

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přirodovědecká fakulta

Katedra zoologie a ornitologická laboratoř



Numerická odpověď predátora: netopýři a motýlí škůdci lesa

Bc. Alice Ratajová

Diplomová práce

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Zoologie

Prezenční studium

Vedoucí práce: doc. Mgr. Tomáš Bartonička, Ph.D.

Olomouc 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně v průběhu magisterského studia pod vedením doc. Mgr. Tomáše Bartoničky, Ph.D., s použitím uvedených literárních zdrojů.

V Olomouci, dne

Alice Ratajová

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu doc. Mgr. Tomáši Bartoničkovi, Ph.D. za užitečné rady a čas mi věnovaný při vypracování mé práce. Dále pak Mgr. Janu Blažkovi za možnost spolupráce na jeho výzkumu.

Ratajová, A. (2018): Numerická odpověď predátora: netopýři a motýlí škůdci lesa. Diplomová práce. Katedra zoologie a ornitologická laboratoř PřF UP v Olomouci. 48 s., přílohy 1-3, česky.

Abstrakt

Hmyzožraví letouni patří k významným predátorům herbivorních škůdců na polích i v lese. Velké procento těchto škůdců tvoří Lepidoptera, jejichž housenky požírají listy rostlin a způsobují lokální žíry. Letouni mají určitá morfologická, echolokační a lovecká přizpůsobení, které jim pomáhají získat kořist, kterou potravně preferují. Mnoho netopýřů preferuje právě Lepidoptera. Dospělé motýly loví hlavně vzdušní lovci, kteří jsou přizpůsobeni k lovu létající kořisti v otevřeném prostoru. Na lov housenek a nelétavých/odpočívajících motýlů se soustředí sběrači, kteří dokáží sbírat kořist z podkladu.

Cílem výzkumu bylo zjistit, zda se letouni s příslušnou loveckou strategií a preferencí Lepidoptera v potravě více agregují do míst s lokálním přemnožením vybraných motýlích škůdců než do míst, kde k přemnožení nedochází. Studie se zaměřovala především na dva druhy škůdců čeledi Geometridae – píďalku podzimní (*Operophtera brumata*) a píďalku zhoubnou (*Erannis defoliaria*). Porovnávana byla jarní a podzimní aktivita letounů na dvou lokalitách s přemnožením píďalek a dvou kontrolních lokalitách v hospodářských lesích v Jihomoravském kraji blízko města Brna. Aktivita netopýřů byla zjištěna bodovou metodou bat-detektoringu, který probíhal na lokalitách v průběhu sezóny roku 2017. Celkem bylo zaznamenáno 11 druhů letounů s potenciálem k lovu sledovaných škůdců. V jarním období prokazovali letouni signifikantní agregaci na místa s lokálním přemnožením housenek píďalek. V podzimním období byla aktivita letounů nízká a celkový rozdíl v aktivitě mezi lokalitami nebyl signifikantní. U některých druhů jsme ovšem pozorovali vrcholy aktivity v dobách, kdy docházelo k líhnutí imag sledovaných škůdců. V těchto intervalech pak byla aktivita letounů signifikantně vyšší na lokalitách s přemnožením.

Klíčová slova: netopýři, Chiroptera, echolokace, morfologie, lovecká strategie, lesní škůdci, motýli, Lepidoptera, Geometridae, agregační odpověď.

Ratajová, A. (2018): Numerical response of the predator: bats and moths as forest pests. Diploma thesis. Department of Zoology and Laboratory of Ornithology Science, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 48 ss., appendices 1-3, in Czech.

Abstract

Insectivorous bats belong to main predators of herbivorous pests in the field and forest. A large percentage of the pests is represented by Lepidoptera, whose caterpillars feed on plant leaves and thus they cause local defoliation. Bats have certain morphological, echolocative and foraging adaptations helping them to get a prey that they prefer in their diet. Numerous bats prefer Lepidoptera in their diet. Adult butterflies are hunted mainly by aerial foragers that are adapted to hunt a flying prey in an open space. Gleaning foragers, which are able to glean the prey from surface, are mainly adapted for hunting caterpillars and non-flying/resting butterflies.

The aim of the research is to find if bats with a suitable foraging strategy and preference for Lepidoptera in their diet show an aggregative response rather at places with local outbreaks of selected moth pests than and not at places without local outbreaks. The thesis is mainly focused on two moth pests species of the Geometridae - winter moth (*Operophtera brumata*) and mottled umber (*Erannis defoliaria*). The spring and autumn activity of bats was compared between two places with outbreaks of mentioned pests and two control places in economic forests in South-Moravian region nearby Brno. The flying activity was found by the point method of bat-detecting which was running during the year of 2017. Eleven bats species with potential to hunt moth pests were observed in the research. In spring the bats showed significantly higher occurrence at the places with local caterpillar outbreaks. In autumn the flying activity of bats was low and the total difference in activity between the two places was not significant. On the other hand, there were detected some peaks of bats activity at the times when adult of monitored pests emerged. In these intervals the activity of bats was significantly higher at the places with the local outbreaks.

Key words: bats, Chiroptera, echolocation, morphology, foraging strategy, forest pests, butterflies, Lepidoptera, Geometridae, aggregation response.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
3	Problematika	3
3.1	Numerická odpověď netopýrů v přírodě	3
3.2	Agregační odpověď netopýrů a její proměnné	4
3.2.1	Vnitřní proměnné	4
3.2.2	Vnější proměnné	11
4	Metodika a materiál	14
4.1	Charakteristika území a lokalit	14
4.1.1	Lokality s přemnožením škůdců (Test, T)	14
4.1.2	Lokality bez přemnožení škůdců (Control, C)	15
4.2	Charakteristika sledovaných škůdců	17
4.3	Charakteristika sledovaných letounů	17
4.4	Sběr a zpracování dat	18
4.4.1	Vzorkování lepidopterních škůdců	18
4.4.2	Vzorkování letové aktivity netopýrů	19
4.5	Metody hodnocení dat	21
4.5.1	Výběr dat a druhová diverzita společenstev	21
4.5.2	Výběr dat a statistické hodnocení	21
5	Výsledky	23
5.1	Zastoupení motýlích škůdců na lokalitách	23
5.1.1	Druhové složení a abundance škůdců	23
5.1.2	Poškození listů	25
5.2	Zastoupení letounů na lokalitách	25
5.2.1	Druhová diverzita všech letounů	25
5.2.2	Aktivita vybraných letounů ve vztahu ke škůdcům	27
5.2.3	Zastoupení loveckých strategií ve vztahu ke škůdcům	30

6	Diskuze	32
6.1	Agregační odpověď netopýrů na přemnožení motýlích škůdců	32
7	Závěr	38
8	Seznam použité literatury	39
9	Příloha.....	48

1 Úvod

Novodobé výzkumy ukazují, že ptáci a letouni jsou užiteční při redukci škůdců na polích i v lese (Wickramasinghe et al. 2003, 2004, Kalka & Kalko 2006, Kalka et al. 2008, Boyles et al. 2011, Böhm et al. 2011, McCracken et al. 2012, Charbonnier et al. 2014, Riccucci & Lanza 2014). Díky koloniím hmyzožravých netopýrů ušetří USA v zemědělství až několik miliard dolarů ročně na produkci pesticidů (Boyles et al. 2011). V Evropě se o této ekonomické funkci netopýrů zatím ví málo, ale předpokládá se, že jsou užiteční hlavně v likvidaci motýlích škůdců (Mikula & Čmoková 2012, Riccucci & Lanza 2014), protože Lepidoptera jsou často hlavní potravní složkou netopýrů (Beck 1995). Na polích a v lesích škodí zejména housenky, které ve velkém požírají listy rostlin. V ohrožení jsou hlavně mladé rostliny, které pak hynou v důsledku defoliace nebo napadením patogeny (Csóka 1998, Glavendekić & Medarević 2010).

Mezi hlavní škůdce patří některé druhy čeledí Geometridae, Noctuidae a Tortricidae, u kterých dochází k lokálním přemnožením a následným lokálním holožírům (Csóka 1998, Jepsen et al. 2008, Glavendekić & Medarević 2010, Tenow et al. 2013). V lesích České republiky škodí na jehličnanech zejména druhy bekyně mňiška (*Lymantria monacha*), obaleč smrkový (*Epinotia tedella*) a obaleč modřínový (*Zeiraphera griseana*) a na listnatých stromech pak spíše druhy obaleč dubový (*Tortrix viridana*), píďalka podzimní (*Operophtera brumata*), rod *Agriopsis* a bekyně velkohlavá (*Lymantria dispar*) (Knížek et al. 2011).

Tato diplomová práce tak řeší aktuální téma, zda letouni mohou přispívat svým lovem k redukci herbivorních škůdců. Zaměřuje se především na dva druhy čeledi Geometridae – píďalka podzimní (*O. brumata*) a píďalka zhoubná (*Erannis defoliaria*), které se místy přemnožují a jsou řazeny mezi významné škůdce hospodářských lesních prostorů (Csóka 1998, Jepsen et al. 2008, Glavendekić & Medarević 2010, Knížek et al. 2011, Tenow et al. 2013). Výsledky práce dále mohou přispět k lepšímu pochopení trofických sítí letounů a jejich kořisti. Popřípadě mohou vést k většímu zájmu o ochranu populace lesních netopýrů.

2 Cíle práce

Tato práce si klade tyto cíle:

- 1) Zpracovat literární rešerši na téma numerická odpověď predátora s užším zaměřením na agregiční odpověď letounů k lesním motýlím škůdcům.
- 2) Zhodnotit druhovou diverzitu a aktivitu letounů, kteří mají morfologické dispozice k lovu modelových škůdců.
- 3) Otestovat hypotézu numerické agregiční odpovědi predátora a kořisti na modelu vybraných letounů a vybraných druhů píďalek čeledi Geometridae v období jejich gradace.
 - Hypotéza 1): Druhy letounů, kteří loví členovce jejich sběrem z podkladu, vykazují vyšší loveckou aktivitu v jarním období gradace housenek píďalek na lokalitách s jejich přemnožením než na lokalitách bez přemnožení.
 - Hypotéza 2) Druhy letounů, které v potravě preferují noční motýly a jsou schopni je lovit, vykazují vyšší loveckou aktivitu v podzimním období gradace dospělců píďalek na lokalitách s jejich přemnožením než na lokalitách bez přemnožení.

3 Problematika

3.1 Numerická odpověď netopýrů v přírodě

Numerická odpověď popisuje vztah, kdy zvýšená abundance kořisti zapříčiní růst abundance predátora a naopak snížená abundance kořisti způsobí její pokles. Numerickou odpověď rozdělujeme na dvě části dle toho, jakým procesem růst a pokles probíhá. Za prvé je to proces reprodukce (natality a mortality) – **nepřímá numerická odpověď** a za druhé proces agregace (imigrace a emigrace) – **přímá (agregační) numerická odpověď**.

Nepřímá odpověď je časově zpožděná a může trvat několik měsíců i let dle reprodukčního cyklu predátora a kořisti (Krebs et al. 2001, Norrdahl & Korpimäki 2002).

Přímá odpověď časové zpoždění nemá. To ovšem platí jen pro mobilní predátory, jako jsou ptáci, netopýři a další okřídlení živočichové (Müller et al. 2012, Tkadlec 2013). U méně mobilních predátorů v této odpovědi vzniká časová prodleva (Abrams 2000). Kromě mobility ovlivňuje agregační odpověď také heterogenita prostředí, čili nerovnoměrné rozdělení zdrojů (Tkadlec 2013). Agregační numerická odpověď se v poslední době stala předmětem mnoha studií u hmyzožravých letounů, a to zejména kvůli hospodářským a ekonomickým zájmům. Tito živočichové patří mezi pravé vysoce mobilní predátory, kteří se k bohatému zdroji potravy agregují rychle a efektivně (Fukui et al. 2006, Dodd et al. 2012, McCracken et al. 2012, Müller et al. 2012, Charbonnier et al. 2014). To je výhodné zejména na polích a v lesích, kde se svým lovem podílí na biologické kontrole škůdců (Cleveland et al. 2006, Kalka et al. 2008, Böhm et al. 2011, McCracken et al. 2012, Charbonnier et al. 2014).

Přímá a nepřímá odpověď jsou propojeny. Jestliže se v přírodě vyskytne oblast bohatá na kořist, tak se k ní predátoři agregují a poté zde většinou i zůstanou, aby se rozmnožili (Korpimäki 1994, Bowman et al. 2010, Charbonnier et al. 2014). Numerická odpověď tedy celkově závisí na stupni mobility, reprodukčním potenciálu a generačním čase predátora (Korpimäki & Krebs 1996). Určité fluktuace vnáší predátor do systému i tím, zda je specialista, generalista nebo migrant či resident (Korpimäki & Krebs 1996).

3.2 Agregací odpovéd' netopýrů a její proměnné

Existuje mnoho faktorů, které podmiňují výskyt netopýrů na určitém území. Hlavní faktory jsou dostatečná nabídka potravy a úkrytů. Proměnné, které ovlivňují agregací odpovéd' hmyzožravých netopýrů, se budou týkat zejména potravní nabídky a schopností netopýrů si ji obstarat. Lze je rozdělit na vnitřní a vnější proměnné.

Mezi **vnitřní proměnné** patří ekologické a morfologické preference a omezení, které jsou letounům dány vývojem v průběhu evoluce. Řadíme sem specializaci na potravu, morfologii letového aparátu, způsob echolokace nebo typ lovecké strategie (Horáček 1986, de Jong & Ahlén 1991, Schnitzler & Kalko 2001, Müller et al. 2012, Denzinger & Schnitzler 2013, Charbonnier et al. 2014).

Vnější proměnné agregací odpovédi představuje hlavně abundance, dostupnost a pestrost potravní nabídky. Tyto proměnné jsou ovlivněné podmínkami prostředí, jako jsou např. typ biotopu, charakter vegetace, roční období nebo počasí (Walsh & Harris 1996, Grindal et al 1999, Wickramasinghe et al. 2003, 2004, Ciechanowski et al. 2007, Dodd et al. 2012, Müller et al. 2012, Charbonnier et al. 2014).

Kvůli odlišnostem ve vnitřních faktorech jsou živočichové nejlépe přizpůsobeni určitým vnějším faktorům, které pro ně představují největší energetický zisk a nejmenší ztrátu. Každý druh si tak vybírá nejvhodnější podmínky k životu podle své optimální životní strategie (Horáček 1986, Barclay & Brigham 1991, Dodd et al. 2012, Tkadlec 2013). Díky tomu dochází k rozrůznění potravních nik a ke snížení mezidruhové kompetice (Kunz 1974, Aldridge & Rautenbach 1987, Arlettaz et al. 1997, Dietz et al. 2006, Siemers & Swift 2006, Andreas et al. 2012a).

3.2.1 Vnitřní proměnné

Potrava

Většina evropských letounů (Vespertilionidae, Rhinolophidae) je insektivorní. Podle dosavadních výzkumů stravy se leotuni příliš nesoustředí na konkrétní druhy, ale specializují se spíše na celé ekologické skupiny členovců (Beck 1995, Vaughan 1997, Andreas 2002, Whitaker & Karataş 2009). Pro jejich agregací odpovéd' je důležité, zda jsou generalisty nebo specialisty a jaké mají potravní preference (Beck 1995, Andreas 2002).

Hmyzožraví leotuni jsou převážně generalisté a složení jejich potravy varíruje sezónně, geograficky nebo i s věkem (Kunz 1974, Horáček 1896, Hamilton & Braclay 1998, Andreas 2002, Vlašín & Málková 2003). Vzhledem k tomu, že každá kořist

má pro netopýra jiné nutriční výhody, pozorujeme u nich oportunistické nebo selektivní potravní chování (Jones 1990, Bracley 1991, Andreas 2002). Anthony & Kunz (1977) definují rozdíl mezi tímto chováním tak, že složení potravy oportunistů odpovídá aktuální abundanci potravní nabídky v jeho loveckém habitatu, kdežto u selektivního lovce se tato korelace neobjevuje.

Příkladem selektivního generalisty je vrápenec velký (*Rhinolophus ferrumequinum*), který se začátkem roku živí zástupci skupin Diptera a Coleoptera. V květnu, kdy dochází k nárůstu abundance Lepidoptera, přechází netopýr automaticky k jejich lovu a loví méně zástupců Diptera, i když jejich abundance se nemění nebo je i vyšší. Lepidoptera jsou totiž pro *R. ferrumequinum* výživově výhodnější kořisti (Jones 1990). Podobný případ selektivity zaznamenal Andreas (2002) u netopýra vousatého (*Myotis mystacinus*) a netopýra Brandtova (*Myotis brandtii*).

Za typického oportunního generalistu je pokládán netopýr večerní (*Eptesicus serotinus*) (Anděra & Horáček 2005) nebo jeho příbuzný netopýr severní (*Eptesicus nilssonii*), u kterého můžeme pozorovat geografickou variabilitu v potravě mezi českou a skandinávskou populací. Nejčastější kořist *E. nilssonii* tvoří ve Švédsku Diptera (hlavně Nematocera) (Rydell 1986, Beck 1995), kdežto v českých populacích jsou to Lepidoptera (Andreas 2002). Andreas (2002) připisuje tento posun odlišnosti biotopu v zastoupení taxonu (Švédsko – více mokřadů – více Nematocera), popřípadě větší konkurenci s ostatními druhy netopýrů, kteří se touto skupinou živí.

Menší část netopýrů jsou specialisté přímo na určitý taxon či ekologickou skupinu členovců. Tyto druhy nejsou na daném taxonu zcela závislé, ale jsou k jeho lovu nejlépe přizpůsobené po morfologické stránce. Kořist, kterou preferují, je v jejich potravě většinou zastoupena v 80 a více procentech po celou sezónu aktivity i v případě, kdy je její abundance v přírodě nízká (Beck 1995, Arlettaz et al. 1997, Vaughan 1997, Andreas 2002, Andreas et al. 2012b). Mezi potravní specialisty zaměřující se na lov Lepidoptera patří například netopýr černý (*Barbastella barbastellus*), netopýr ušatý (*Plecotus auritus*) a dlouhouchý (*Plecotus austriacus*). Na Coleoptera (především *Carabidae*, *Scarabaeidae*) se specializuje netopýr velký (*Myotis myotis*) (Anděra & Horáček 2005). Dále můžeme zmínit netopýra vodního (*Myotis daubentonii*), který loví hlavně Diptera nad vodou.

Nejčastější kořist letounů v České republice jsou Diptera a Lepidoptera (Příloha 1: Pot), které najdeme v určité míře u všech evropských letounů (Beck 1995). Na lov lesních motýlích škůdců, ať již ve formě imag nebo housenek, se však soustředí

jen někteří netopýři (Příloha 1: Adu/Lar, Plar). Mimo již zmíněné selektivní generalisty a specialisty na Lepidoptera jsou to ve střední Evropě i vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*), netopýr velkouchý (*Myotis bechsteinii*), netopýr brvitý (*Myotis emarginatus*), netopýr menší (*Myotis alcathoe*) a netopýr řasnatý (*Myotis nattereri*).

Morfologie

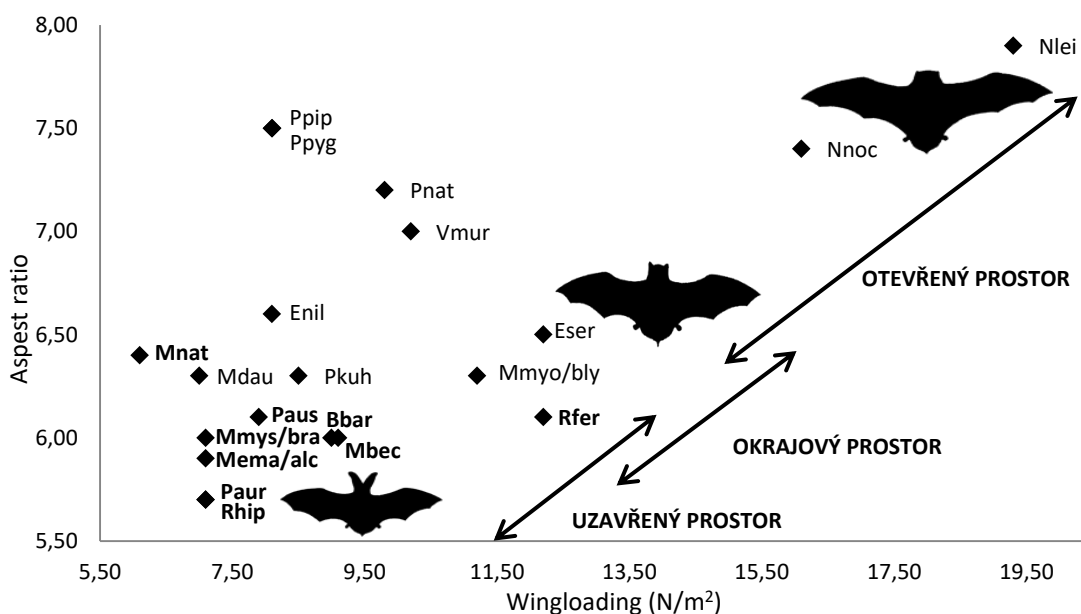
Nejvýraznější změny morfologie můžeme pozorovat na tvaru lebky, zubů a létací blány. Ve vztahu k loveckým strategiím netopýrů je tradičně sledována morfologie křídel, která se postupně specializovala dle toho, na jaký druh kořisti a lovecký prostor se netopýr soustředil (Horáček 1986, Marinello & Bernard 2014). Běžný morfologický popis křídel byl doplněn o aerodynamické indexy (Aldridge & Rautenbach 1987, Norberg & Rayner 1987), pro lepší orientaci v letových schopnostech netopýrů. Mezi nejdůležitější parametry patří: rozpětí křídel (wingspan, B, m), plocha křídel (wing area, S, m²), poměr délky a šířky stran křídel (aspect ratio, AR), plošné zatížení (wingloading, WL, N/m²) a tvar špičky křídel (wingtip shape index, WT). Hodnoty se mění s tím, jak moc je let aerodynamický nebo manévrovatelný (Obr. č. 1; Příloha 1: R ,AR ,WL ,WT).

Druhy letounů, které loví v otevřeném vzdušném prostoru nad překážkami, létají rychle a přímo (Horáček 1986, Norberg & Rayner 1987, Dietz et al. 2006, Marinello & Bernard 2014). Jejich křídla a celé tělo pak má tendenci být co nejvíce aerodynamické. Morfologicky u nich dochází k prodloužení, zúžení a zašpičatění křídel (prodloužení 3. a zkrácení 4. a 5. prstu křídla), zkrácení zadních končetin a ocasní blány (kosti ocasu ji přesahují) a k úpravě loketních kloubů (Horáček 1986, Norberg & Rayner 1987, Dietz et al. 2006). Lokty netopýr dokáže narovnat téměř do jedné roviny, čímž dokonale napne křídlo (Horáček 1986). Z pohledu aerodynamických indexů u této skupiny zaznamenáváme vysoké hodnoty AR (dlouhé, úzké křídla), WL (velké zatížení = rychlý let) a WT (dlouhé špičaté konce křídel) (Aldridge & Rautenbach 1987, Norberg & Rayner 1987) (Obr. č. 1).

Na druhé straně pak stojí netopýři, kteří se přesunuli k lovu blíže k povrchu (okrajový prostor) a do vegetace (uzavřený prostor). Jejich let je pomalejší, maximálně manévrovatelný a hbitý (Horáček 1986, Norberg & Rayner 1987, Dietz et al. 2006, Marinello & Bernard 2014). Tyto schopnosti vyžadují zvýšenou pohyblivost předloktí a jednotlivých prstů, které se prodlužují do téměř stejné délky (3., 4., 5. prst) (Horáček 1986, Norberg & Rayner 1987, Dietz et al. 2006). S růstem prstů se zvětšuje i celková plocha křídel a loketní kloub se vysunuje mimo osu pažní kosti (Horáček 1986). U těchto

letců je důležitá i široká ocasní blána, která zvyšuje manévrovací schopnosti (Norberg & Rayner 1987, Marinello & Bernard 2014). Aerodynamické indexy AR, WL a WT se u těchto netopýrů pohybují od nízkých do středních hodnot (Obr. č. 1). Mnoho netopýrů z této skupiny se navíc dokáže vznášet, což se morfologicky projeví na delších špičkách křídel, a tím i vyšších hodnotách WT (Norberg & Rayner 1987).

Lesní motýlí škůdci, ať už housenky nebo imaga, se vyskytují převážně blízko nebo přímo na vegetaci. Proto i letouni, kteří je loví, se řadí především do skupin lovicích na okrajích nebo ve vegetaci (Obr. č. 1, tučně). Na následujícím obrázku vidíme vliv závislosti AR na WL a přiřazení netopýrů dle těchto hodnot do prostoru, ve kterém nejčastěji loví (viz Lovecké strategie).

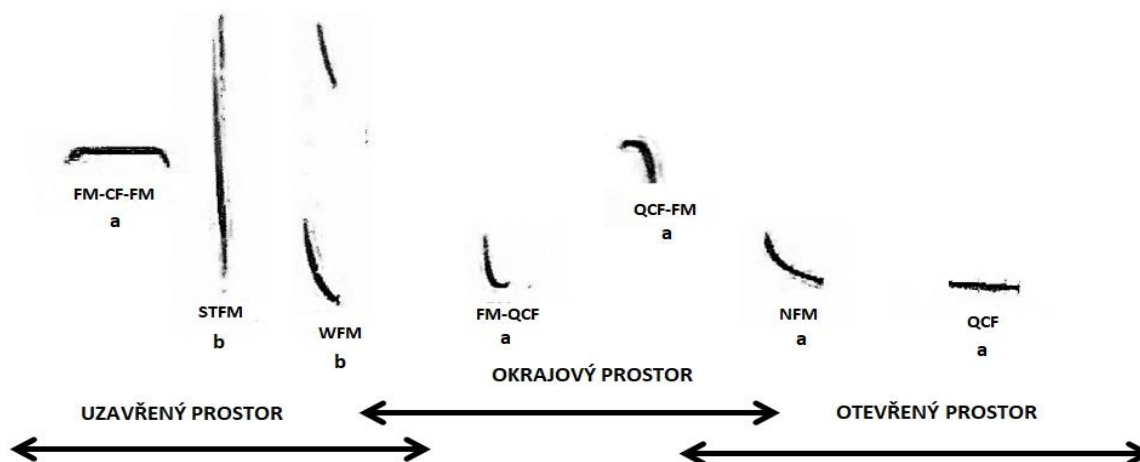


Obr. č. 1: Závislost plošného zatížení křídel (wingloading, WL, N/m²) na poměru délky a šířky stran křídel (aspect ratio, AR) u některých netopýrů ČR a jejich rozdělení podle prostoru, ve kterém nejčastěji loví; zkratky druhů letounů v Příloze 1; **tučně** – letouni se středním až maximálním potenciálem pro lov lesních motýlích škůdců (Příloha 1: Plar); lovecký prostor – otevřený prostor (volný vzdušný prostor nad překážkami), okrajový prostor (0,5 m od překážek), uzavřený prostor (blíže než 0,5 m od překážek).

Echolokace

Pro hmyzožravé letouny jsou echolokace a sluch nejdůležitější schopnosti, které jim pomáhají orientovat se v prostoru a lovit. Echolokační signály se tvoří hlasivkami v hrtanu a jsou vydávány tlamou (Vespertilionidae) nebo nosem (Rhinolophidae). Pak se odráží od okolních předmětů a tvoří ozvěnu (echo), kterou netopýr zachytí velmi citlivým sluchem a analyzuje. Signály jsou pro každý druh specifické svou strukturou (CF/FM) (Obr. č. 2), frekvencí (kHz), intenzitou (dB), délkou (ms) a rytmem (signály/s) (Neuweiler 1984, Horáček 1986.). Tyto parametry u každého jedince lehce varírují v závislosti na fázi

lovu a loveckém prostoru (Neuweiler 1984, Aldridge & Rautenbach 1987, Norberg & Rayner 1987, Schnitzler & Kalko 2001, Schnitzler et al. 2003, Denzinger & Schnitzler 2013).



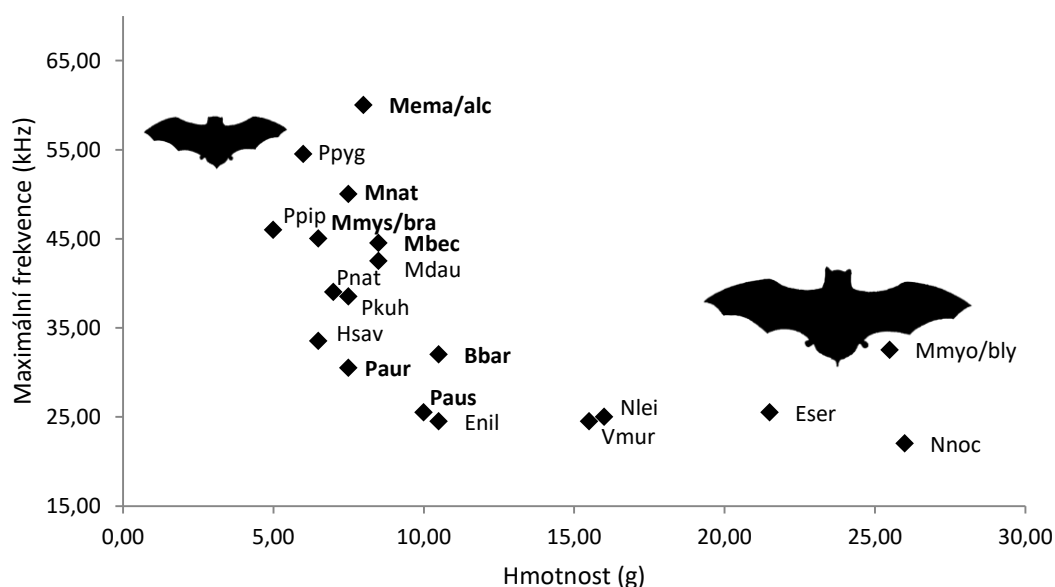
Obr. č. 2: Struktury echolokačních signálů letounů a jejich rozdělení, podle prostorů ve kterém jsou vydávány; a) úzkopásmové – *konstantní* (constant frequency, CF, dlouhé (10-50 ms), změna frekvence jen několik Hz; *téměř-konstantní* (quasi-constant, QCF, kratší (5-25 ms), změna frekvence do 4kHz; *úzkopásmové FM* (narrow-band, NFM, rozpětí 4-15 kHz; b) širokopásmové – *širokopásmové FM* (wide-band, WFM, rozpětí > 15 kHz); *FM steep* (steep, STFM, změna frekvence 30 a více kHz); lovecký prostor – otevřený prostor (volný vzdušný prostor nad překážkami), okrajový prostor (0,5 m od překážek), uzavřený prostor (blíže než 0,5 m od překážek).

Stejně jako morfologie křídel se i signály přizpůsobují prostoru, ve kterém netopýr loví (Obr. č. 2). Netopýři lovící v otevřeném prostoru potřebují detekovat kořist na dlouhou vzdálenost, to jim umožňují signály spíše úzkopásmové (QCF, NFM), dlouhé (8-25 ms), nízkofrekvenční (< 30 kHz), hlasité (104-111 dB) s pomalým rytmem (3-4 signály/s) (Denzinger & Schnitzler 2013) (Obr. č. 2). Důležitá je hlavně nízká frekvence, která se šíří prostorem dál než vysoká, která je více absorbovaná vzduchem (Neuweiler 1984). Nízká frekvence a dlouhé signály jsou nevýhodou při detekci menšího hmyzu, proto tito letouni bývají velcí a soustředují se na lov většího hmyzu (Obr. č. 3; Příloha 1: H, Fmax) (Horáček 1986, Barclay & Brigham 1991, Schnitzler & Kalko 2001, Holderied & Halversen 2003).

S přesunem blíže k vegetaci (okrajový prostor) se u letounů objevují kombinace signálů (FM-QCF, QCF-FM), pulzy se zkracují (3-10 ms), frekvence zvyšuje (30-60 kHz), hlasy jsou tišší (101-107 dB) a rytmus se zvyšuje (< 10 signálů/sec). U netopýrů lovících těsně u povrchu nebo ve vegetaci (uzavřený prostor) převažují širokopásmové signály (WFM, STFM), pulzy mají jen 1-3 ms, frekvenci kolem 40-50 kHz a jsou ještě tišší (60-90 dB). Rytmus mají podobný s předchozí skupinou. Odlišné přizpůsobení na lov v husté vegetaci nalézáme u vrápenců (Rhinolophidae), kteří používají typ signálu

FM-CF-FM (max. 60 ms, 140 dB, nad 70 kHz). Vrápenci loví můry tak, že detekují pohyb jejich křídel analýzou Dopplerova jevu.

U netopýrů lovicích blízko vegetace a v ní, včetně lovců lesních motýlích škůdců, pozorujeme tendenci zvyšovat frekvenci, zkracovat délku a měnit strukturu signálu na širokopásmovou. Díky vyšším frekvencím jsou tyto netopýři schopni dobře detekovat menší hmyz mezi vegetací, proto u nich zaznamenáváme nižší rozměry i hmotnost než u skupiny lovicí v otevřeném prostoru (Obr. č. 3) (Barclay & Brigham 1991, Schnitzler & Kalko 2001, Holderied & Halversen 2003). Zkrácení délky a změna struktury slouží k minimalizaci maskovacího efektu, což je jev, kdy se vysílané signály překrývají s přijímanou ozvěnou (Denzinger & Schnitzler 2013, Schnitzler et al. 2003, Schnitzler & Kalko 2001). Někteří netopýři (rod *Plecotus*, *M. bechsteinii*) minimalizují tento efekt navíc tím, že před zachycením kořisti přestanou echolokovat a kořist jen poslouchají (Schnitzler & Kalko 2001, Siemers & Swift 2006). Tato vlastnost pasivní echolokace je letounům velice užitečná i při lovu tympanních nočních Lepidoptera (50-80 %), která se naučila echolokaci letounů zaznamenat a predaci se vyhýbat (Horáček 1986, Miller & Surlykke 2001, Rydell et al. 1997). Létavá imaga reagují úhybnými manévry nebo pádem k zemi. Housenky a nelétaví/odpočívající motýli reagují na ultrazvuk tím, že se přestanou hýbat a stáhnou se více k podkladu (Werner 1981). Housenky se navíc v případě ohrožení mohou svést na hedvábném vlákně (Tautz & Markl 1978, Wilson & Barclay 2006).

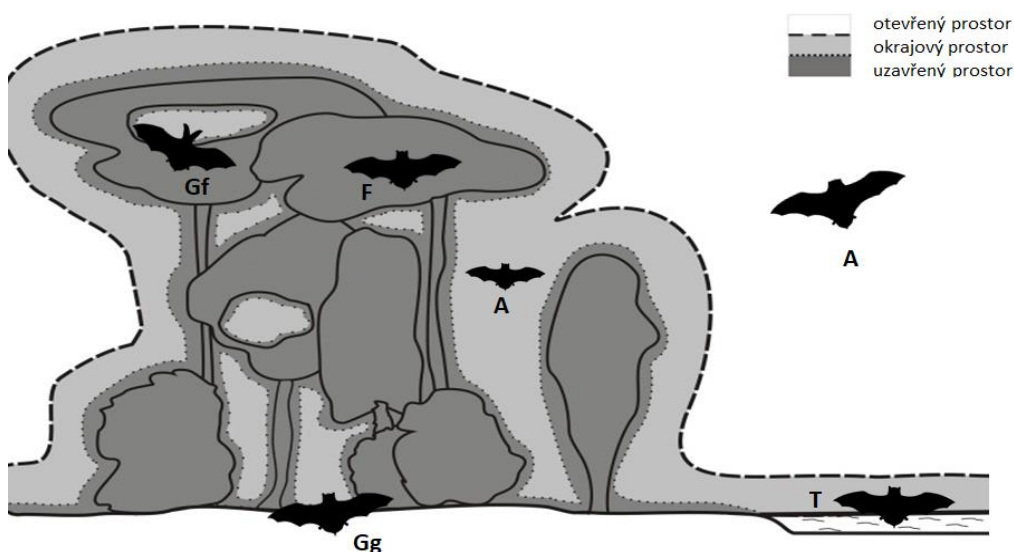


Obr. č. 3: Závislost hmotnosti (g) a maximální frekvence (kHz) u některých netopýrů ČR; zkratky netopýrů v Příloze 1; **tučně** – letouni se středním až maximálním potenciálem pro lov lesních motýlích škůdců (Příloha 1: Plar)

Lovecké strategie

Specializace na určitý typ potravy a prostředí vedla u letounů ke změně tělesné morfologie a parametrů jejich echolokace. Vzhledem k tomu si osvojili určité lovecké techniky, které jim umožňují efektivně ulovit jejich kořist. Rozlišujeme čtyři lovecké techniky – skupiny lovců.

Letouni, kteří loví létající kořist v otevřeném nebo okrajovém prostoru pomocí křídel nebo ocasní blány, se nazývají **vzdušní lovci** (aerial foragers, např. otevřený prostor - netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*), okrajový prostor – netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*) (Obr. č. 4). **Lovci nad vodní hladinou** (trawling foragers) chytají kořist nad/z hladiny pomocí ocasní blány nebo nohou, které mají speciálně upravené (např. *M. daubentonii*). Poslední skupina jsou lovci uvnitř vegetace, které rozlišujeme dle lovecké techniky na **lovce létavé kořisti ve vegetaci** (flycatching foragers, např. rod *Rhinolophus*) a lovce nelétavé kořisti – **sběrače** (gleaning foragers). Někteří letouni jsou v lovu flexibilní a používají více strategií. Většinou však platí to, že letouni, kteří loví v uzavřenějším prostoru, mohou přejít do otevřenějšího, ale naopak je to složitější (Schnitzler & Kalko 2001, Schnitzler et al. 2003, Denzinger & Schnitzler 2013) (Příloha 1: Lstr).



Obr. č. 4: Lovecké strategie letounů; A (aerial forager, vzdušní lovci): otevřený prostor *N. noctula*, okrajový *P. pipistrellus*; F (flycatching forager, lovec létavé kořisti ve vegetaci): *r. Rhinolophus*; G (gleaning forager, sběrači z povrchu): f (foliage) *r. Plecotus*, g (ground) *M. myotis*; T (trawling forager, lov nad/z vodní hladiny): *M. daubentonii*. (zdroj podkladu: Denzinger & Schnitzler 2013).

Vlastnosti pro lov motýlích škůdců ve formě housenek a nelétavých/odpočívajících imag má hlavně poslední skupina lovců. Sběrači sbírají kořist z listoví, větví, kmenů (foliage-gleaners, např. *r. Plecotus*) nebo půdy (ground-gleaners, např. *M. myotis*) tlamou nebo ocasní blánou. Vysoce manévrovatelný způsob letu a echolokace v husté vegetaci

jsou energeticky náročné, proto sběrači využívají tzv. lov z odpočívadla (perch hunting), kdy sedí na větvi nebo kmenu a echolokují kolem sebe, jakmile zaregistrují pohyb kořisti, vyletí, uloví ji a vrátí se zpět na odpočívadlo, kde ji sežerou (Norberg & Rayner 1987, Jones & Rayner 1989, Denzinger & Schnitzler 2013).

Obecný přehled toho, jak spolu souvisí morfologie, echolokace a lovecké strategie je uveden v následující tabulce (Tab. č. 1).

Tab. č. 1: Obecný přehled souvislostí loveckých strategií, morfologie a echolokace

Lpr	Pot	Lstr	Morfologie křídel			Echolokace		
			AR	WL(N/m ²)	WT	frekvence	délka	struktura
O	L	A	***	***	***	*	***	*
E	L	A	**	**	***	**	**	**
	L/N	T	**	*	**	**	**	***
C	N	G	*	*	*	**	*	***
	L	F	*	**	*	***	***	*

Lpr: lovecký prostor – O (open, otevřený), E (edge, okrajový), C (close, uzavřený); Pot: potrava – L (létařící), N (nelétavá/odpočívající na povrchu); Lstr: lovecká strategie – A (aerial forager, vzdušní lovci), F (flycatching forager, lovec létavé kořisti ve vegetaci), G (gleaning forager, sběrači z podkladu), T (trawling forager, lov nad/z vodní hladiny); Hodnoty: *** - vysoká/šírokopásmová, ** - průměrná, * - nízká/úzkopásmová; **tučně** – skupiny letounů se středním až maximálním potenciálem pro lov lesních motýlích škůdců (Příloha 1: Plar).

3.2.2 Vnější proměnné

Potravní nabídka

U všech živočichů můžeme zaznamenat migraci k bohatému potravnímu zdroji, u kterého je důležitá jeho abundance i druhová pestrost (Ekman & de Jong 1996, Wickramasinghe et al. 2004). Zvláštním případem jsou potravní specialisté, kteří jsou odkázáni na úzkou potravní niku, která může být i druhově chudší (Sierro & Arlettaz 1997, Sierro 1999, Andreas 2002). Potravní nabídku ovlivňuje několik faktorů.

Sezonní změny: V mírném pásu je aktivita letounů značně přizpůsobena právě aktivitě členovců, kteří jsou poikilotermní a značně závislí na teplotě prostředí. V jarních měsících zaznamenáváme nízké průměrné teploty (kolem 10°C), které působí negativně na abundanci i druhovou pestrost členovců i letounů. Chudá potravní nabídka pak nutí letouny k potravnímu oportunismu (Swift et al. 1985, O'Donnell 2000, Andreas 2002, Andreas et al. 2012b). Ve výhodě jsou sběrači nebo lovci nad vodní hladinou díky zvýšené jarní nabídce larev hmyzu (de Jong & Ahlén 1991, Fukui et al. 2006, Andreas et al. 2012b). V květnu a červnu dochází k oteplení a následnému nárůstu abundance i diverzity hmyzu, které vrcholí v letních měsících a pak postupně klesají.

Na podzim dochází k líhnutí a množení určitých taxonů hmyzu, které přetrvávají zimu ve fázi vajíček nebo dospělců. Příkladem jsou mnozí motýli (např. čeled' Geometridae) (Rydell et al 1997, Svensson et al. 1999).

Noční změny: Na noční změny často působí lokální podmínky, hlavně čas západu slunce a teplota (Kunz 1974, Erickson & West 2002). U vzdušných lovců mírného pásu často pozorujeme výlety brzo po západu slunce a bimodální noční aktivitu (vrchol 1-3 hodiny po západu a před východem slunce), která souvisí s rojením hmyzu při soumraku a rozbřesku a pozitivně koreluje s teplotou (Kunz 1974, Racey & Swift 1985, Rydell et al. 1996, O'Donnell 2000, Safi et al. 2007). U sběračů a vodních lovců bývá běžná i kontinuální nebo více vrcholová aktivita, protože hmyz ve vegetaci a na vodní hladině je změnami počasí ovlivněn méně (Rydell 1986, Entwistle et al. 1996, Rydell et al. 1996, O'Donnell 2000). U druhu *P. auritus* zaznamenal Rydell et al. (1996) shodný vrchol jeho noční aktivity s abundancí jeho kořisti (Lepidoptera) okolo půlnoci.

Typ habitatu a hustota vegetace: Obecně platí, že s heterogenitou prostředí roste i abundance a druhová diverzita živočichů. U členovců pozorujeme nárůst těchto hodnot se zvyšujícím se stářím a s hustotou porostu v listnatých a smíšených lesích a v habitatech s vodním prvkem (Thomas 1988, de Jong & Ahlén 1991, Walsh & Harris 1996, Safi et al. 2007, Jung et al. 2012, Charbonnier et al. 2016). V těchto lokalitách tak bývá vysoká aktivita letounů, která je s bohatou potravní nabídkou spojena (Müller et al. 2012). Nízkou heterogenitou prostředí, a tím i menší abundancí a druhovou diverzitu živočichů, pozorujeme například na polích, upravovaných loukách nebo vřesovištích (Walsh & Harris 1996). V upravené fragmentované krajině jsou pro netopýry důležité lineární krajinné elementy (stromořadí, lesní cesty, vodoteče aj.), kde nacházejí hojnost potravy i úkryt před nepříznivým počasím a navíc jim slouží jako orientační prvky (Ekman & de Jong 1996, Walsh & Harris 1996, O'Donnell 2000, Hillen et al. 2011, Bartonička et al. 2015).

Dostupnost potravního zdroje

Bohatý potravní zdroj netopýři využívají také podle toho, jak je pro ně dostupný. To znamená, jestli jsou v okolí vhodné úkrytové možnosti nebo jak je zdroj daleko od jejich úkrytu. Úkrytové možnosti se zvyšují se stářím lesa (Meschede 2001, Perry et al. 2007). Mnozí letouni se ukrývají mimo les, jeskyních či v lidských sídlech. Pro tyto jedince je pak důležitá doletová vzdálenost na lovecký habitat, kterou má každý netopýr jinou. Obecně platí, že netopýři lovcí ve volném prostoru létají za potravou dále

než ti lovcí uvnitř vegetace (Norberg & Rayner 1987). Například průměrná doletová vzdálenost u vzdušných lovců je okolo pěti až šesti kilometrů: *E. serotinus* 6,5 km (Catto et al. 1996), *P. pipistrellus* 5,1 km (Racey & Swift 1985), *V. murinus* 5,2 km (Safi et al. 2007), ale u *P. auritus*, který je sběrač je dolet jen v rámci 0,5 km (Entwistle et al. 1996).

Počasí a nadmořská výška

Klima ovlivňuje netopýry nepřímo, přes potravní nabídku, ale i přímo. Aktivita netopýrů pozitivně koreluje s rostoucí noční teplotou a negativně s rostoucím množstvím srážek, rychlostí větru a nadmořskou výškou (Grindal et al. 1999, Verboom & Spoelstra 1999, Cryan et al. 2000, O'Donnell 2000, Ciechanowski et al. 2007, Müller et al. 2012, Bartonička et al. 2015). Negativně ovlivňuje úroveň letové aktivity i vysoká vlhkost, protože snižuje dosah echolokačních signálů (Schnitzler & Kalko 2001).

Predace

V mírném pásu predují netopýry hlavně dravci, sovy nebo malé šelmy, které je vybírají z hnízd (Catto et al. 1996, Ekman & de Jong 1996, Rydel 1996). Zajímavá je reakce některých netopýrů na měsíční svit. Jakmile je intenzivní, stahují se netopýři z otevřených lovišť do hustší vegetace nebo k jejím krajům, což je připisováno reakci netopýrů na větší riziko predace (Erickson & West 2002, Ciechanowski et al. 2007).

4 Metodika a materiál

4.1 Charakteristika území a lokalit

Výzkum probíhal na několika lesních lokalitách v Jihomoravském kraji, který patří mezi nejteplejší kraje v ČR (nejvyšší průměrná teplota 20,9°C, srpen 2017) s průměrnými srážkami 60 mm/rok (ČHMÚ). Zemědělská půda zaujímá 59 % (2016) území kraje, z toho velkou část tvoří orná půda a vinice (MZP). Lesy pokrývají jen 27,4% (2016) území, což řadí Jižní Moravu mezi nejméně zalesněné kraje ČR. Největší procento tvoří hospodářské lesy s produkční funkcí, zbytek jsou lesy zvláštního určení a ochranné lesy.

Pro výzkum byly vybrány čtyři lokality v hospodářských lesích – dvě testovací (Test) a dvě kontrolní (Control). Výběr byl konzultován s lesníky závodů Ždánice, Brno a Hodonín. Testované lokality (Holedná, Želetice) se vyznačovaly lokálním přemnožením motýlích škůdců čeledi Geometridae se zaměřením na druhy: píďalka podzimní (*Operophtera brumata*) a píďalka zhoubná (*Erannis defoliaria*). Kontrolní (Kříž, Pánov) byly lokality bez lokálního přemnožení škůdců.

Všechny lokality si byly biotopově podobné. Na všech lokalitách převažují listnaté stromy zastoupené hlavně dubem letním a zimním (*Quercus robur*, *Q. petraea*) a habrem obecným (*Carpinus betulus*). Dále bukem lesním (*Fagus sylvatica*), javorem mlečí a klenem (*Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*). Místy se vyskytuje introdukovaný trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*). Z jehličnanů zde roste smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice černá a lesní (*Pinus nigra*, *P. sylvestris*). Keřové pásmo tvoří hlavně líska obecná (*Corylus avellana*), javor babyka (*Acer campestre*), svída krvavá (*Cornus sanguinae*), breslen bradavičnatý (*Euonymus verrucosa*) a jiné.

4.1.1 Lokality s přemnožením škůdců (Test, T)

1) Holedná (H)

Obora Holedná o rozloze 3,27 km² se nachází na okraji města Brna mezi sídlišti Jundrov, Kohoutovice a Bystrc. Rozkládá se okolo kopce Holedná (391 m n. m.) v Kohoutovickém lese a je součástí Bobrovské vrchoviny. Na severní straně oboru obtéká řeka Svratka a vně obory se nachází potok Vrbovec a několik malých vodních ploch. Obora slouží k chovu muflonů, daňků a divokých prasat a je využívána veřejností pro rekreaci.

Stanoviště výzkumu bylo situováno v zalesněné části obory (325 m n. m.) mimo hlavní stezky, cca 100 m severně od dvou malých jezírek (jedno bylo delší dobu vyschlé, druhé bylo pokryto vodními rostlinami) a 320 m západně od vrcholu kopce Holedná

(49.2122753N, 16.5334611E). Okolí tvořily hlavně středně staré duby (50-100 let), pár borovic a smrků. Keřové patro zde chybělo. Půda byla pokrytá listovým opadem a místy se nacházelo tlející dřevo a pařezy.

2) Želetice (Z)

Lokalita Želetice (okr. Hodonín) se nachází 8 km západně od Kyjova. Jedná se o větší lesní celek (34 km²), který se rozrůstá na území Věteřovské vrchoviny a je součástí Kyjovské pahorkatiny. Nejvyšší vrchol Babí lom (417 m n. m.) se nachází ve střední části vrchoviny na její jižní straně. Z východní části celek odtéká řeka Trkmanka a z jižní Bukovanka. Území lesa slouží k těžbě dřeva a je obklopené intenzivně obhospodařovanou krajinou. Kontinuální porost listnatých stromů přerušují mýtiny porostlé travinami. Stromy jsou převážně mladší (20-60 let).

Na lokalitě Želetice byly vybrány tři stanoviště, které byly situovány v západní zalesněné části vrchoviny (250 m n. m.) v blízkosti lesní cesty. První stanoviště **Voda** (V, 49.0213658N, 17.0308956E) bylo v mírném svahu asi 25 m od cesty s velkou kaluží, která vysychala při delším období bez srážek. Vegetaci tvořily různověké dubohabřiny (20-60 let) a ojediněle smrk. Stanoviště **Lesy1** (L1, 49.0210000N, 17.0263653E) a **Lesy2** (L2, 49.0205639N, 17.0250458E) byly umístěny přibližně 300-400 m od stanoviště Voda ve vzdálenosti cca 200 m od sebe. Okolí tvořil mladší dubohabrový porost (20-30 let) a podrost byl na všech stanovištích tvořen travinami a listovým opadem

4.1.2 Lokality bez přemnožení škůdců (Control, C)

1) Kříž (K)

Lokalita Kříž leží v pahorkatině Ždánický les u města Ždánice (25 km JV od Brna, okres Hodonín). Ždánický les geomorfologicky patří do Středomoravských Karpat a rozkládá se na 180 km² ve střední výšce 270 m n. m. Nevýšší vrchol U Slepice dosahuje 438 m n. m. Na vrcholcích pahorkatiny Ždánického lesa pramení hodně potoků, které se ze severní strany stékají do Litavy a z jižní do Trkmanky. Potoky tvoří jezírka nebo se na nich budují rybníky.

Stanoviště výzkumu leželo na svahu ve výšce 350 m n. m. (49.0975572N, 17.0272397E). V okolí stanoviště rostly dubohabřiny (30-40 let), ojediněle dub a smrk. Podrost tvořily semenáčky, mladé stromy, kapradiny a listový opad. V blízkosti stanoviště (cca 60 m) pramenil bezejmenný potok.

2) Pánov (P)

Lokalita Pánov leží v lesním celku Hodonínská dубrava, který se rozkládá na 30,29 km² severně od města Hodonín (207 m n. m.). Geomorfologicky spadá oblast do Ratíškovské pahorkatiny s nejvyšším bodem Náklo (265 m n.m.). Na západní hranici Hodonínské dубravy se nachází soustava rybníků, které napájí řeka Kyjovka. Přímo na území lesa se nachází podmáčené půdy, drobné vodní plochy a malé potůčky.

Stanoviště výzkumu se nacházelo v zalesněné oblasti blízko hranice písčitéch stepí (PP Pánov) a hospodářského lesa ve výšce 205 m n. m. (48.8955186N, 17.1372517E). Vegetaci tvořily především doubravy a občasně topoly, břízy a vrby, na které navazovala monokultura borovic. Písčité podklad byl porostlý psamofilními travinami. Lokalitu protínala vyjetá motokrosová cesta s malou zavodněnou prohlubní.

Tab. č. 2: Souhrn informací o lokalitách a jejich značení

Typ lokality	Lokalita	Stanoviště	GPS	m n. m.	Vegetační stupeň
s lokálním přemnožením škůdce (T)	Holedná (H)	Holedná (H) Voda (V)	49.2122753N, 16.5334611E 49.0213658N, 17.0308956E	325	1-3
bez lokálního přemnožení škůdce (C)	Želetice (Z) Hodonínská dубrava (P)	Lesy1 (L1) Lesy2 (L2) Pánov (P)	49.0210000N, 17.0263653E 49.0205639N, 17.0250458E 48.8955186N, 17.1372517E	250 205	1-2 1
	Ždánice (K)	Kříž (K)	49.0975572N, 17.0272397E	350	3

v kulatých závorkách – značky lokalit, pod kterými se budou dále uvádět; vegetační stupně (Zlatník 1976): 1 – dubový, 2 – buko-dubový, 3 – dubo-bukový.

4.2 Charakteristika sledovaných škůdců

Výzkum byl zaměřen na listožravé motýlí škůdce lesa (Lepidoptera) s užším zájmem o druhy *Operophtera brumata* a *Erannis defoliaria* z čeledi Geometridae. Čeď zahrnuje asi 35 000 druhů, které jsou hojně rozšířeny po celém světě (přes 1000 druhů v Evropě, 510 druhů ve střední Evropě), nejvíce však v lesnatých oblastech (Macek et al. 2012). Většina druhů je noční a má zakrnělé ústní ústrojí. Dospělci Geometridae jsou převážně aktivní na podzim a částečně v zimě nebo časně z jara (*O. brumata* konec října – prosinec, *E. defoliaria* konec září – prosinec). Samci jsou makropterní (*O. brumata* 20-30 mm, *E. defoliaria* 35-40 mm) a samičky jsou nelétavé. Po vykuklení se zdržují na vegetaci/kmenech a po oplození lezou klást vajíčka do korun stromů. Mezi hospodářsky významné škůdce patří jejich housenky, které se líhnou časně z jara (*O. brumata* květen, *E. defoliaria* duben) a ožírají rašící pupeny, listy i květy různých listnatých dřevin (oba sledované druhy patří mezi polyfágy). Housenky dorůstají (*O. brumata* 25 mm, *E. defoliaria* 35 mm) a v průběhu června se spouští na zem, kde se kuklí (Macek et al. 2012).

4.3 Charakteristika sledovaných letounů

Výzkum byl zaměřen hlavně na druhy letounů, kteří měli morfologické, echolokační a lovecké předpoklady k lovu vybraných škůdců (housenek na jaře a létavých/nelétavých imag na podzim). Tyto druhy letounů byly vybrány na základě informací v literatuře, které jsou shrnuty do tabulky v příloze (Příloha 1).

U každého zjištěného druhu letouna byl stanoven jeho potencionál k lovu housenek (Plar). Vyhodnocen byl dle lovecké strategie (Lstr), loveckého prostoru (Lpr), potravy letouna (Pot), maximálního obsahu Lepidoptera v potravě (MaxLep) a doplňujících informací z literatury. Hodnota Plar byla stanovena jako: 0 – žádný (housenky v potravě vůbec nebo stopové množství sebrané náhodou, nemá dispozice k lovu), 1 – minimální (housenky v potravě občas, nepravidelně, nemá dispozice, kořist nevyhledává), 2 – střední (housenky zastoupeny v potravě, predispozice má, ale kořist vyhledává jen oportunisticky), 3 – maximální (housenky v potravě ve velkém množství, má predispozice a loví je aktivně).

Mezi **vybrané druhy lovců** patřili letouni s hodnotou Plar 2 a 3, kteří jsou schopni lovu kořisti sběrem (G, gleaning foragers) v okrajovém (E, edge) nebo uzavřeném prostoru (C, close), živí se motýly z více jak 50 % (Pot – Lep (Lepidoptera), MaxLep \geq 50 %) a u kterých se v literatuře konzumace housenek opakovaně zmiňuje.

Patřili mezi ně: *M. bechsteinii*, *M. emarginatus*, *M. mystacinus*, *M. brandtii*, *M. nattereri*, *R. ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *B. barbastellus*, *P. auritus*, *P. austriacus*.

4.4 Sběr a zpracování dat

Výzkum probíhal v průběhu jara a podzimu v roce 2017. Metody i časový harmonogram se lišily podle vzorkovaných materiálů (motýli/letouni).

4.4.1 Vzorkování lepidopterních škůdců

Vzorkování housenek/imag Lepidoptera

Vzorkování bylo přizpůsobeno biologii sledovaných škůdců během roku. Determinace byla provedena podle atlasů Noční motýli I. – III. (Macek et al. 2007, Macek 2008, Macek et al. 2012) nebo za pomoci pana RNDr. Jána Kulfana, CSc. ze Slovenské akademie věd.

V **jarním** období se sbíraly housenky ze stromů v intervalu 5. 5. – 10. 5. 2017. Sběr proběhl jednou na každé lokalitě. Náhodně se vybralo pět listnatých stromů, u kterých byly větve přístupné ze země. Z každého stromu se vybraly tři větve, z kterých byly ručně sesbírány všechny přítomné housenky. Ty se určily do druhů popř. rodů. Vzorkovány byly všechny přítomné druhy housenek, zaznamenával se jejich počet v kusech.

V **podzimním** období se odchyt soustředil na okřídlené samce i nelétavé samice. Vzorkovalo se 25. 10. – 1. 12. 2017. Pro odchyt byly použity lepové pásy BIOCONT proti lezoucím škůdcům (Biocont Laboratory spol. s.r.o.), které se umístily na kmeny náhodně vybraných listnatých stromů. Na kontrolních lokalitách bylo vybráno celkem 70 stromů (Kříž 50, Pánov 20) a na testovaných 170 (Holedná 50, Želetice 120: V 50, L1 50, L2 20). Lepová plocha pásů vycházela na 5 dm² kmene stromu. Pásy byly umístěny ve výšce 150 cm od země a obepínaly kmen. Na spodní i vrchní straně byly připevněny provázkem, aby imaga nevlezla pod pás. Lepové pásy se měnily každých 6-8 dní. Během vzorkovacího období proběhla výměna čtyřikrát na každé lokalitě. Získaní jedinci byli determinováni a rozlišení dle pohlaví. Zaznamenával se jejich počet v kusech.

Determinace imag byla složitější než u housenek, protože při vzorkování na pásích byly narušeny drobné detaily. Proto byly získané druhy škůdců zařazeny do komplexů dle podčeledí, které pak byly použity i pro housenky z jarního období:

- 1) **Komplex *E. defoliaria*** (podč. Ennominae: *E. defoliaria*, *Agriopsis aurantiaria/marginaria*)
- 2) **Komplex *O. brumata*** (podč. Larentiinae: *O. brumata*, *Epirrita* spp.)
- 3) Jiní významnější škůdci se řadily do čeledí: **Geometridae** (další druhy kromě již zmíněných), **Noctuidae** a **Tortricidae**.

- 4) **Komplex Další** sdružuje zbytek druhů a neurčené druhy (Erebidae, Ypsolophidae, Pyralidae, neurčení jedinci).

Tab. č. 3: Souhrn vzorkování housenek/dospělců Lepidoptera.

Období	Lokalita	Datum vzorkování	Metoda	Stromy
Jaro	T (H, Z), C (K)	5. – 10. 5. 2017	ruční sběr housenek	5 (stromů) x 3 (větvě)
Léto	T (Z), C (K)	15. 7. – 26. 8.2016	odchyt na UV	-
Podzim	T (H, Z), C (K, P)	5. 11. – 1. 12.2017	lepové pásy	Z (120), H (50), K (50), P (20)

T (Test, lokality s přemnožením) – H (Holedná), Z (Želetice); C (Control, lokality bez přemnožení): K (Kříž), P (Pánov).

Vzorkování listů

Vzorkování listu pro kontrolu jejich poškození žírem se provádělo na konci jara (druhý týden v červnu), kdy už sledované druhy housenek nebyly k nalezení. Listy se vzorkovaly na dvou stanovištích s žírem (Holedná, Želetice - Lesy1) a na jedné kontrole (Kříž). Náhodně bylo vybráno pět listnatých stromů, u kterých byly ze země přístupné alespoň čtyři větve. Z každého stromu se vybraly čtyři větve dlouhé cca 2 m od kmene stromu a z každé větve bylo natrháno 10 listů.

Listy byly nafoceny digitálním fotoaparátem a pomocí programu ImageJ byla určena jejich listová plocha. Plocha listů byla měřena pomocí jednoduchého práhování barev a označení listů. Měřením byla zjištěna plocha poškozených listů (cm²) a odhadem pak byla doplněna jeho plocha před poškozením (cm²). Rozdíl těchto hodnot byl zaznamenán jako procentuální úbytek listové plochy (% cm²), který byl použit pro následné hodnocení dat.

4.4.2 Vzorkování letové aktivity netopýrů

Detektoring

Aktivita netopýrů byla zaznamenávána v průběhu sezóny roku 2017 (jaro 11. 4. – 16. 6., léto 31. 7. – 24. 9, podzim 15. 10. – 1. 12.) metodou automatického stacionárního detektoringu. K monitoringu netopýrů byly využity jednomikrofonové detektory SM3Bat a SM4Bat (Wildlife Acoustics, Inc., Maynard, USA). Zařízení byla umístěna na lokalitách na stromech ve výšce 5 m od země a zaznamenávala aktivitu netopýrů od západu do východu slunce. Signály zachycené do sekvencí o délce max. 10 sekund byly uloženy ve formátu wav do paměti. Baterie a SD karty byly v detektorech měněny v intervalech dvou týdnů (14-16 dní).

Tab. č. 4: Souhrn vzorkování letové aktivity netopýrů

Období	T/C	Lokality	Datum	Počet dnů detektoringu
Jaro	T	Z	11.04 - 16.06	65
		H	12.05 - 13.06	25
	C	K	12.04 - 16.06	66
Léto	T	Z	02.08 - 24.09	48
		H	02.08 - 07.09	37
	C	K	02.08 - 03.09	28
		P	31.07 - 11.09	43
Podzim	T	Z	17.10 - 1.12	46
		H	15.10 - 19.11	24
	C	K	17.10 - 30.11	45
		P	15.10 - 22.11	33

T (Test, lokality s přemnožením) – H (Holedná), Z (Želetice); C (Control, lokality bez přemnožení): K (Kříž), P (Pánov).

Analýza nahrávek

Následná analýza nahrávek zaznamenaných v reálném čase probíhala pomocí poloautomatického programu Sonochiro (Biotope, Francie), který pracuje na principu neurálních sítí – srovnává vložené nahrávky signálů s integrovanými nahrávkami signálů v knihovně programu (> 250 000 nahrávek, knihovna aktualizována nahrávkami z ČR). Program je schopný určit na jednu sekvenci až tři druhy.

V programu byl přednastaven: typ využitého detektoru, příslušný region – pro náš výzkum Northern temperate (severní mírný), časové rozlišení 1x (real time), minimální délka signálu 0,5 ms. Sensitivita vyhledávání programu byla nastavena na 8 (1 nejméně citlivé – 10 nejvíce citlivé).

Výstupem programu byla tabulka s pozitivními sekvencemi (přítomný signál netopýra), určením letouna do skupiny rodů/druhů a samostatného druhu, maximálním počtem pulzů sekvence a dalšími hodnotami. Důležitý byl konfidenční index u skupin a druhů, který určuje úroveň přesnosti identifikace jedince (0 nejmenší – 10 nevyšší přesnost). Pro jednotlivé druhy tak byla stanovena hodnota konfidenčního indexu, při které se výsledek Sonochiro shodoval s manuálně určeným vzorkem z více než 80 % (Bartonička et al. 2017). Jestliže byla hodnota indexu menší než hodnota stanovená, přeřadil se druh do skupiny rodů/druhů. Sekvence, které byly nekvalitní, nedokázal Sonochiro určit a řadily se do kategorie „parazitické“. Tyto sekvence byly následně manuálně zkontrolovány v programu Adobe Audition CC 2017. Pokud nešlo o netopýra, byly z analýzy vyřazeny. Zaznamenaný byly počty jedinců (počet pozitivních sekvencí)

na lokalitách. Některé zaznamenané druhy letounů jsou od sebe akusticky obtížně odlišitelné, byly proto přiřazeny do dvojic druhů (Jahelková & Bartonička 2006).

4.5 Metody hodnocení dat

Získaná data z jednotlivých stanovišť byla vždy upravena tak, aby odpovídala jedné lokalitě (n – počet škůdců/letounů na jedné lokalitě). To se týkalo lokality Želetice, kde se vzorkovalo na 3 stanovištích (Lesy 1, Lesy 2, Voda). Lokalita Pánov byla do výzkumu přidána od letního období.

U letounů byly hodnoty letové aktivity (počty pozitivních sekvencí letounů) přečteny na relativní aktivitu na den (počet sekvencí daného druhu na noc – sek/noc).

4.5.1 Výběr dat a druhová diverzita společenstev

Pro hodnocení alfa-diverzity u Lepidoptera i Chiroptera byly použity počty všech zjištěných druhů a jedinců na lokalitách. Pro srovnání druhové diverzity byly použity následující indexy:

Dominanci (D) bylo vyjádřeno procentuální zastoupení určitého druhu v celkovém složení společenstva. Podle hodnot dominance byly druhy klasifikovány na eudominantní (> 10 %), dominantní (10-5 %), subdominantní (5-2 %), recedentní (2-1 %) a subrecedentní (< 1 %) (Losos et al. 1984).

$$D = (n_i/N) * 100 (\%), n_i - \text{počet jedinců druhu } i, N - \text{počet všech druhů.}$$

Renkonenův index (Re) byl použit pro určení faunistické podobnosti mezi jednotlivými zoocenózami. Re index pracoval s hodnotami dominance. Čím byl Re vyšší, tím si byly zoocenózy v druhovém složení podobnější. Hranice podobnosti je 50 %.

$$Re = \sum \min d_i, d_i - \text{nižší hodnota } D \text{ } i\text{-tého druhu společného pro obě zoocenózy.}$$

Jako další byl pro zhodnocení celkové druhové rozmanitosti společenstev použit **Shannon-Wienerův index (H)**. Čím byl index vyšší, tím měla zoocenóza větší počet druhů a byla více druhově vyrovnaná (celkový počet jedinců rozložen na větší počet druhů).

$$H = \sum (n_i/N) * \ln (n_i/N), n_i - \text{počet jedinců druhu } i, N - \text{počet všech jedinců.}$$

4.5.2 Výběr dat a statistické hodnocení

Pro posuzování normality byl použit Kolmogorov-Smirnov test. Získaná data nebylo možno ani po úpravách transformovat do normálního rozložení. Statistické zpracování bylo provedeno v programech Statistica 13 a Microsoft Office Excel 2013.

Zastoupení motýlů na lokalitách

Pro statistické hodnocení byly u lepidopterních škůdců použity počty všech jedinců (n) zájmových komplexů *E. defoliaria* a *O. brumata* (popřípadě i ostatních zjištěných druhů). Variabilita mezi škůdci na T (testované lokality) a C (kontrolní) byla posuzována binomickým testem (BT). Poškození listů bylo testováno Mann-Whitney U testem (M-W).

Zastoupení letounů na lokalitách

Pro statistické hodnocení byla použita relativní aktivita (sek/noc) POUZE vybraných druhů letounů (viz. Charakteristika sledovaných letounů). Vzhledem k velmi nízké aktivitě byly z další analýzy vypuštěny druhy rodu *Rhinolophus* (přestože jde o druhy preferující lov motýlů). Do analýzy byla přidána i směsná skupina MHF, která sdružuje druhy rodu *Myotis* (*M. bechsteini*, *M. emarginatus*, *M. mystacinus*, *M. brandtii*, *M. nattereri*, *M. daubentonii*).

Z relativní aktivity zvolených letounů byly vybrány noci s maximální aktivitou (max.sek/počet nocí) ve snaze omezit možný efekt gradace v případě pozitivní agregační odpovědi. Vybraný počet nocí byl adekvátní k maximální aktivitě druhů dle testované proměnné:

1) Aktivita vybraných letounů ve vztahu ke škůdcům

- pro hodnocení byla vybrána z každé lokality a období maximální aktivita netopýrů na 35 nocí (max. sek/35).
- v případě jarního období byl z vybraných lovců vyřazen *B. barbastellus*, protože loveckou strategií (vzdušný lovec) neodpovídá k lovu housenek.

2) Zastoupení loveckých strategií ve vztahu ke škůdcům

- pro hodnocení byla vybrána pro každou loveckou strategií z každé lokality a období maximální aktivita netopýrů na 10 nocí (max. sek/10).

Pro statistické hodnocení byl vybrán zobecněný lineární model (GLM), který pracuje se spojitými i kategorickými daty a dovoluje i jiná rozdělení než normální. Model GLM porovnával rozdíly závislé proměnné (počet jedinců) s efektem náhodné proměnné (lokality nebo lovecká strategie) na lokalitách s přemnožením (T, testované lokality) a bez přemnožení (C, kontrolní lokality). Rozdíly mezi náhodnými proměnnými byly vypočteny pomocí Tukey HSD testu.

5 Výsledky

5.1 Zastoupení motýlích škůdců na lokalitách

5.1.1 Druhové složení a abundance škůdců

Na **jaře** bylo na všech stanovištích nasbíráno téměř 300 housenek nejméně 16 druhů šesti čeledí Lepidoptera (Erebidae, Geometridae, Noctuidae, Pyralidae, Tortricidae, Ypselophidae). Z toho přes 190 jedinců patřilo mezi sledované komplexy (Tab. č. 5). Seznam všech odchycených druhů a jejich dominance je uveden v příloze (Příloha 2).

Tab. č. 5: Souhrnné stavy housenek na lokalitách, jaro 2017

Komplexy	T				C	
	H		Z		K	
	n	D (%)	n	D (%)	n	D (%)
<i>E. defoliaria</i>	39	23,49	26	25,41	3	7,89
<i>O. brumata</i>	61	36,75	46	44,96	18	47,37
+ Geometridae	5	3,01	3,67	3,58	0	0
Noctuidae	15	12,65	10,67	10,42	5	13,16
Tortricidae	37	22,29	13	12,7	0	0
Další	3	1,81	3	2,93	12	31,58
Celkem	166	100	102,33	100	38	100
N druhů	14		15		4	
H index	2,01		1,82		1,27	
Re (%)			55,1^{TxC}			

T (Test, lokality s přemnožením) – H (Holedná), Z (Želetice); C (Control, lokality bez přemnožení); K (Kříž); Komplexy: *E. defoliaria* (podč. Ennominae: *E. defoliaria*, *A. aurantiaria/marginaria*), *O. brumata* (podč. Larentiinae: *O. brumata*, *Epirrita* spp.), + Geometridae (další druhy kromě již zmíněných), Noctuidae – Noctuidae spp., Tortricidae – Tortricidae spp., Další (Erebidae spp., Ypselophidae spp., Pyralidae spp., neurčení jedinci); n – počet jedinců na jednu lokalitu; D (%) – dominance v %, **červené** hodnoty značí **eudominantní** druhy/**modré dominantní**; N druhů – celkový počet druhů (včetně druhů v komplexech) na lokalitě; H index – Shannon-Wienerův index; Re (%) – Renkonenův index, horní index značí, které zoocenózy jsou srovnávány.

Housenky sledovaných druhů škůdců byly v určité míře zastoupeny na lokalitách s přemnožením (T) i na kontrolních lokalitách (C). Mezi lokalitami tak pozorujeme určitou faunistickou podobnost (Re 55,1 %, Tab. č. 5). Lokality s přemnožením byly více faunisticky vyrovnané (H index 2,01 a 1,82) než lokalita bez přemnožení (H index 1,27). Zastoupení druhů a počty jedinců byly na obou lokalitách s přemnožením skoro čtyřikrát vyšší než na lokalitách bez přemnožení. Nejvíce jedinci byla v součtu zastoupena čeleď Geometridae (Tab. č. 5). Další nejpočetnější čeledi byly Tortricidae a Noctuidae, které se objevovaly převážně na lokalitách s žírem.

Komplex *E. defoliaria* zahrnoval druhy: *E. defoliaria* a dvojici *Agriopsis aurantiaria/marginaria*. *E. defoliaria* byla jen na lokalitách s přemnožením škůdců, v obou případech eudominantní (H 10,84 %; Z 20,14 %). *A. aurantiaria/marginaria* byla

eudominantní na Holedné (12,65 %) a dominantní na ostatních lokalitách (Z 6,5 %; K 7,8 %). **Komplex *O. brumata*** ve výsledku zahrnoval dva druhy: *O. brumata* a *Epirrita autumnata*. *O. brumata* patřila mezi eudominantní druhy na všech stanovištích (H 35,54 %; Ze 47,57 %; K 47,37 %). *E. autumnata* byla zaznamenána recedentně jen na lokalitách s žírem (H 1,2 %; Z 0,32 %).

Přemnožení komplexů škůdců. Počty jedinců komplexů *E. defoliaria* a *O. brumata* byly v obou případech významně vyšší na lokalitách s přemnožením než na kontrolních (BT, *E. defoliaria* TxC $p < 0,001$; BT, *O. brumata* TxC, $p < 0,001$). Na lokalitách s přemnožením bylo významně vyšší zastoupení i ostatních druhů housenek (BT, Tortricidae TxC, $p < 0,001$), (BT, Noctuidae TxC, $p < 0,001$).

Na **podzim** se při sběru na lepkové pásy se celkem získalo více než 2000 imag vybraných škůdců komplexů *O. brumata* a *E. defoliaria* (Tab. č. 6). Další druhy se řadily do směsné skupiny (jednalo se především o zástupce čeledi Noctuidae).

Přemnožení komplexu škůdců. U obou komplexů bylo na všech lokalitách zachyceno více samců než samic (BT, $N_{\text{♀}} \times N_{\text{♂}}$, $p < 0,001$). Zastoupení imag obou komplexů na bylo signifikantně vyšší na lokalitách s přemnožením (BT, *E. defoliaria* TxC $p = 0,019$; BT *O. brumata* TxC, $p < 0,001$).

Tab. č. 6: Stavby dospělců vybraných škůdců, podzim 2017

Komplexy	T				C			
	H (50)		Z (60)		K (50)		P (20)	
	n	n/strom	n	n/strom	n	n/strom	n	n/strom
<i>E. defoliaria</i> ♂	34	0,68	26,67	0,66	11	0,22	3	0,15
<i>E. defoliaria</i> ♀	1	0,02	4,33	0,11	2	0,04	0	0
<i>O. brumata</i> ♂	970	19,4	561,33	14,03	352	7,04	19	0,95
<i>O. brumata</i> ♀	19	0,38	35,00	0,87	36	0,72	0	0
Další	5	0,1	5,00	0,12	1	0,02	2	0,1
Celkem	1029	20,58	632,33	15,81	402	8,04	24	1,2
N♂	1004	20,08	588	14,7	363	7,26	22	1,1
N♀	20	0,4	39,3	0,98	38	0,76	0	0

T (test): lokality s přemnožením škůdce: H (Holedná), Z (Želetice); C (control): lokality bez přemnožení: K (Kříž), P (Pánov), v závorkách uvedeny počty stromů na lokalitu; Komplexy: *E. defoliaria* (podč. Ennominae: *E. defoliaria*, *Agriopsis aurantiaria/marginaria*), *O. brumata* (podč. Larentiinae: *O. brumata*, *Epirrita* spp.), + Geometridae (další druhy kromě již zmíněných), Další (Erebidae spp., Ypsolophidae spp., Pyralidae spp., neurčení jedinci); n – počet jedinců na jednu lokalitu; n/strom – relativní počet imag na jeden strom na lokalitu; N♂, N♀ - součet samců/samic na lokalitě.

5.1.2 Poškození listů

V červnu 2017 bylo vzorkováno celkem 200 listů na jedno stanoviště. Průměrný úbytek listové plochy na lokalitách s přemnožením byl $12,68 \% \pm 5,24 \%$ (H) a $8,95 \% \pm 5,09 \%$ (Z). Na lokalitě bez přemnožení to bylo $6,13 \% \pm 3,80 \%$ (Tab. č. 7). Úbytek listové plochy na lokalitách s přemnožením byl o něco vyšší, ale statisticky nesignifikantní (M-W, $U^{\text{TxC}} = 131$, $p = 0,0634$).

Tab. č. 7: Průměrné hodnoty vzorkování listů, jaro 2017

Plocha listů	T		C
	H	Z	K
Celý list* (cm ²)	237,47	215,44	297,9
Poškozený list (cm ²)	207,62	196,75	277,21
Úbytek (cm ²)	29,85	18,69	20,69
Úbytek (%)	$12,68 \pm 5,42$	$8,95 \pm 5,09$	$6,13 \pm 3,80$

T (test): lokality s přemnožením škůdce: H (Holedná), Z (Želetice); C (control): lokality bez přemnožení: K (Kříž); Plocha listů: *jedná se o odhad.

5.2 Zastoupení letounů na lokalitách

5.2.1 Druhovú diverzita všech letounů

V průběhu celé sezóny bylo na lokalitách nadržáno přes 51 tisíc sekvencí nejméně 20 druhů letounů (Tab. č. 8, 9). Z toho pět se řadí do dvojic druhů (akusticky obtížně odlišné druhy) a druhy, které nebylo možné spolehlivě odlišit, se shlukují do skupin druhů/rodů (ENV, MHF, Pip35). Osm z těchto druhů (resp. dvojic) se řadilo mezi vybrané letouny s potenciálem pro lov motýlích škůdců (Tab. č. 8, 9, druhy značené hvězdičkou)

Tab. č. 8: Přehled zjištěných druhů, zkratk jejich jmen a jejich loveckých strategií.

Zkratka	Druhy	Lstr	Zkratka	Druhy	Lstr
Bbar*	<i>Barbastella barbastellus</i>	A	Rfer*	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	AG
Enil	<i>Eptesicus nilssoni</i>	AG	Rhip*	<i>R. hipposideros</i>	AG
Eser	<i>E. serotinus</i>	AG	Vmur	<i>Vespertilio murinus</i>	A
Hsav	<i>Hypsugo savii</i>	A	Mema/alc*	<i>Myotis emarginatus/alcaethoe</i>	G
Mbec*	<i>Myotis bechsteini</i>	G	Mmyo/bly	<i>M. myotis/blythi</i>	AG
Mdau	<i>M. daubentoni</i>	AT	Mmys/bra*	<i>M. mystacinus/brandtii</i>	AG
Mnat*	<i>M. nattereri</i>	AG	Paur/aus*	<i>Plecotus auritus/austriacus</i>	AG
Nlas	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	A	Pnat/kuh	<i>Pipistrellus kuhli/nathusii</i>	A
Nlei	<i>N. leisleri</i>	A	ENV	<i>Eptesicus/Nyctalus/Vespertilio spp.</i>	AG
Nnoc	<i>N. noctula</i>	A	MHF*	<i>Motis spp. (kromě Mmyo/bly)</i>	AG
Ppip	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	A	Pip35	<i>Pnat/kuh + H. savii</i>	A
Ppyg	<i>P. pygmaeus</i>	A			

Druhy: * vybrané druhy letounů s potenciálem pro lov motýlích škůdců; Lstr – lovecké strategie: A (aerial foreger, vzdušný lovec), AG (aerial/gleanning forager, vzdušný lovec/sběrač), G (gleanning foreger, sběrač), T (trawling forager, lov z vodní hladiny).

Tab. č. 9: Dominance, relativní aktivita, počet druhů a Shannon-Wienerův index všech zjištěných letounů na lokalitách.

D(%)	Jaro			Léto				Podzim				cD (%)
	T		C	T		C		T		C		
Druhy	H	Z	K	H	Z	K	P	H	Z	K	P	
Bbar*	0,65	7,63	15,59	13,60	9,35	11,97	7,90	6,53	7,81	6,40	3,90	9,30
Enil	-	0,19	0,34	0,30	0,18	4,75	0,31	-	-	-	-	0,83
Eser	1,66	0,15	0,43	0,54	0,55	5,46	0,44	0,04	0,15	0,19	0,17	1,20
Hsav	1,13	0,23	0,15	2,50	0,41	0,23	0,37	-	-	-	-	0,76
Mbec*	0,52	1,28	1,14	0,59	0,90	0,53	0,25	0,39	0,20	0,15	-	0,67
Mdau	0,12	1,03	0,04	0,04	0,34	0,25	0,12	0,04	0,03	0,07	-	0,26
Mema/alc*	3,51	2,18	0,49	1,78	2,64	1,08	5,41	3,33	0,78	0,07	0,17	2,04
Mmyo/bly	6,82	13,27	5,83	7,91	13,45	8,25	1,68	0,43	2,73	0,63	0,85	7,36
Mmys/bra*	2,18	5,39	0,32	0,08	5,01	0,42	1,93	0,07	0,17	0,11	-	1,67
Mnat*	0,52	0,51	0,17	0,11	3,47	0,28	2,99	0,04	2,00	10,61	2,88	1,30
Nlas	0,04	-	-	0,12	0,17	0,02	-	-	0,03	-	-	0,05
Nlei	0,08	0,10	0,06	0,07	0,24	0,76	0,37	-	0,03	0,07	-	0,19
Nnoc	16,03	4,53	1,59	3,20	12,71	10,03	20,09	0,14	7,32	4,61	10,17	6,86
Paur/aus*	5,17	4,06	1,14	8,07	11,30	2,81	6,09	1,65	8,42	1,64	5,42	5,05
Pnat/kuh	0,48	0,17	1,69	0,43	0,23	0,16	0,12	0,11	0,23	0,15	-	0,35
Ppip	6,18	21,11	58,96	1,76	4,33	24,44	0,93	19,36	0,61	8,67	0,85	14,80
Ppyg	54,91	38,04	12,01	58,88	34,69	28,48	50,93	67,87	69,33	66,62	75,59	47,26
Rfer*	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001
Rhip*	-	0,09	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,02
Vmur	-	0,02	0,04	0,01	0,03	0,07	0,06	-	-	-	-	0,02
sek/noc	99,08	168,99	70,67	223,81	90,78	154,89	37,40	116,21	24,95	59,71	17,88	1064,36
N druhů	16	19	17	18	18	18	17	13	16	14	9	20
H index	1,58	1,86	1,38	1,46	2,03	2,00	1,61	1,02	1,16	1,19	0,93	
Re index (%)	44,49^{TxC}			70,61^{TxC}				87,82^{TxC}				

T (test, lokality s přemnožením škůdce) – H (Holedná), Z (Želetice); C (control, lokality bez přemnožení – K (Kříž), P (Pánov), D (%) – dominance v %, červené hodnoty značí eudominantní druhy/modré dominantní; cD (%): celková dominance jednotlivých druhů za sezónu 2017 v %; Druhy: * vybrané druhy letounů s potenciálem pro lov motýlích škůdců; n/noc – relativní aktivita (počet sekvencí na jednu noc) letounů na lokalitě; N druhů – celkový počet druhů na lokalitě; H – Shannon-Wienerův index.

V **jarním období** se společenstva na lokalitách s žírem (T) a bez (C) blíží hranici faunistické podobnosti (Re 44,49 %) (Tab. č. 9). V Želeticích bylo zaznamenáno nejvíce druhů (19), nejvyšší Shannon-Wienerův index (1,86) i největší souhrnná relativní aktivita (168,99 sek/noc). Zbylé lokality mají hodnoty nižší a jsou druhově méně vyrovnané (H index $\leq 1,5$). Mezi eudominantní letouny patřily druhy *N. noctula* a *M. myotis* na lokalitách s přemnožením a oba druhy *P. pipistrellus* a *P. pygmaeus* na většině lokalitách (Tab. č. 9). Na lokalitách s přemnožením byly jedině v tomto období znamenány všechny druhy vybraných letounů lovících studované škůdce. Tyto druhy převážně nedosahovaly dominance vyšší než 5 %. Nejnižší relativní aktivita byla zjištěna u rodu *Rhinolophus* (H index $< 0,01$). Jedině u druhů *B. barbastellus* a *P. auritus/austriacus* jsme pozorovali hodnoty nad 5 %. Kromě *B. barbastellus* měly všechny druhy, které loví housenky, vyšší dominanci na lokalitách s žírem než na kontrolní lokalitě.

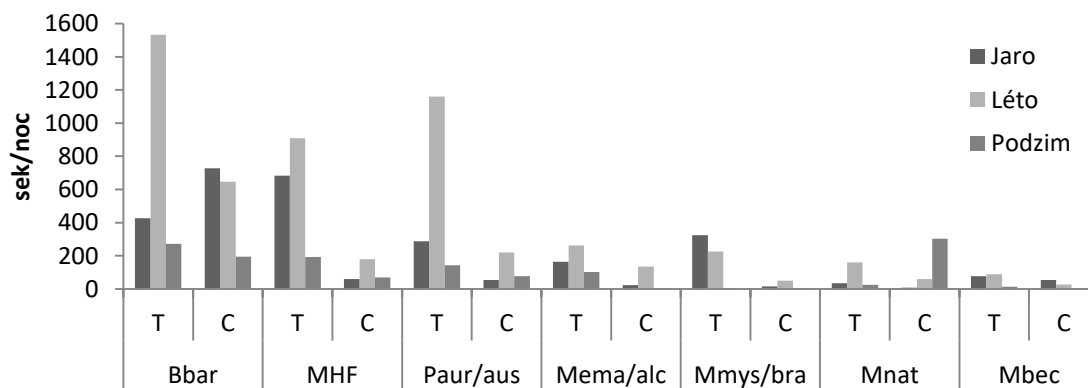
Letní období je z hlediska životního cyklu vybraných škůdců méně zajímavé a slouží jako kontrolní. Společenstva na lokalitách jsou si faunisticky podobná (Re 70,61 %), počty druhů jsou vyrovnané a u většiny lokalit jsme pozorovali sezónní zvýšení relativní aktivity – vyjma Želetic, kde byla aktivita na noc nižší než na jaře (90,78 sek/noc) (Tab. č. 9). Eudominantní druhy z jarního období měly podobné nebo vyšší hodnoty dominance i v létě. Nejvyšší hodnoty měl *P. pygmaeus*, který byl eudominantní po celou sezónu na všech lokalitách. U *M. bechsteinii* a *M. nattereri* jsme pozorovali pokles hodnot dominance na lokalitách s přemnožením i bez.

Na **podzim** se na všech lokalitách snižují počty druhů (Tab. č. 9). Všechna společenstva si byla faunisticky podobná (Re 87,82 %), druhově chudší a značně nevyrovnaná (H index kolem 1). Více jak nadpoloviční dominanci měl *P. pygmaeus* na všech lokalitách. U většiny vybraných netopýrů bylo oproti jarnímu období pozorováno snížení hodnot dominance na všech lokalitách. Naopak u *B. barbastellus* došlo k vyrovnání hodnot na lokalitách s žírem a bez. U dvojice *P. auritus/austriacus* jsme zaznamenali pokles hodnot na Holedné (5,17 → 1,65 %), ale dvakrát vyšší dominanci v Želeticích (4,06 → 8,42 %). Značný nárůst dominance jsme na kontrolní lokalitě Kříž pozorovali u *M. nattereri* (10,61 %).

5.2.2 Aktivita vybraných letounů ve vztahu ke škůdcům

Na grafu č. 1 je zobrazena relativní aktivita vybraných letounů s preferencí k lovu housenek/imag Lepidoptera za celou sezónu 2017 (Tab. č. 8, 9, druhy označené hvězdičkou). Graf č. 2 ukazuje souhrnný průběh aktivity vybraných lovců a komplexů škůdců *O. brumata* a *E. defoliaria* na lokalitách s přemnožením (T) a bez (C). Podrobnější průběh aktivity u jednotlivých druhů netopýrů i škůdců v jarním a podzimním období je uveden v příloze (Příloha 3).

Graf č. 1: Relativní aktivita vybraných druhů netopýrů za celou sezónu 2017; sek/noc – relativní aktivita (součet pozitivních sekvencí na jednu noc), T (testované lokality), C (kontrolní lokality).

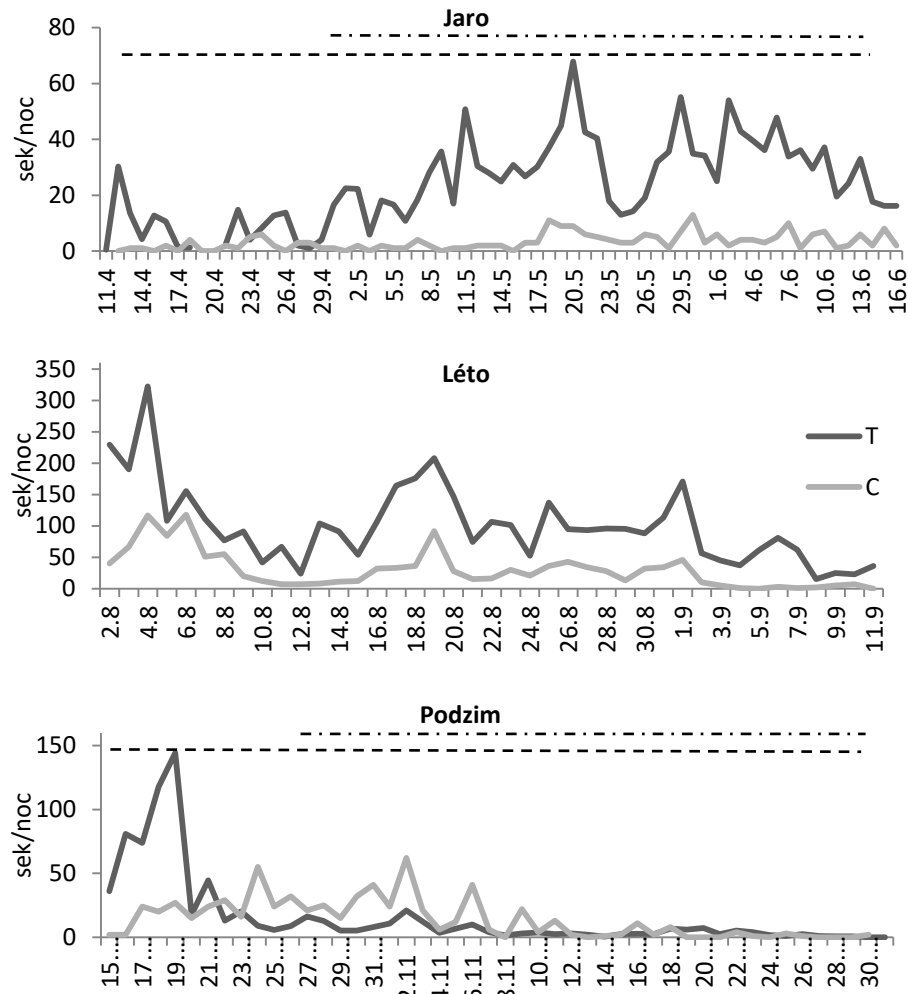


Na **jaře** dochází začátkem května k růstu relativní aktivity na lokalitách s žírem a jejímu následnému kolísání až do konce jarního období (minimum 11 sek/noc, maximum 108 sek/noc) (Graf. č. 2). Na kontrolních lokalitách (C) se aktivita udržuje na nízkých až nulových hodnotách po celé jarní období (maximum 13 sek/noc). Při statistickém porovnání byla maximální aktivita vybraných netopýrů signifikantně vyšší na lokalitách s přemnožením škůdců (GLM, $F^{TxC} = 102,19$, $p < 0,001$) (Graf. č. 3).

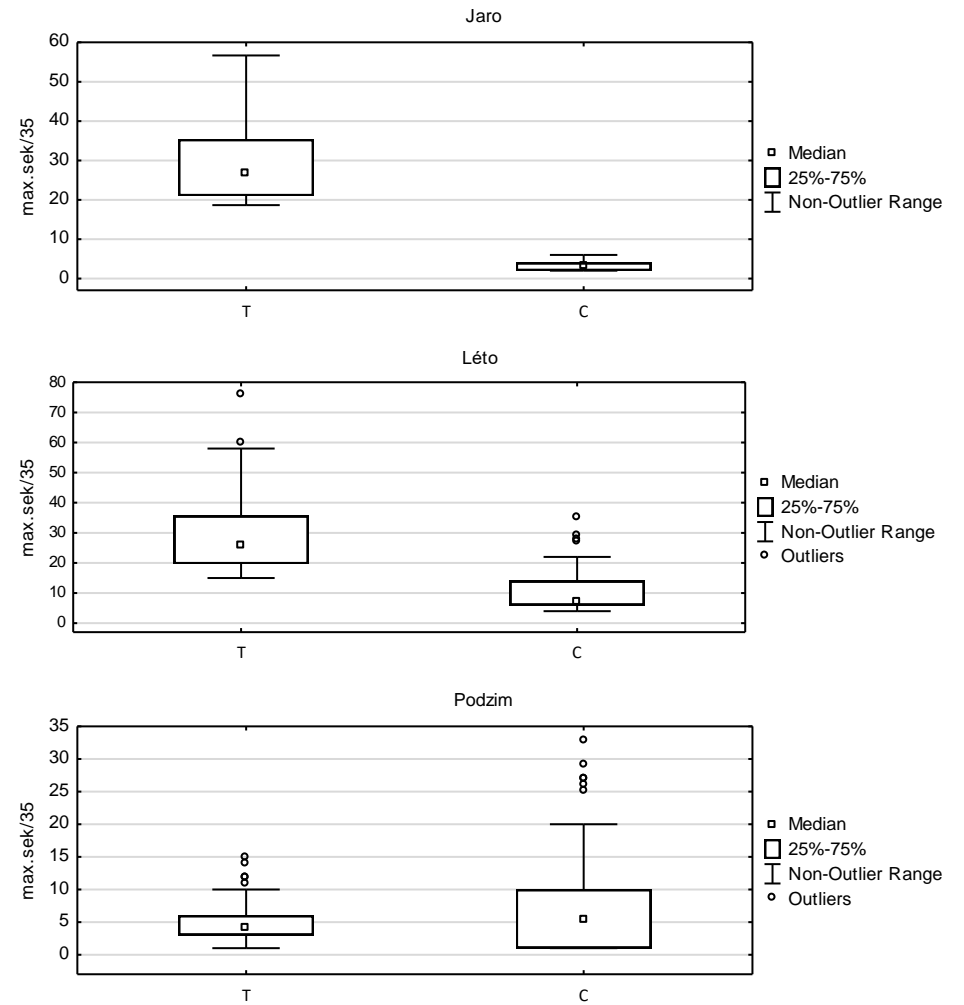
V **letním období** (Graf. č. 2) byly na lokalitách pozorovány společné vrcholy relativní aktivity. Vrcholy se lišily hodnotami relativní aktivity, které byly vyšší na lokalitách s žírem (T). Na začátku srpna dosáhla relativní aktivita svého maxima na T (322,3 sek/noc) i C (118 sek/noc), a pak postupně klesala až ke konci sledovaného období. Statistický rozdíl maximálních hodnot aktivity mezi lokalitami byl signifikantně vyšší na lokalitách s žírem (GLM, $F^{TxC} = 5,33$, $p = 0,023$) (Graf. č. 3).

Relativní aktivita vybraných letounů na **podzim** byla nízká (\bar{x} 6,44 sek/noc) a ke konci období až nulová (Graf. č. 2). Na lokalitách s přemnožením pozorujeme vrchol aktivity na začátku období (144 sek/noc). Poté aktivita klesá a je menší než na lokalitách kontrolních. Rozdíl mezi maximální aktivitou na lokalitách nebyl statisticky průkazný (GLM^{TxC}, $F = 0,247$, $p = 0,619$) (Graf. č. 3). Maximální aktivita byla signifikantně vyšší na lokalitách s přemnožením škůdců jedině v době 15. - 22. 10. (GLM^{TxC}, $F = 24,995$, $p < 0,001$) a 17. - 25. 11. (GLM^{TxC}, $F = 4,370$, $p = 0,046$).

Graf č. 2: Průběh relativní aktivity vybraných letounů mezi lokalitami s přemnožením (T) a bez (C); sek/noc – relativní aktivita (součet pozitivních sekvencí na jednu noc); čerchovaná čára – výskyt komplexu *O. brumata*, přerušovaná čára – výskyt komplexu *E. defoliaria*.



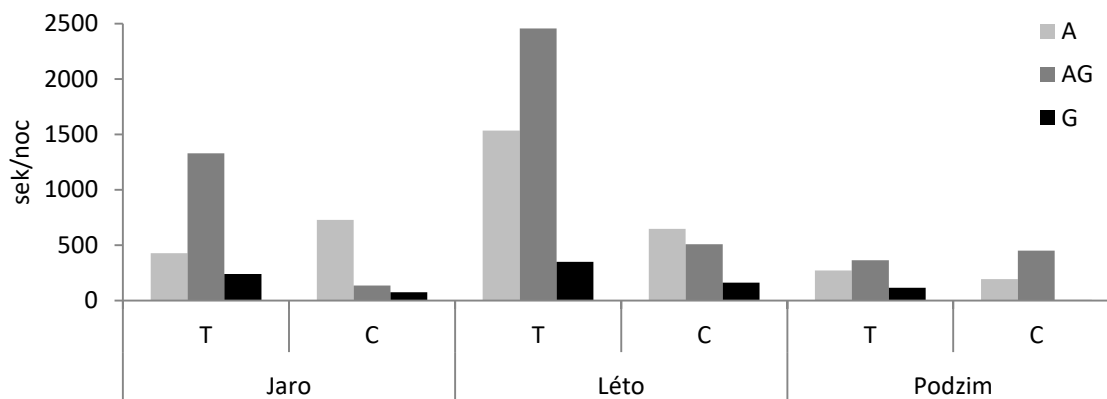
Graf č. 3: Maximální aktivita vybraných letounů; max.sek/35 – maximální aktivita vybraných letounů na 35 nocí; T (test, lokality s přemnožením škůdce), C (control, lokality bez přemnožení).



5.2.3 Zastoupení loveckých strategií ve vztahu ke škůdcům

Na grafu č. 4 vidíme relativní aktivitu (sek/noc) vybraných lovců škůdců rozdělenou dle lovecké strategie (Tab . č. 8, 9, druhy s hvězdičkou, viz. Metodika).

Graf č. 4: Relativní aktivita vybraných druhů letounů rozdělená dle lovecké strategie; sek/noc – relativní aktivita (součet pozitivních sekvencí na jednu noc); T (test, lokality s přemnožením škůdce), C (control, lokality bez přemnožení); lovecké strategie: A (aerial forager – vzdušný lovec – Bbar), AG (aerial/gleanning forager – sběrač/vzdušný lovec – Mmys/bra, Mnat, Paur/aus), G (gleanning forager – sběrač – Mbec, Mema/alc).

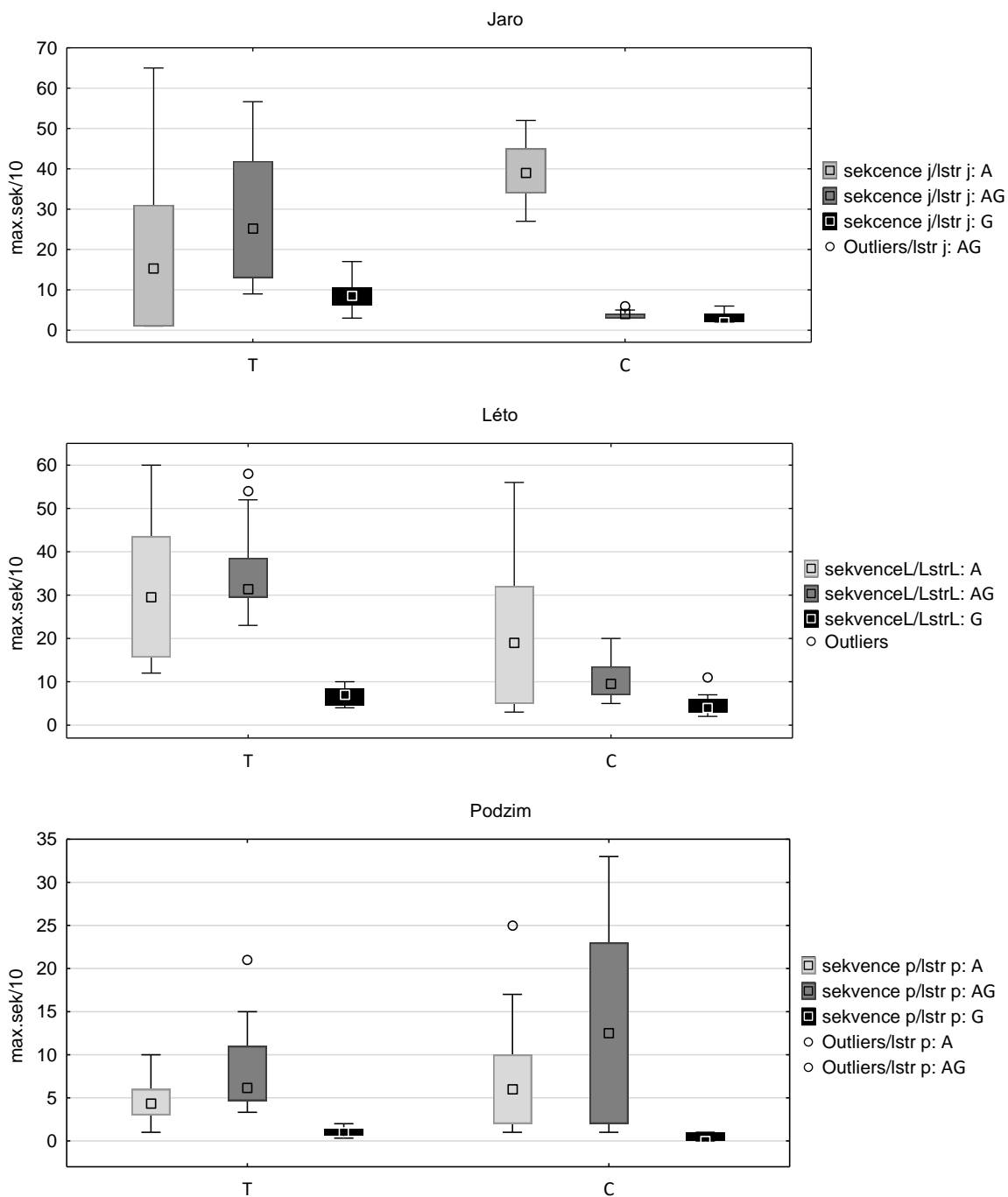


V **jarním období** byla maximální aktivita vzdušných lovců signifikantně vyšší na lokalitách kontroly (GLM, Tukey^{TxC}: A, $p = 0,003$) (Graf č. 4, 5). Netopýři, kteří oportunisticky mění svou strategii – sběrači/vzdušní lovci – byli naopak až 10 krát více aktivní na lokalitách s přemnožením škůdců (GLM, Tukey^{TxC}; AG, $p < 0,001$). U skupiny sběračů jsme na lokalitách s přemnožením pozorovali vyšší hodnoty relativní aktivity (T 239 sek/noc x C 76 sek/noc) (Graf č. 4). Rozdíly v maximální aktivitě, ale nebyly u skupiny sběračů průkazně rozdílné (GLM, Tukey^{TxC}; G, $p = 0,901$) (Graf č. 5).

V **letním období** byly hodnoty relativní aktivity všech skupin vyšší na lokalitách s přemnožením (Graf. č. 4). Signifikantně vyšší zastoupení bylo zjištěno jen u skupiny AG na lokalitách s přemnožením (GLM, Tukey^{TxC}: AG, $p < 0,001$) (Graf. č. 5).

Na **podzim** byla relativní aktivita všech skupin nízká (Graf. č. 4) a ani rozdíly mezi maximálními aktivitami skupin nebyly průkazně rozdílné (GLM, $F^{TxC} = 1,082$, $p = 0,342$) (Graf č. 5). Vizuálně byla aktivita vzdušných letců a sběračů/vzdušných lovců mezi lokalitami podobná. Naopak sběrači byli více aktivní na lokalitách s přemnožením (T 115 sek/noc x C 7 sek/noc) (Graf. č. 4). Jedině v období 17. - 25. 11. bylo na lokalitách s žírem signifikantně vyšší zastoupení skupiny AG (GLM, Tukey^{TxC}: AG, $p = 0,002$).

Graf č. 5: Maximální aktivita vybraných druhů letounů rozdělená dle lovecké strategie; max.sek/10 – maximální aktivita vybraných letounů na 10 nocí; lovecké strategie: A – aerial hawkler – vzdušný lovec (Bbar), AG – aerial/gleanning hawkler (Mmys/bra, Mnat, Paur/aus), G - gleanning hawkler - sběrač (Mbec, Mema/alc).



6 Diskuze

6.1 Agregiční odpověď netopýrů na přemnožení motýlích škůdců

Jarní období

Na studovaných lokalitách bylo zjištěno přemnožení housenek čeledi Geometridae s nejvyšší abundancí druhů *Operophtera brumata* a *Erannis defoliaria*. Tyto dva druhy spolu dalšími druhy rodů *Epirrita* a *Agriopsis*, které byly na těchto lokalitách také hojné, patří k běžným škůdcům českých lesů (Liška 2002, Kula 2006, Knížek et al. 2011), ale i lesů Evropy (Csóka 1998, Jepsen et al. 2008, Glavendekić & Medarević 2010, Tenow et al. 2013, Fält-Nardmann et al. 2016). V Česku patří zmíněné druhy mezi chronické škůdce hlavně v Polabí, Hornomoravském a Dolnomoravském úvalu, kde působí rozsáhlé škody posledních 40 let (Liška 2002). Přemnožení housenek píd'alek v dubových lesích sledovali Csóka (1998) v Maďarsku nebo Glavendekić & Medarević (2010) v Srbsku, kde *O. brumata* i *E. defoliaria* byly velmi početné. Jako další abundantní škůdce jsme zaznamenali druhy čeledi Tortricidae a Noctuidae. Housenky z čeledi Geometridae, Tortricidae a Noctuidae se často v oblastech s přemnožením motýlích škůdců vyskytují společně a způsobují tak značné holožírny (Glavendekić & Medarević 2010).

Zjištěné poškození listů žírem přemnožení škůdců neodpovídalo - na testovaných lokalitách bylo jen lehce vyšší než na kontrolních. Nesignifikanční rozdíl mohl být způsoben, tím, že žír na kontrolních lokalitách způsobily taxony, které jsme neevidovali. V této práci jsme početnost housenek vzorkovali na každé lokalitě jen jednou, v době vrcholu jejich výskytu. Pro přesnější výsledky, by bylo dobré evidovat jejich stavy průběžně po celém jarním období.

Na lokalitách s přemnožením housenek byla zjištěna vyšší aktivita netopýrů, kteří mají k jejich lovu morfologické, echolokační a lovecké přizpůsobení. To platilo i samostatně pro jednotlivé druhy letounů (Příloha 3). K těmto druhům patřily: sběrači kořisti z podkladu: *M. bechsteinii*, *M. emarginatus/alcahoe* a druhy schopné oportunisticky přepínat mezi oběma strategiemi: *M. mystacinus/brandtii*, *M. nattereri*, *Plecotus auritus/austriacus*. Zároveň *B. barbastellus*, který je lovcem vzdušným a specialistou na lov imag Lepidoptera, byl více aktivní na lokalitách kontrolních.

V této práci jsme neprováděli detailní rozbor trusu netopýrů a není tak možné jistě tvrdit, že všechny druhy nejvíce lovily přemnožené housenky – obzvlášť u druhů, které loveckou strategií střídají. Lov housenek byl ale u vybraných druhů netopýrů potvrzen

několika studii (Příloha 1: Adu/Lar) a u druhu *M. bechsteinii* i v rámci tohoto výzkumu (osobní sdělení, Jan Blažek, student MUNI, Kamenice 753/5, Brno). Navíc v případech, kdy jsou housenky abundantní, představují pro netopýry důležitý zdroj potravy (Wilson & Barclay 2006). Lze tak jistě předpokládat, že zvolené druhy netopýrů housenky sledovaných škůdců lovily alespoň z části.

Naše výsledky se shodují s mnoha studii, které se již numerickou odpovědí netopýrů zabývaly a potvrdily, že netopýři se k bohatému zdroji potravy, který je pro ně vzhledem k jejich biologii nejlépe dostupný, agregují rychle a efektivně (de Jong & Ahlén 1991, Wickramasinghe et al. 2003, 2004, Cleveland et al. 2006, Fukui et al. 2006, Boyles et al. 2011, Dodd et al. 2012, McCracken et al. 2012, Müller et al. 2012, Riccucci & Lanza 2014, Charbonnier et al. 2014). Některé z nich (Kalka & Kalko 2006, Wilson & Barclay 2006, Kalka et al. 2008, Böhm et al. 2011) jsou přímo zaměřené na přemnožení motýlích škůdců a predaci jejich housenek netopýry a shodují se na tom, že sběrači jsou v redukci motýlích škůdců velmi důležití. Kalka et al. (2008) tvrdí, že v tropických lesích mohou mít sběrači větší efekt na redukci hmyzích herbivorů než ptáci. V Evropských zemích je tomu naopak, protože ptáci jsou zde mnohem početnějším taxonem než netopýři (Böhm et al. 2011).

Aktivita jednotlivých druhů sledovaných netopýrů se lišila průběhem a hodnotami relativní aktivity. S předpokladem, že netopýři se pozitivně agregovali k lokalitám s přemnožením sledovaných škůdců, lze průběh jejich aktivity srovnat s dostupností kořisti (Ciechanowski et al. 2007, Müller et al. 2012, Charbonnier et al. 2014).

Druhy *M. emarginatus/alcaethoe*, *M. mystacinus/brandti*, *P. auritus/austriacus* byly na lokalitách s přemnožením škůdců více aktivní než na lokalitách kontrolních už v průběhu dubna. Tato aktivita může mít souvislost s dostupností housenek *E. defoliaria* a *O. brumata*, které se v přírodě mohou vyskytovat už od dubna (Holliday 1977, Liška 2002, Mannai et al. 2015) a již mohou být pro netopýry nutričně zajímavou kořistí. Zároveň mohli netopýři lovit i jinou kořist – například Araneae, Dermaptera a imaga Lepidoptera, které jsou pro sběrače časně z jara také dostupné a často bývají součástí jejich potravy (Andreas 2002).

Počátkem května jsme pozorovali téměř u všech vybraných netopýrů vzestup relativní aktivity, který bude pravděpodobně souviset s tím, že se jednalo o první delší oteplení (denní max. teploty do 20°C, cca 3 km od lokalit, meteoblue.com). Právě v tomto období se líhnou poslední housenky sledovaných motýlů a v průběhu května dosahují vrcholu své aktivity (Holliday 1977, Liška 2002). I v našem výzkumu jsme v tuto dobu

na lokalitách s přemnožením nacházeli housenky v hojném počtu a aktivita většiny sběračů a sběračů/vzdušných lovců zde byla v průběhu května relativně nejvyšší. Na druhou stranu, v květnu se v přírodě obecně navyšuje celková abundance bezobratlých a diverzita potravní nabídky a je tak možné, že netopyři reagovali i na jiný taxon než na námi sledované housenky. Například vrchol aktivity u *B. barbastellus* indikoval spíše zvýšenou dostupnost imag Lepidoptera, protože druh je specialista na noční motýly a specialisté si vždy vybírají preferovanou potravu, i když není v potravní nabídce příliš početná (Beck 1995, Sierro & Arlettaz 1997, Vaughan 1997, Sierro 1999, Andreas et al. 2012b).

Zajímavý je pokles relativní aktivity u druhů *M. bechsteinii* a *M. mystacinus/brandtii* od začátku června do jeho poloviny, který byl pravděpodobně spojen s náhlým ochlazením (min. noční teploty kolem 10°C, cca 3 km od lokalit, meteoblue.com). Tento pokles může být spojen i s koncem aktivity sledovaných škůdců, protože právě v tomto období se housenky *E. defoliaria* a *O. brumata* spouští ze stromů a následně se kuklí v zemi. Tuto domněnku podporuje to, že těmto dvěma druhům spolu s r. *Plecotus* byl dle dostupných zdrojů přiřazen maximální potenciál pro lov této kořisti (Příloha 1). Navíc u druhu *M. bechsteinii* byla potvrzena přítomnost housenek v potravě - v některých vzorcích trusu v 70 a více % (osobní sdělení, Jan Blažek, student MUNI, Kamenice 753/5, Brno). Je tak možné, že spolu s dostupností snadné kořisti klesá i aktivita *M. bechsteinii* a *M. mystacinus/brandtii* tím, že se přesunou lovit jinam (Wilson & Barclay 2006, Müller et al. 2012). Na druhou stranu může být tento pokles aktivity spojen s pozdní fází gravidity samic, které před porodem loví méně a jsou celkově méně aktivní (Kunz 1974, Kurta et al. 1989, Rydell 1993). Akustická studie nám však neumožňuje zjistit pohlaví jedinců, a tím pádem nemůžeme vědět, zda se pokles týkal samců, samic nebo obou pohlaví. U poslední dvojice druhů s maximálním potenciálem pro lov sledovaných škůdců – *P. auritus/austriacus* – výrazný pokles aktivity nepozorujeme. Což může být způsobeno tím, že druh dokáže velmi efektivně přepínat mezi loveckými strategiemi a v době nedostatku housenek, tak mohl přejít na jinou ať už létající nebo nelétající kořist (Norberg & Rayner 1987, Anderson & Racey 1991, Vaughan 1997).

Podzimní období

Na podzim bylo na lokalitách s žírem zjištěno signifikantně vyšší zastoupení imag komplexů *O. brumata* i *E. defoliaria*. Komplex *O. brumata* se na lokalitách vyskytoval ve vyšších počtech než komplex *E. defoliaria*. To mohlo být způsobeno tím, že *O. brumata* je ekonomicky nejvýznamnější škůdce a v přírodě je běžnější (Liška 2002,

Knížek et al. 2011, Tenow et al. 2013). Úspěch *O. brumata* tkví v tom, že posunuje svůj životní cyklus do chladných měsíců (imaga se líhnou, když teplota klesne pod bod mrazu), kdy je většina predátorů málo aktivní (Holliday 1977, Svensson et al. 1999, Jepsen et al. 2008, Fält-Nardmann et al. 2016).

Podzimní aktivita vybraných netopýrů byla nízká a celkově nebyla významně odlišná mezi lokalitami ani mezi loveckými strategiemi. Jen v obdobích 15. – 22. 10. a 17. – 25. 11. byla aktivita netopýrů signifikantně vyšší na lokalitách s přemnožením. Tyto vrcholy aktivity letounů byly pravděpodobně ovlivněny hlavně teplotou, která je v chladných měsících hlavním faktorem ovlivňujícím jak aktivitu letounů, tak jejich kořisti - hmyzu (Swift et al. 1985, Hays et al. 1992, O'Donnell 2000, Andreas 2002, Ciechanowski et al. 2007, Müller et al. 2012, Zahn & Kriner 2016). O'Donnell (2000) uvádí, že minimální teplota určuje, zda netopýr v noci vyletí a aktivita bezobratlých ovlivňuje, jak dlouho bude lovit. Sledování motýlí škůdci jsou velice odolní vůči chladu a za mírných zim přežívají až do jara (Liška 2002, Jepsen et al. 2008, Macek et al. 2012). Pro netopýry tak mohou tyto škůdci být dostupnou kořistí v chladných měsících, kdy je potravní nabídka velmi chudá (Hope et al. 2014).

V této studii jsme teplotu neměřili, ale průběh aktivity můžeme srovnat s teplotou v archivech nejbližších meteostanic (meteoblue.com). Hned začátkem podzimního období 15. – 20. 10. pozorujeme na lokalitách s přemnožením vrchol aktivity u druhů *B. barbastellus*, *M. bechsteinii*, *M. emarginatus/alcahoe* a *P. auritus/austriacus*. Tato aktivita byla pravděpodobně ovlivněna příznivým počasím – v tomto období se minimální noční teploty pohybovaly nad 10°C (cca 3 km od lokality, meteoblue.com). Vyšší teploty pozitivně ovlivňují jak aktivitu netopýrů tak rojení hmyzu (Kunz 1974, Racey & Swift 1985, Rydell et al. 1996, O'Donnell 2000, Safi et al. 2007, Ciechanowski et al. 2007, Müller et al. 2012). Díky aktivitě *B. barbastellus* můžeme předpokládat, že na lokalitě vzrostla abundance létajících imag Lepidoptera. Abundanci komplexů škůdců jsme sledovali až od 25. 10., a proto není možno jistě tvrdit, že tento vrchol aktivity netopýrů je spojen s abundancí námi sledovaných škůdců. Na druhou stranu, při srovnání tohoto poznatku se vzorkováním Lepidoptera z předběžného průzkumu z roku 2016, víme, že na lokalitách s přemnožením už v tuto dobu byly přítomny druhy rodu *Epirrita* (z komplexu *O. brumata*). Říjnový vrchol aktivity netopýrů tak může souviset s abundancí druhu této měry popřípadě i s dřívějším počátkem aktivity imag *E. defolaria*, které se mohou v přírodě objevit už na konci září (Macek et al. 2012). Tuto

domněnku by podporovalo, to, že jsme nacházeli *E defolaria* na lokalitách v nižších počtech než *O. brumata*. Dostupnost nelétavých samic *E defolaria* by navíc mohla souviset s vrcholem aktivity *M. bechsteinii* a *M. emarginatus/alcahoe*, kteří loví kořist pouze sběrem, a tak jsou pro ně druhy rodu *Epirrita* dostupné jen při odpočinku na vegetaci (Krull et al. 1991, Wolz 1993, Siemers & Swift 2006).

Na konci podzimního období (17. – 25. 11.) jsme pozorovali zajímavý vrchol aktivity na lokalitách s přemnožením u druhů *P. auritus/austriacus* a *B. barbastellus*. Zmíněné druhy netopýrů jsou tolerantní vůči chladnému počasí a jsou občasně aktivní, i když je teplota nižší než 10°C, což je hraniční teplota pod kterou již dochází k omezení aktivity většiny netopýrů (Hays et al. 1992, O'Donnell 2000, Gottfried & Szkudlarek 2007, Ciechanowski et al. 2007, Rachwald et al. 2017). Pokles teploty pod nulu byl v roce 2017 poprvé zaznamenán 31. 10., pak se ale minimální teplota opět zvyšuje a k dalšímu poklesu pod bod mrazu dochází 15. 11. (cca 3 km od lokalit, meteoblue.com). Právě pokles teplot pod bod mrazu je iniciací k líhnutí imag *O. brumata* (Liška 2002, Macek et al. 2012). Tomu odpovídá i zvýšené zastoupení imag komplexu, které jsme po 15. 11. zaznamenali u *O. brumata* i v této studii.

Jelikož jsou *P. auritus/austriacus* i *B. barbastellus* specialisty na noční motýly je téměř jisté, že imaga škůdců na lokalitách s přemnožením v tomto období lovili. Ke stejnému výsledku došel i Andreas 2002, který navíc konzumaci *O. brumata* u obou druhů zaznamenal v trusu. Potravní nika těchto druhů se z velké části překrývá – Lepidoptera tvoří více než 90% potravy obou druhů (Beck 1995, Vaughan 1997, Andreas 2002, Whitaker & Karatas 2009). U druhů by se tak při jejich sympatrickém výskytu dala očekávat určitá konkurence popřípadě diferenciací potravní niky, kterou například Andreas (2002) zaznamenal. Tento výzkum ale probíhal v oblasti s přemnožením kořisti, která byla dostupná pro oba druhy relativně stejně a v hojném počtu. Konkurence druhů tedy není pravděpodobná, což mohou naznačovat podobné hodnoty jejich relativní aktivity.

Zvláštním případem byl *M. nattereri*, který byl po celou dobu výzkumu na sledovaných lokalitách málo aktivní, v první polovině září pak pozorujeme několik vrcholů aktivity na lokalitách s přemnožením a od poloviny října zvýšenou aktivitu na lokalitách kontrolních. Je možné, že *M. nattereri* v oblasti výzkumu nalézal pouze vhodné podzimní přechodné úkryty (Rivers et al. 2006). Naše pozorování se navíc shoduje s výsledky studie Meschede (2001), která zjistila, že podíl času stráveného lovením v lese se u tohoto druhu mění v průběhu sezóny a největší je koncem léta a na podzim.

Při porovnání aktivity *M. nattereri* s ostatními netopýry, pozorujeme zmíněný počáteční (15. - 22. 10.) a závěrečný (17. - 25. 11.) vrchol aktivity v určité míře i u tohoto druhu. Je tak možné, že i tento druh imaga sledovaných škůdců alespoň z části konzumuje. Je však známo, že hlavní složkou jeho potravy jsou hlavně Diptera a Araneae (Taake 1992, Beck 1995, Vaughan 1997, Andreas 2002, Whitaker & Karatas 2009). Některé studie se zmiňují, že *M. nattereri* loví Lepidoptera málo, protože jeho echolokační signály spadají do slyšitelného spektra tympanálních motýlů, kteří se mu tak mohou efektivně vyhýbat (Rydell et al. 1995, 1997, Miller & Surlykke 2001, Siemers & Swift 2006). Námi sledované druhy jsou tympanální, a je tak možné, že *M. nattereri* loví jinde než na lokalitách s jejich přemnožením, protože jsou pro něj hůř dostupnou kořistí. Naopak Hope et al. (2014) zjistili, že v zimních měsících (prosinec – březen), kdy je *M. nattereri* občasně aktivní, jsou pro něj imaga a housenky Lepidoptera důležitým zdrojem potravy. Můry jsou v chladných podmínkách pasivní, a tím se pro *M. nattereri* jako sběrače stávají snadnou kořistí.

7 Závěr

Výsledky této práce podporují hypotézu o pozitivní numerické agregační odpovědi letounů k bohatému zdroji potravy na modelu vybraných letounů a přemnožení vybraných druhů píďalek čeledi Geometridae – *O. brumata*, *E. defoliaria*, které patří mezi časté škůdce na polích a v lese (Csóka 1998, Liška 2002, Kula 2006, Jepsen et al. 2008, Glavendekić & Medarević 2010, Knížek et al. 2011, Tenow et al. 2013, Fält-Nardmann et al. 2016). Vybraní letouni byli morfologicky, echolokačně a lovecky nejlépe přizpůsobeni k lovu daného životního stádia píďalek. Značná byla agregace letounů, kteří loví kořist sběrem z podkladu – sběračů a sběračů/vzdušných lovců – k housenkám přemnožených píďalek v jarním období, kdy housenky poškozují rostliny žírem. Na podzimní přemnožení imag píďalek reagovali jak sběrači, tak vzdušní lovci, kteří chytají kořist v letu. Zpětné porovnání jarní a podzimní aktivity letounů s teplotou naznačuje, že teplota je také důležitým faktorem, který ovlivňuje jak aktivitu píďalek, tak letounů (Swift et al. 1985, Hays et al. 1992, O'Donnell 2000, Andreas 2002, Ciechanowski et al. 2007, Müller et al. 2012, Zahn & Kriner 2016).

Ekonomická funkce netopýrů při redukci škůdců je novodobě studované téma, u kterého je ještě co objevovat. V Evropě k redukci škůdců pravděpodobně více přispívají ptáci než netopýři, protože jsou značně početnějším taxon (Bruns 1960, Franz 1961, Böhm et al. 2011). V posledních letech dochází k růstu populací evropských letounů (Haysom et al 2013), a tak i oni svým lovem alespoň z části redukuje škůdce na polích a v lese (Wickramasinghe et al. 2003, 2004, Kalka & Kalko 2006, Kalka et al. 2008, Boyles et al. 2011, Böhm et al. 2011, McCracken et al. 2012, Charbonnier et al. 2014, Riccucci & Lanza 2014). Výhodné by bylo podporovat populace netopýrů v mladých hospodářských lesích zvýšením jejich dostupnosti pomocí instalace netopýřích budek, protože mladé stromy jim nabízí jen chudé úkrytové možnosti (Meschede 2001, Perry et al. 2007).

U dalších studií s podobným tématem by bylo dobré se detailněji zaměřit na životní cyklus škůdců a akustický výzkum doplnit o podrobnější analýzu trusu sledovaných letounů.

8 Seznam použité literatury

- Abrams, P. A. (2000). The evolution of predator-prey interactions: theory and evidence. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 79-105.
- Aldridge, H. D. J. N., & Rautenbach, I. L. (1987). Morphology, echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *The Journal of Animal Ecology*, 763-778.
- Anděra, M., & Horáček, I. (2005). *Poznáváme naše savce*. 2. dopl. vyd. *Sobotáles*.
- Anderson, M. E., & Racey, P. A. (1991). Feeding behaviour of captive brown long-eared bats, *Plecotus auritus*. *Animal Behaviour*, 42(3), 489-493.
- Andreas, M. (2002). Feeding ecology of a bat community. Ph.D.Thesis, *Czech Agriculture University, Prague*, 41.
- Andreas, M., Reiter, A., & Benda, P. (2012a). Dietary composition, resource partitioning and trophic niche overlap in three forest foliage-gleaning bats in Central Europe. *Acta Chiropterologica*, 14(2), 335-345.
- Andreas, M., Reiter, A., & Benda, P. (2012b). Prey selection and seasonal diet changes in the western barbastelle bat (*Barbastella barbastellus*). *Acta chiropterologica*, 14(1), 81-92.
- Anthony, E. L., & Kunz, T. H. (1977). Feeding strategies of the little brown bat, *Myotis lucifugus*, in southern New Hampshire. *Ecology*, 58(4), 775-786.
- Arlettaz, R. (1996). Feeding behaviour and foraging strategy of free-living mouse-eared bats, *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Animal behaviour*, 51(1), 1-11.
- Arlettaz, R., Perrin, N., & Hausser, J. (1997). Trophic resource partitioning and competition between the two sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Journal of animal ecology*, 897-911.
- Barclay, R. M., & Brigham, R. M. (1991). Prey detection, dietary niche breadth, and body size in bats: why are aerial insectivorous bats so small?. *The American Naturalist*, 137(5), 693-703.
- Bartonička, T., Benda, P., & Juda, J. (2017). První nálezy a fenologie netopýra Saviova (*Hypsugo savii*) na Děčínsku (Chiroptera: Vespertilionidae). *Lynx, series nova*, 48, 5-14.
- Bartonička, T., Řehák, Z., & Andreas, M. (2008). Diet composition and foraging activity of *Pipistrellus pygmaeus* in a floodplain forest. *Biologia*, 63(2), 266-272.
- Bartonička, T., Řehák, Z., Flousek, J. & Furmankiewicz, J. (2015). Netopýři českých a polských Krkonoš. Svazek 3, *Fauna Krkonoš*.
- Beck, A. (1995). Fecal analyses of European bat species. *Myotis*, 32(33), 109-119.
- Bednářová, J., Zukal, J., & Řehák, Z. (2006). Rozšíření netopýra velkouchého (*Myotis bechsteinii*) v České republice. *Vespertilio*, 9-10, 9-26.

- Benda, P., Andreas, M., Kock, D., Lucan, R. K., Munclinger, P., Nova, P., ... & Weinfurtova, D. (2006). Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 4. Bat fauna of Syria: distribution, systematics, ecology. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 70(1), 1-329.
- Benda, P., Faizolâhi, K., Andreas, M., Obuch, J., Reiter, A., Ševčík, M., ... & Ashrafi, S. (2012). Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 10. Bat fauna of Iran. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 76, 163-582.
- Böhm, S. M., Wells, K., & Kalko, E. K. (2011). Top-down control of herbivory by birds and bats in the canopy of temperate broad-leaved oaks (*Quercus robur*). *PLoS One*, 6(4), e17857.
- Bowman, J., Badzinski, D. S., & Brooks, R. J. (2010). The numerical response of breeding Northern Saw-whet Owls *Aegolius acadicus* suggests nomadism. *Journal of Ornithology*, 151(2), 499-506.
- Boyles, J. G., Cryan, P. M., McCracken, G. F., & Kunz, T. H. (2011). Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332(6025), 41-42.
- Bruns, H. (1960). The economic importance of birds in forests. *Bird Study*, 7(4), 193-208.
- Catto, C. M. C., Hutson, A. M., Racey, P. A., & Stephenson, P. J. (1996). Foraging behaviour and habitat use of the serotine bat (*Eptesicus serotinus*) in southern England. *Journal of Zoology*, 238(4), 623-633.
- Ciechanowski, M., Zając, T., Biłas, A., & Dunajski, R. (2007). Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology*, 85(12), 1249-1263.
- Cleveland, C. J., Betke, M., Federico, P., Frank, J. D., Hallam, T. G., Horn, J., ... & Sansone, C. G. (2006). Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(5), 238-243.
- Cryan, P. M., Bogan, M. A., & Altenbach, J. S. (2000). Effect of elevation on distribution of female bats in the Black Hills, South Dakota. *Journal of Mammalogy*, 81(3), 719-725.
- Csóka, G. (1998). Oak defoliating insects in Hungary. *Proceedings: Population Dynamics, Impacts, and Integrated Management of Forest Defoliating Insects. USDA Forest Service General Technical Report NE-247*, 334-355.
- de Jong, J., & Ahlén, I. (1991). Factors affecting the distribution pattern of bats in Uppland, central Sweden. *Ecography*, 14(2), 92-96.
- Denzinger, A., & Schnitzler, H. U. (2013). Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in physiology*, 4, 164.
- Dietz, C., Dietz, I., & Siemers, B. M. (2006). Wing measurement variations in the five European horseshoe bat species (Chiroptera: Rhinolophidae). *Journal of Mammalogy*, 87(6), 1241-1251.

- Dodd, L. E., Chapman, E. G., Harwood, J. D., Lacki, M. J., & Rieseke, L. K. (2012). Identification of prey of *Myotis septentrionalis* using DNA-based techniques. *Journal of Mammalogy*, 93(4), 1119-1128.
- Ekman, M., & de Jong, J. D. (1996). Local patterns of distribution and resource utilization of four bat species (*Myotis brandti*, *Eptesicus nilssonii*, *Plecotus auritus* and *Pipistrellus pipistrellus*) in patchy and continuous environments. *Journal of Zoology*, 238(3), 571-580.
- Entwistle, A. C., Racey, P. A., & Speakman, J. R. (1996). Habitat exploitation by a gleaning bat, *Plecotus auritus*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 351(1342), 921-931.
- Erickson, J. L., & West, S. D. (2002). The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica*, 4(1), 17-24.
- Fält-Nardmann, J., Klemola, T., Roth, M., Ruohomäki, K., & Saikkonen, K. (2016). Northern geometrid forest pests (Lepidoptera: Geometridae) hatch at lower temperatures than their southern conspecifics: Implications of climate change. *European Journal of Entomology*, 113, 337.
- Fenton, M. B., & Bogdanowicz, W. (2002). Relationships between external morphology and foraging behaviour: bats in the genus *Myotis*. *Canadian Journal of Zoology*, 80(6), 1004-1013.
- Franz, J. M. (1961). Biological control of pest insects in Europe. *Annual Review of Entomology*, 6(1), 183-200.
- Fukui, D. A. I., Murakami, M., Nakano, S., & Aoi, T. (2006). Effect of emergent aquatic insects on bat foraging in a riparian forest. *Journal of Animal Ecology*, 75(6), 1252-1258.
- Gajdošík, M., & Gaisler, J. (2004). Diet of two *Eptesicus* bat species in Moravia (Czech Republic). *Folia Zoologica*, 53(1), 7.
- Glavendekić, M. M., & Medarević, M. J. (2010). Insect defoliators and their influence on oak forests in the Đerdap national park, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 62(4), 1137-1141.
- Gottfried, I., & Szkudlarek, R. (2007). Off-winter activity of *Barbastella barbastellus* (Chiroptera) at a hibernation site. *Nietoperze*, 8(1-2), 13-25.
- Grindal, S. D., Morissette, J. L., & Brigham, R. M. (1999). Concentration of bat activity in riparian habitats over an elevational gradient. *Canadian Journal of Zoology*, 77(6), 972-977.
- Hamilton, I. M., & Barclay, R. M. (1998). Diets of juvenile, yearling, and adult big brown bats (*Eptesicus fuscus*) in southeastern Alberta. *Journal of Mammalogy*, 79(3), 764-771.
- Hays, G. C., Speakman, J. R., & Webb, P. I. (1992). Why do brown long-eared bats (*Plecotus auritus*) fly in winter?. *Physiological Zoology*, 65(3), 554-567.
- Haysom, K., Dekker, J., Russ, J., van der Meij, T., & Van Strien, A. (2013). European bat population trends. A prototype biodiversity indicator. *European Environment Agency, Copenhagen, Denmark*.

- Hillen, J., Kaster, T., Pahle, J., Kiefer, A., Elle, O., Griebeler, E. M., & Veith, M. (2011). Sex-specific habitat selection in an edge habitat specialist, the western barbastelle bat. In *Annales Zoologici Fennici*, 48 (3), 180-190.
- Holderied, M. W., & Von Helversen, O. (2003). Echolocation range and wingbeat period match in aerial-hawking bats. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270(1530), 2293-2299.
- Holliday, N. J. (1977). Population ecology of winter moth (*Operophtera brumata*) on apple in relation to larval dispersal and time of bud burst. *Journal of Applied Ecology*, 803-813.
- Hope, P. R., Bohmann, K., Gilbert, M. T. P., Zepeda-Mendoza, M. L., Razgour, O., & Jones, G. (2014). Second generation sequencing and morphological faecal analysis reveal unexpected foraging behaviour by *Myotis nattereri* (Chiroptera, Vespertilionidae) in winter. *Frontiers in zoology*, 11(1), 39.
- Horáček, I. (1986). Létající savci. *Academia*.
- Charbonnier, Y. M., Barbaro, L., Barnagaud, J. Y., Ampoorter, E., Nezan, J., Verheyen, K., & Jactel, H. (2016). Bat and bird diversity along independent gradients of latitude and tree composition in European forests. *Oecologia*, 182(2), 529-537.
- Charbonnier, Y., Barbaro, L., Theillout, A., & Jactel, H. (2014). Numerical and functional responses of forest bats to a major insect pest in pine plantations. *PloS one*, 9(10), e109488.
- Jahelková, H., & Bartonička, T. (2006). Metodické poznámky k detektoringu. *Vespertilio*, 9-10, 127-136.
- Jepsen, J. U., Hagen, S. B., Ims, R. A., & Yoccoz, N. G. (2008). Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77(2), 257-264.
- Jones, G. (1990). Prey selection by the greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum*): optimal foraging by echolocation? *The Journal of Animal Ecology*, 587-602.
- Jones, G., & Rayner, J. M. (1989). Foraging behavior and echolocation of wild horseshoe bats *Rhinolophus ferrumequinum* and *R. hipposideros* (Chiroptera, Rhinolophidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 25(3), 183-191.
- Jung, K., Kaiser, S., Böhm, S., Nieschulze, J., & Kalko, E. K. (2012). Moving in three dimensions: effects of structural complexity on occurrence and activity of insectivorous bats in managed forest stands. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 523-531.
- Kalka, M. B., Smith, A. R., & Kalko, E. K. (2008). Bats limit arthropods and herbivory in a tropical forest. *Science*, 320(5872), 71-71.

- Kalka, M., & Kalko, E. K. (2006). Gleaning bats as underestimated predators of herbivorous insects: diet of *Micronycteris microtis* (Phyllostomidae) in Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 22(1), 1-10.
- Knížek, M., Liška, J., Lubojacký, J., & Modlinger, R. (2011). Živočišní škůdci v lesích Česka v roce 2012. *Zpravodaj ochrany lesa*, 12.
- Korpimäki, E. (1994). Rapid or delayed tracking of multi-annual vole cycles by avian predators?. *Journal of Animal Ecology*, 619-628.
- Korpimäki, E., & Krebs, C. J. (1996). Predation and population cycles of small mammals. *BioScience*, 46(10), 754-764.
- Krebs, C. J., Boonstra, R., Boutin, S., & Sinclair, A. R. (2001). What Drives the 10-year Cycle of Snowshoe Hares? The ten-year cycle of snowshoe hares - one of the most striking features of the boreal forest - is a product of the interaction between predation and food supplies, as large-scale experiments in the yukon have demonstrated. *AIBS Bulletin*, 51(1), 25-35.
- Krull, D., Schumm, A., Metzner, W., & Neuweiler, G. (1991). Foraging areas and foraging behavior in the notch-eared bat, *Myotis emarginatus* (Vespertilionidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 28(4), 247-253.
- Kula, E. (2006). Geometridae (Insecta: Lepidoptera) in stands of substitute species with the dominant position of birch. *Journal of forest science*, 52(5), 197-207.
- Kunz, T. H. (1974). Feeding ecology of a temperate insectivorous bat (*Myotis velifer*). *Ecology*, 55(4), 693-711.
- Kurta, A., Bell, G. P., Nagy, K. A., & Kunz, T. H. (1989). Energetics of pregnancy and lactation in freeranging little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Physiological Zoology*, 62(3), 804-818.
- Liška, J. (2002). Píd'alka podzimní *Operophtera brumata* L. *Lesnická práce 11*, příloha. Dostupné na: http://www.silvarium.cz/images/letaky-los/2002/2002_pidalka.pdf
- Losos, B., Gulicka, J., Lellak, J., & Pelikan, J. (1984). Ekologie živočichů. *SPN Praha Czech Republic*.
- Macek, J. (2008). Motýli a housenky střední Evropy: Noční motýli II. - můrovití. *Academia*.
- Macek, J., Dvořák, J., Traxler, L., & Červenka, V. (2007). Noční Motýli I. *Academia*.
- Macek, J., Procházka, J., & Traxler, L. (2012). Motýli a housenky střední Evropy: Noční motýli III. - píd'alkovití. *Academia*.
- Mannai, Y., Ezzine, O., Nouira, S., & Ben, J. (2015). First report of *Erannis defoliaria* on *Quercus* sp. in North West of Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 10(1), 75-78.
- Marinello, M. M., & Bernard, E. (2014). Wing morphology of Neotropical bats: a quantitative and qualitative analysis with implications for habitat use. *Canadian journal of zoology*, 92(2), 141-147.

- McCracken, G. F., Westbrook, J. K., Brown, V. A., Eldridge, M., Federico, P., & Kunz, T. H. (2012). Bats track and exploit changes in insect pest populations. *PloS one*, 7(8), e43839.
- Meschede, A. (2001). Bats in Forests—Information and Recommendations for Forest Managers. *Landschaft als Lebensraum* 4.
- Mikula, P., & Čmoková, A. (2012). Lepidoptera in the summer diet of *Eptesicus serotinus* in Central Bohemia. *Vespertilio*, 16, 197-201.
- Miller, L. A., & Surlykke, A. (2001). How Some Insects Detect and Avoid Being Eaten by Bats: Tactics and Countertactics of Prey and Predator: Evolutionarily speaking, insects have responded to selective pressure from bats with new evasive mechanisms, and these very responses in turn put pressure on bats to “improve” their tactics. *AIBS Bulletin*, 51(7), 570-581.
- Müller, J., Mehr, M., Bässler, C., Fenton, M. B., Hothorn, T., Pretzsch, H.,... & Brandl, R. (2012). Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. *Oecologia*, 169(3), 673-684.
- Neuweiler, G. (1984). Foraging, echolocation and audition in bats. *Naturwissenschaften*, 71(9), 446-455.
- Norberg, U. M., & Rayner, J. M. (1987). Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 316(1179), 335-427.
- Norrdahl, K., & Korpimäki, E. (2002). Seasonal changes in the numerical responses of predators to cyclic vole populations. *Ecography*, 25(4), 428-438.
- O'Donnell, C. F. (2000). Influence of season, habitat, temperature, and invertebrate availability on nocturnal activity of the New Zealand long-tailed bat (*Chalinolobus tuberculatus*). *New Zealand Journal of Zoology*, 27(3), 207-221.
- Racey, P. A., & Swift, S. M. (1985). Feeding ecology of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) during pregnancy and lactation. I. Foraging behaviour. *The Journal of Animal Ecology*, 205-215.
- Rachwald, A., Gottfried, I., & Tołkacz, K. (2017). Observation of a Western Barbastelle *Barbastella barbastellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in new ‘crevice’boxes for bats. *Forest Research Papers*, 78(4), 333-336.
- Riccucci, M., & Lanza, B. (2014). Bats and insect pest control: a review. *Vespertilio*, 17, 161-169.
- Rivers, N. M., Butlin, R. K., & Altringham, J. D. (2006). Autumn swarming behaviour of Natterer’s bats in the UK: population size, catchment area and dispersal. *Biological conservation*, 127(2), 215-226.
- Rydell, J. (1986). Foraging and diet of the northern bat *Eptesicus nilssoni* in Sweden. *Ecography*, 9(4), 272-276.

- Rydell, J. (1992). The diet of the parti-coloured bat *Vespertilio murinus* in Sweden. *Ecography*, 15(2), 195-198.
- Rydell, J. (1993). Variation in foraging activity of an aerial insectivorous bat during reproduction. *Journal of Mammalogy*, 74(2), 503-509.
- Rydell, J., Jones, G., & Waters, D. (1995). Echolocating bats and hearing moths: who are the winners?. *Oikos*, 73(3), 419-424.
- Rydell, J., Entwistle, A., & Racey, P. A. (1996a). Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos*, 76(2), 243-252.
- Rydell, J., Natuschke, G., Theiler, A., & Zingg, P. E. (1996b). Food habits of the barbastelle bat *Barbastella barbastellus*. *Ecography*, 19(1), 62-66.
- Rydell, J., Skals, N., Surlykke, A., & Svensson, M. (1997). Hearing and bat defence in geometrid winter moths. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 264(1378), 83-88.
- Safi, K., König, B., & Kerth, G. (2007). Sex differences in population genetics, home range size and habitat use of the parti-colored bat (*Vespertilio murinus*, Linnaeus 1758) in Switzerland and their consequences for conservation. *Biological Conservation*, 137(1), 28-36.
- Schaub, A., & Schnitzler, H. U. (2007). Echolocation behavior of the bat *Vespertilio murinus* reveals the border between the habitat types "edge" and "open space". *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61(4), 513-523.
- Schnitzler, H. U., & Kalko, E. K. (2001). Echolocation by Insect-Eating Bats: We define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *Bioscience*, 51(7), 557-569.
- Schnitzler, H. U., Moss, C. F., & Denzinger, A. (2003). From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(8), 386-394.
- Siemers, B. M., & Schnitzler, H. U. (2004). Echolocation signals reflect niche differentiation in five sympatric congeneric bat species. *Nature*, 429(6992), 657.
- Siemers, B. M., & Swift, S. M. (2006). Differences in sensory ecology contribute to resource partitioning in the bats *Myotis bechsteinii* and *Myotis nattereri* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(3), 373-380.
- Sierro, A. (1999). Habitat selection by barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*) in the Swiss Alps (Valais). *Journal of Zoology*, 248(4), 429-432.
- Sierro, A., & Arlettaz, R. (1997). Barbastelle bats (*Barbastella* spp.) specialize in the predation of moths: implications for foraging tactics and conservation. *Acta Oecologica*, 18(2), 91-106.
- Svensson, M. G., Rydell, J., & Brown, R. (1999). Bat predation and flight timing of winter moths, *Epirrita* and *Operophtera* species (Lepidoptera, Geometridae). *Oikos*, 193-198.

- Swift, S. M., Racey, P. A., & Avery, M. I. (1985). Feeding ecology of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) during pregnancy and lactation. II. Diet. *The Journal of Animal Ecology*, 217-225.
- Taake, K. H. 1992: Strategien der Ressourcennutzung an Waldgewässern jagender Fledermäuse (Chiroptera: Vespertilionidae). *Myotis* 31, 7-73.
- Tautz, J., & Markl, H. (1978). Caterpillars detect flying wasps by hairs sensitive to airborne vibration. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 4(1), 101-110.
- Tenow, O., Nilssen, A. C., Bylund, H., Pettersson, R., Battisti, A., Bohn, U., ... & Prins, W. (2013). Geometrid outbreak waves travel across Europe. *Journal of Animal Ecology*, 82(1), 84-95.
- Thomas, D. W. (1988). The distribution of bats in different ages of Douglas-fir forests. *The Journal of Wildlife Management*, 619-626.
- Tkadlec, E. (2013). Populační ekologie: struktura, růst a dynamika populací (2. vyd.). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Uhrin, M., Kaňuch, P., Benda, P., Hapl, E., Verbeek, H. J., Krištín, A., Krištofik, J., Mašán, P., & Andreas, M. (2006). On the Greater noctule (*Nyctalus lasiopterus*) in central Slovakia. *Vespertilio*, 9(10), 183-192.
- Vaughan, N. (1997). The diets of British bats (Chiroptera). *Mammal Review*, 27(2), 77-94.
- Verboom, B., & Spoelstra, K. (1999). Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, *Pipistrellus pipistrellus*. *Canadian Journal of Zoology*, 77(9), 1393-1401.
- Vlašín, M., & Málková, I. (2003). Ochrana netopýrů. *Metodika Českého svazu ochránců přírody* č. 30. Dostupné z: <http://www.veronica.cz>.
- Walsh, A. L., & Harris, S. (1996). Foraging habitat preferences of vespertilionid bats in Britain. *Journal of Applied Ecology*, 508-518.
- Werner, T. K. (1981). Responses of nonflying moths to ultrasound: the threat of gleaning bats. *Canadian Journal of Zoology*, 59(3), 525-529.
- Whitaker Jr, J. O., & Karataş, A. (2009). Food and feeding habits of some bats from Turkey. *Acta Chiropterologica*, 11(1), 393-403.
- Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G., & Vaughan Jennings, N. (2004). Abundance and species richness of nocturnal insects on organic and conventional farms: effects of agricultural intensification on bat foraging. *Conservation Biology*, 18(5), 1283-1292.
- Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G., & Vaughan, N. (2003). Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology*, 40(6), 984-993.
- Wilson, J. M., & Barclay, R. M. (2006). *The American midland naturalist*, 155(1), 244-249.

- Wolz, I. (1993). Das Beutespektrum der Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteini* (Kuhl, 1818) ermittelt aus kotanalysen. *Myotis*, 31, 27-68.
- Zahn, A., & Kriner, E. (2016). Winter foraging activity of Central European Vespertilionid bats. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 81(1), 40-45.
- Zlatník, A. (1976). Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných ČSSR. *Zpr. Geogr. úst. Čs. akad. věd.*, 13 (3/4), 55-64.

9 Příloha

Seznam příloh

Příloha 1: Souhrn morfologických, echolokačních, potravních a loveckých parametrů studovaných druhů letounů

Příloha 2: Všechny odchycené druhy housenek a jejich dominance, jarní období 2017

Příloha 3: Průběh aktivity jednotlivých druhů netopýrů v souvislostech s teplotou a výskytem sledovaných komplexů motýlích škůdců

Příloha 1: Souhrn morfologických, echolokačních, potravních a loveckých parametrů studovaných druhů letounů

Druh, zkr	H(g)	R(cm)	AR ²⁷	WL(N/m ²) ²⁷	WT ²⁷	Fmax(kHz)	Lpr	Lstr	Pot ^{1,9,15,18}	MaxLep(%)	Adu/Lar	PLar	pozn.
netopýr černý, Bbar (<i>Barbastella barbastellus</i>)	7-14	24-28	6,0	9,1	2,33	32,42	O,E ^{1,6}	A ^{1,9,10,12,18,27,31}	Dip,Lep,Neu	99(80) ¹⁵	1,9,10,11 ^L ,15,18 ^L ,21,31	2	specialista na můry
n.severní, Enil (<i>Eptesicus nilssonii</i>)	8-13	24-28	6,6	8,1	-	28-29	O,E ^{2,6,15,17}	A,G ^{8,12,14,17,18,27}	Dip,Lep,Neu	82(34) ¹⁸	14,15,17,18	1	lov blízko vegetace, flexibilní v Lstr
n.večerní, Eser (<i>Eptesicus serotinus</i>)	13-30	37	6,5	12,2	1,57	24-27	O,E ^{6,15}	A,G ^{1,3,9,14,18,26,27}	Col,Dip,Hym,Lep	46(56) ¹⁸	1 ^L ,9,13,14,15,18 ^L	1	typický oportunist, flexibilní v Lstr
n.Saviův, Hsav (<i>Hypsugo savii</i>)	4-9	22	-	-	-	32-35	O,E ^{1,15}	A ^{8,12,28}	Dip,Hym,Lep,Neu	53(60) ¹⁵	1,15,21,28,29	0	skalní stanoviště
n.velkouchý, Mbec (<i>Myotis bechsteinii</i>)	7-10	25-30	6,0	9,0	4,37	41-48	C ^{1,2,6}	G ^{1,2,12,18,19,23,27}	Col,Dip,Lep,Ort	97(177) ²³	1,9 ^L ,18 ^L ,19 ^L ,23 ^L ,26,29	3	hl. sběr z listoví
n.vodní, Mdau (<i>M. daubentonii</i>)	6-11	24-28	6,3	7,0	2,05	45	E ^{1,5,6}	A,T ^{1,3,18,27}	Dip,Hem,Tri,Lep	33(26) ²⁶	9,15,18 ^L ,26	1	specialista na lov nad vodou
n.brvitý/menší, Mema/alc (<i>M. emarginatus/alcahoe</i>)	6-10	22-25/ 20	5,9	7,1	2,05	55-58	E ^{1,5}	G ^{1,3,12,15,18,27}	Ara,Dip,Lep,Neu	38(34) ¹⁸	1 ^L ,15,18 ^L ,21,29	2	sběr z listoví
n.velký/východní, Mmyo/bly (<i>M. myotis/blythii</i>)	16-35/ 15-28	35-43/ 35-40	6,3	11,2	1,89	35	O,E ^{1,6,20}	A,G ^{1,3,12,18,25,27}	Col,Lep,Ort	19(152)/ 10(169) ²⁵	18,20 ^L ,25 ^L	1	specialista na střevlíky, sběr z půdy
n.vousatý/Brandtův, Mmys/bra (<i>M. mystacinus/brandti</i>)	4-7/ 4-9	19-23/ 19-24	6,0	7,1	2,26	45	O,E ^{1,6}	A,G ^{1,3,9,12,18,27}	Ara,Dip,Lep,Neu	51(53)/ 73(118) ¹⁸	1,9,15 ^L ,18 ^L ,21,26	3	lov blízko vegetace
n.řasný, Mnai (<i>M. nattereri</i>)	5-10	24-30	6,4	6,1	1,38	45-50	E,C ^{1,2,6}	A,G ^{1,3,6,9,12,15,18,19}	Ara,Der,Dip,Lep	34(149) ¹⁸	1 ^L ,9 ^L ,15,18 ^L ,19 ^L ,21,26,28,32 ^L	2	sběr z listoví, země
n.obrovský, Nlas (<i>Nyctalus lasiopterus</i>)	41-76	41-46	-	-	-	17-20	O ^{8,16}	A ⁸	Col,Dip,Lep,Neu ¹⁶	60(137) ¹⁶	16	0	v ČR vzácný
n.stromový, Nlei (<i>N. leisleri</i>)	12-20	26-34	7,9	19,3	1,19	28-30	O ^{1,6,15}	A ^{1,8,9,12,18,27}	Col,Dip,Lep,Neu	67(126) ¹⁵	1,9,15,18,29	0	
n.rezavý, Nnoc (<i>N. noctula</i>)	16-36	32-45	7,4	16,1	0,99	22-25	O ^{1,6,15}	A ^{1,8,9,12,18}	Col,Dip,Lep	19(130) ¹⁵	9,15,18,28	0	
n.ušatý/dlouhouchý, Paur/aus (<i>Plecotus auritus/austriacus</i>)	5-10/ 6-14	22-25/ 25-30	5,7/ 6,1	7,1/ 7,9	1,43/ 1,82	26-35	E,C ^{1,6}	A,G ^{1,15,12,18,19,27,30}	Col,Der,Dip,Lep	88(578)/ 95(41) ¹⁸	1 ^L ,9,15 ^L ,18 ^L ,19 ^L ,21,26	3	specialista na můry, sběr z listoví
n.jižní/parkový, Pkuh/nat (<i>Pipistrellus kuhli/nathusii</i>)	5-10/ 5-9	21-24/ 22-25	6,3/ 7,2	8,5/ 9,8	1,15	36-41	O,E ^{1,6,15}	A ^{1,8,9,12}	Dip,Lep,Tri	38(40)/ 1(105) ¹⁵	15,21,28,29	0	
n.hvizdavý, Ppip (<i>P. pipistrellus</i>)	3-7	18-24	7,5	8,1	1,74	45-49	O,E ^{1,6,15}	A ^{1,8,10,12,18,27}	Dip,Hem,Hym,Lep	33(60) ¹⁵	9,15,18,21,29	0	
n.nejmenší, Ppyg (<i>P. pygmaeus</i>)	4-8	19-23	-	-	-	52-55	O,E ^{1,6,15}	A ^{1,8}	Dip,Lep,Tri	5(540) ²⁴	18,21,24,29	0	
n.pestří, Vmur (<i>Vespertilio murinus</i>)	8-23	27-31	7,0	10,2	0,95	23-26	O,E ^{1,2,4,6,15}	A ^{4,6,12,15,27}	Dip,Tri,Lep	49(72) ¹⁵	15,22	0	
vrápenec velký, Rfer (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	17-32	33-40	6,1	12,2	2,13	77-84	E,C ^{1,2,27}	A,F,G ^{1,9,12,27}	Col,Dip,Hym,Lep	78(164) ¹⁵	1,9 ^L ,15,21,28,29	2	v ČR vzácný
v.malý, Rhip (<i>R. hipposideros</i>)	3-6	19-26	5,7	7,1	2,59	110	E,C ^{1,2,27}	A,F,G ^{1,9,12,18,27}	Col,Dip,Lep,Neu	63(880) ¹⁵	1,9,15,18 ^L ,21,29	2	

(Druh, zkr: české, latinské jméno, zkratka; H(g): hmotnost v g; R(cm): rozpětí křídel v cm; AR: aspect ratio – poměr délky křídla k šířce; WL(N/m²): wing loading – plošné zatížení křídla; WT: wingtip shape index – tvar, špičatost konců křídel; Fmax: frekvence nejvyšší intenzity echolokačního signálu; Lpr: lovecký prostor – O (open, otevřený), E (edge, okrajový), C (close, uzavřený); Lstr: lovecká strategie – A (aerial foragers, vzdušní lovci), F (flycatching forager, lovec létavé kořisti ve vegetaci), G (gleaning foragers, sběrači z povrchu půdy/listoví), T (trawling foragers, lov nad/z vodní hladiny), **zvýrazněná** převažuje; Pot: potrava – Ara (Araneae), Col (Coleoptera), Der (Dermaptera), Dip (Diptera), Hem (Hemiptera), Hym (Hymenoptera), Lep (Lepidoptera), Neu (Neuroptera), Ort (Orhoptera), Tri (Trichoptera), **zvýrazněné** převládající složky (v lit. nad 50% nebo řečeny jako důležité); MaxLep(%): maximální procento Lepidopter zjištěné v trusu analýzou pelet, v závorkách celkový počet (n) pelet; Adu/Lar: použitá literatura (bez indexu – záznam o konzumaci adultních Lepidopter, s indexem (L) – záznam o konzumaci adultů i larev Lepidopter); PLar: potenciál druhu k lovu larev Lepidopter vyhodnocen dle Lstr, Pot a literatury (0 – žádný, 1 – minimální, 2 – střední, 3 – maximální, viz Metodika)

(Zdroje: 1 - Anděra & Horáček 2005, 2 - Denzinger & Schnitzler 2013, 3 - Fenton & Bogdanowicz 2002, 4 - Schaub & Schnitzler 2007, 5 - Siemers & Schnitzler 2004, 6 - Müller et al. 2012, 7 - Schnitzler & Kalko 2001, 8 - Holderied & Von Helversen 2003, 9 - Vaughan 1997, 10 - Sierro & Arlettaz 1997, 11 - Andreas et al. 2012b, 12 - Horáček 1986, 13 - Mikula & Čmoková 2012, 14 - Gajdosík & Gaisler 2004, 15 - Beck 1995, 16 - Uhrin et al. 2006, 17 - Rydell 1986, 18 - Andreas 2002, 19 - Andreas et al. 2012a, 20 - Arlettaz et al. 1997, 21 - Whitaker & Karatas 2009, 22 - Rydell 1992, 23 - Wolz 1993, 24 - Bartonička et al. 2008, 25 - Arlettaz 1996, 26 - Taake 1992, 27 - Norberg & Rayner 1987, 28 - Benda et al. 2006, 29 - Benda et al. 2012, 30 - Anderson & Racey 1991, 31 - Rydell et al. 1996b, 32 - Hope et al. 2014)

Příloha 2: Všechny odchycené druhy housenek a jejich dominance, jarní období 2017

Čeďed'	Druh		T				C	
	česky	odborně	n	D (%)	n	D (%)	n	D (%)
Erebidae	štětconoš trnkový	<i>Orgyia antiqua</i>	0	0	0,67	0,65	0	0
	tmavoskvrnáč zlatavý/tečkovaný	<i>Agriopsis aurantiaria/marginaria</i>	21	12,65	6,67	6,51	3	7,89
	tmavoskvrnáč dubový	<i>Agriopsis leucophaearia</i>	0	0	1,33	1,30	0	0
	šedokřídlec vrbový	<i>Epirrita autumnata</i>	2	1,20	0,33	0,33	0	0
Geometridae	tmavoskvrnáč zhoubný	<i>Erannis defoliaria</i>	18	10,84	19,33	18,89	0	0
	drsnokřídlec třešňový	<i>Lycia hirtaria</i>	1	0,60	0	0	0	0
	pidálka podzimní	<i>Operophtera brumata</i>	59	35,54	45,67	44,63	18	47,37
	drsnokřídlec hrušňový	<i>Phigalia pilosaria</i>	0	0	2,33	2,28	0	0
	neurčeno	neurčeno	4	2,41	0	0	0	0
	blýskavka dravá	<i>Cosmia trapezina</i>	6	3,61	1,67	1,36	0	0
Noctuldae	jarnice lipová	<i>Orthosia cerasi</i>	0	0	3,33	3,26	0	0
	zlatokřídlec lipový	<i>Tiliacea citrigo</i>	1	0,60	0	0	0	0
	neurčeno	neurčeno	14	8,43	5,67	5,54	5	13,16
Pyralidae	zavíječ dubový	<i>Acrobasis repandana</i>	3	1,81	0	0	0	0
	obaleč dubinový	<i>Aleimma loeflingiana</i>	17	10,24	0,33	0,33	0	0
Tortricidae	obaleč stříbročarý	<i>Ptycholoma lecheana</i>	1	0,60	0,33	0,33	0	0
	obaleč dubový	<i>Tortrix viridana</i>	1	0,60	1,33	1,30	0	0
	neurčeno	neurčeno	18	10,84	11	10,75	0	0
Ypsolophidae	člunkovec habrový	<i>Ypsolopha parenthesesella</i>	0	0	0,67	0,65	1	2,68
	neurčeno	neurčeno	0	0	1,67	1,63	11	28,95
		Celkem	166	100	102,33	100	38	100

T (Test, lokality s přemnožením): H (Holedná), Z (Želetice, vzorkováno na stanovištích Voda, Lesy1, Lesy2); C (Control, lokality bez přemnožení): K (Kříž); Druhy: **tučně** – druhy, které se řadily do sledovaných komplexů: *E. defoliaria* (podč. Ennominae: *E. defoliaria*, *A. aurantiaria/marginaria*), *O. brumata* (podč. Larentiinae: *O. brumata*, *O. fagara*, *Epirrita* spp.), neurčeno – housenky Lepidoptera určené jen do čeledi, popřípadě jen do řádu Lepidoptera; n – počet jedinců na jednu lokalitu; D (%) – dominance v %, **červené** hodnoty značí **eudominantní** druhy/**modré** **dominantní**.

Příloha 3: Průběh aktivity jednotlivých druhů netopýrů v souvislostech s teplotou a výskytem sledovaných komplexů motýlích škůdců.

Legenda (netopýři)

název grafu: druh netopýra

T (Test, lokality s přemnožením – Holedná, Želetice), C (Control, lokality bez přemnožení – Kříž, Pánov^{MIMO JARO})

sek/noc: počet pozitivních sekvencí daného druhu na noc

Šipky (motýli)

a – možný výskyt housenek komplexů *O. brumata* (*O. brumata*, *Epirrita* spp.) a *E. defoliaria* (*E. defoliaria*, *A. aurantiaria/marginaria*) (Holliday 1977, Liška 2002, Macek et al. 2012, Mannai et al. 2015)

b – jistá přítomnost housenek komplexů *O. brumata* (*O. brumata*, *Epirrita autumnata*) a *E. defoliaria* (*E. defoliaria*, *A. aurantiaria/marginaria*) (vlastní sběr, Liška 2002, Macek et al. 2012)

c – možný počátek líhnutí imag rodu *Epirrita* a *E. defoliaria* (předběžný výzkum 2016, Macek et al. 2012)

d – jistá přítomnost imag komplexů *O. brumata* (*O. brumata*, *Epirrita* spp.) a *E. defoliaria* (*E. defoliaria*, *A. aurantiaria/marginaria*) (vlastní sběr, Holliday 1977, Liška 2002, Macek et al. 2012, Mannai et al. 2015)

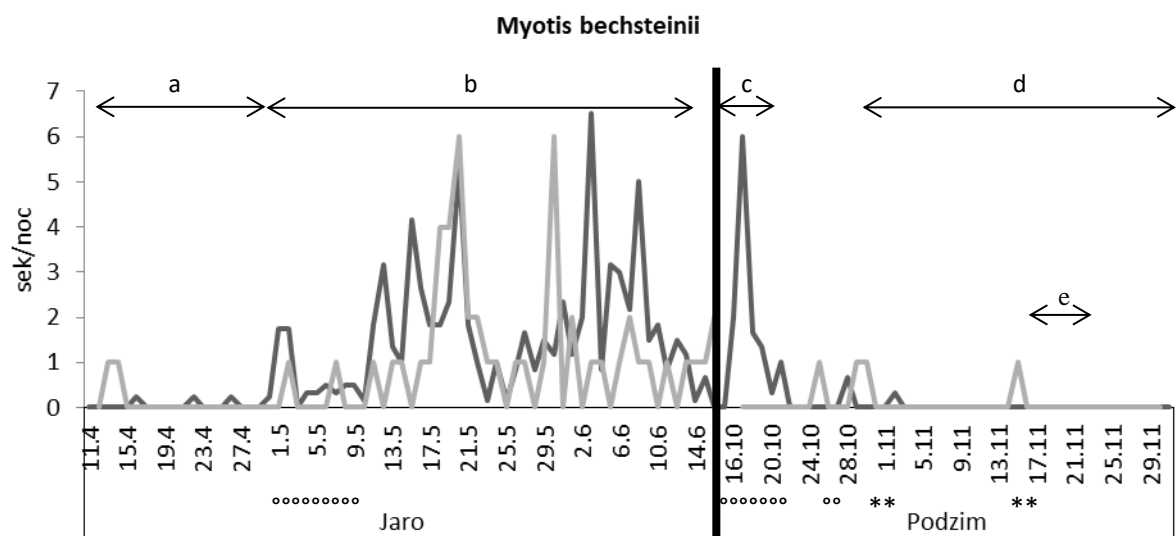
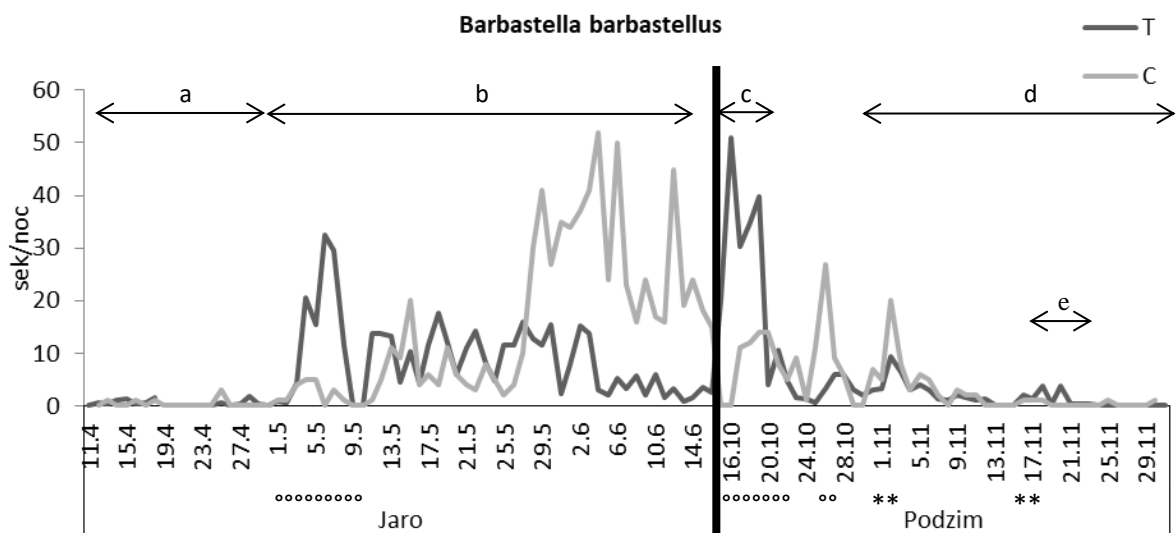
e – vlastním sběrem zaznamenány nejvyšší počty komplexů *O. brumata* (*O. brumata*, *Epirrita* spp.)

Symboly (teplota)

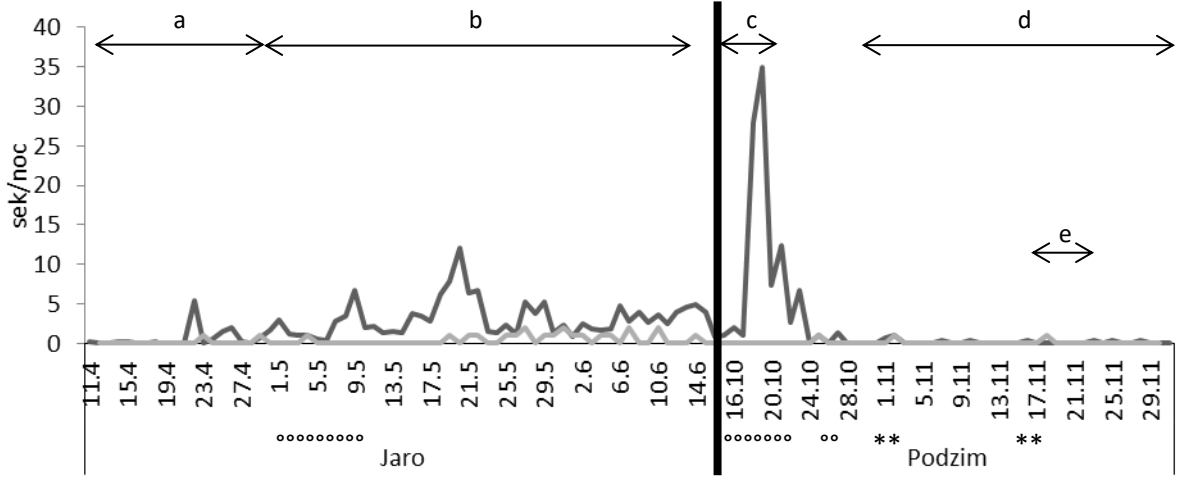
teplota z nejbližších meteostanic (cca 3 km od lokalit, meteoblue.com)

° první/poslední dny oteplení s průměrnými teplotami nad 10°C

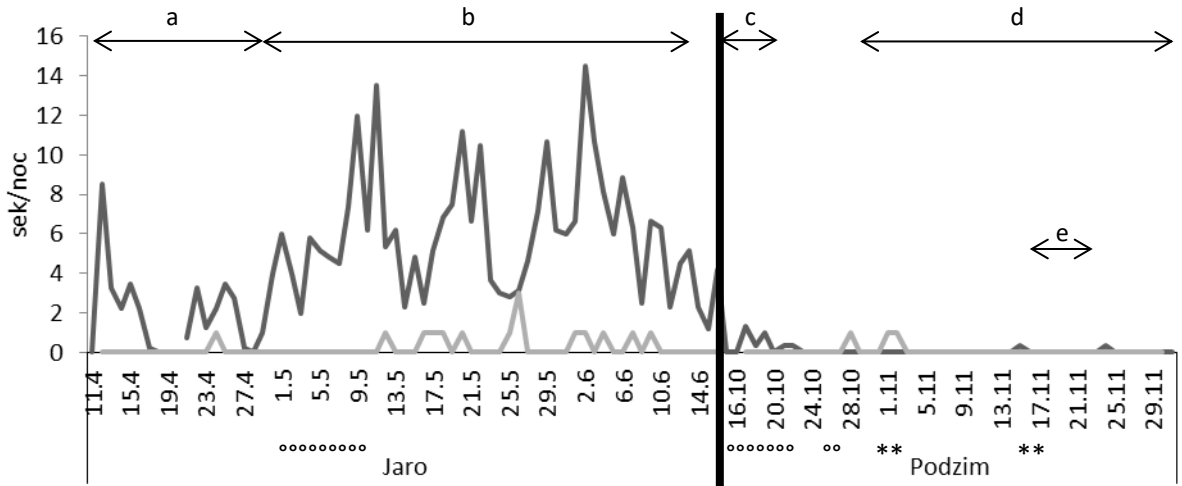
* první dny s minimálními teplotami pod 0°C



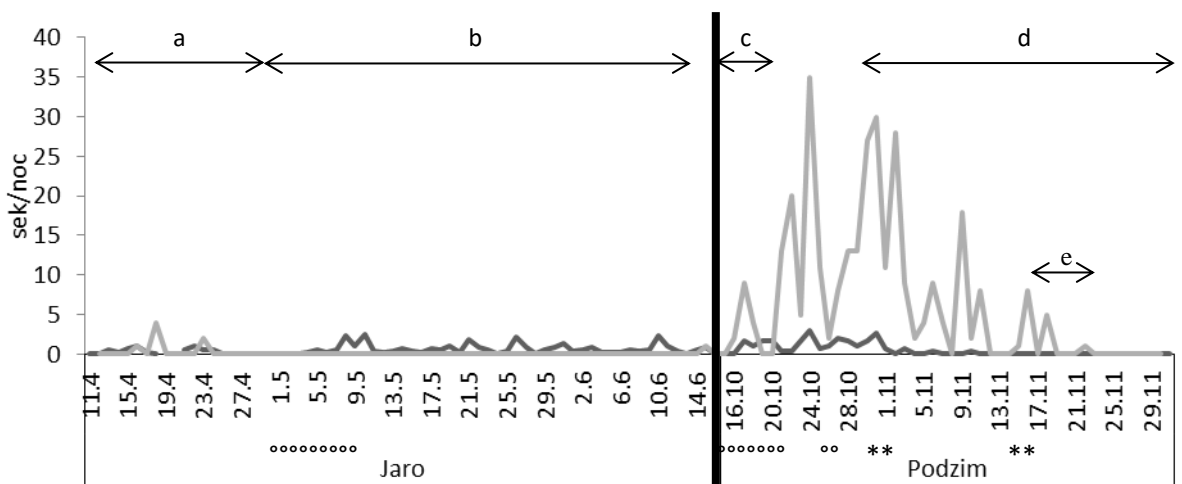
Myotis emarginatus/alcaethoe

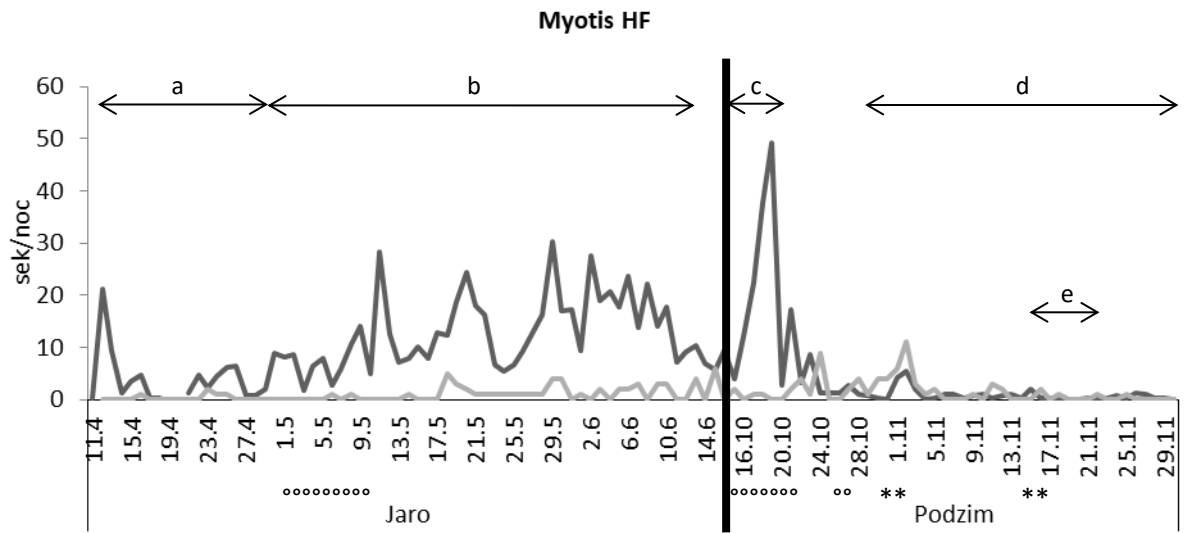


Myotis mystacinus/brandtii



Myotis nattereri





Myotis HF: sdružuje druhy rodu *Myotis* (*M. bechsteinii*, *M. emarginatus*, *M. mystacinus*, *M. brandtii*, *M. nattereri*, *M. daubentonii*)

