasti, které můžeme rozdělit na ty, které živočicha usmrtí, a živolovné, kde živočich přežije. Živolovné pasti jsou považovány za klíčové při monitoringu malých savců (Burt et al. 2021). Živolovné pasti také poskytují příležitost pro označení jedince či upevnění telemetrického zařízení, které umožňuje další sledování jedince (Barea-Azcón 2006).

Různé údaje můžeme efektivně získat i bez toho, abychom přišli se zvířetem do kontaktu. Oblíbená metoda pro jednoduchost provedení a poměrně malou časovou náročnost je hledání pobytových stop (např. škrábane, výkaly, srst, peří, doupata, nory či hnízda). Někdy však tato metoda může být poměrně náročná, záleží na povaze terénu a vytyčené vzdálenosti, hledání pobytových znaků také mohou ztěžovat určité druhy, které skrývají své pobytové stopy. Transekty s hledáním pobytových stop se ukázaly efektivní u středních a větších savců.

Další významná metoda jsou fotopasti, které mohou zaznamenávat současně více druhů, což je důležité při multidruhovém monitoringu. Mezi další výhody patří, že běží po dlouhou dobu, jsou schopny fungovat ve většině počasí a vegetačních struktur. Na druhé straně je většinou zapotřebí větší počáteční investice a časová náročnost zpracování nasbíraných dat. Fotopasti se většinou používají pro střední a velké savce, kde mohou být užitečné u detekování ohrožených, nočních či kryptických živočichů (Burt et al. 2021).

Pro druhy živočichů s výrazným a charakteristickým hlasovým projevem můžeme použít také akustický monitoring. Ten se využívá zejména ve špatně přístupných oblastech (např. ve vodním prostředí, pod vrstvou zeminy nebo listí,

uprostřed pralesa nebo v arktických oblastech), u nočních živočichů nebo v případě, kdy jsou ostatní metody drahé, nebezpečné nebo nemožné z důvodu ochrany (Marques et al. 2013)

1.1 Akustický monitoring

Akustické projevy živočichů mohou být vysoce informativní, lze z nich zjistit nejenom zařazení do druhu, ale také početnost, umístění jedinců, velikost těla nebo motivaci jedinců vyluzujících daný zvuk (Sugai et al. 2019). Zvuková stopa je poté ovlivněna také váhou, pohlavím, stářím, fyzickou kondicí, emocemi a hladinou hormonů daného jedince. Někdy může vokální projev signalizovat kvalitu prostředí, reprodukční úspěch nebo postavení jedince.

Zvuková komunikace bývá živočichy používána v různých situacích – při sexuální komunikaci, rozpoznávání partnera či rodiče/mláďete, zachování teritoria nebo při koordinaci ochrany před predátory. Jedinci také často mohou tyto signály použít při vyhodnocení potenciálního partnera či soupeře, například mohou takto zjistit přibližnou velikost jedince a vyhodnotit, jestli chtějí pokračovat v agresi či ustoupit (Taylor a Reby 2010). Zvuky mohou být také zvířaty použity pro navigaci v prostoru (např. echolokace) nebo neúmyslně vydávány např. při shánění potravy (Teixeira et al. 2019).

Vokalizace se může měnit i na základě dané situace. Jedinci s přátelskými úmysly vydávají výše posazené zvuky a jedinci s nepřátelskými úmysly vydávají níže posazené zvuky. Vyšší rychlost volání, délka a intenzita je u některých druhů (např. svišťů a surikat) spojována s urgentní nebezpečnou situací a pomalejší rychlost volání s kratší délkou je spojována s klidnými situacemi (Taylor a Reby 2010).

Byla také vyslovena hypotéza, že v čím větší skupině zvířata žijí, tím komplexnější je jejich vokální komunikace. Toto bylo úspěšně testováno u pozemních veverkovitých hlodavců, netopýrů, primátů, velryb, vyder, surikat a promyk červených (Lima et al. 2018).

Zvuková komunikace může být také ovlivněna hlučností daného prostředí. Lombardův efekt popisuje případy, kdy zvířata v hlučnějším prostředí mají tendenci upravovat svůj zvukový projev, aby kompenzovali okolní hluk. Například slavík obecný zpíval v hlučnějším místě s vyšší hladinou zvuku (zvyšovala se amplituda), přičemž nebyly nalezeny morfologické rozdíly (velikost těla, váha, atd.) mezi jedinci v hlučnější a klidnější oblasti (Brumm 2004). Kosman bělovousý v hlučném prostředí zvýšil nejen amplitudu volání, ale také jeho délku (Brumm et al. 2004).

Zvuky se navíc mohou šířit v mnoha směrech na poměrně velké vzdálenosti i přes fyzické překážky, což činí zvířata všeobecně více detekovatelné sluchem než zrakem (Sugai et al. 2019). Ve vodním prostředí je zvukový projev často hlavní způsob komunikace, čehož se dá využít v akustickém monitoringu (Gottesman et al. 2020).

Pasivní akustický monitoring (PAM) je metoda, při níž se využívají zvuky vydávané živočichem (ať už úmyslně nebo jako vedlejší produkt jeho aktivity) k výzkumu daného druhu či populace (Desjonquères et al. 2020). Může se jednat o přesnou, cenově a časově dostupnou metodu s velkou aplikovatelností u všech

akusticky se projevujících druhů, zejména však u kryptických, vzácných a jinak těžko pozorovatelných druhů (Teixeira et al. 2019).

Dříve se při akustickém monitoringu využívalo lidí, kteří byli na dané lokalitě a v reálném čase zaznamenávali zvukovou aktivitu zvířat, nejčastěji při průchodu transektem (Marques et al. 2013). V dnešní době se stále více rozvíjejí nové metody monitoringu zvířat s použitím moderních technologií (např. nahrávací zařízení, fotopasti, DNA barcoding, atd.), což má za následek upouštění od předchozích metod.

Použití nahrávacích zařízení má množství výhod – možnost pokrytí větší plochy a časového úseku, zmenšení chyby pozorovatele a rozdílu mezi pozorovateli, dlouhodobé uložení nahrávek z terénu, které umožňují pozdější digitální analýzu, úspora času a peněz, minimalizace narušení habitatu (Sheng et al. 2019, Sugai et al. 2019). Dále také může výskyt člověka na dané lokalitě ovlivnit výsledky pozorování – někteří živočichové jsou člověkem přitahováni a může například dojít k nadhodnocení hustoty populace nebo naopak se člověku vyhýbají a v takovém případě dojde k podhodnocení odhadu populace (Marques et al. 2013).

Při PAM je v dnešní době zapotřebí provést několik kroků – pořízení nahrávky, její uschování, analýza zaznamenaných zvuků a propojení zvukových projevů se zkoumanými proměnnými (Desjonquères et al. 2020). Design výzkumů používajících PAM se značně liší na základě vědomostí a zkušeností výzkumníků s daným druhem a je tedy často nepřenositelný mezi biologickými skupinami nebo vědeckými cíli (Gibbs et al. 2019, Sugai et al. 2020). Například při výzkumu konkrétního druhu je prostorové vzorkování ovlivněno domovským okrskem, využitím habitatu a intenzitou zvukového projevu daného druhu (Sugai et al. 2020).

V poslední době se dále rozvíjejí autonomní nahrávací zařízení, která umožňují bezúdržbové nahrávání po delší dobu s delší výdrží baterie a nastavitelnou dobou nahrávání. Díky tomu pasivní akustický monitoring s neobsluhovanými nahrávacími zařízeními poskytuje možnost pro dlouho trvající a cenově dostupný monitoring (Sugai et al. 2019).

Při sběru dat pomocí nahrávacích zařízení se využívají dvě možnosti: off-line nahrávací zařízení, která vyžadují ruční sběr dat za určitou časovou jednotku, nebo bezdrátová senzorová síť (wireless sensor network = WSN), která zasílá nezpracované audio nahrávky do centrálního uzlu pro akustickou analýzu.

WSN jsou stále v rozvoji, ale již vznikají ucelené systémy, které mohou sloužit jako zdroj inspirace a informací pro další studie. Například v roce 2020 bylo prezentováno SAFE Acoustics, což je autonomní akustický monitorovací systém zavedený na Borneu, kde je audio v přímém přenosu nahráváno z lokalit, indexováno centrální databází a posíláno na webovou stránku přístupnou veřejnosti. Tento systém má být využit pro zjišťování efektu kácení stromů a konverze zemědělské půdy na biodiverzitu a ekosystémovou stabilitu. Dále také slouží jako podklad pro další studie, jelikož autoři dodávají přehled všech technologií, které použili (Sethi et al. 2020).

Nevýhoda off-line zařízení je, že vyžadují periodický sběr dat, což navyšuje odpracovaný čas a ztěžuje monitoring v odlehlých nebo těžko přístupných oblastech (Sheng et al. 2019). Na druhou stranu jsou tato zařízení většinou cenově dostupnější a jednodušší na zavedení.

Nahrávací zařízení poté může být napojené na kabely nebo bezdrátové. Další možností je umístit zařízení přímo na zvíře, což umožňuje monitorovat zvukovou aktivitu daného druhu (Marques et al. 2013). Specifickou metodou je akustická telemetrie, kdy je na zvíře umístěn vysílač, který vydává zvukový signál, který je následně zachycen akustickým přijímačem (Pillans et al. 2021).

Mnoho druhů má specifické vzorce akustické aktivity. Například při zpěvu ptáků za rozbřesku má každý druh specifické časové okno, během něhož vokalizuje (Dabelsteen a Mathevon 2002). Důležitá je tak volba nahrávacího rozvrhu, který nejlépe vyhovuje aktivitě daného druhu. Temporální vzorce v akustické aktivitě jsou pozorovatelné jak v terestrických, tak ve vodních prostředích, a to nejenom v rámci dne, ale také sezóny (Desjonquères et al. 2020).

Jelikož je nepřetržitý 24-hodinový monitoring většinou nevýhodný, protože snižuje autonomii nahrávacího zařízení a zkracuje dobu, po kterou zařízení může pracovat bez obsluhy, využívají se naprogramovaná okna nahrávání, která odpovídají největší akustické aktivitě zkoumaného druhu (Sugai et al. 2020, Sugai et al. 2019). Nejčastěji se studie využívající PAM zaměřují na noc a úsvit, jelikož zkoumaná zvířata bývají nejčastěji noční (Sugai et al. 2019).

Dále je zapotřebí při dlouhodobých studiích zvolit dostatečnou periodu nahrávání, která zahrne sezónní variabilitu v aktivitě druhu (Shearin et al. 2006), například u druhů, na které má vliv lunární fáze a intenzita osvětlení (např. netopýři Lang et al. 2006, obojživelníci Onorati a Vignoli 2017). Delší doba nahrávání také zvyšuje pravděpodobnost detekce druhu (Sugai et al. 2020).

Velkou roli při sestavování designu akustického monitoringu hraje prostorová heterogenita (Desjonquères et al. 2020). Již bylo několikrát prokázáno, že v terestrickém prostředí může heterogenní krajina zapříčinit nerovnoměrnou distribuci zvuku (např. Mullet 2017, Tucker et al. 2014). Oblast, ve které je daný zvukový signál zaznamatelný nahrávacími zařízeními, vysoce ovlivňuje detektabilitu druhu a je klíčová při standardizování PAM (Sugai et al. 2020). Tato oblast se liší v závislosti na charakteristice daného zvuku, senzitivitě nahrávacích zařízení a vlastnostech prostředí (Desjonquères et al. 2020). Zjistit se dá například přehráváním zvuku v různých vzdálenostech a směrech od nahrávacího zařízení (Sugai et al. 2020).

Poté je zapotřebí nutné zvolit počet nahrávacích zařízení. Všeobecně se pro populace, jejichž zvukové projevy jsou shloučené (např. u zvířat využívajících leky) používá jedno nahrávací zařízení. Více nahrávacích zařízení je vhodných u populací s menší prediktabilitou distribuce jako jsou například populace vysoce pohyblivé a solitérní druhy nebo u pohybujících se hejn, druhů s explozivními vzorci aktivity či při nízké hustotě populace. Navíc zde působí heterogenita prostředí, kdy rozmístění více

nahrávacích zařízení může vést k větší prostorové replikovatelnosti a detektabilitě druhu.

Použití více nahrávacích zařízení je často klíčové pro detekci zvukových signálů a zohlednění efektů prostředí na biodiverzitu (např. v nezalesněných oblastech a plochých pobřežních oblastech byla zjištěna větší detektabilita druhů), chování živočichů a dynamiku jednotlivých zvukových projevů (Sugai et al. 2020). Mimo jiné existují systémy využívající více nahrávacích zařízení na lokalitě k identifikaci místa, odkud zvuk přichází. Děje se tak na základě fázového rozdílu zvukových vln, které dorazí do jednotlivých zařízení (Hedley et al. 2017).

Větší počet nahrávacích zařízení však může být limitující faktor pro výzkumníky, což se v některých případech řeší systémem rotování nahrávacích zařízení. Toto nicméně neumožňuje simultánní nahrávání na více lokalitách, což může při měnícím se počasí nebo sezóně vést k chybě. V review od Sugai et al. (2020), která zkoumala 460 studií využívajících PAM v terestrickém prostředí v letech 1992 až 2018, byl většinou použit jeden nahrávač na lokalitu, byla pokryta velká plocha, nahrávač byl vyměňován mezi lokalitami a byla využívána statická nahrávací zařízení.

Poté, co jsou data nasbírána, je důležité je správně uložit a archivovat, abychom se vyhnuli ztrátám, což je u PAM poměrně obtížné kvůli potenciálně velkému množství dat. Počet zvukových archivů se neustále zvyšuje a stávají se veřejnosti dostupné zdroje pro ukládání zvuků a jejich sdílení. Největší a dobře známý archiv je Macaulay Library na Cornellově Univerzitě (Desjonquères et al. 2020). Zvukové záznamy po určitý čas mohou být také považovány za historické záznamy ekosystému a to speciálně v oblastech, kde probíhá intenzivní změna ve využívání půdy nebo klimatu (Sugai et al. 2020).

Posledním krokem je akustická analýza, kdy z nahrávek extrahujeme biologické informace a to buď manuálně, semiautomaticky nebo automaticky. Ve většině případů se analýza provádí manuálně (např. manuální měření akustických parametrů, vizuální nebo akustická inspekce spektrogramů). U automatizované analýzy speciální program rozeznává akustický projev daného druhu (Sugai et al. 2019), na což využívá složité techniky jako párování šablony nebo strojové učení. Existuje mnoho metod a mohou být buď pod dohledem člověka, když je zkoumaný signál neznámý, nebo bez dohledu s použitím předchozí databáze (Desjonquères et al. 2020).

Plně automatizované analýzy jsou zatím pro většinu skupin živočichů teprve vyvíjeny a testovány. Právě jsou v terestrickém prostředí většinou využívány pro výzkum netopýrů a to z toho důvodu, že existuje několik softwarových balíčků, které obsahují klasifikační algoritmy a knihovny pro automatické rozpoznávání druhů netopýrů (např. Analook a Batsound). Manuální analýza tak zůstává užitečná v případech, kdy má automatická analýza špatné výsledky (např. při překrývajících se vokalizacích; Sugai et al. 2019).

Existuje ještě speciální případ, kdy se data analyzují na lokalitě v daném nahrávacím zařízení a k nám se poté dostává pouze celková statistika (například ekoakustické indexy; Sheng et al. 2019), čímž se šetří místo na uložení (Marques et al.

2013). Přestože to znamená trvalou ztrátu zvukových nahrávek, Sheng et al. (2019) tvrdí, že tento přístup má potenciál změnit podstatu monitoringu biodiverzity a ukazují nízkonákladový způsob jeho provedení. Toto může být užitečné převážně při monitorování ohrožených druhů nebo identifikace nelegálního kácení stromů či lovu zvířat v chráněných oblastech, jelikož zpracované indexy mohou dorazit na server chvíli po nahrání.

Akustický index je statistický údaj, který shrnuje některý aspekt distribuce akustické energie a informace v nahrávce (Towsey et al. 2014). Existují dva hlavní typy indexů – α a β . Alfa indexy kvantifikují určitý aspekt jednoho soundscape (= kolekce všech zvuků vyskytujících se na daném místě v zvoleném časovém rámci, která je složena z biologických, geofyzických a antropogenních zvuků; Gottesman et al. 2020), zatímco beta indexy slouží ke srovnání mezi více soundscapes (Desjonquères et al. 2020). Indexy bývají používány pro diverzitu a početnost druhu, průměrný geometrický index nebo relativní početnost, druhovou bohatost, Simpsonův nebo Shannonův index, atd. (Depraetere et al. 2019).

Výsledky PAM jsou často srovnatelné s jinými způsoby monitoringu, jako je například zkoumání pobytových znaků (zanechaný trus u slonů, Thompson et al. 2010) nebo vizuální pozorování (bukač australský, Williams et al. 2018). V jiných případech však poskytuje pravdivější náhled na skutečnou velikost populace (Jurczyszyn 1995, Lambert a McDonald 2013), rozsah doletové vzdálenosti (Kofoky et al. 2007) nebo přítomnost druhu – byl zachycen kryptický druh ryby v místech, kde probíhaly vizuální studie na měsíční bázi po několik desetiletí, a přesto tento druh nikdy nezaznamenali (Picciulin et al. 2019). Dále například pářící zvukové signály se ukázaly jako efektivní způsob rozlišování mezi sesterskými kryptickými druhy hmyzu, žab, ptáků a netopýřů (Bickford et al. 2007).

Zatím byly studie využívající akustický monitoring prováděny převážně v mořském prostředí a sloužili například k detekci přítomnosti druhu, odhadu populační dynamiky, měření domovského okrsku, určení vzorců aktivit a pohybových tras (Sugai et al. 2019). Tomuto odpovídá i fakt, že zatím jediný živý celosvětový PAM dostupný systém je projekt Listening to the Deep Ocean Environment (LIDO), který umožňuje dlouhodobé monitorování mořských zvuků prostředí společně se zvuky vydávanými mořskými savci (André et al. 2011). Studie v mořském prostředí byly prováděny v otevřených oceánech (např. Parks et al. 2014), korálových útesech (např. Bertucci et al. 2015) nebo na pobřeží (např. McWilliam a Hawkins 2013).

V poslední době se však stále více využívají i pro terestrické výzkumy a to hlavně díky neustále dostupnějším nahrávacím zařízením. V posledním desetiletí počet terestrických studií využívajících PAM exponenciálně roste a jsou využity širokým spektrem studijních oblastí, zkoumaných organismů, lokalit a metodik (Sugai et al. 2019).

Většina terestrických studií na základě PAM je prováděna v severním mírném pásmu (primárně v Severní Americe a Evropě), s menším množstvím studií provedených v tropickém a jižním mírném pásmu. Najdeme tak studie z tropických

pralesů (např. Rodriguez et al. 2014), lesů mírného pásma (např. Depraete et al. 2012), urbanistických oblastí (např. Pieretti a Farina 2013) nebo plání (např. Mullet et al. 2015). Hlavní zkoumané organismy pomocí terestrického PAM jsou netopýři, následování ptáky, žábami, nelétavými savci a členovci, přičemž některé další studie se zabývají soundscape (Sugai et al. 2019).

Díky automatickým nahrávkám se akustický monitoring stává stále více populární pro zjišťování přítomnosti druhu, bohatosti druhů, velikosti populace a hustotě populace (Teixeira et al. 2019). PAM je vhodný pro výzkum ohrožených druhů a jejich odpovědi na měnící se prostředí, což nám poskytuje podklady pro vývoj strategií na ochranu divoké přírody, například studie týkající se lovení zvířat (Astaras et al. 2017) nebo odpovědi druhů na antropogenní vlivy (Gil et al. 2014). Mimo jiné může být PAM použit ke zjištění vztahů mezi různými druhy, například zaznamenávání varovných volání kořisti nebo změny akustické aktivity kořisti po přiblížení se predátora (Symes et al. 2018). Existují již také studie, které pomocí akustického monitoringu zjišťují zdraví a prosperitu živočichů (např. McLoughlin et al. 2019).

Akustický monitoring je využíván také v ČR a na Slovensku, přičemž akustickým mapováním se v současnosti zabývá Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Správa národního parku Malá Fatra, Vlčí hlídky při Hnutí Duha, Český svaz ochránců přírody a Česká společnost ornitologická. Ze savců tak byly například zaznamenán vlk obecný nebo plch velký (Krajča et al. 2018).

V budoucnu bude pravděpodobně počet studií využívajících PAM dále narůstat, především díky stále více dostupným technologiím a rozvíjejícím se metodickým postupům. Zejména dlouhotrvající výzkumy jsou vhodné pro využití PAM, jelikož náklady jsou po počáteční investici relativně nízké (Sugai et al. 2019). Zařízení pro akustický monitoring mohou být navíc přidány k již existujícím monitorovacím stanicím a poskytnout tak doplňující data o akusticky aktivních druzích (Thomas a Marques 2012).

Pro další rozvoj PAM je zapotřebí se vypořádat s nestandardizovanými monitorovacími metodami, časově náročnou akustickou analýzou a limitovanými sdílenými zdroji. Vytváření generalizovaných metod v PAM je stále poměrně náročné, ale do budoucna by bylo vhodné, aby vznikaly například generalizované procedury pro dhad detektability druhu, protokoly pro vytváření vhodných nahrávacích rozvrhů nebo pokyny pro optimalizované nastavení audia. Další překážkou při využívání PAM je velké množství dat, které je zapotřebí zpracovat. Byl by tedy vhodný další rozvoj automatizace úkonů, jako je detekce a rozpoznání druhu (Sugai et al. 2019). Nutný je také vznik a rozšiřování dostupných zvukových knihoven, jako je například ARBIMON, který na své webové stránce umožňuje uživatelům přehrávat, poslouchat nebo komentovat nahrávky (Aide et al. 2013). V neposlední řadě je také důležité rozvíjet naše znalosti ohledně akustické aktivity konkrétních druhů či schopnost detekovat, klasifikovat a lokalizovat dané zvuky (Thomas a Marques 2012).

2 Cíle práce

Cílem mé diplomové práce je popsat změny v počtu a délce volání plcha velkého v rámci noci a sezóny. Dále pak vyhodnotit faktory, které ovlivňují plší volání, jako je hluk v nahrávce a iluminace měsíce. V neposlední řadě také porovnávám údaje získané při použití programu AMViewer a při fyzickém poslechu celých nocí.

3 Metodika

3.1 Lokalita

Studovaná lokalita se nachází mezi obcemi Dlouhá Loučka a Rýmařov v jihozápadní části Nízkého Jeseníku v nadmořské výšce 300 – 500 m n. m. Území pokrývají smíšené lesy s převahou listnatých stromů, kdy jsou nejvíce početné tyto druhy: dub zimní (*Quercus petraea*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a habr obecný (*Carpinus betulus*).

V roce 2017 bylo území rozděleno na 6 dílčích lokalit, které se od sebe v průměru nacházely 1,36 km a byly průměrné nadmořské výšce 459 m n. m. Souřadnice dílčích lokalit jsou: Sovinec 49°49' 38" S 17°13' 26" V (499 m n. m.), Krmelec 49°49' 49" S 17°12' 52" V (448 m n. m.), Oslava 49°50' 49" S 17°13' 10" V (395 m n. m.), Sutrak 49°51' 35" S 17°14' 11" V (441 m n. m.), Čáp 49°52' 22" S 17°14' 39" V (453 m n. m.) a Strálek 49°53' 26" S 17°14' 47" V (520 m n. m.).

V roce 2018 bylo území rozděleno na 4 dílčí lokality, které se od sebe v průměru nacházely 1,09 km daleko a byly v průměrné nadmořské výšce 415 m n. m. Dílčí lokality se nacházejí na souřadnicích: Krmelec 49°49' 49" S 17°12' 52" V (499 m n. m.), Křivá 49°50' 15" S 17°11' 40" V (367 m n. m.), Křižovatka 49°49' 39" S 17°12' 60" V (420 m n. m.), Kaštan 49°49' 35" S 17°12' 43" V (375 m n. m.).

3.2 Sběr dat

Data byla na lokalitách sbírána od června do října pomocí diktafonů Olympus DM-650 s použitím 16GB SD karty. Na nahrávací zařízení byly napojeny olovené akumulátory (12V; 3,4 Ah; výdrž přibližně 261 h nepřetržitého nahrávání) a byly chráněny protivětrným krytem Samson WS-1.

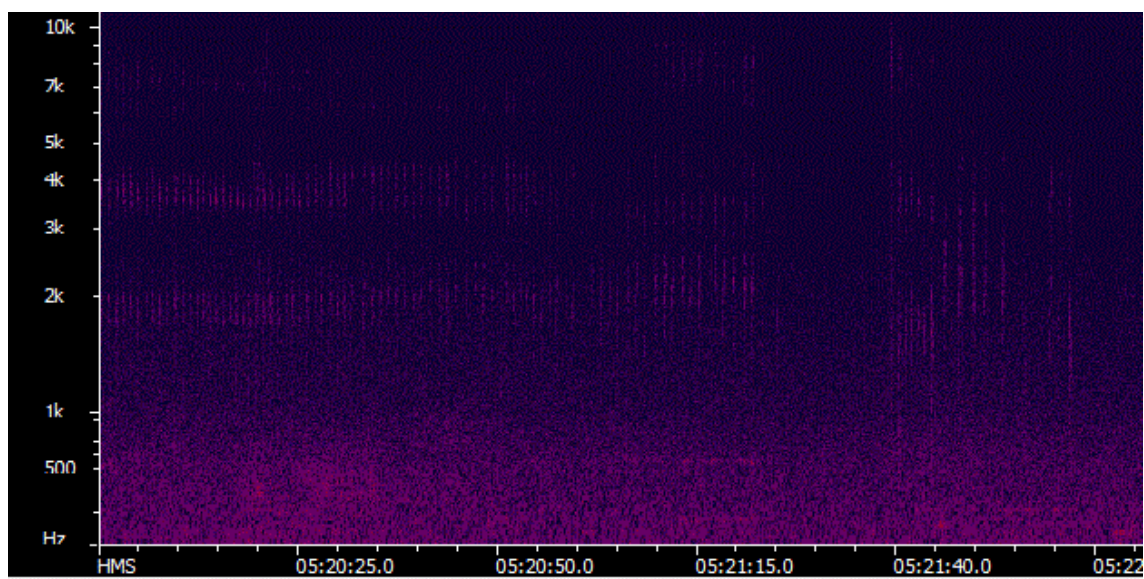
V roce 2017 byly pořizovány zvukové záznamy v době od 18. 6. do 1. 10. v čase 19:00 až 5:30 (10,5 hodin zvukového záznamu) kromě období 11. 9. do 1. 10. Na lokalitě Krmelec, kdy byly nahrávky pořizeny v čase 19:00 až 6:30 (11,5 hodin zvukového záznamu).

Zvukové záznamy v roce 2018 byly získány v době od 22. 6. do 25. 7. v čase 20:00 až 5:30 (9,5 hodin zvukového záznamu) a od 19. 8. do 2. 10. v čase 19:00 až 7:00 (12 hodin zvukového záznamu) na lokalitě Krmelec, od 6. 7. do 16. 10. v čase 19:00 až 7:00 (12 hodin zvukového záznamu) na lokalitě Křivá, 7. 7. – 31. 8. v čase 19:00 – 5:30 (10,5 hodin zvukového záznamu) a 1. 9. – 10. 9. v čase 19:00 – 7:00 (12 hodin zvukového záznamu) na lokalitě Kaštan, 7. 7. – 21. 8. v čase 19:00 – 5:30 (10,5 hodin zvukového záznamu) a 22. 8. – 13. 9. v čase 19:00 – 7:00 (12 hodin zvukového záznamu) na lokalitě Křižovatka. Z důvodu překousaných kabelů nebo jiných technických obtíží nebyly zaznamenány všechny dny, kdy bylo naplánováno nahrávání, či všechny lokality.

3.3 Zpracování dat

Zvukové nahrávky byly pořizeny ve formátu WMA a zpracovány v programu AM pro vyhodnocení v programu AMViewer (Savický 2006). Program AM nahrávky převedl do 5minutových úseků, které zobrazil pomocí spektrogramu ve formátu GIF,

a ty spojil se zvukovou stopou. Takto upravené nahrávky se zobrazovaly pomocí programu AMViewer (viz obrázek 1).



Obrázek 1 Spektrogram plšího volání zobrazený v programu AMViewer.

Hlasovou aktivitu plcha velkého jsem zaznamenávala jako tzv. plší volání, tj. charakteristický zvukový projev plcha velkého. Zvuky, které nemohly být jednoznačně identifikovány jako zvuky vydávané plchem (např. konzumace potravy, šramocení v listí, funění, příliš vzdálené volání), nebyly zaznamenány. Byl vždy zaznamenán začátek a konec plšího volání v rámci pěti vteřin. Poslední volání bylo zaznamenáno v době, kdy od posledního zvukového projevu plcha velkého uplynulo 30 vteřin bez dalšího volání. Jedno volání tedy obsahuje dobu, po kterou se plši ozývaly, nikoliv hlasový projev jediného plcha. Data byla zaznamenána do hromadné tabulky v programu Excel (MS Office) a statisticky se vyhodnocovala v programu R.

Pro vyhodnocení využitelnosti programu AM a AMViewer bylo v každém roce náhodně vybráno 10 nocí, u kterých byly fyzicky poslouchány celé nahrávky bez použití programu AMViewer.

Pro rok 2017 byly z portálu United States Naval Observatory získány časy východů a západů Slunce na lokalitě (Astronomical Applications Department U.S. Naval Observatory, 2019). Informace o východech a západech Slunce pro rok 2018 byly získány z internetové stránky timeanddate.com (Time and date AS, 2021).

Pro vyhodnocení vlivu měsíce byly využity informace o východu a západu měsíce, fázi měsíce a iluminaci ze stránky timeanddate.com (Time and date AS, 2021) pro roky 2017 i 2018.

Při posuzování vlivu míry hlučnosti byl použit program Audacity® verze 2.1.3, z něhož jsem získala hodnotu RMS. RMS (= root mean square) je metoda výpočtu číselné hodnoty pro průměrnou hladinu zvukových vln. Hodnota RMS odpovídá přibližně tomu, jak hlasitě daný zvuk zní v zadaném časovém úseku (Audacity 3.3 Manual, 2022).

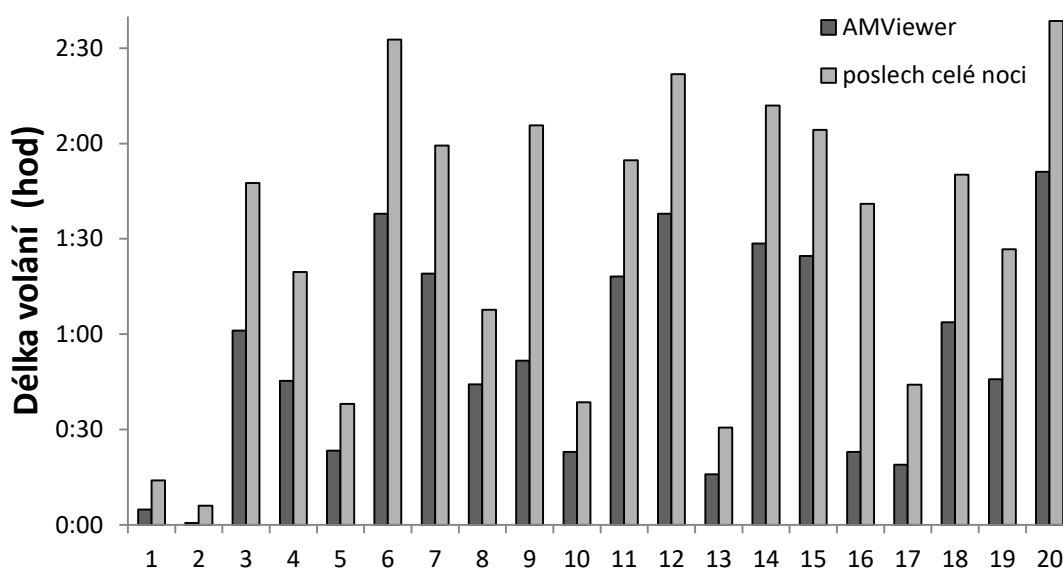
Pro exploraci vztahu mezi iluminací měsíce, okolním hlukem a sezonalitou jsem použila lineární modely v programu R. Jako závislé proměnné jsem použila počet plších volání přepočtený na hodinu noci a délku volání v min přepočteny na hodinu. Přepočty na hodinu umožnily odfiltrvat sezónní změny v délce noci. V každém modelu byl vložený fixní efekt iluminace, RMS a dne roku. Den roku byl vždy nejprve testován jako polynom druhého stupně $\text{poly}(\text{DOY}, 2)$. V případě jeho nevýznamnosti jsem použila lineární efekt. Pro modely s iluminací a hlukem byla použita pouze lokalita Krmelec, jelikož z ní pocházely nahrávky z obou let a jednalo se o lokalitu s nejvyšší aktivitou plcha.

4 Výsledky

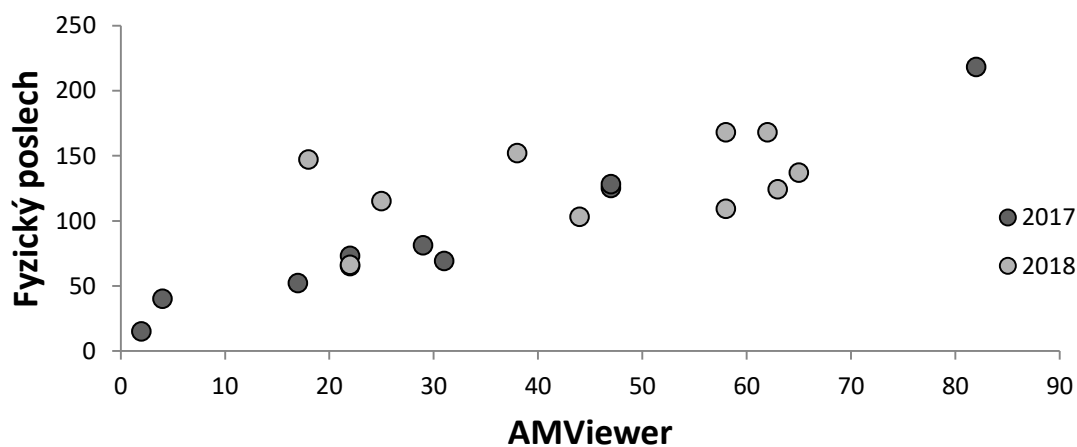
4.1 Metodické srovnání výsledků

Délka volání z jednotlivých nocí zjištěná při použití programu AMViewer silně korelovala s délkou volání z jednotlivých nocí zjištěná při poslechu celé noci. V roce 2017 vychází korelační koeficient 0,96; $P < 0,001$ a v roce 2018 je korelační koeficient 0,92; $P = 0,0018$ (obrázek 3).

V průměru je délka volání zjištěná pomocí poslechu celých nocí 2,3krát větší než délka volání zjištěná pomocí programu AMViewer. Násobící koeficient pro rok 2017 vychází 2,7 a pro rok 2018 je 2.

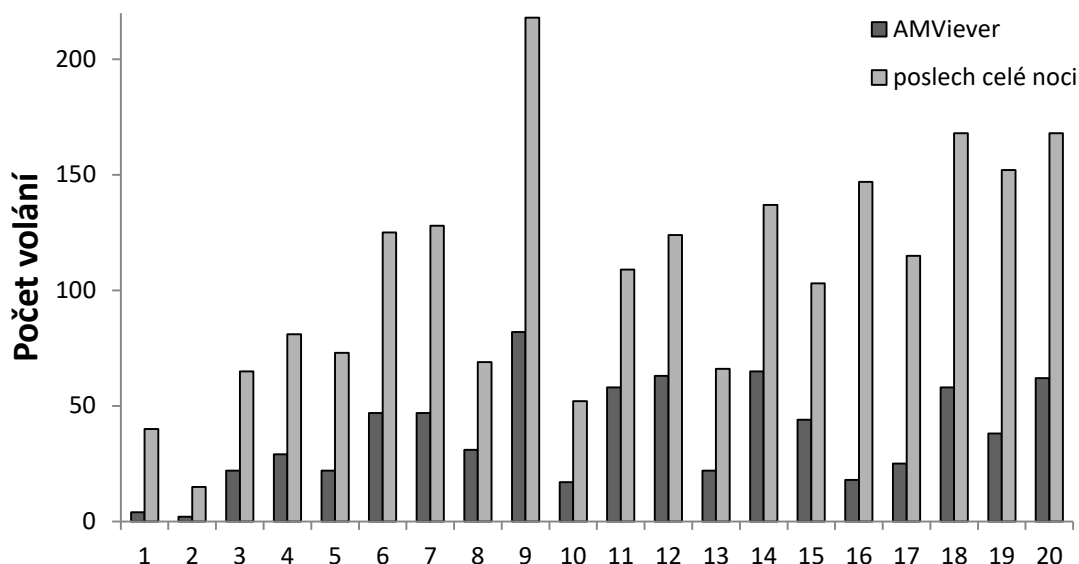


Obrázek 2 Porovnání kumulativní délky volání plchů za noc při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí. Noci 1-10 jsou z roku 2017 a 11-20 jsou z roku 2018.

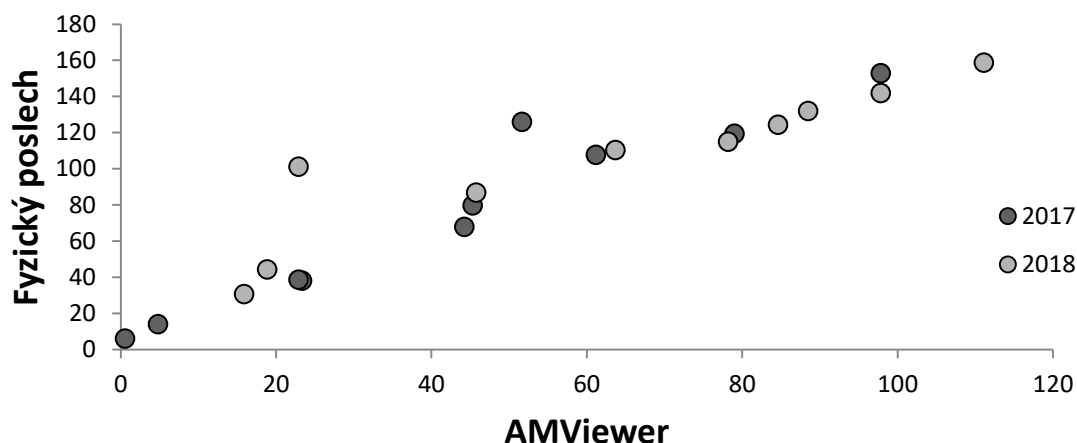


Obrázek 3 Vztah mezi kumulativní délkou volání za noc zjištěnou při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí.

Na druhou stranu počet volání z jednotlivých nocí zjištěný pomocí programu AMViewer a počet volání z jednotlivých nocí zjištěný při poslechu celých nocí spolu silně koreloval pouze v roce 2017, kdy korelační koeficient vychází 0,99; $P < 0,001$. Zatímco korelační koeficient pro data z roku 2018 vychází pouze 0,39; $P = 0,261$ (obrázek 5).



Obrázek 4 Porovnání počtu volání za noc při použití programu AMViewer a při fyzickém poslechu celých nocí na vzorke 20 nocí. Noci 1-10 jsou z roku 2017 a 11-20 jsou z roku 2018.



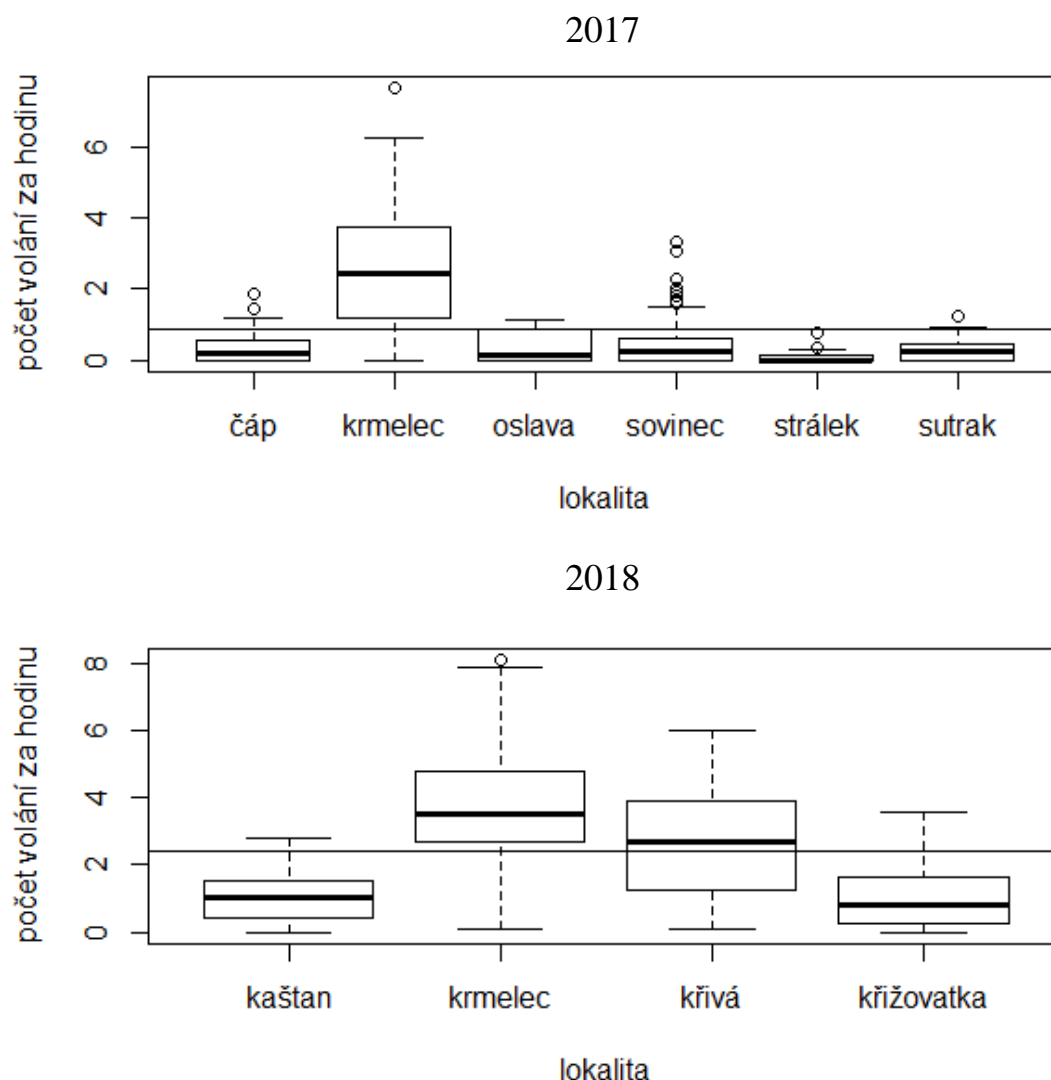
Obrázek 5 Vztah mezi počtem volání za noc zjištěný při použití programu AMViewer a fyzickém poslechu celých nocí.

Počet volání a délka volání spolu silně korelovaly v obou letech, korelační koeficient byl 0,88; $P < 0,001$ v roce 2017 a 0,86; $P < 0,001$ v roce 2018. Podobně vypovídající jsou tedy jak údaje o počtu volání, tak délce volání. Přesto jsou z důvodu nižší korelace při ověření pomocí fyzického poslechu celých nocí většinou uváděny jak údaje o počtu volání, tak i o délce volání.

4.2 Vliv sezónních změn a faktorů na plší volání

Pro tento úsek výsledků byly použity údaje získané s použitím programu AM a AMViewer. Vokalizace plcha byla zaznamenána v letech 2017 i 2018 na všech lokalitách, přestože se celkový počet i délka volání na jednotlivých lokalitách značně lišily. Celkově bylo zaznamenáno 3 503 volání v roce 2017 a 5 867 volání v roce 2018. Nejvíce volání se objevilo na Krmelci, 2 551 volání v roce 2017 a 2 807 volání v roce 2018. V roce 2017 bylo nahráno 502 nocí, z čehož se 288 nocí ozval minimálně jeden plch (57 %) a v roce 2018 bylo nahráno 256 nocí, z nichž se v 241 nocích ozval minimálně jeden plch (94 %).

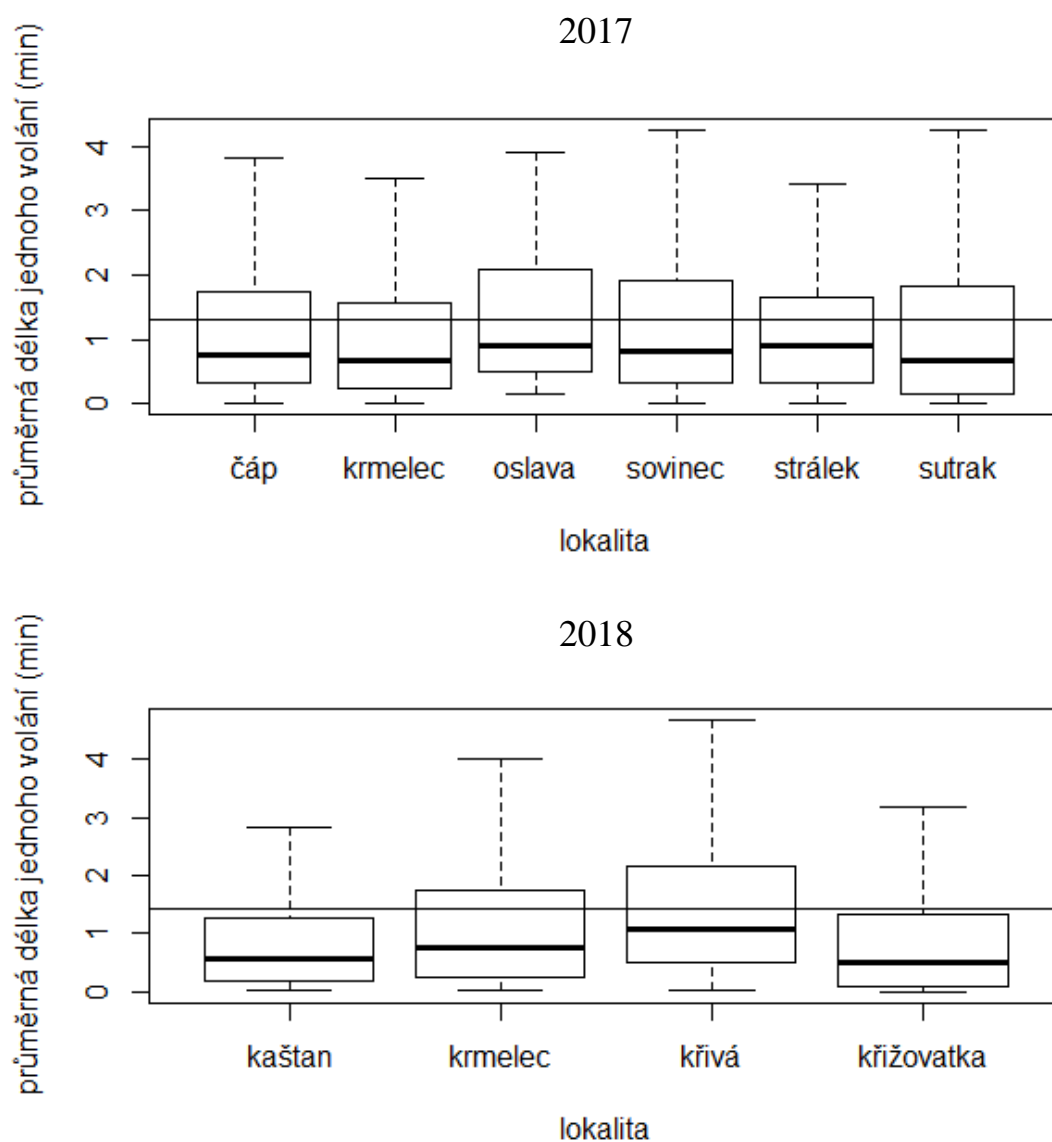
Průměrný počet volání za hodinu z obou let činil 1,45 (SD = 1,74). V obou letech byl průměrný počet volání za hodinu nejvyšší na Krmelci – 1,75 v roce 2017 a 1,4 v roce 2018 (obrázek 6).



Obrázek 6 Průměrný počet volání za hodinu na jednotlivých lokalitách v letech 2017 a 2018. Pro výpočet průměrného počtu volání byla použita délka noci (čas od západu do východu slunce) a počet volání za noc. Přímka zobrazuje průměrnou hodnotu počtu volání za hodinu ($0,87 \pm 1,38$ v roce 2017 a $2,40 \pm 1,85$ v roce 2018).

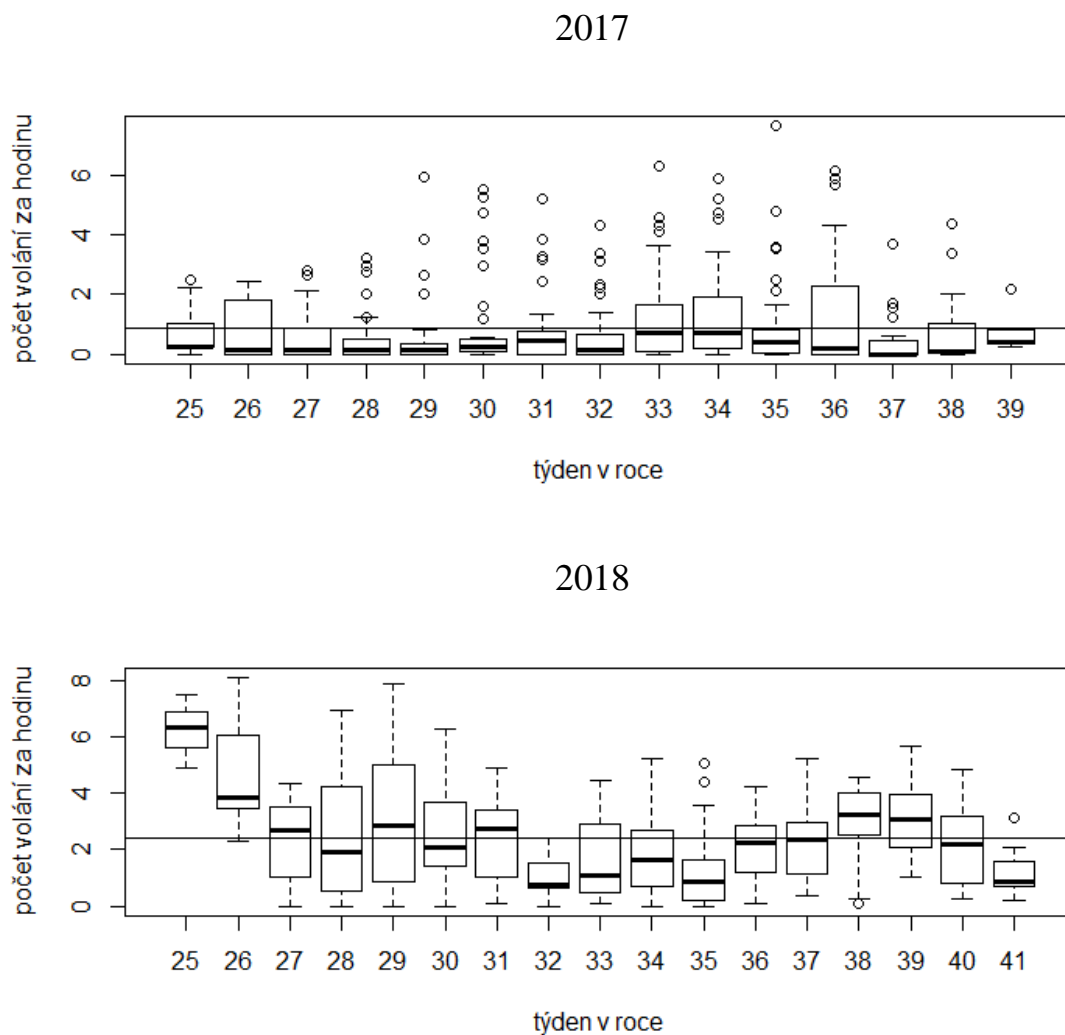
Průměrná doba volání za hodinu vypadá velice podobně, kdy za oba roky činila 2,04 minuty za hodinu ($SD = 2,87$): $1,18 \pm 1,99$ za rok 2017 a $3,45 \pm 3,47$ za rok 2018. Nejdelší průměrná doba volání za hodinu byla opět na lokalitě Krmelec: $3,56 \pm 2,69$ za rok 2017 a $5,64 \pm 1,84$ za rok 2018.

Průměrná délka jednoho volání je na všech lokalitách v obou letech velice podobná (obrázek 7), přičemž průměr z obou let činil $1,38 \pm 1,93$ minut. Nejkratší zaznamenané volání trvalo 1 sekundu a jednalo se pouze o jediné písknutí. Nejdelší zaznamenané volání trvalo 39 minut a 50 sekund a nacházelo se na lokalitě Krmelec v roce 2018. Nejdelší zaznamenané volání z roku 2017 opět pocházelo z lokality Krmelec a trvalo 31 minut a 30 sekund.



Obrázek 7 Krabicový graf délky jednoho volání v minutách na jednotlivých lokalitách v roce 2017 a 2018. Graf byl zbaven odlehlých hodnot kvůli lepší vizuální přehlednosti. Přímkou zobrazuje průměrnou délku jednoho volání v minutách ze všech lokalit ($1,32 \pm 1,91$ min v roce 2017 a $1,41 \pm 1,94$ min v roce 2018).

V roce 2017 byl nejvyšší průměrný počet volání za hodinu 1,49 ve 36. týdnu (4. – 10. 9.) a nejnižší průměrný počet volání za hodinu 0,43 v 37. týdnu (11. – 17. 9.). V roce 2018 byl nejvyšší počet volání za hodinu 6,23 ve 25. týdnu (22. – 24. 6.) a nejnižší počet volání za hodinu 1,07 v 32. týdnu (6. – 12. 8.). V obrázku 8 v části pro rok 2018 nebyl zahrnut poslední 42. týden, jelikož obsahoval pouze 2 dny.



Obrázek 8 Box plot počtu volání za hodinu v jednotlivých týdnech v sezóně. Přímka zobrazuje průměrnou hodnotu počtu volání za hodinu ($0,87 \pm 1,38$ v roce 2017 a $2,40 \pm 1,85$ v roce 2018).

V rámci sezóny se průměrný počet volání za hodinu značně lišil, jak mezi měsíci, tak mezi roky. V roce 2017 byl měsíc s nejvyšší vokální aktivitou srpen a září, zatímco v roce 2018 to byl červen a červenec. Průměrná délka volání za hodinu vychází velice podobně, s jediným rozdílem a to, že v roce 2018 byl měsíc s nejkratší průměrnou délkou volání srpen. Jak jde dále vidět, rozdíly mezi měsíci nebyly v roce 2017 příliš razantní, zatímco v roce 2018 jsou i více než dvojnásobné u počtu volání za hodinu (tabulka 1) a čtyřnásobné u délky volání za hodinu (tabulka 2).

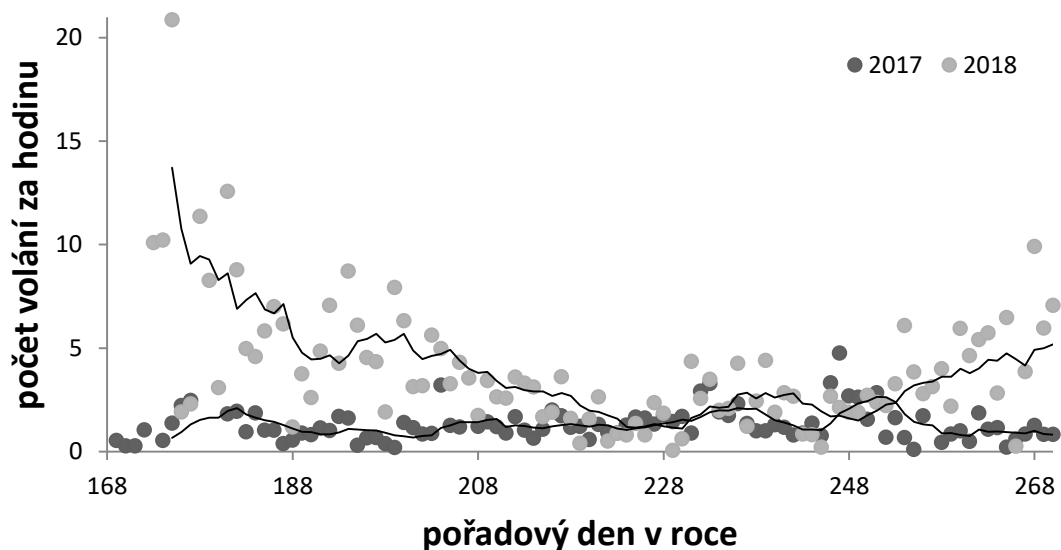
Tabulka 1 Průměrný počet volání za hodinu v průběhu sezóny v letech 2017 a 2018.

	červen	červenec	srpen	září	říjen
2017	0,74	0,68	1,04	0,91	-
2018	4,92	2,71	1,85	2,29	1,58

Tabulka 2 Průměrná délka volání za hodinu (min) v průběhu sezóny v letech 2017 a 2018.

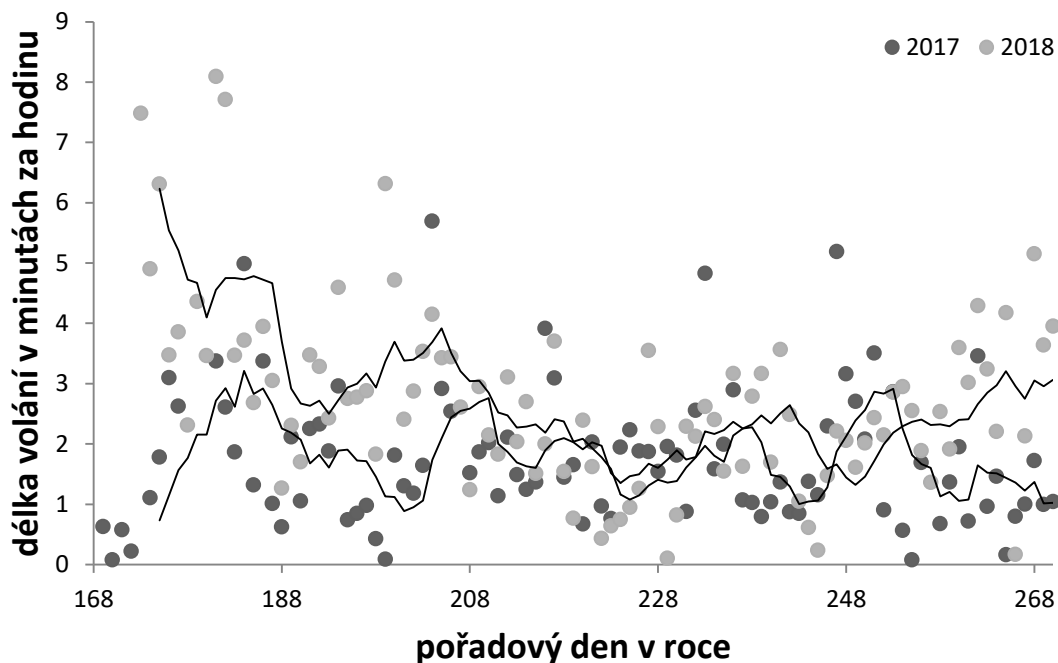
	červen	červenec	srpen	září	říjen
2017	0,97	1,17	1,25	1,10	-
2018	8,95	3,98	2,07	3,29	3,02

Průměrný počet volání za hodinu v roce 2017 začal na začátku sezóny postupně stoupat, až dosáhl svého maxima v srpnu. V roce 2018 však byl průměrný počet volání za hodinu nejvyšší na začátku sezóny v červnu, a poté začal klesat. Srpen pak byl v roce 2018 měsíc s druhým nejnižším průměrným počtem volání za hodinu (obrázek 9).



Obrázek 9 Průměrný počet volání za hodinu v rámci sezóny v roce 2017 a 2018. Průměrný počet volání je počítán jako průměr ze všech lokalit v danou noc. Linie znázorňuje sedmidenní klouzavý průměr.

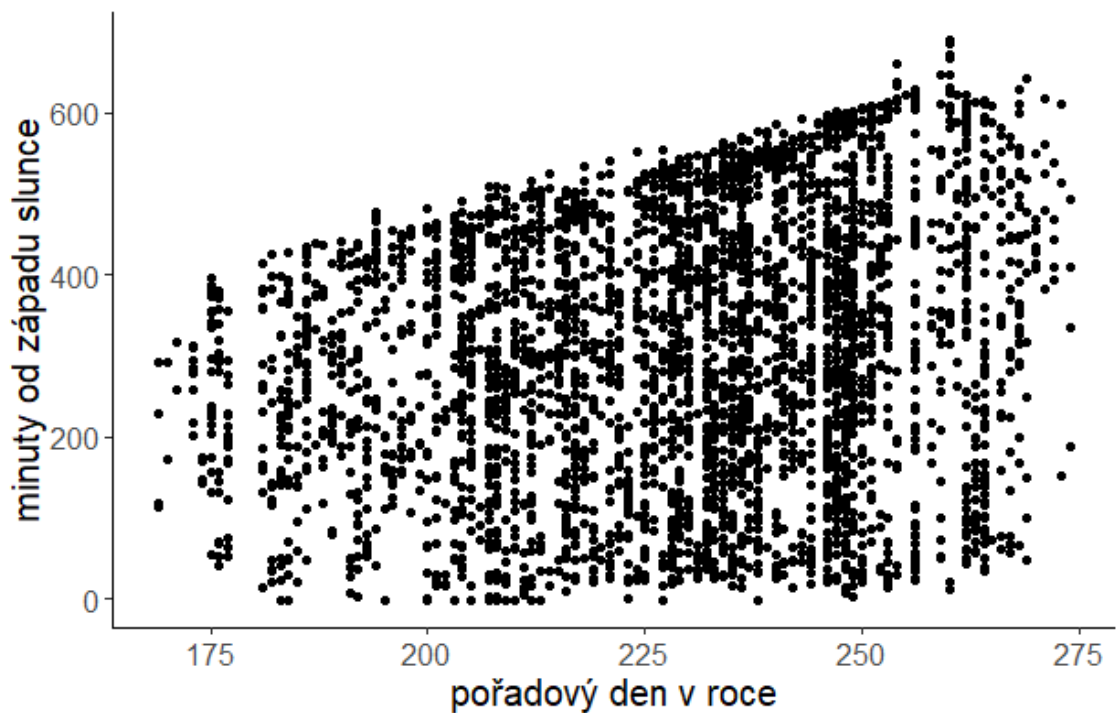
Průměrná délka volání za hodinu ukazuje podobný trend jako průměrný počet volání za hodinu v letech 2017 a 2018. Nicméně jak je patrné na obrázku 10, průměrná délka volání vykazuje větší proměnlivost v rámci jednotlivých měsíců a lze tak vidět postupné klesání a stoupání klouzavého průměru.



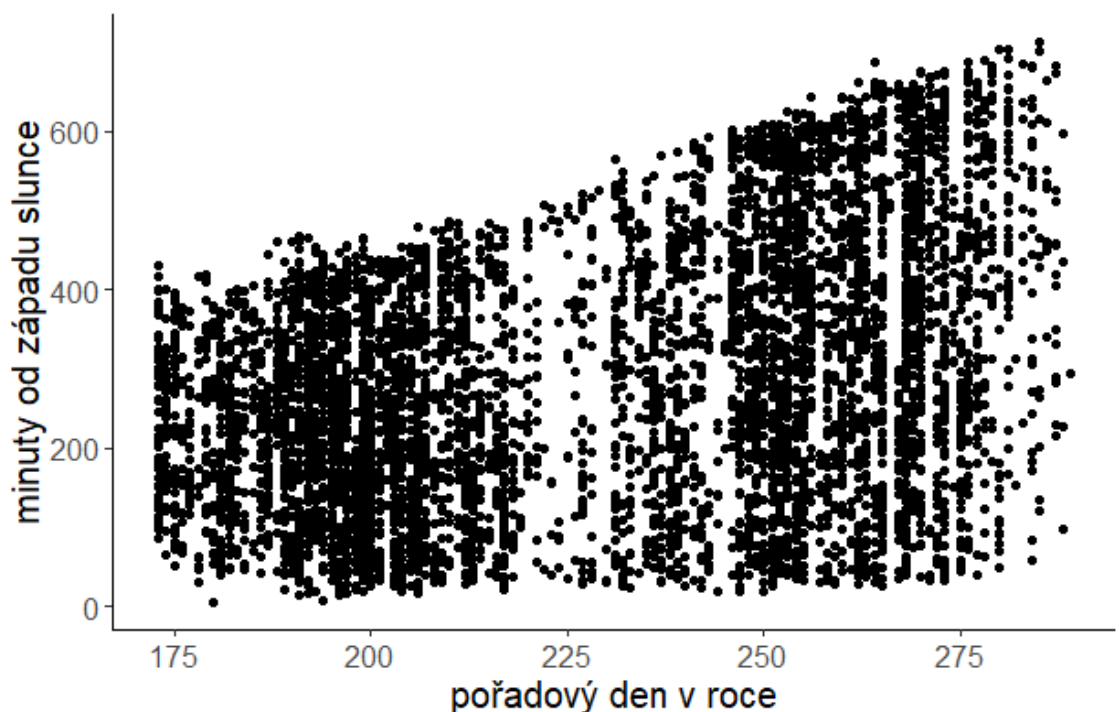
Obrázek 10 Průměrná délka volání v minutách za hodinu v rámci sezóny v roce 2017 a 2018. Průměrná délka volání je počítána jako průměr ze všech lokalit v danou noc. Linie znázorňuje sedmidenní klouzavý průměr.

Jak jde vidět na obrázku 11 a 12, tak volání plcha je ovlivněno fotoperiodou a společně s prodlužující se nocí v rámci sezóny, se prodlužuje i doba, po kterou jsou plši akusticky aktivní, což se ukazuje při pohledu na oba roky. Ze začátku sezóny v červnu končí plší volání okolo 400 minut po západu slunce, přičemž noc trvala 460 minut, a na konci sezóny končí plší volání okolo 600-700 minut po západu slunce, přičemž noc trvala 744 minut.

Zároveň jde vidět jiné rozložení volání v rámci měsíců v sezóně mezi roky 2017 a 2018, což jde vidět již v tabulce 1. Malé množství plšího volání v roce 2018 v červenci a srpnu bude pravděpodobně alespoň částečně zapříčiněno chybějícími nahrávkami z lokality Krmelec ve dnech 207-230 z důvodu technických obtíží.

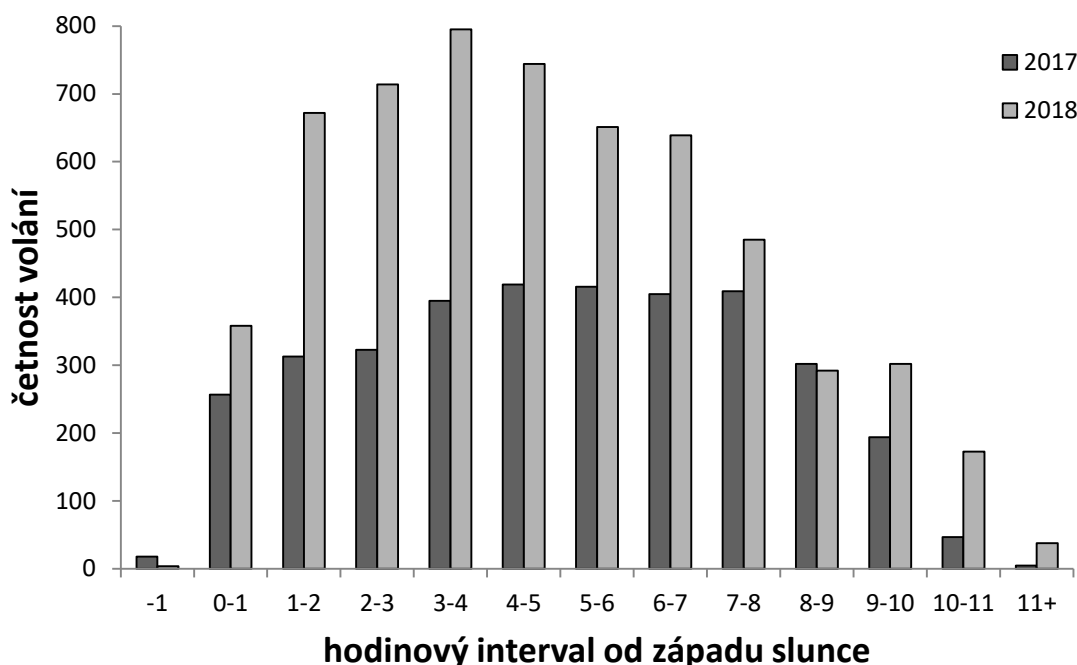


Obrázek 11 Volání plchů v rámci sezóny vzhledem k západu slunce v roce 2017. Rozložení pořadových dní v rámci měsíců – červen 169-181, červenec 182-212, srpen 2013-243, září 244-273.



Obrázek 12 Volání plchů v rámci sezóny vzhledem k západu slunce v roce 2018. Rozložení pořadových dní v roce v rámci měsíců – červen 173-181, červenec 182-212, srpen 213-243, září 244-273, říjen 274-289.

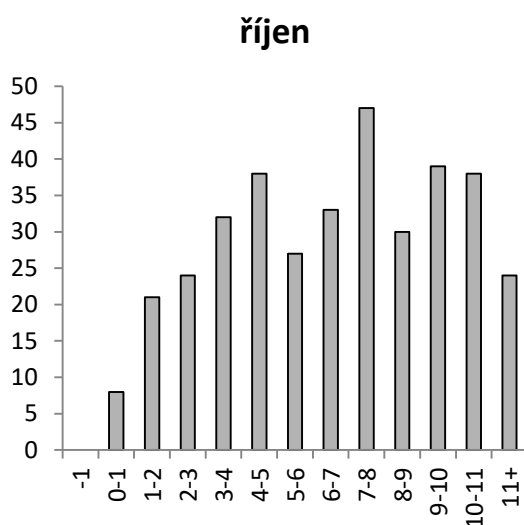
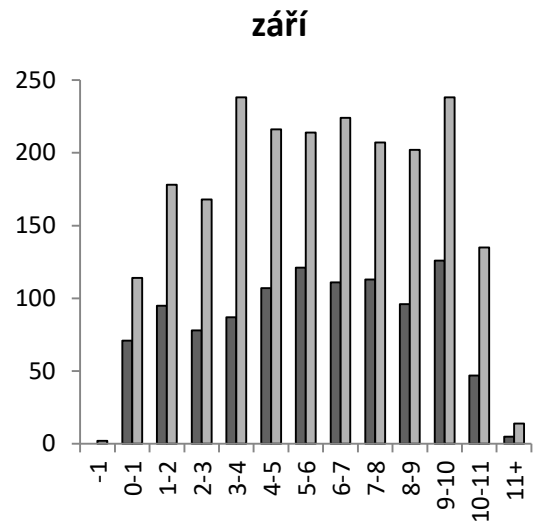
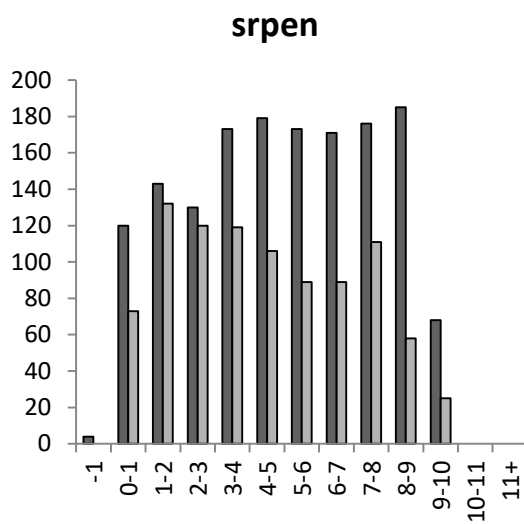
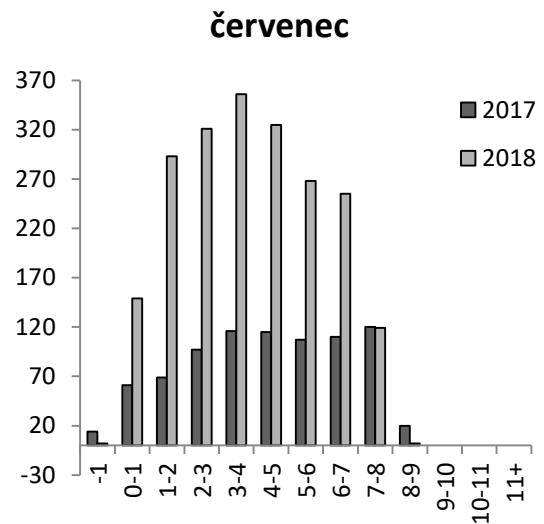
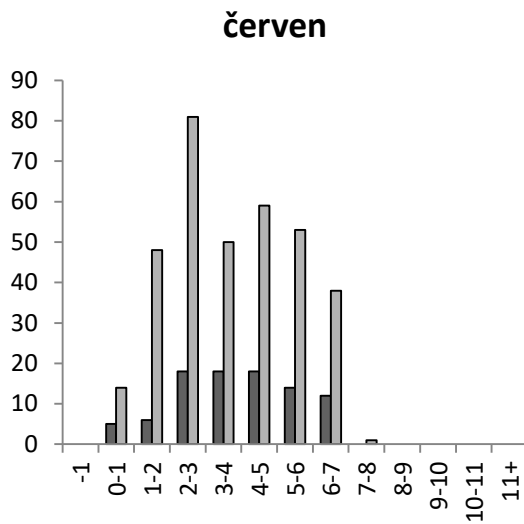
Četnost volání prudce stoupá po západu slunce a narůstá až do 4-5 hodiny po západu slunce v roce 2017 (416 volání) a 3-4 hodiny po západu slunce v roce 2018 (795 volání). Před západem slunce bylo zaznamenáno pouze 18 volání v roce 2017 a 4 volání v roce 2018. Při shrnutí údajů z obou roků je doba, kdy jsou plši nejvíce vokálně aktivní, mezi 3-5 hodinou po západu slunce.



Obrázek 13 Četnost volání v hodinovém intervalu od západu slunce v roce 2017 a 2018.

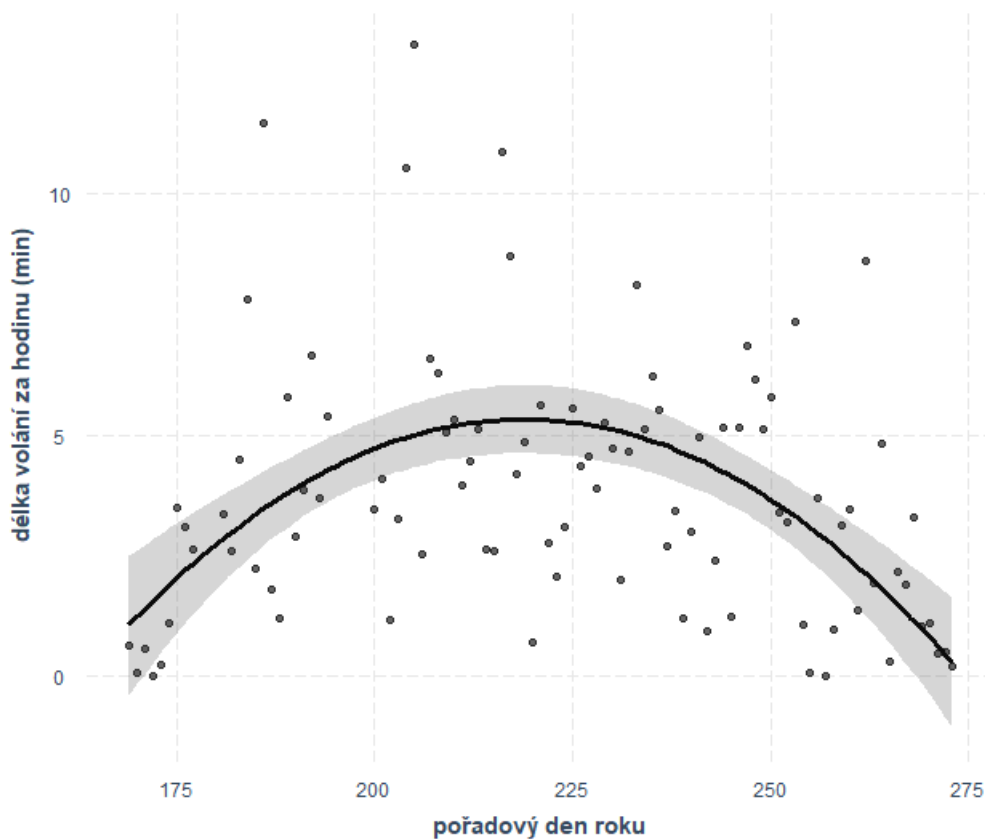
Četnost volání po západu slunce ukazuje jiný průběh v různých měsících. Zatímco v červnu a červenci (až na červen 2018) má víceméně unimodální průběh s jedním vrcholem podobný celkové četnosti volání ze všech měsíců, v srpnu jde vidět bimodální průběh v obou letech a v září a říjnu jdou dokonce vidět i tři vrcholy aktivity.

V červnu roku 2018 nastává jasný vrchol aktivity mezi 2-3 hodinou, zatímco v roce 2017 je aktivita nejvyšší mezi 2-5 hodinou. Červenec má v obou letech vrchol aktivity mezi 3-4 hodinou. V srpnu roku 2017 byly vrcholy aktivity mezi 4-5 a 8-9 hodinou a jedná se také o jediný měsíc, kdy byla četnost volání v roce 2017 vyšší než v roce 2018, kdy nastává největší četnost volání mezi 1-2 a 7-8 hodinou. V září roku 2017 se vrcholy nachází mezi 5-6 a 9-10 hodinou, přičemž v roce 2018 byly mezi 3-4 a 9-10 hodinou. Data pro říjen pochází pouze z roku 2018 a ukazují vrchol mezi 7-8 hodinou a dva menší vrcholy mezi 4-5 a 9-11 hodinou.



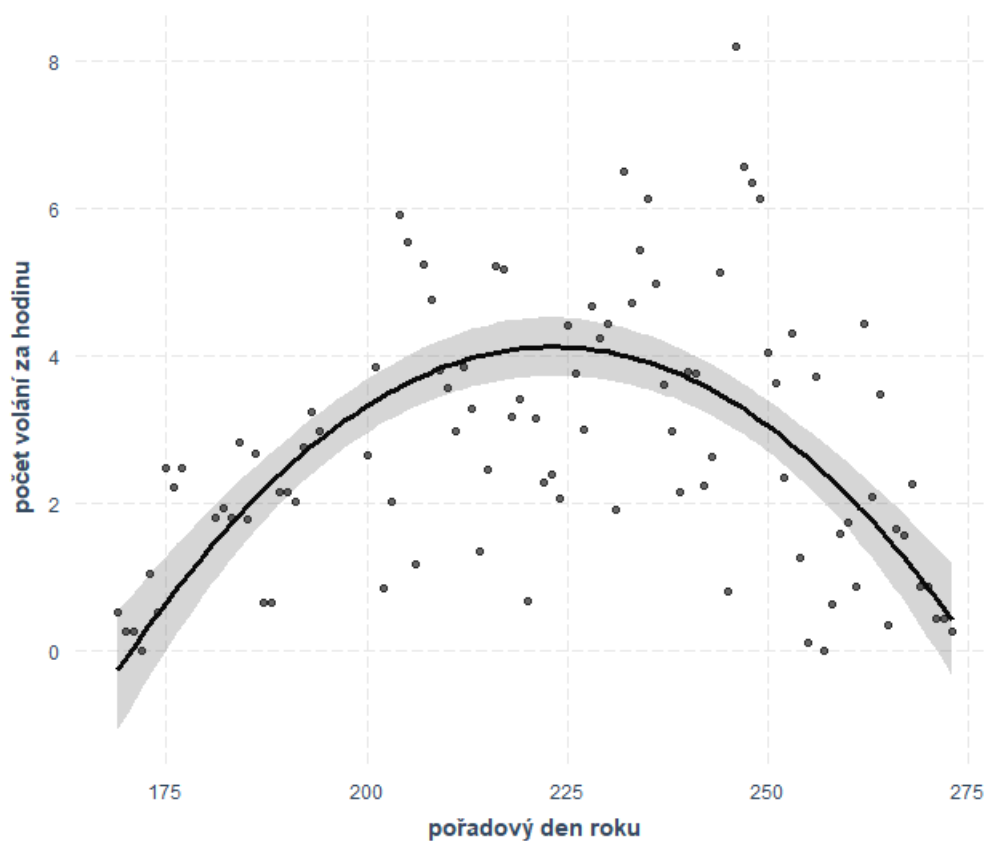
Obrázek 14 Četnost volání v hodinovém intervalu od západu slunce v jednotlivých měsících v roce 2017 a 2018. Osa x ukazuje četnost volání a osa y ukazuje hodinový interval od západu slunce.

V roce 2017 byla délka volání za hodinu ovlivněna pouze hlukem ($b = -0,18$; 95% CI $[-0,28, -0,08]$, $t = -3,59$; $p < 0,001$) a sezónou (kvadratický efekt dne: $b = -14,19$; 95% CI $[-18,99; -9,38]$, $t = -5,87$; $p < 0,001$, kdy vrchol byl uprostřed léta (Obrázek 15). Iluminace neměla vliv ($b = -0,19$; 95% CI $[-1,53; 1,15]$, $t = -0,28$; $p = 0,780$). Celkový fit modelu $R^2 = 0,32$; $F_{4, 89} = 10,32$; $p < 0,001$.



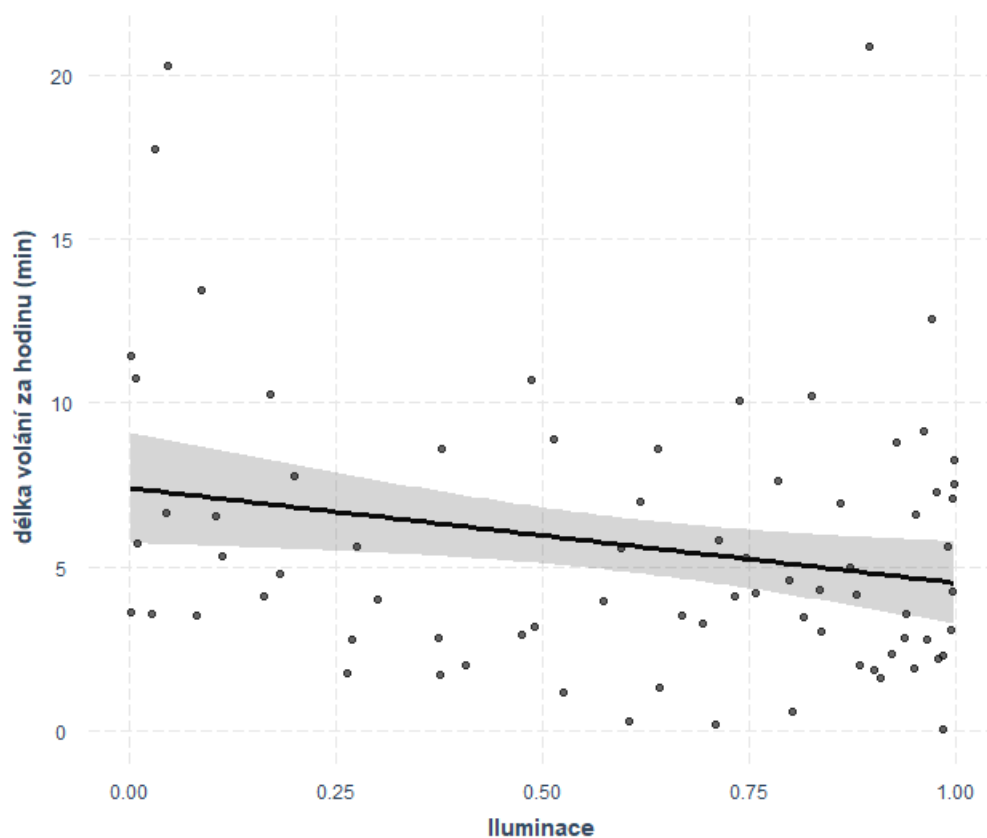
Obrázek 15 Sezónní změna v délce volání v roce 2017. Obrázek ukazuje data a fitovaný model.

Podobné výsledky jsem zjistila pro počet volání za hodinu. Kdy iluminace neměla vliv ($b = -0,46$; 95% CI $[-1,21; 0,29]$, $t = -1,22$; $p = 0,224$) a hluk ($b = -0,15$; 95% CI $[-0,21; -0,10]$, $t = -5,42$; $p < 0,001$) a kvadratický efekt dne roku byl průkazný ($b = -12,33$; 95% CI $[-15,02; -9,63]$, $t = -9,09$; $p < 0,001$). Celkový fit modelu $R^2 = 0,52$; $F_{4, 89} = 23,71$; $p < 0,001$.



Obrázek 16 Sezónní změna v počtu volání za hodinu v roce 2017. Obrázek ukazuje data a fitovaný model.

V roce 2018 byl statisticky průkazný negativní vztah mezi iluminací a délkou volání za hodinu ($b = -2,89$; 95% CI $[-5,32; -0,46]$, $t = -2,37$; $p = 0,021$). Délka volání klesala v sezóně ($b = -0,06$; 95% CI $[-0,09; -0,04]$, $t = -4,89$; $p < 0,001$) a opět byla ovlivněna okolním hlukem ($b = -0,17$; 95% CI $[-0,36; 0,02]$, $t = -1,75$; $p = 0,084$). Celkový fit modelu: $\text{delka.volani.min.za.hod} \sim \text{iluminace} + \text{RMS} + \text{Doy}$, $R^2 = 0,30$; $F_{3,72} = 10,41$; $p < 0,001$).



Obrázek 17 Vztah mezi iluminací a délkou volání za hodinu v minutách v roce 2018.

V roce 2018 byl vliv iluminace marginálně neprůkazný, kdy počet volání měl tendenci klesat s narůstající iluminací ($b = -0,84$; 95% CI [- 1,81; 0,12], $t = -1,74$; $p = 0,086$). Intenzita volání klesala s postupující sezonou ($b = -0,03$; 95% CI [- 0,04; - 0,02], $t = -6,28$; $p < 0,001$) a hlukem ($b = -0,14$; 95% CI [- 0,22; - 0,07], $t = -3,77$; $p < 0,001$). Celkový fit modelu $R^2 = 0,42$; $F_{3, 72} = 17,55$; $p < 0,001$.

5 Diskuze

Ve své diplomové práci jsem zjistila sezónní a cirkadiánní změny v hlasové aktivitě plcha velkého. Plši byli přítomni alespoň na jedné lokalitě od začátku nahrávání na konci června do října (18. 6. – 1. 10. 2017 a 22. 6. – 16. 10. 2018). Jejich aktivita byla zaznamenána v 57 % nahraných nocí v roce 2017 a 94 % nahraných nocí v roce 2018.

Lokalita Krmelec se v obou letech ukázala jako oblast s největší aktivitou plcha velkého, což bylo pravděpodobně způsobeno umístěním nahrávacího zařízení na místě s dostatkem potravy. Plši vykazují větší hlasovou aktivitu v místech s atraktivní potravní nabídkou, přičemž se snaží zabránit vstupu dalších jedinců (Jurczyszyn 1995). Zároveň bylo prokázáno, že se plši většinou příliš nevzdalují od jejich úkrytu (Randler a Kalb 2021), a proto volba umístění nahrávacího může zásadně ovlivnit zachytitelnost dané populace.

V roce 2018 byl zaznamenán větší počet plšího volání i kumulativní délky plšího volání za celou sezónu. Stejně tak průměrné počty volání za hodinu a průměrná délka volání za hodinu byly v roce 2018 více než dvojnásobné oproti roku 2017. Toto může být způsobeno faktem, že rok 2018 byl typický semenný rok, zatímco v roce 2017 buky sice plodily, ale méně.

Jak bylo prokázáno načasování rozmnožování plchů je silně ovlivněno produkcí žaludů a bukvic, což vede k větší populační hustotě v semenných letech (Bieber 1998, Schlund et al. 2002). Děje se tak na rozdíl od ostatních hlodavců již v daném roce (Bieber 1998) a semena se stávají důležitým zdrojem energie pro samice a narozená mláďata.

Plši jsou schopni zjistit budoucí dostupnost semen již na jaře po procitnutí z hibernace a omezit reprodukci na roky s alespoň částečnou úrodou. V pozdním létě a na podzim následuje v semenných letech intenzivnější aktivita, na rozdíl od nesemenných let, kdy může dojít k dřívějšímu zahájení hibernace, která může dosáhnout až 11,4 měsíců (Ruf a Bieber 2020). Toto potvrzují nízké počty znovu odchycených zvířat napříč Evropou v letech, kdy nedocházelo k reprodukci (Lebl et al. 2011) nebo nižší obsazenost budek v těchto letech (Hürner a Michaux 2009). V Anglii pak například v nereprodukčních letech odchytili pouze 10-35 % známé velikosti populace, na rozdíl od 90 % odchycených jedinců v reprodukčních letech (Trout et al. 2015, Trout et al. 2018).

Rozdíl v letech může být také způsoben oscilací v populační hustotě, jaká je známá u mnoha druhů hlodavců (např. hrabošů a lumíků). Například Kryštufek a Zavodnik (2003) zjistili průměrně 3letý cyklus u plcha velkého.

Případně se může jednat o pokračující trend nárůstu populace plcha velkého v daném okolí. Adamík a Král (2008) zaznamenali vzrůstající počet plchů při studii obsazenosti budek na lokalitě překrývající se s umístěním diktafonů v mé diplomové práci v letech 1980-2005, pravděpodobně v důsledku stoupajících teplot.

V roce 2017 začala hlasová aktivita plcha od června postupně narůstat, vrcholu dosáhla v měsíci srpnu a poté zůstala poměrně vysoká až do září. Zatímco v roce 2018 měla hlasová aktivita své maximum v červnu, následně klesala až do srpna a v září se opět zvýšila. Malá zaznamenaná aktivita v srpnu roku 2018 bude nejspíše částečně způsobena absencí nahrávek na konci července a začátku srpna z lokality Krmelec, která oba roky vykazovala nejvyšší početnost i délku volání, z důvodu technických potíží.

První zaznamenané volání pocházelo z 18. 6. 2017 a 22. 6. 2018, poslední volání bylo nahráno 1. 10. 2017 a 16. 10. 2018. Pro plchy jakožto hibernující živočichy představuje načasování začátku procitnutí z hibernace kompromis mezi dřívějším začátkem aktivní sezóny, což může vést k získání lepšího teritoria a tím i lepších příležitostí pro páření, a vyhnutím se období, kdy je aktivita predátorů nejvyšší. Jedním z hlavních predátorů plchů jsou sovy, které na jaře a v brzkém létě vychovávají své mláďata a vykazují vysokou aktivitu při pátrání po potravě, tudíž se teoreticky plchům vyplatí se tomuto období vyhnout (Ruf a Bieber 2020). Ukazuje se, že výsledky tohoto kompromisu jsou závislé na věku, kdy starší samice většinou procitají dříve, a na pohlaví, přičemž svojí aktivní sezónu zahajují dříve samci (Vekhnik 2019).

Ve většině studií se potvrzuje aktivní sezóna plcha od června do října (Jurczyszyn 1995, Kryštufek et al. 2003, Lebl et al. 2011, Mašková a Adamík 2012, Kukalová et al. 2013), ale v některých případech začíná aktivita již v květnu nebo končí až v listopadu. Například Mašková a Adamík (2012) prováděli výzkum v oblasti Nížkého Jeseníku a v budkách našli prvního jedince již 20. května. Dále také Rodolfi (1994), který dělal akustický monitoring v Itálii, slyšel plchy až do listopadu, kde je díky mírnějšímu klimatu delší sezóna.

Doba, po kterou se plši ožívají, může být prodloužena z důvodu doplnění tukových zásob po rozmnožování a potřeby nově narozených mláďat dorůst do dostatečné velikosti pro přežití zimy. Což potvrzuje i Mašková a Adamík (2012), kteří v roce, kdy se plši rozmnožovali, našli posledního jedince v budce 28. října a v roce, kdy nedocházelo k rozmnožování, byl poslední jedinec spatřen 24. září.

V literatuře se údaje o měsíci s nejvyšší aktivitou poněkud liší, což může být způsobeno faktem, že většina jedinců nebývá aktivní po celou sezónu (Bieber et al. 2014) a jejich aktivita se může lišit mezi roky například v závislosti na rozmnožování. To se odehrává v době od poloviny června do poloviny července s březostí trvajících 30-32 dní (Ruf a Bieber 2020). V době rozmnožování je u plchů známa větší vokalizační aktivita (Kryštufek et al. 2003), která pravděpodobně slouží k odstrašení případného soka (Jurczyszyn 1995). Toto ukázali například Kryštufek et al. (2003) ve Slovinsku, kde zjistili nejvyšší počty plchů v červenci, což je měsíc, který Kryštufek et al. (2001) určili jako měsíc, kdy probíhá páření. Mnou zaznamenaný větší počet a délka volání v červnu a červenci roku 2018 mohly být tedy způsobeny tím, že se jednalo o semenný rok a s největší pravděpodobností tedy docházelo k rozmnožování.

Většina studií však zaznamenala jako měsíc s největším počtem jedinců srpen (Jurczyszyn 1995, Kryštufek et al. 2003, Mašková a Adamík 2012, Kukalová et al.

2013), což souhlasí s mými údaji z roku 2017. Rodolfi (1994) poté uvádí jako měsíc s největší aktivitou září, ale s tím nesouhlasí ani moje údaje, ani další studie, ale jeho výzkum byl v Itálii, kde je sezóna prodloužena. Při pohledu na průměrné počty volání za hodinu v jednotlivých týdnech však vypadá situace jinak. V roce 2017 totiž vychází týden s největší aktivitou a týden s nejmenší aktivitou hned za sebou a to v měsíci září. Údaje z roku 2018 ohledně týdnů souhlasí s údaji ohledně měsíců, kdy týden s nevyšší aktivitou je v červnu a týden s nejmenší aktivitou je v srpnu.

Hlasová aktivita plcha velkého neprojevovala pouze sezónní variabilitu, ale také změny v rámci noci. Toto není nijak neobvyklé, jelikož změna fotoperiody poskytuje živočichům dobré vodítko ohledně změny prostředí a dostupnosti jídla (Wood et al. 2020). Změna mezi světlem a tmou je poté primární prvek synchronizace cirkadiálních rytmů u hlodavců (Bakechea et al. 2021). Dle mého pozorování se hlasová aktivita řídila fotoperiodou a v naprosté většině případů začalo volání po západu slunce a končilo před východem slunce.

Dále se také s prodlužující nocí v rámci sezóny prodlužovala doba, po kterou byli plši aktivní. Na začátku sezóny trvala noc okolo 460 minut a plši se většinou ozývali do 400 minut po západu slunce, zatímco na konci sezóny trvala noc přibližně 744 minut a plši se ozývali do 600-700 minut po západu slunce. Podobné výsledky ukázali i Randler a Kalb (2021), kteří prováděli studii pomocí fotopastí v Německu a zjistili, že krmení začalo okolo západu slunce a končilo jeho východem, přičemž největší aktivita byla zachycena okolo půlnoci.

Dále můžeme pozorovat posunování vrcholů aktivity v rámci noci v jednotlivých měsících. Zatímco v červnu a červenci je patrná unimodální aktivita s jediným vrcholem, v září se objevuje bimodální aktivita s dvěma vrcholy a v říjnu jsou dokonce patrné až tři vrcholy aktivity. V minulosti byla u plcha pozorována unimodální aktivita v červenci s vrcholem okolo půlnoci, což odpovídá mému pozorování, a bimodální aktivita v září a říjnu (Rodolfi 1994, Randler a Kalb 2021).

To, že jsem v říjnu nepozorovala přesnou bimodální aktivitu, může být způsobeno malým počtem záznamů z tohoto měsíce. Rozdíl ve vzoru aktivity v jednotlivých měsících mohl být zapříčiněn přítomností rozmnožování v červnu a červenci, které zabere poměrně hodně času, nebo kratší délkou noci, díky které se dvě fáze aktivity sloučí v jednu (Randler a Kalb 2021).

Jedním z faktorů, jejichž vliv na hlasovou aktivitu plcha jsem zkoumala, je hlučnost prostředí, nejčastěji způsobená větrem a deštěm. V obou letech se ukázal průkazný negativní vliv hluku na počet i délku volání. Což potvrzuje i Jurczyszyn (1995), který pozorovat nižší počty plchů za větrných nocí a předpokládá, že jsou způsobeny opatrností plchů v takovém počasí. Několikrát během svého výzkumu pozoroval, jak se při silnějším poryvu větru plši zastavili a začali pohybovat ušima, pravděpodobně se snažíc zachytit zvuky spojené s nebezpečím, které jsou při větším hluku hůře rozpoznatelné.

U blízce příbuzného plšíka lískového (*Muscardinus avellanarius*) bylo prokázáno, že nízké teploty a deště v létě snižují jeho aktivitu (Bright et al. 1996).

U plcha velkého se ukázal efekt nízkých teplot na prodloužení doby torporu, nicméně momentálně neexistují žádné detailní studie ohledně vlivu počasí na jeho aktivitu (Ruf a Bieber 2020).

Ukázal se také negativní vliv iluminace na délku volání, ale pouze v roce 2018. Při úplňku ukazují hlodavci sníženou aktivitu nad zemí a preferují hledání potravy pod silným příkrovem vegetace spíše než v otevřených oblastech (Shier et al. 2020), což je způsobeno zvýšeným predacním rizikem při silném světle z měsíce. U živočichů tak dochází ke kompromisu mezi zvýšením fitness díky získané potravě a riziku predace. Hlodavci jakožto druhy využívající primárně jiné druhy smyslů než je zrak většinou snižují svou aktivitu při silnějším měsíčním světle (Prugh a Golden 2014). To, že se vliv iluminace projevil pouze v roce 2018, může být způsobeno tím, že plši žijí ve smíšených lesech s různě silnou vrstvou vegetace, která zabraňuje průchodu měsíčního světla a snižuje tak jeho vliv na populaci.

Jelikož jsem získala všechny předchozí výsledky z dat zpracovaných s pomocí programů AM a AMViewer, bylo zapotřebí ověřit účinnost této metody ve srovnání s klasičtější přístupem fyzického poslechu celých nocí. Programy AM a AMViewer jsou převážně používány pro vyhodnocení hlasové aktivity ptáků (např. u sov Ševčík et al. 2022), ale byly již použity i pro vyhodnocení nahrávek savců (Krajča et al. 2018). Ukázalo se, že při použití programů nejsme schopni zachytit takovou délku volání ani počet volání jako při fyzickém poslechu nocí. Toto je způsobeno faktem, že když vyhodnocujeme spektrogramy, vzdálenost plcha od nahrávacího zařízení ovlivňuje jeho detektabilitu. Přičemž jsme sluchem schopni zachytit i volání plcha, které na spektrogramu není dostatečně viditelné.

Nicméně délka i počet volání získané při použití programu AMViewer a při fyzickém poslechu celých nocí spolu silně korelovala, až na počet volání v roce 2018, kdy byla zjištěna pouze středně silná korelace. Toto může být způsobeno náhodným vlivem neznámé proměnné, jelikož ověření bylo provedeno na 10 nocích z roku 2018. Přesto počet volání a délka volání z lokality Krmelec spolu v roce 2018 silně korelovaly a slabší korelace počtu volání při použití AMVieweru oproti fyzickému poslechu bude způsobena neurčitým náhodným vlivem. Program AMViewer se tedy ukázal být vhodný prostředek pro akustický monitoring plchů a v budoucnu může sloužit jako vhodná alternativa k časově náročnějšímu fyzickému poslechu celých nocí.

6 Závěr

Ve své diplomové práci jsem ověřila účinnost metody pasivního akustického monitoringu s pomocí programů AM a AMViewer a zkoumala sezónní a cirkadiánní faktory ovlivňující hlasovou aktivitu plcha velkého.

Plch se hlasově projevoval od konce června do začátku října v roce 2017 a do poloviny října v roce 2018. V roce 2017 bylo možné sledovat postupný nárůst a pokles počtu a délky volání v jednotlivých měsících s vrcholem v srpnu. Zatímco v roce 2018 byli plši nejaktivnější v červnu, a poté jejich aktivita v dalších měsících klesala. Při srovnání obou zaznamenaných let byla aktivita plcha větší v roce 2018, kde byl zaznamenán větší počet i délka volání. Toto mohlo být způsobeno větší úrodou bukvic v roce 2018, což následně zapříčinilo rozmnožování většího počtu jedinců, nebo cykly v početnosti populace či jako důsledek trendu růstu populace v dané oblasti.

Průměrná doba jednoho volání byla 1,38 minut a velice se podobala v obou letech i mezi jednotlivými lokalitami. Nejaktivnější byli plši na lokalitě Krmelec, odkud pocházelo 73 % volání z roku 2017 a 47 % volání z roku 2018.

Plší volání bylo silně ovlivněno fotoperiodou a převážně bylo zaznamenáno mezi západem a východem slunce. Četnost volání z obou let dosahovala maxima mezi 3-5 hodinou po západu slunce, ale při pohledu na jednotlivé měsíce, můžeme v červnu a červenci vidět unimodální rozdělení aktivity s jediným vrcholem a v srpnu je patrné bimodální rozdělení aktivity s dvěma vrcholy aktivity.

Jako faktory ovlivňující plší volání byly otestovány hluk a iluminace. Ukázalo se, že hluk má negativní vliv na počet i délku volání v obou letech, a ve dnech, kdy je velký vítr nebo prší, tak byl zaznamenán menší počet a délka plšího volání. Iluminace měla efekt pouze pro délku volání v roce 2018, přičemž při větší iluminaci se zkracovala délka volání.

V neposlední řadě jsem prokázala, že programy AM a AMViewer jsou vhodným způsobem urychlení práce při akustickém monitoringu plchů a poskytují srovnatelné výsledky s fyzickým poslechem celých nocí.

7 Literatura

Adamík P. a Král M. (2008): Climate- and resource-driven long-term changes in dormice populations negatively affect hole-nesting songbirds. *Journal of Zoology* **275**: 209–215

Aide T. M., Corrada-Bravo C., Campos-Cerqueira M., Milan C., Vega G. a Alvarez R. (2013): Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ* **1**: e103.

André M., van der Schaar M., Zaugg S., Houégnigan L., Sánchez A. a Castell J. (2011): Listening to the deep: live monitoring of ocean noise and cetacean acoustic signals. *Marine Pollution Bulletin* **63**: 18–26.

Astaras C., Linder J. M., Wrege P., Orume R. D. a Macdonald D. W. (2017): Passive acoustic monitoring as a law enforcement tool for Afrotropical rainforests. *Frontiers in Ecology and the Environment* **15**: 233–234.

Bakechea A., Djouini A., Nouacer M., Chebbah F., Manseura A., Retem Ch., Abdelmadjid B. a Tahraoui A. (2021): Activity and rest alternation: temporal distribution and influencing factors in nocturnal rodents. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* **9**: 1-4.

Barea-Azcón J. M., Virgós E., Ballesteros-Duperón E., Moleón M. a Chiroso M. (2006): Surveying carnivores at large spatial scales: a comparison of four broad-applied methods. *Biodiversity and Conservation* **16(4)**: 1213–1230.

Bertucci F., Parmentier E., Berten L., Brooker R. M. a Lecchini D. (2015): Temporal and spatial comparisons of underwater sound signatures of different reef habitats in Moorea Island, French Polynesia. *PLoS ONE* **10**: e0135733.

Bickford D., Lohman D. J., Sodhi N. S., Ng P. K., Meier R., Winker K., Ingram K. K. a Das I. (2007): Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology & Evolution* **22**: 148–155.

Bieber C. (1998): Population dynamics, sexual activity, and reproduction failure in the fat dormouse (*Myoxus glis*). *Journal of Zoology* **244**: 223–229.

Bieber C., Lebl K., Stalder G., Geiser F. a Ruf T. (2014): Body mass dependent use of hibernation: why not prolong the active season, if they can? *Functional Ecology* **28**: 167–177.

Bright P. W., Morris P. A. a Wiles N. J. (1996): Effects of weather and season on the summer activity of dormice *Muscardinus avellanarius*. *Journal of Zoology* **238(3)**: 521–530.

Brumm H. (2004): The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* **73**: 434–440.

- Brumm H., Voss K., Kollmer I. a Todt D. (2004): Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. *Journal of Experimental Biology* **207**: 443–448.
- Burt C., Fritz H., Keith M., Guerbois C. a Venter J. A. (2021): Assessing different methods for measuring mammal diversity in two southern African arid ecosystems. *Mammal Research* **66(2)**: 313–326.
- Dabelsteen T. a Mathevon N. (2002): Why do songbirds sing intensively at dawn? A test of the acoustic transmission hypothesis. *Acta Ethologica* **4**: 65–72.
- Desjonquères C., Gifford T. a Linke S. (2020): Passive acoustic monitoring as a potential tool to survey animal and ecosystem processes in freshwater environments. *Freshwater Biology* **65(1)**: 7–19.
- Depraetere M., Pavoine S., Jiguet F., Gasc A., Duvail S. a Sueur J. (2012): Monitoring animal diversity using acoustic indices: implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators* **13(1)**: 46–54.
- Gibb R., Browning E., Glover-Kapfer P. a K. E. Jones K. E. (2019): Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution* **10(2)**: 169–185.
- Gil D., Honarmand M., Pascual J., Perez-Mena E. a Macias Garcia C. (2014): Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology* **26**: 435–443.
- Gottesman B. L., Francomano D., Zhao Z., Bellisario K., Ghadiri M., Broadhead T., Gasc A. a Pijanowski B. C. (2020): Acoustic monitoring reveals diversity and surprising dynamics in tropical freshwater soundscapes. *Freshwater Biology* **65(1)**: 117–132.
- Hedley R., Huang Y. a Yao K. (2017): Direction-of-arrival estimation of animal vocalizations for monitoring animal behavior and improving estimates of abundance. *Avian Conservation and Ecology* **12(1)**: 6.
- Hürner H. a Michaux J. (2009): Ecology of the edible dormouse (*Glis glis*) in a western edge population in southern Belgium. *Vie Milieu* **59**: 243–250.
- Jurczyszyn M. (1995): Population density of *Myoxus glis* (L.) in some forest biotopes. *Hystrix* **6**: 265–271.
- Kofoky A. F., Randrianandrianina F., Russ J., Raharinantenaina I., Cardiff S. G., Jenkins R. K. B. a Racey P. A. (2009): Forest bats of Madagascar: results of acoustic surveys. *Acta Chiropterologica* **11**: 375–392.
- Krajča T., Flajs T. a Křenek D. (2018): Akustické mapování savců pomocí stacionárních diktafonů. *Živa* **2**: 106–108.
- Kryštufek B. (2001): Compartmentalization of the body of a fat dormouse *Glis glis*. *Trakya University Journal of Scientific Research B* **2**: 95–106.

- Kryštufek B. a Zavodnik M. (2003): Autumn population density of the edible dormouse (*Glis glis*) in the mixed montane forest of central Slovenia over 33 years. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **49**: 99–108.
- Kukalová M., Gazárková A. a Adamík P. (2013): Should I stay or should I go? The influence of handling by researchers on den use in an arboreal nocturnal rodent. *Ethology* **119(10)**: 848–859.
- Lambert K. T. A. a McDonald P. G. (2014): A low-cost, yet simple and highly repeatable system for acoustically surveying cryptic species. *Austral Ecology* **39**: 779–785.
- Lang A. B., Kalko E. K. V., Römer H., Bockholdt C., a Dechmann D. K. N. (2006): Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia* **146(4)**: 659–666.
- Lebl K., Bieber C., Adamík P., Fietz J., Morris P., Pilastro A. a Ruf T. (2011): Survival rates in a small hibernator, the edible dormouse: a comparison across Europe. *Ecography* **34**: 683–692.
- Lima S. G. C., Sousa-Lima R. S., Tokumar R. S., Nogueira-Filho S. L. G. a Nogueira S. S. C. (2018): Vocal complexity and sociality in spotted paca (*Cuniculus paca*). *PLoS ONE* **13(1)**: e0190961.
- MacKay P., Zielinski W. J., Long R. A. a Ray J. C. (2008): Noninvasive research and carnivore conservation. In: *Noninvasive Survey Methods for Carnivores* (Long R. A., MacKay P., Zielinski W. J. & Ray J. C., eds.): Island Press, Washington, D. C.: 1–7
- Marques T. A., Thomas L., Martin S. W., Mellinger D. K., Ward J. A., Moretti D. J., Harris D. a Tyack P. L. (2013): Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews* **88**: 287–309.
- Mašková P. a Adamík P. (2012): Poznámky o výskytu arboreálních hlodavců (Mammalia: Rodentia) v budkách na Sovinecku, Nízký Jeseník. *Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci* **303**: 13–21.
- McLoughlin M. P., Stewart R. a McElligott A. G. (2019): Automated bioacoustics: methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. *Journal of the Royal Society Interface* **16(155)**: 20190225.
- McWilliam J. N. a Hawkins A. D. (2013): A comparison of inshore marine soundscapes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **446**: 166–176.
- Mullet T. C., Gage S. H., Morton J. M. a Huettmann, F. (2015): Temporal and spatial variation of a winter soundscape in south-central Alaska. *Landscape Ecology* **31(5)**: 1117–1137.
- Mullet T. C. (2017). Connecting soundscapes to landscapes: Modeling the spatial distribution of sound. In *Ecoacoustics: The ecological role of sounds*. Oxford, UK: John Wiley & Sons: 211–224.

- Onorati M. a Vignoli L. (2017): The darker the night, the brighter the stars: consequences of nocturnal brightness on amphibian reproduction. *Biological Journal of the Linnean Society* **120(4)**: 961–976.
- Parks S. E., Miksis-Olds J. L. a Denes S. L. (2014): Assessing marine ekosystem acoustic diversity across ocean basins. *Ecological Informatics* **21**: 81–88.
- Pieretti N. a Farina A. (2013): Application of a recently introduced index for acoustic complexity to an avian soundscape with traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**: 891–900.
- Picciulin M., Kéver L., Parmentier E. a Bolgan M. (2019): Listening to the unseen: passive acoustic monitoring reveals the presence of a cryptic fish species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **29(2)**: 202–210.
- Pillans R. D., Rochester W., Babcock R. C., Thomson D. P., Haywood M. D. a Vanderklift M. A. (2021): Long-term acoustic monitoring reveals site fidelity, reproductive migrations, and sex specific differences in habitat use and migratory timing in a large coastal shark (*Negaprion acutidens*). *Frontiers in Marine Science* **8**: 616633.
- Prugh L. R. a Golden C. D. (2014): Does moonlight increase predation risk? Metaanalysis reveals divergent responses of nocturnal mammals to lunar cycles. *Journal of Animal Ecology* **83**: 504–514.
- Randler C. a Kalb, N. (2021): Circadian activity of the fat dormouse *Glis glis* measured with camera traps at bait stations. *Mammal Research* **66(4)**: 657–661.
- Rodolfi G. (1994): Dormice *Glis glis* activity and hazelnut consumption. *Acta Theriologica* **39**: 215–220.
- Rodriguez A., Gasc A., Pavoine S., Grandcolas P., Gaucher P. a Sueur J. (2014): Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest. *Ecological Informatics* **21**: 133–143.
- Ruf T. a Bieber C. (2020): Physiological, behavioral, and life-history adaptations to environmental fluctuations in the edible dormouse. *Frontiers in Physiology* **11**: 423.
- Schlund W., Scharfe F. a Ganzhorn J. U. (2002): Long-term comparison of food availability and reproduction in the edible dormouse (*Glis glis*). *Mammalian Biology* **67**: 219–232.
- Sethi S. S., Ewers R. M., Jones N. S., Signorelli A., Picinali L. a Orme C. D. L. (2020): SAFE Acoustics: An open-source, real-time eco-acoustic monitoring network in the tropical rainforests of Borneo. *Methods in Ecology and Evolution* **11(10)**: 1182–1185.
- Shearin A. F., Calhoun A. J. K., and C. S. Loftin C. S. (2012): Evaluation of listener-based anuran surveys with automated audio recording devices. *Wetlands* **32(4)**: 737–751.

- Sheng Z., Pfersich S., Eldridge A., Zhou J., Tian D. a Leung V. C. (2019): Wireless acoustic sensor networks and edge computing for rapid acoustic monitoring. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* **6(1)**: 64–74.
- Shier D. M., Bird A. K. a Wang T. B. (2020): Effects of artificial light at night on the foraging behavior of an endangered nocturnal mammal. *Environmental Pollution* **263**: 114566
- Sugai L. S. M., Silva T. S. F., Ribeiro Jr J. W. a Llusia D. (2019): Terrestrial passive acoustic monitoring: review and perspectives. *BioScience* **69(1)**: 15–25.
- Sugai L. S. M., Desjonqueres C., Silva T. S. F. a Llusia D. (2020): A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **6(3)**: 220–235.
- Symes L. B., Martinson S. J., Hoeger L. O., Page R. A. a Ter Hofstede H. M. (2018): From understory to canopy: In situ behavior of Neotropical forest katydids in response to bat echolocation calls. *Frontiers in Ecology and Evolution* **6**: 227.
- Ševčík R., Kloubec B., Riegert J., Šindelář J., Kouba M. a Zárbybnická M. (2022): Forest structure determines nest box use by Central European boreal owls. *Scientific reports* **12(1)**: 1–13.
- Taylor A. M. a Reby D. (2010): The contribution of source-filter theory to mammal vocal communication research. *Journal of Zoology* **280**: 221–236.
- Teixeira D., Maron M. a van Rensburg B. J. (2019): Bioacoustic monitoring of animal vocal behavior for conservation. *Conservation Science and Practice* **1(8)**: e72.
- Thomas L. a Marques T. A. (2012): Passive acoustic monitoring for estimating animal density. *Acoustics Today* **8(3)**: 35–44.
- Thompson M. E., Schwager S. J. a Payne K. B. (2010): Heard but not seen: an acoustic survey of the African forest elephant population at Kakum Conservation Area, Ghana. *African Journal of Ecology* **48**: 224–231.
- Towsey M., Wimmer J., Williamson I. a Roe P. (2014): The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment. *Ecological Informatics* **21**: 110–119.
- Trout R. C., Brooks S., Lim J., Rozycka D., Grimsey P., Grimsey M. a Griffiths L. (2018): Movements by edible dormice (*Glis glis*) to their hibernation site and implications for population control. *Folia Zoologica* **67**: 91–97.
- Trout R. C., Brooks S. a Morris P. (2015): Nest box usage by old edible dormice (*Glis glis*) in breeding and non-breeding years. *Folia Zoologica* **64**: 320–324.
- Tucker D., Gage S. H., Williamson I. a Fuller S. (2014): Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests. *Landscape Ecology* **29**: 745–758.

Vekhnik V. A. (2019): Effect of food availability on the reproduction in edible dormice (*Glis glis* L., 1766) on the eastern periphery of the range. *Mammal Research* **64**: 423–434.

Williams E. M., O'Donnell C. F. J. a Armstrong D. P. (2018): Cost-benefit analysis of acoustic recorders as a solution to sampling challenges experienced monitoring cryptic species. *Ecology and Evolution* **8(13)**: 6839–6848.

Wood S. H., Hindle M. M., Mizoro Y., Cheng Y., Saer B. R. C., Miedzinska K., Christian H. C., Begley N., McNeilly J., McNeilly A. S., Meddle S. L., Burt D. W. a Loudon A. S. (2020): Circadian clock mechanism driving mammalian photoperiodism. *Nature communications* **11(1)**: 1-15.

Internetové zdroje:

Measure RMS. Audacity® 1999-2021 [online], [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: https://manual.audacityteam.org/man/measure_rms.html

Moonrise, Moonset, and Phase Calendar for Olomouc. Time and Date AS 1995-2022 [online]. Norway, [cit. 2021-06-29]. Dostupné z: <https://www.timeanddate.com/moon/czech-republic/olomouc?month=7&year=2018>

Sun or Moon rise/set table for one year. Astronomical Applications Department U.S. Naval Observatory [online]. USA, [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: https://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneYear.php

Sunrise, Sunset, and Daylength. Time and Date AS 1995-2022 [online]. Norway, [cit. 2021-06-29]. Dostupné z: <https://www.timeanddate.com/sun/czech-republic/olomouc?month=6&year=2018>