Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Telemetrie hmyzu se zaměřením na tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*)

Bakalářská práce

Tomáš Pěnka

Školitel: RNDr. Lukáš Drag, Ph.D.

České Budějovice 2018

Pěnka, T., 2017: Telemetrie hmyzu se zaměřením na tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*).[The telemetry of insects with the Great Capricorn beetle (*Cerambyx cerdo*) as the target species. Bc. Thesis, in Czech.] - 29 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation:
In this thesis, I studied the dispersal patterns of the Great Capricorn beetle *Cerambyx cerdo* (Coleoptera: Carambycidae), an endangered veteran tree specialist. Using the modern method of radio-tracking I determined the movement probability and dispersal capacity of *C. cerdo* individuals during 14 days period at two sites in Slovakia. I also assessed the differences in movement distances between the males and females and between the two studied sites. Finally, I presented other telemetry techniques, which are frequently used to track different insect species.

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Lukáši Dragovi za veškeré rady a připomínky, za jeho čas a velkou trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat Lukáši Čížkovi a Pavlu Šebkovi za rady a Davidu Hauckovi za společnou práci v terénu a za poskytnuté rady. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat za podporu mojí rodině, bez ní by tato práce nemohla vzniknout.

Obsah

1 Úvod 1
1.1 Disperze 1
1.2 Metody studia disperze 2
1.3 Telemetrie 3
1.3.1 Aktivní telemetrie 4
1.3.2 Pasivní telemetrie 7
1.4 Tesařík obrovský 8
1.5 Cíle práce 10
2 Metodika 11
2.1 Lokality 11
2.2 Sběr dat 11
2.3 Zpracování dat 13
3 Výsledky 14
3.1 Porovnání mezi pohlavími 15
3.2 Porovnání mezi lokalitami 16
4 Diskuze 19
5 Závěr 22
6 Použitá literatura 23

1 Úvod

1.1 Disperze

Disperze je důležitý proces v ekologii, evoluční biologii a v biologii ochrany přírody. Dále je součástí procesu, při kterém vznikají nové populace ve volně dostupných habitatech zahrnující i vliv populační dynamiky (Ranius, 2006). Dále může disperze mít vliv na schopnost populace zvládat případné změny životního prostředí jako je např. fragmentace, či celková ztráta habitatu.

Základním projevem života většiny organismů je pohyb, který může u některých organismů probíhat jen v krátké fázi jejich života např. u většiny sedentárních druhů, podporuje tak řešení lokálních problémů, jako je nedostatek potravy, míst vhodných k rozmnožování, úkrytů před predátory nebo před zimou (Bowler & Benton, 2005). Pohyb je také určen strukturou krajiny, která může mít vliv na cestu a rozhodování živočicha. Současné studie sledující pohyb organismů přinesly mnoho pohledů a nejednotnou terminologii při užití odlišných názvů. V odborných studiích se nejčastěji užívají termíny disperze a migrace popisující pohyb organismů v prostoru a čase.

Disperze je speciální druh jednosměrného pohybu jedince z jednoho místa na druhé. Dingle & Drake (2007) rozlišují tři typy disperzí. Prvním typem disperze je pohyb jedince v domovském prostředí a obvykle souvisí s hledáním zdrojů potravy nebo partnerů. Druhý typ disperze platí pro jedince, kteří se pohybují za hranicí svého domovského prostředí, a jedná se o pohyb, kdy si jedinec najde pro sebe vhodné teritorium s vhodnými zdroji, kde se následně usadí. Při třetím typu disperze se jedinec sice pohybuje za hranicí svého domácího prostředí, ale v novém prostředí se neusazuje. Pokud se jedinec dostane do prostředí s lepšími zdroji nebo sociálními vztahy, může dojít ke zlepšení jeho fitness. Naopak když se jedinec dostane do prostředí s horšími podmínkami, nenalezne možného partnera, může být více vystaven parazitům anebo může být uloven predátorem (Doerr & Doerr, 2005).

Při přemnožení jedinců na určitém území může dojít k omezení dostupných zdrojů. V tomto případě může být disperze výhodná, neboť jedinci dokážou uniknout nepřízni prostředí, a vyhnout se tak lokální kompetici (Bowler & Benton, 2005). K disperzi jsou tak nuceni spíše menší jedinci s nižší šancí pro rozmnožování. Pro jejich přežití je disperze jedinou možností (Bowler & Benton, 2005).

Ve srovnání s disperzí je migrace hromadný přesun organismů z jednoho místa na své původní místo. Rovněž je migrace považována za adaptaci na proměnlivost zdrojů

v prostoru a čase (Dingle & Drake, 2007). Migrace je oproti disperzi sezónní a opakovaná a má cílený pohyb mezi dvěma a více habitaty (Bowler & Benton, 2005). Dále se migrace rozlišuje na jednogenerační a vícegenerační (Dingle & Drake, 2007). Jednogenerační migrace je přesun jedince z jednoho místa na druhé v rámci jeho životního cyklu. Tento typ migrace se vyskytuje u většiny tažných ptáků a sudokopytníků. Vícegenerační migrace je přesun jedinců, kdy během jednoho přesunu vzniká a hyne několik generací jedinců daného druhu během celého migračního přesunu. Příklad vícegenerační migrace představuje např. monarcha stěhovavý (*Danaus plexippus*) migrující ze Severní Ameriky až do Mexika, kde přezimuje, a následně se vrací zpět do Severní Ameriky.

1.2 Metody studia disperze

Studium disperze umožňuje získávat informace o pohybové aktivitě živočichů. Existuje celá řada metod, které poskytují rozdílné výsledky o disperzi a aktivitě studovaných jedinců.

Jednou z nich je metoda světelných pastí, kdy je hmyz lákán na zdroj světla (typický příklad fototaxe). Metodu tak lze použít pro zachycování letových aktivit hmyzu jen během noci (Csabai et al., 2006). Reakce na světlo může být u jednotlivých druhů odlišná a také záleží na pohlaví.

Malaiseho pasti se používají především v populačně-ekologických výzkumech hmyzu. Metoda využívá principu, kdy hmyz při letu narazí do stěny z textilu, která je shora krytá tkaninou, a na jejím konci je směřován do rukávu ústící do sběrné nádoby s konzervačním médiem. Hlavní výhodou oproti světelným pastem je možnost nepřetržitého odchytu hmyzu po delší časovou dobu. V praxi se používá pro pozorování dvoukřídlého a blanokřídlého hmyzu.

Genetické studie jsou obvykle užívány pro určování dlouhodobějších vlivů působení disperze na velké prostorové škále. Nevýhodou těchto studií je to, že pozorovaná genetická odlišnost populací nemusí odrážet pouze disperzi, ale může být také důsledkem bottlenecku nebo disperze v minulosti (Ranius, 2006).

Metoda letových mlýnků (flight mills) se používá především pro měření rychlosti, vzdálenosti a periodicity letového pohybu hmyzu v laboratoři (Martí-Campoy et al., 2016). Princip metody spočívá v připevnění jedince na rameno mlýnku, se kterým se otáčí. Pomocí snímače na horní části ramena skener zaznamenává, jak rychle a s jakou frekvencí se pozorovaný jedinec pohybuje. V praxi se metoda používá pro měření pohybu hmyzu v reakci na různé vnější vlivy, např. vliv teploty, rychlosti a směru větru nebo expozici pesticidu.

Metoda značení a zpětného odchytu zvířat (mark-recapture, MR) je technicky jednodušší než předešlé metody. Princip metody spočívá v odchytu jedinců, jejich označení pomocí číselných štítků nebo barevných značek a následného vypuštění zpět do prostředí. U označených jedinců, u kterých dojde k opakovanému odchytu, tak lze určit vzdálenost, kterou mezitím urazili. Výraznou nevýhodou této metody je, že zachycuje přesuny sledovaného druhu pouze na vzdálenosti dané velikostí území, na kterém je druh studován. Míra disperze je tak často podhodnocena, protože označení jedinci, kteří se pohybují mimo studované území, nejsou dále měřeni (Kissling et al., 2014). Toto omezení je více patrné zejména u druhů schopných delších přesunů.

1.3 Telemetrie

Telemetrie představuje moderní technologii pro sledování zkoumaných objektů. Užití telemetrie je velmi rozsáhlé, například v kosmonautice se používá pro přenos signálů z družic, kosmických sond a raket nebo v meteorologii se měřená data (např. teplota vzduchu, vlhkost, rychlost a směr větru) z meteorologických stanic posílají k vyhodnocení klimatických poměrů. V biologii se telemetrie využívá zejména ke sledování pohybu organismů v jejich přirozeném prostředí. Díky tomu lze zjistit informace o pohybu zvířat, velikosti oblasti výskytu, migraci, preferenci habitatů, umístění úkrytů, sociálním chování, získávání potravy anebo reprodukci.

Telemetrie se skládá ze dvou elektrotechnických komponent. První komponentou, která se obvykle připevňuje na sledovaného jedince, je vysílač s malou anténou vysílající signál o určité frekvenci, druhou komponentou je přijímač napojený na anténu, který přijímá signál z vysílače a tím je schopen určit polohu daného vysílače.

Ke studiu ekologie zvířat se začala telemetrie používat ke konci 50. let 20. století za pomocí obojků a čipů vysílajících krátkovlnné signály (Clark et al., 2006). Z důvodu vysoké hmotnosti lokalizačních přístrojů byla telemetrie ze začátku užívána hlavně na vyšších obratlovcích. Jedna z prvních studií byla zaměřena na pozorování sviště lesního (*Marmota monax*) ve volné přírodě s pomocí malého vysílače, který byl vložen do pobřišnice pozorovaného jedince. Vysílač vážící 122.5 g obsahoval integrované obvody s malým napájením a se zesilovači signálu vysílající na vzdálenost 16 m po dobu 2 týdnů (LeMunyan et al., 1959). První zaznamenaná trasa pohybu zvířat za využití telemetrických měření byla provedena na počátku 60. let 20. století na jelenci běloocasém (*Odocoileus virginianus*) za pomoci obojků s vysílači vážícími 180 g (Tester et al., 1964). Později byla

telemetrie použita pro pozorování pohybů velryb (Ray et al., 1978), nebo velkých (Boshoff et al., 1984) a následně i menších ptáků (Teyssèdre, 1986).

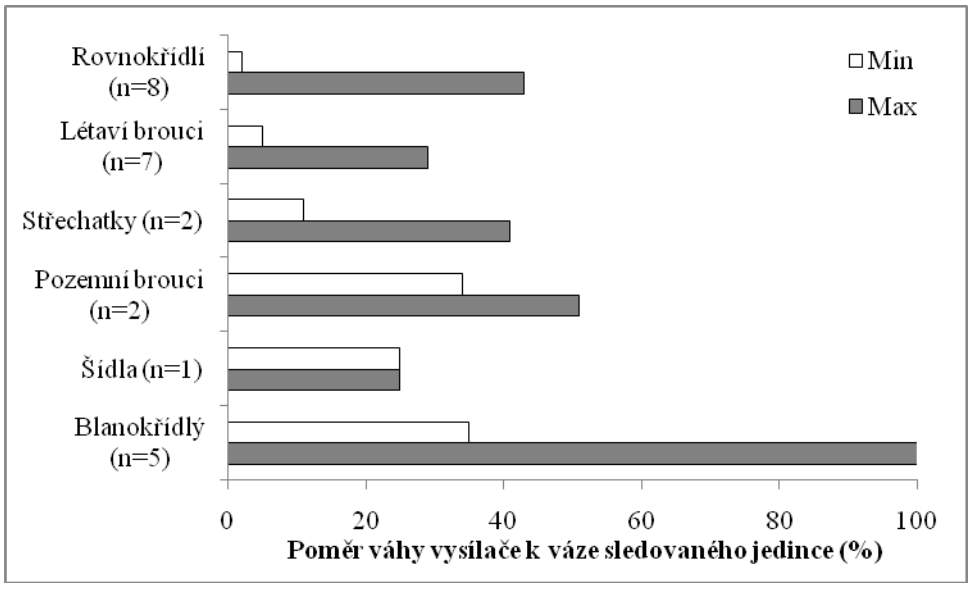
Postupem času pokročila technika natolik, že rozměry a snížená hmotnost vysílačů umožnila telemetrii aplikovat i na menší druhy zvířat, jako je hmyz. Koncem 80. let byla provedena první telemetrická studie na vodních larvách střechatek (*Protothermes grandis*) v Japonsku (Hayashi & Nakane, 1989). V ní autoři sledovali, jakým způsobem larvy hledají potravu v potočním habitatu. První telemetrická studie na suchozemském hmyzu byla publikována na začátku 90. let. Studie se zabývala pohybem a chováním střevlíka kožitého (*Carabus coriaceus*) v Německu (Riecken & Ries, 1992). Později byla studie rozšířena o další habitaty (lesy a břehy potoků), ve kterých populace střevlíka žijí (Riecken & Raths, 1996). Od roku 2000 pak vznikla celá řada prací zkoumajících pohyb hmyzu s užitím metody aktivní telemetrie a v dnešní době se tato metoda běžně používá pro pozorování i menších hmyzích druhů, např. včel a čmeláků.

1.3.1 Aktivní telemetrie

Aktivní telemetrie (neboli radio-tracking) užívá vysílač, který je napájen svou vlastní baterií. Vysílač se na tělo živočicha připevňuje u drobnějších savců, ptáků, plazů a hmyzu pomocí lepidla, malých obojků nebo stahovacích pásků, u velkých zvířat, např. jelenů, lvů a vlků se používá obojek anebo se čip aplikuje přímo pod kůži. Výhodou této metody je, že přijímač je přenosný a radiový signál se šíří bez větších omezení, takže lze pozorování provádět téměř v jakémkoli terénu. Z těchto důvodů je metoda vhodná a často používaná i pro hmyz, který je aktivní a pohybuje se na relativně velké vzdálenosti (Kissling et al., 2014).

Na druhou stranu i zde existují určitá omezení. Váha vysílače by neměla ovlivňovat přirozené chování a život sledovaného jedince. Ačkoli je k dispozici celá řada vysílačů o různých hmotnostech, je nutné zvolit ten správný vzhledem k váze sledovaného jedince a kapacitě baterie. Lehčí vysílač totiž znamená, že má i menší baterii s nižší kapacitou, což vede k nižšímu počtu dnů, kdy můžeme značeného jedince pozorovat. Boiteau & Colpitts (2001) studovali vliv váhy vysílače na chování mandelinky bramborové (*Leptinotarsa decemlineata*). Z jejich závěru vyplývá, že používané vysílače by u létajících brouků neměly přesáhnout hmotnost větší než 33% hmotnosti pozorovaného jedince, protože by mohlo dojít k omezení jeho pohybu. Srovnáním 25 studií využívajících aktivní telemetrii ke sledování různých skupin hmyzu lze získat představu o poměru váhy vysílače k váze pozorovaných jedinců (Kissling et al., 2014). Z tohoto srovnání vyplývá, že použité zatížení se velmi lišilo

mezi jednotlivými skupinami (od 2% u rovnokřídlého hmyzu až po 100% u blanokřídlých). U létavých brouků se hodnoty pohybovaly od 5 do 29% (Obr. 1).



Obr. 1: Minimální a maximální poměr váhy vysílače k váze sledovaného jedince vycházející z 25 studií, ve kterých byla použita metoda aktivní telemetrie na hmyzu (Kissling et al., 2014).

Další nevýhodou aktivní telemetrie jsou omezení plynoucí ze šíření radiového signálu. Ačkoli se signál šíří lépe než u pasivní telemetrie (viz níže), i zde existují limity. Obecně má radiové vlnění několik vlastností (atenuace, odraz, difrakce a polarizace), které mají vliv pro příjem vysílaného signálu v topografické a vegetační struktuře krajiny (Cresswell, 2016). Atenuace je zeslabení radiového signálu způsobené především hustou vegetací. Šířený signál je více tlumen nebo zcela ztracen, pokud se vysílač nachází za objektem např. budovou, kopcem nebo stromem. Odraz radiových vln je způsoben především odrazem signálu od svahu kopce nebo stěny lesa. Díky odrazu tak může dojít k záměně původního signálu vysílače za ten odražený, což následně vede ke špatnému vyhodnocení polohy sledovaného vysílače. Další vlastností je difrakce, která je velmi důležitá pro sledování radiových vln, které procházejí okraji neprůchozího objektu. V husté vegetaci však může mít rušivé účinky, které vedou k obtížnějšímu zachycení signálu. Poslední z vlastností, která má vliv na šíření radiového signálu, je polarizace. Pro nejlepší příjem vysílaného signálu je vhodné, aby byly antény vysílače a přijímače ve stejně orientované poloze. Pokud je signál z vysílače slabý a jeho anténa je v jiné poloze než anténa přijímače, muže to vést k nezachycení radiového signálu z vysílače.

Metoda aktivní telemetrie byla poprvé u saproxylického hmyzu použita ke sledování páchníka hnědého (*Osmoderma eremita*) na jihu Švédska (Hedin & Ranius, 2002). Měření

probíhalo na 74 dospělcích (40 samců a 34 samic). Jelikož šlo o první práci používající aktivní telemetrii na létavém druhu brouka, poruchovost vysílačů byla vysoká. I přes tyto nedostatky zjistili, že se brouk pohybuje málo, protože nejdelší zaznamenaná vzdálenost byla 330 m a průměrná zaznamenaná vzdálenost byla v rozsahu 50–100 m. Navazující studie uskutečněná o několik let později (Hedin et al., 2008) potvrdila, že dospělci spíše zůstávají v místech vypuštění a v případě pohybu to není dále než do vzdálenosti 150 až 200 m. Odlišné výsledky přinesla studie z Francie sledující schopnost disperze u pěti dospělců (Dubois & Vignon, 2008). Nejdelší zaznamenaná vzdálenost byla u samice, která pokořila téměř 700 m. Takováto vzdálenost nikdy nebyla předtím pozorována u tohoto druhu. Práce tak naznačila, že schopnost disperze páchníka hnědého bude zřejmě vyšší, než se předpokládalo. Navazující studie se zaměřila na rozdíly v disperzi mezi pohlavími (Chiari et al., 2013). V této práci ukázali, že 39% samic (9/23) a 56% samců (9/16) překonalo vzdálenost větší než 5 m. Zároveň práce naznačila, že neexistuje rozdíl mezi samci a samicemi v celkové uletěné vzdálenosti. Pohybová aktivita páchníka hnědého v této studii byla vyšší než v předchozích studiích. Při porovnání těchto studií se ukázalo, že ve studii prováděné ve Švédsku s chladnější teplotou v období léta se jedinci pohybovali méně, než ve studii prováděné v Itálii s vyšší teplotou, kdy měli jedinci vyšší pohybovou aktivitu.

Další studie zkoumající letovou schopnost pohybu byla prováděna na nosorožíku *Scapanes australis* na Papui-Nové Guineji (Beaudoin-Ollivier et al., 2003). Měření probíhalo na dospělcích obou pohlaví (5 samců a 10 samic), později probíhalo jen na samcích, protože samice se pohybovaly dál, než je mohl zaznamenat přijímač. Později u příbuzného druhu McCullough (2013) pozoroval schopnost pohybu samců (15) a samic (5) u nosorožíka japonského (*Trypoxylus dichotomus*) ve střední části ostrova Tchaj-wanu. Ze závěru studie vyšlo, že obě pohlaví (3 samci a 3 samice) jsou schopné překonat vzdálenost přes 800 m.

Rink & Sinsch (2007) zkoumali schopnost pohybu u dospělců roháče obecného (*Lucanus cervus*). Studie probíhala od května do června během 3 let. Ze závěru studie vyplývá, že samice se po vylíhnutí pohybovaly přibližně do čtyř dnů a nacházely se jen v okolí stromu, kde se spářily a nakladly vajíčka. Zatímco samci se pohybovali po celou dobu od vylíhnutí. Obě pohlaví měla podobné celkové vzdálenosti. Samice se pohybovaly jen v okolí stromu. Pozdější studie na roháčích (9 samců a 18 samic) se zaměřila na rozdíly mezi pohlavím (Tini et al., 2017). Z výsledků pozorování vyšlo, že dospělí samci roháče se pohybovali dál a častěji než samice. Samice zůstávaly na osluněných stromech, kde se spářily a nakladly vajíčka. Dalším důvodem, proč se samice nepohybovaly, je možné riziko

vyčerpání a ulovení predátorem. Samci byli lépe dohledatelní, neboť se líhli dříve a pohybovali se aktivněji, aby se spářili, a tudíž měli vyšší energetickou spotřebu než samice.

1.3.2 Pasivní telemetrie

V pasivní telemetrii se místo vysílačů používají čipy (tags) a diody (diodes), které pro své napájení nepotřebují baterii. Důležitou složkou je radar vysílající signál do okolí. U čipů je signál odražen a vrácen zpět k radaru, který jej přijme, naopak u diod se signál neodráží, ale dochází k zachycení signálu a následnému vysílání k radaru. Lze tedy říci, že radar funguje jako vysílač a přijímač zároveň. Hlavní výhoda této metody je, že používané čipy a diody jsou levné a extrémně lehké, čímž minimálně ovlivňují chování zvířete. K zásadním nevýhodám této metody pak patří stacionární radary, které jsou jednak finančně nákladné a navíc mají omezenou detekční vzdálenost v krajině (Kissling et al., 2014).

Pasivní telemetrie zahrnuje harmonický radar a radiofrekvenční identifikaci (dále jen RFID). Harmonický radar, dříve nazýván zkratkou VLR (Vertical-looking radar), není schopen sledovat více jedinců najednou, protože radar vysílá signál pouze o jedné vlnové frekvenci a neumí rozlišit signál z více diod současně. V praxi se používá především pro pozorování malého počtu méně létavého nebo nelétavého hmyzu v menším prostorovém a časovém měřítku. Dále se tato metoda nejčastěji využívá v rovném a otevřeném prostředí, protože jinak dochází k ozvěně radarového signálu (Riley & Smith, 2002). Navíc u některých hmyzích druhů existuje problém s příliš dlouhou anténou diod potřebnou pro zachycení a vysílání signálu. Například studie zkoumající pohyb samců čmeláka (*Exaerete frontalis*) v tropech ukázala, že délka antény delší než 42 mm může mít vliv na jejich pohyb (Wikelski et al., 2010).

Rozlišujeme dva typy harmonického radaru. Skenovací harmonický radar využívá pro sledování značených jedinců parabolický reflektor umístěný na velké vysílací parabolické anténě. Pro lepší manipulaci s radarem v terénu se umisťuje na přívěsný vozík (Riley & Smith, 2002). Směrový harmonický radar je mobilní a snadno přenosný (1.6 kg; O'Neal et al., 2004) ale na rozdíl od skenovacího radaru je schopen měřit jen směr signálu, a nikoliv jeho vzdálenost (Drake & Reynolds, 2012). Nevýhodou směrového radaru je jeho nižší schopnost detekovat diodu jedince, který se pohybuje nízko nad zemí (Lövei et al., 1997). Hmotnost diod u obou metod se pohybuje v rozmezí 100–200 mg, což umožňuje získávat informace o tak malých zástupcích hmyzu jako je např. hnědásek kostkovaný (*Melitaea cinxia*) nebo včela medonosná (*Apis mallifera*; Ovaskainen et al., 2008; Riley

& Smith, 2002). Skenovací harmonický radar byl použit pro pozorování pohybů čmeláka zemního (*Bombus terrestris*; Riley et al., 1996) ve vzdálenosti 700 m na rovině a sršně asijské (*Vespa velutina*) pozorované ve vzdálenosti kolem 125 m v řídké vegetaci (Milanesio et al., 2016). Směrový harmonický radar byl použit pro monitorování drobnějších střevlíků *Plocamosthetus planiusculus* (Lövei et al., 1997) a *Scarites quadriceps* (O'Neal et al., 2004).

RFID je pozorovací metoda tvořena čipem a čtečkou (reader), která je schopna zaznamenávat drobné čipy připevněné k pozorovanému hmyzu (Reynolds & Riley, 2002). Díky tomu, že jednotlivé čipy odráží pouze svoji specifickou frekvenci, je možné RFID použít pro dlouhodobé pozorování většího počtu jedinců. Teoretická vzdálenost pro detekci signálu mezi čtečkou a čipem je až 30 m, v praxi je rozsah nižší, nejčastěji 1–5 m (Domdouzis et al., 2007). Hmotnost čipů se většinou pohybuje od 0.9–4 mg (Streit et al., 2003; Schneider et al., 2012), což umožňuje monitoring ještě menších druhů hmyzu. RFID byla použita například ke sledování orientace včely medonosné (*Apis maliffera*; Pahl et al., 2011), ke sledování pohybu jedinců v koloniích mravence pobřežního (*Temnothorax albipennis*; Robinson et al., 2009) a čmeláka *Bombus impatiens* (Russell et al., 2017).

Výhoda pasivní telemetrie oproti aktivní je především v čipech a diodách, které jsou mnohem lehčí a menší než vysílače, čímž umožňují pozorování i menších druhů hmyzu. Čipy a diody není potřeba nijak napájet, takže doba sledování jedinců není z tohoto pohledu nikterak omezená. Dále mají nízké pořizovací náklady, a tak umožňují získat větší množství dat. Na druhou stranu dosah signálu stacionárních radarů v porovnání s mobilními je omezen. Tato nevýhoda je dále prohloubena neschopností stacionárních radarů se jednoduše přesunout za sledovaným jedincem. Dále harmonický radar vysílá signál o konstantní vlnové frekvenci, čímž nedokáže rozlišit mezi signály vracející se od více jedinců zároveň. Proto ve studiích používajících harmonický radar sledují spíše jednotlivě značené jedince než více jedinců současně. RFID sice umožňuje pozorování většího počtu jedinců, ale i zde jsou čipy detekovány pouze na krátké vzdálenosti. Navíc nízké ceny čipů a diod jsou kompenzovány vysokými náklady na pořízení radarů a čteček. Z uvedených příkladů je patrné, že aktivní telemetrie představuje mnohem vhodnější metodu pro pozorování tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) než telemetrie pasivní.

1.4 Tesařík obrovský

Tesařík obrovský (*Cerambyx cerdo*) je jedním z našich největších xylofágních brouků. Je chráněný zákonem podle vyhlášky č. 395/1992 Sb. Dále je na Červeném seznamu ohrožených druhů ČR v kategorii ohrožený (endangered; Hejda et al., 2017) a je chráněný

legislativou EU (Směrnice rady 92/43/EHS) v rámci systému ochrany NATURA 2000 (Council of the European Communities, 1992; Nieto & Alexander, 2010).

Do první poloviny 20. století se tesařík obrovský vyskytoval téměř na celém území České republiky. Za poslední desetiletí však z řady míst zcela vymizel a v současné době jej lze nalézt ve větším počtu pouze na několika lokalitách v Čechách a na jižní Moravě. Nejvýznamnější populace se v Čechách nacházejí v okolí Třeboně, v Lánské oboře na Křivoklátsku nebo na jihu Prahy v Milíčovském háji. Původní populace u Hluboké nad Vltavou v druhé polovině minulého století zcela zanikla. Koncem 80. let zde došlo k vypuštění (reintrodukci) několika jedinců, čímž se podařilo populaci opět obnovit (Drag & Cizek, 2015). Na Moravě je jeho výskyt souvislý a místy dokonce hojný. K nejznámějším lokalitám patří například okolí soutoku Dyje a Moravy, dále pak okolí Znojma či zámecký park Lednice.

Výskyt tesaříka obrovského je vázán převážně na osluněná stanoviště starých dubů (*Quercus* spp.) rostoucích v oborách, parcích, na rybničních hrázích a v řídkých lesích. Samička klade vajíčka jak do dolních částí kmenu stromů, tak i do silných větví v korunách (Albert et al., 2012). Po dvou týdnech se líhnou larvy, které začínají požíráním lýka narušovat strom (Sláma, 1998). Dva roky dochází k jejich vývoji v lýku, posléze třetím rokem se zanořují hlouběji do dřeva. Zde si vytvoří komůrku, kde se po uzavření chodby zakuklí. Přibližně koncem října se líhnou dospělí jedinci, kteří přezimují a následujícího roku se prokousávají ven. Celková doba vývoje je 3 až 5 let v závislosti na vlastnostech stromu a okolního prostředí. Charakteristické oválné otvory, které po sobě dospělci zanechávají, jsou přibližně 20 mm široké (Albert et al., 2012). Otvory ve stromu usnadňují vstup ostatním druhům živočichů. Díky tomu je tesařík nazýván jako ekosystémový inženýr, protože svou činností podporuje výskyt dalších druhů vázaných na mrtvé dřevo (Buse et al., 2007).

Dospělci jsou aktivní od května do začátku srpna (Albert et al., 2012). I když je můžeme pozorovat i během dne, jsou to převážně noční tvorové, takže jejich aktivita je nejvyšší při soumraku a přetrvává do pozdních nočních hodin. V průběhu dne jsou brouci často ukrytí v dutinách nebo v korunách stromů. Během teplých nocí se dospělci shlukují na kmenech, ze kterých často vytéká míza, kterou se brouci živí (Sláma, 1998).

Ačkoli v Mediteránu je tesařík obrovský stále relativně hojný druh (Sláma, 1998), za posledních 100 let došlo k významnému poklesu jeho populací v oblasti střední a severní Evropy (Buse et al, 2007; Lindhe et al., 2010). Existuje zde riziko, že trend úbytku populací bude i nadále pokračovat. Příčinou je zejména ústup tradičního lesního a pastevního hospodaření, které vedlo k většímu zápoji korun a následnému zastínění kmenů stromů

potřebných k vývoji tohoto druhu. Dalším rizikem je pak úbytek (ať již přirozený nebo umělý) starých stromů, na jejichž místo nejsou vysazovány náhradní (De Zan et al., 2017).

Cílem ochrany tesaříka obrovského by tak měla být péče o jeho populace a hlavně zajištění dostatečného množství lokalit se starými osluněnými duby. K tomu je zapotřebí aktivní management, který je zcela odlišný od managementu většiny současných lesů. V ideálním případě by se měla péče o lokalitu skládat ze tří složek: 1) péče o staré stromy, 2) zabezpečení vhodných okolních stromů a případně 3) vytvoření náhradních stanovišť (Čížek, et al., 2015). Ochrana tesaříka obrovského je o to složitější, neboť oslabené stromy, které kolonizuje, jsou tesaříkem dále poškozovány, a tak jsou i náchylnější k chorobám a k předčasnému odumírání. Pokud je více jedinců na kolonizovaném stromě, zvyšuje se šance odumření stromu, což může vést až k zániku samotné populace tesaříka na daném místě (Sláma, 1998).

Neexistuje mnoho studií, které by se přímo zabývaly pohybem tesaříka obrovského. Ve španělské studii se pomocí metody značení a zpětných odchytů Torres-Vila et al. (2017) věnovali rozdílům v pohybu u dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo)* a blízce příbuzného tesaříka *Cerambyx welensii.* Pomocí inverzní mocninné funkce (IPF) odhadli, že přibližně 97% dospělců se pohybovalo na vzdálenost menší jak 100 m, okolo 0.5% dospělců překonalo vzdálenost 500 m a jen 0.1% dospělců by urazilo vzdálenost větší než 2000 m. Na základě těchto měření došli k závěru, že jedinci obou druhů mají podobně nízkou disperzi spojenou se sedentárním způsobem života. K podobným výsledkům došli i ve studii zabývající se pouze pohybem dospělců tesaříka *Cerambyx welensii* (Torres-Vila et al., 2013). Pomocí metody značení a zpětných odchytů došli k závěru, že brouci jsou schopni se pohybovat spíše na kratší vzdálenosti (do 200 m).

1.5 Cíle práce

Cílem mé bakalářské práce je pomocí moderní metody aktivní telemetrie (radio-tracking) získat informace o pohybu chráněného tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*). V rešeršní části práce se věnuji zhodnocení aktivní telemetrie a dalších telemetrických technik běžně používaných při studiu hmyzu. V praktické části práce se pak snažím odpovědět na dílčí otázky související s pohybem tesaříka obrovského: (i) na jak velké vzdálenosti se dokážou dospělci tesaříka obrovského pohybovat, (ii) jaká je pravděpodobnost přesunu dospělců z jednoho místa na druhé, zda (iii) existují rozdíly v pohybu mezi samci a samicemi a jestli (iv) existují rozdíly v pohybu u brouků mezi studovanými lokalitami.

2 Metodika

2.1 Lokality

Výzkum probíhal od 23. 6. do 5. 7. 2017 na dvou lokalitách ležících ve střední části Slovenska.

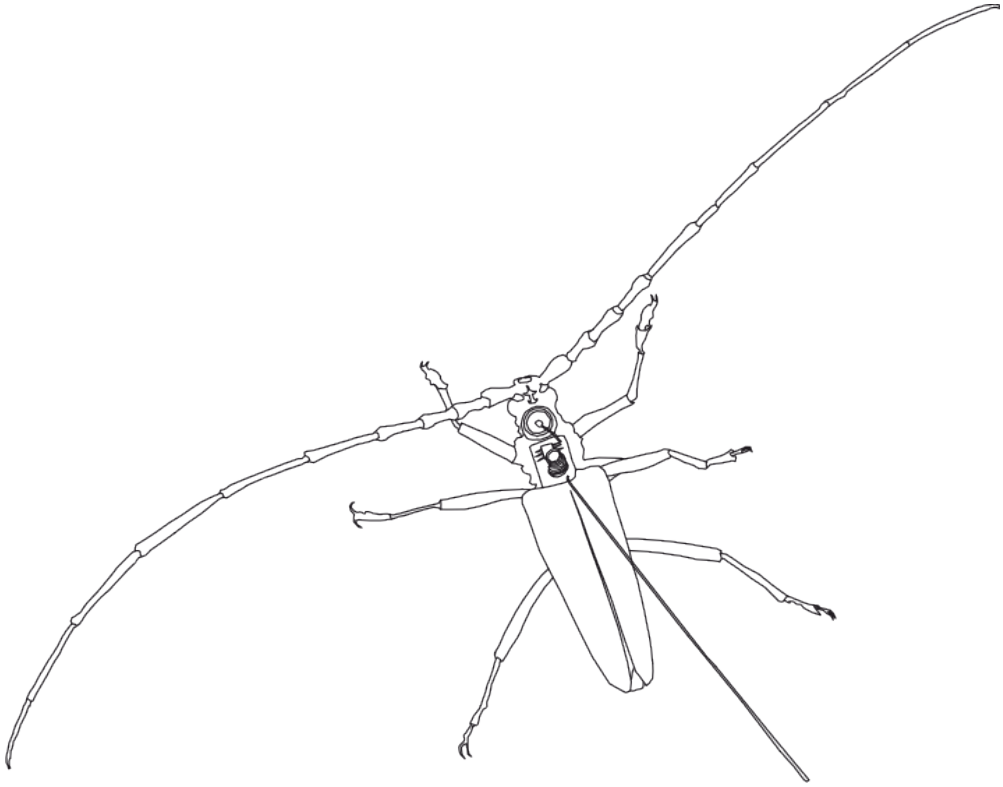
Chráněný areál (dále jen CHA) Gavurky (48°27′47″N, 19°7′49″E) se nachází v nadmořské výšce 450 m jihovýchodně od obce Dobrá Niva v okrese Zvolen. Lokalitu lze charakterizovat jako rozvolněný dubový háj s výskytem dubu letního (*Quercus robur*) a dubu ceru (*Quercus ceres*) udržovaný sečí a pasením dobytka. Mezi lety 1968–1989 lokalita sloužila jako cvičiště sovětských vojsk. V roce 1997 byly realizované sanační a asanační práce, kdy došlo k opětovnému zarovnání a zatravnění areálu. Později byl obnoven pastevní les, jehož management je doplněn sečí. Areál je významným refugiem dutinových hnízdních ptáků např. dudka chocholatého (*Upupa epops*), puštíka obecného (*Strix aluco*), kalouse ušatého (*Asio otus*) a šoupálka dlouhoprstého (*Certhia familiaris*). Ve starých dubech žijí také jedinci evropsky chráněného tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*; Valach, 2010).

Evropsky významná lokalita (dále jen EVL) Brezovská stráň (48°10′21″N, 19°0′20″E) se nachází v nadmořské výšce 350 m, u obce Plášťovce v okrese Levice. Nachází se zde druhově bohatá lesostepní společenstva tvořená převážně dubem pýřitým (*Quercus pubescens*) a dubem jadranským (*Quercus virgiliana*), na nezalesněných plochách se vyskytují pionýrské biotopy se stepními společenstvy preferující suchá a teplá stanoviště. Mezi vzácné a chráněné druhy rostlin patří například paprska velkokvětá (*Orlaya grandiflora*), suchokvět roční (*Xeranthemum annuum*), sesel pestrý (*Seseli pallasii*). Ze živočichů zde lze kromě tesaříka obrovského najít například roháče obecného (*Lucanus cervus*), bource trnkového (*Eriogaster catax*), hnědáska osikového (*Euphydryas maturna*) nebo ohniváčka černočerného (*Lycaena dispar*; Košťál, 2016).

2.2 Sběr dat

Dospělce tesaříka obrovského jsem sbíral ručně nebo pomocí pastí s návnadou (detailní popis pasti je uveden v práci Torres-Vila et al. 2017). Každého chyceného jedince jsem změřil, zvážil a na jeho štít (pronotum) jsem s pomocí kyanoakrylátového lepidla připevnil radiový vysílač LB-2X (Holohil Systems Ltd.; Obr. 2). Vysílač o váze 0.31 g se skládal z čipu a napájecí baterie, které byly uzavřeny v nepromokavém obalu (rozměry 8x4x2.8 mm) a tenkého drátku sloužícího jako anténa (5 cm). Každý vysílač se lišil svou vlnovou

frekvencí o přibližně 40 kHz (rozmezí 150–152 MHz) a po aktivaci vysílal radiový signál rychlostí 40 pulsů za minutu. Tím bylo zajištěno jeho nepřetržité fungování po dobu minimálně tří týdnů.



Obr. 2: Náčrt umístění vysílače LB-2X na štít (pronotum) tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) (Inkscape).

Brouky s přilepenými vysílači jsem vypustil na místech odchytu či v jeho blízkém okolí. Z důvodu vyššího počtu sledovaných jedinců a sledování na dvou lokalitách zároveň byli jedinci dohledáváni pouze jednou denně. K zachycení radiového signálu jsem použil SIKA přijímač (Biotrack, Ltd.) propojený kabelem s tříprvkovou Yagi anténou. Ta byla speciálně upravena pro tento systém tak, aby její parametry nebránily manipulaci v terénu (přední prvek, dipól s konektorem a nejdelší reflektor o délce 110 cm byly nasazeny na ráhno o délce 100 cm). Pomocí postupného natáčení antény do všech světových stran jsem signál zachytil a určil směr jeho nejsilnějšího zdroje. Tímto směrem jsem se vydal a jednou za čas celý proces rotace antény zopakoval, čímž jsem zkontroloval a případně upravil správnost svého směru. Pro finální určení pozice brouka s vysílačem bylo nutné ověřit zdroj signálu z více směrů. Touto metodou jsem ve většině případů nedokázal určit přesnou polohu brouka v rámci stromu (jedinci tesaříka obrovského jsou přes den velmi často ukrytí v korunách stromů nebo v jeho dutinách), stačilo to však k určení pozice stromu, na kterém se brouk vyskytoval. Přesnou polohu stromu jsem pak zaznamenal do ruční GPS (Garmin Ltd.).

2.3 Zpracování dat

V programu Geographic Distance Matrix Generator (Ersts, 2011) jsem vytvořil čtvercovou matici distancí popisující přímé vzdálenosti jedinců mezi jednotlivými dny pozorování. Z této matice jsem dokázal odečíst jak často a na jak velké vzdálenosti se jedinci pohybovali.

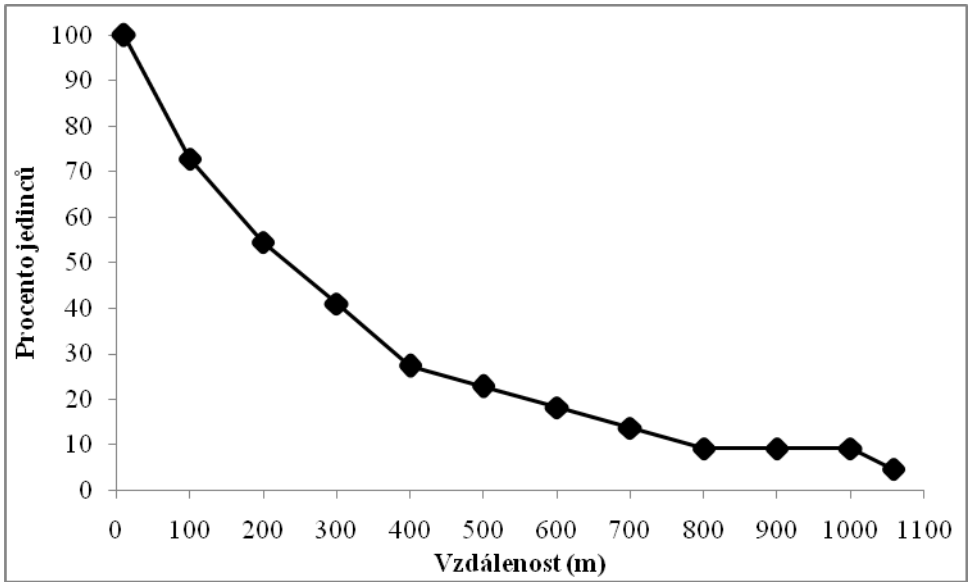
Z analýzy byli vyřazeni jedinci s žádným nebo pouze s jedním zaznamenaným pohybem ihned po vypuštění (z důvodu nemožnosti rozlišit mezi uhynulého jedince nebo spadlou vysílačku). Výjimku tvoří jeden jedinec, u kterého sice nebyl zaznamenán žádný pohyb, ale během jednotlivých pozorování byl pozorován stále živý. Dále, z důvodu přesnosti měření GPS byly vyřazeny všechny potenciální přesuny menší než 10 m. Jelikož nebylo možné rozlišit mezi uhynulým jedincem nebo spadlou vysílačkou a jedincem, který se nehýbe, analýzy byly provedeny jak pro všechna pozorování, tak pouze pro pozorování založená na dnech do posledního zaznamenaného pohybu.

Dále byly stanoveny následující parametry: celkový počet dnů, počet pozorovaných dnů, zaznamenané pohyby, celková vzdálenost, denní vzdálenost a denní přemístění. Pro tyto parametry byly vypočítány směrodatné odchylky, mediány a rozsahy. Celkový počet dnů byl charakterizován jako doba od vypuštění jedinců do doby jejich posledního záznamu. Počet pozorovaných dnů byl určen jako součet všech dnů, kdy byl jedinec nalezen a zaznamenán. Zaznamenané pohyby byly určeny jako počet dnů, kdy jedinci změnili svou polohu. Celková vzdálenost byla určena jako součet všech uražených vzdáleností během sledovaného období. Denní vzdálenost byla určena jako celková vzdálenost dělena počtem pozorovaných dnů. Denní přemístění bylo určeno jako celková vzdálenost dělená zaznamenanými pohyby. Za pomoci Studentova T-testu byly vyhodnoceny rozdíly v hmotnostech jedinců mezi pohlavími. Pro vyhodnocení pravděpodobnosti, kdy se jedinec přesunul z jednoho místa na druhé, byl použit Fisherův exaktní test. Pro vyhodnocení rozdílu mediánu pohybů a průměrného pohybu jedinců mezi prostředími a pohlavími byl proveden Mann-Whitney U-test. Uvedené statistické testy byly vyhodnoceny v programu Statistica 12 (StatSoft Inc.). Pro porovnání celkových vzdáleností mezi pohlavími a lokalitami byly vytvořeny histogramy v MS Excel 2007 (Microsoft Corp.).

Pro vytvoření mapy zaznamenávající nejdelší trasy pozorovaných jedinců byly souřadnice vloženy do programu Google Earth (Google Inc.), kde byly proloženy vrstevnicemi.

3 Výsledky

Celkem bylo odchyceno 32 jedinců, na které byly připevněny vysílače, a následně byli vypuštěni na místech svého odchytu nebo v jeho blízkém okolí. Někteří jedinci byli během dvou dnů od vypuštění nalezeni uhynulí (3 samci a 2 samice). Další pozorovaní jedinci byli vyřazeni z analýzy z důvodu toho, že se pohnuli pouze první den od vypuštění (1 samec a 2 samice). Dále byla vyřazena pozorování, kdy došlo k chybě signálu (1 samec) anebo byl nalezen odpadlý vysílač (1 samec). Všechny níže uvedené analýzy jsou tedy založeny na 22 jedincích, kteří se pohybovali na dvou lokalitách (10 jedinců v CHA Gavurky a 12 jedinců v EVL Brezovská stráň). Celkově bylo pozorováno 7 samců a 15 samic a jejich celková doba pozorování byla v rozsahu 11 až 14 dní (medián 12 dní). Poměr váhy vysílače k váze sledovaného jedince byl 8–19% celkové tělesné váhy. Nejdelší pozorovaný pohyb během jednoho dne byl 539 m u samce a 427 m u samice (EVL Brezovská stráň). U 18% jedinců obou pohlaví v obou lokalitách byla pozorovaná vzdálenost >500 m (Obr. 3). Při započtení všech dnů byla pravděpodobnost denních pohybů 54% (77 zaznamenaných pohybů během 143 pozorovaných dnů). Při započtení dnů do posledního zaznamenaného pohybu byla pravděpodobnost denních pohybů, kdy se daný jedinec přesune z jednoho místa na druhé, 35% (77 zaznamenaných pohybů během 220 pozorovaných dnů).



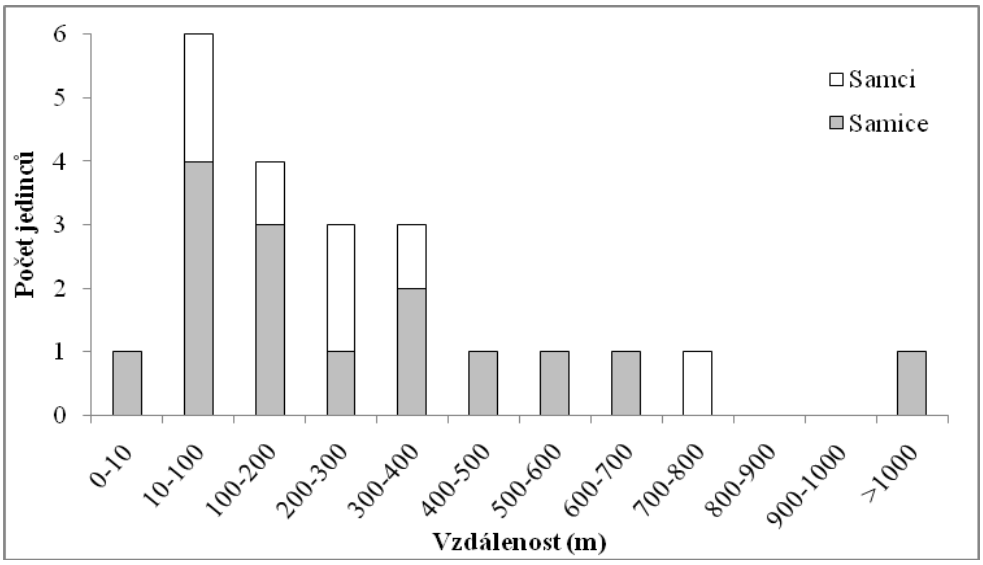
Obr. 3: Kumulativní procento pozorovaných dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) obou pohlaví, kteří urazili minimálně danou vzdálenost během doby pozorování (N = 22).

3.1 Porovnání mezi pohlavími

Průměrná hmotnost brouků s vysílači byla 2.25 g (±0.57) u samců a 2.71 g (±0.59) u samic (Tab. 1). Rozdíl v hmotnostech mezi samci a samicemi nebyl signifikantní (Studentův T-test p = 0.106). Pravděpodobnost denních pohybů neměla vliv na pohlaví při započtení všech dnů (samci: 36%, samice: 35%, Fisherův exaktní test p = 0.883) ani při započtení dnů do posledního zaznamenaného pohybu (samci: 47%; samice: 56%, Fisherův exaktní test p = 0.203). Průměrná denní vzdálenost u samců byla 36 m (±88) a u samic 48 m (±83). Mediány denních vzdáleností mezi pohlavími se signifikantně nelišily (samci: 0 m, 0-539; samice 0 m; 0-427; Mann-Whitney U-test: p = 0.907) ani při započtení pouze dnů do posledního zaznamenaného pohybu (samci: 0 m, 0–539; samice: 17 m; 0–427 m; Mann-Whitney U-test: p = 0.209). Pro přehledné znázornění rozdílů mezi samci a samicemi byl vytvořen histogram (Obr. 4) počtu jedinců, kteří urazili danou vzdálenost.

Tab. 1: Jednotlivé parametry vypočítané pro 22 dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) rozdělené dle pohlaví.

	Samci (*N*=7)		Samice (*N*=15)	
Název	Průměr (± SD)	Medián (rozsah)	Průměr (± SD)	Medián (rozsah)
Hmotnost (g)	2.25 (±0.57)	1.98 (1.64–3.04)	2.71 (±0.59)	2.80 (1.63–3.75)
Celkový počet dnů	12.86 (±1.07)	12 (12–14)	12.67 (±1.05)	12 (11–14)
Počet pozorování (dny)	7.25 (±4.15)	7 (2–12)	6 (±2.51)	6 (2–11)
Zaznamenané pohyby (dny)	3.57 (±1.90)	4 (1–7)	3.47 (±1.68)	3 (0–7)
Celková vzdálenost (m)	270 (±230)	269 (37–732)	286 (±284)	176 (0–1059)
Denní vzdálenost (m)	36 (±88)	0 (0–539)	48 (±83)	17 (0–427)
Denní přemístění (m)	76 (±117)	33 (10–539)	82 (±95)	43 (10–427)



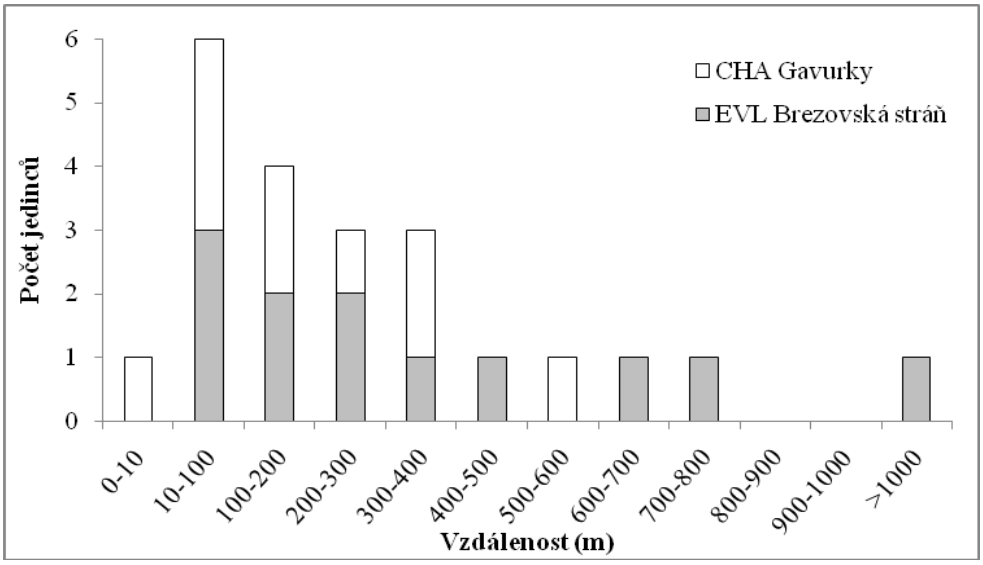
Obr. 4: Celková vzdálenost dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) rozdělených dle pohlaví (7 samců, 15 samic).

3.2 Porovnání mezi lokalitami

Pravděpodobnost denních pohybů neměla vliv na pohlaví při započtení všech dnů (CHA Gavurky: 30%, EVL Brezovská stráň: 40%, Fisherův exaktní test p = 0.138) ani při započtení dnů do posledního zaznamenaného pohybu (CHA Gavurky: 46%; EVL Brezovská stráň: 59%, Fisherův exaktní test p = 0.055). Průměrná denní vzdálenost podle Tab. 2 v CHA Gavurky byla 29 m (±65) a EVL Brezovská stráň 55 m (±99). Mediány denních vzdáleností mezi studovanými lokalitami se signifikantně nelišily (CHA Gavurky: 0 m, 0–340 m; EVL Brezovská stráň: 0 m, 0–539 m; Mann-Whitney U-test: p = 0.132) ani při započtení pouze dnů do posledního zaznamenaného pohybu (CHA Gavurky: 0 m, 0–340 m; EVL Brezovská stráň: 15 m, 0–539 m; Mann-Whitney U-test: p = 0.078). Pro přehledné znázornění rozdílů mezi jedinci pohybující se v obou lokalitách byl vytvořen histogram počtu jedinců, kteří urazili danou vzdálenost (Obr. 5).

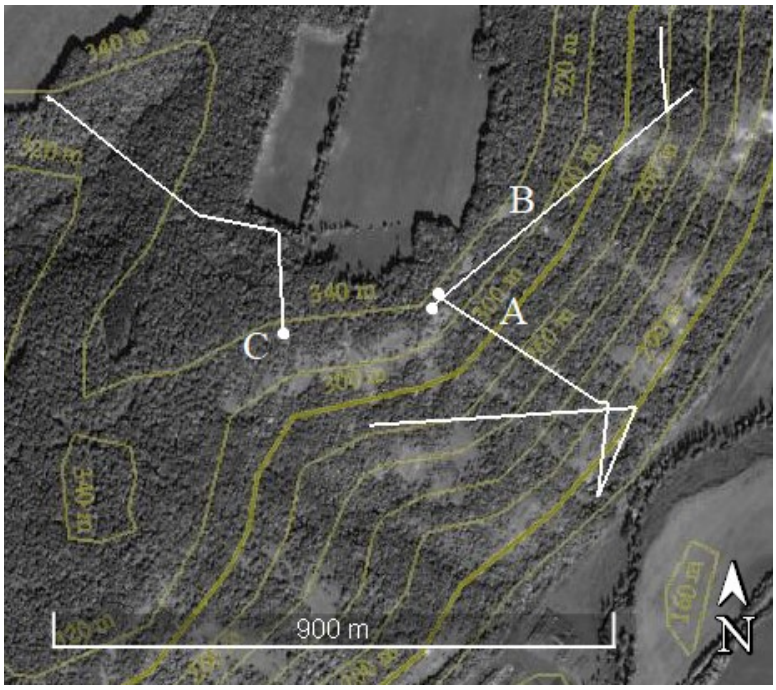
Tab. 2: Jednotlivé parametry vypočítané pro 22 dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) rozdělené podle lokality.

	CHA Gavurky (*N*=10)		EVL Brezovská stráň (*N*=12)	
Název	Průměr (± SD)	Medián (rozsah)	Průměr (± SD)	Medián (rozsah)
Hmotnost (g)	2.79 (±0.69)	2.98 (1.63–3.75)	2.37 (±0.48)	2.38 (1.64–3.08)
Celkový počet dnů	12.80 (±1.03)	12 (12–14)	12.67 (±1.07)	12 (11-14)
Počet pozorování (dny)	6.70 (±2.71)	6.50 (2–11)	6.17 (±3.46)	6.00 (2–12)
Zaznamenané pohyby (dny)	3.20 (±1.99)	3 (0–7)	3.75 (±1.48)	4 (2–7)
Celková vzdálenost (m)	197 (±165)	158 (0–550)	350 (±312)	283 (37–1059)
Denní vzdálenost (m)	29 (±65)	0 (0–340)	55 (±99)	15 (0–539)
Denní přemístění (m)	62 (±79)	37 (10–340)	93 (±115)	51 (10–539)

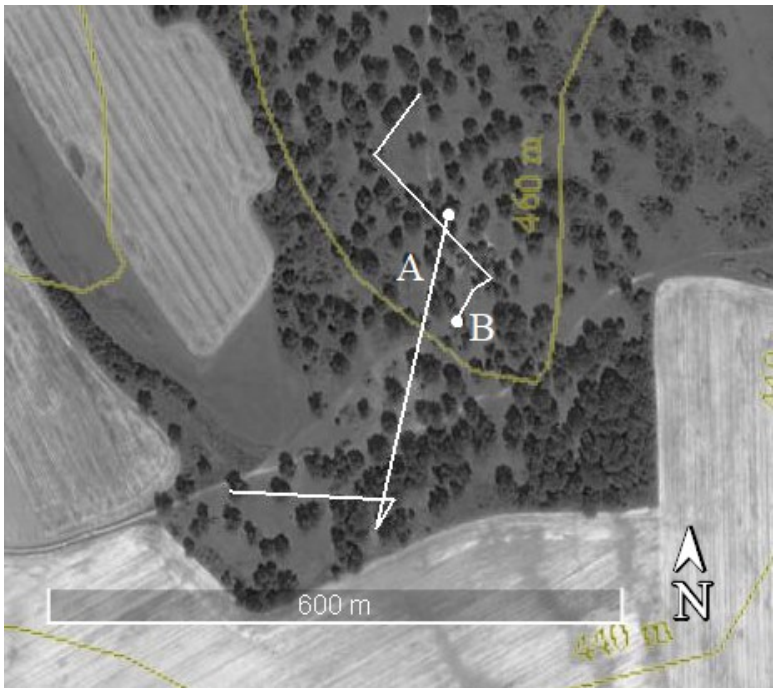


Obr. 5: Celková vzdálenost dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) rozdělených dle lokalit (10 v CHA Gavurky, 12 v EVL Brezovská stráň).

Nejdelší pozorovaná celková vzdálenost v EVL Brezovská stráň byla zaznamenána 1059 m (Obr. 6) a v CHA Gavurky 550 m (Obr. 7)



Obr. 6: Tři nejdelší vzdálenosti tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) pozorované aktivní telemetrií v EVL Brezovská stráň. **A** samice, 3.00 g, doba pozorování 11 dní, vzdálenost 1059 m, **B** samec, 2.83 g, doba pozorování 12 dní, vzdálenost 732 m, **C** samice, 2.32 g, doba pozorování 12 dní, vzdálenost 612 m (Google Earth). Vyznačené body u jednotlivých tras značí, kde byli jedinci vypuštěni.



Obr. 7: Dvě nejdelší vzdálenosti tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*) pozorované aktivní telemetrií v CHA Gavurky. **A** samice, 3.13 g, doba pozorování 12 dní, vzdálenost 550 m, **B** samice, 3.11 g, doba pozorování 14 dní, vzdálenost 325 m (Google Earth). Vyznačené body u jednotlivých tras značí, kde byli jedinci vypuštěni.

4 Diskuze

Výsledky získané metodou aktivní telemetrie hrají důležitou roli při ochraně biodiverzity, boji proti invazním druhům, v krajinné ekologii či v zemědělství. Ve své práci jsem studoval disperzní schopnosti celoevropsky chráněného tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*). Jelikož jde o druh označovaný jako ekosystémový inženýr, který svou činností podporuje výskyt dalších živočišných druhů (Buse et al., 2007), podrobné informace o jeho schopnosti pohybu v přírodě jsou zcela zásadní pro jeho ochranu. Pro získání těchto poznatků je tak vhodnou metodou aktivní telemetrie, která nám poskytuje informace ohledně chování v jeho přirozeném prostředí.

Z výsledků mé práce vyplývá, že pravděpodobnost přesunu dospělců z jednoho místa na druhé a vzdálenost, kterou urazili během doby sledování, byla u jedinců tesaříka obrovského poměrně vysoká. Tyto závěry se shodují s prací Drag & Cizek (2018), ve které se autoři také věnovali pohybové aktivitě tohoto druhu za použití stejné metody. Studie byla provedena na třech lokalitách nacházející se na jihu Moravy: zámecký park Lednice, Národní přírodní památka Rendez-vous a Národní park Podyjí. Ačkoli se obecné závěry s mojí prací z velké části shodují, dílčí výsledky se částečně liší. Práce Drag & Cizek (2018) studovala větší počet jedinců (26 oproti 22 jedincům v mé práci) a po delší časový úsek (medián 14 dní oproti mým 12 dní), což zřejmě vedlo k vyšším průměrným celkovým vzdálenostem u samců (554 m oproti 270 m) i u samic (1301 m oproti 286 m). Dále se výsledky lišily i denním přemístěním, tedy průměrným pohybem vztaženým k jednomu dni (samci: 93 m oproti 76 m; samice: 177 m oproti 82 m). Jedním z možných vysvětlení je, že ve zmíněné práci začalo pozorování už začátkem června, zatímco moje pozorování probíhalo až od druhé poloviny června. Je tedy možné, že se dospělci během mého pozorování nacházeli spíše ke konci svého životního cyklu, kdy je pohyb brouků již značně omezen.

Výsledky mé práce a studie Drag & Cizek (2018) se neshodují s výsledky studie ze Španělska, která pro své pozorování použila metodu značení a zpětných odchytů (MR; Torres-Vila et al., 2017). Z jejich závěrů vyplývá, že se tento druh pohybuje spíše méně a má sedentární charakter. Existuje několik možných vysvětlení této neshody. Hlavní rozdíl je způsoben především odlišnou metodou měření. Obecně platí, že zaznamenané pohyby jedinců MR metodou jsou spíše podhodnocené ve srovnání s aktivní telemetrií (Kissling et al., 2014). Dále, ve studii Torres-Vila et al. (2017) byli brouci chytáni do pastí a po označení vždy vypouštěni na jediném stromě v rámci daného stanoviště. Jelikož byl počet pastí výrazně vyšší v blízkosti místa vypuštění, byla pravděpodobnost zpětného odchycení nižší

s rostoucí vzdáleností od místa vypuštění. Obě metody používané ke studiu hmyzu, tedy MR a aktivní telemetrie, zahrnují určité nepřesnosti během měření (Ranius, 2006). Zatímco MR metoda poukázala, že dospělci tesaříka obrovského jsou spíše sedentární (Torres-Vila et al., 2013; Torres-Vila et al., 2017), tak výsledky aktivní telemetrie indikují mnohem vyšší schopnost pohybu dospělců.

V některých odborných pracích byly pozorovány nerovnoměrné denní pohyby u samců a samic některých saproxylických brouků. Rink & Sinsch (2007) pozorovali pohybovou aktivitu mezi samci a samicemi roháče obecného (*Lucanus cervus*) od počátku jejich vylíhnutí. Téměř všechny zaznamenané pohyby pocházely od samců, zatímco pohyby samic tvořily jen nepatrnou část. Samice se pohybovaly na vzdálenější místa v podstatě jen během prvních čtyř dnů, zatímco samci se pohybovali stále aktivně po celou dobu pozorování, což vedlo k jejich vyšším celkovým uraženým vzdálenostem. Ze závěru této studie tak vyplývá, že pohyby obou pohlaví nejsou rovnoměrné v čase a můžou se lišit v závislosti na době od vylíhnutí. V dalších studiích bylo naopak pozorováno, že samice měly vyšší denní pohybovou aktivitu než samci, a celkové uražené vzdálenosti byly buď podobně vysoké (Chiari et al., 2013) anebo se samice pohybovaly dál (Beaudoin-Ollivier et al., 2003; Dubois et al., 2010). Přestože jsou pohyby na dlouhé vzdálenosti u živočichů spíše vzácné, mohou hrát důležitou roli v životaschopnosti dané populace tím, že umožňují jedincům kolonizovat nové prostředí (Nathan et al., 2003). Bedford (1975), pozoroval u dvou druhů nosorožíků, že samci trávili většinu času krmením a obsazováním hostitelských stromů (za účelem páření, odpočinku a krmení), čímž byla jejich uletěná vzdálenost nižší než u samic, které se většinu času zabývaly hledáním samců a míst, kde by mohly naklást vajíčka. V některých případech může mít samice naopak více sedentarní charakter z důvodu, aby šetřila energii, kterou musí vynaložit kvůli kladení vajíček, a také aby měla vyšší šanci se spářit s fyzicky zdatným samcem (Dubois et al., 2010). Oproti tomu samec musí být v dostatečné fyzické kondici, aby byl schopen urazit vzdálenost, která ho dělí od samice, a dále musí obstát v rámci kompetice s ostatními samci kvůli možnosti spáření (Tini et al., 2017). Ačkoliv existují u jednotlivých druhů brouků rozdíly v pohybu mezi pohlavími a to jak ve prospěch samců, tak i ve prospěch samic, ve své práci jsem zjistil, že u tesaříka obrovského jsou ty rozdíly spíše malé.

Ačkoliv existuje relativně mnoho informací o saproxylických broucích, studií, které by přímo zkoumaly jejich disperzní schopnosti je málo (Jonsson, 2003). Existují však výjimky. Například u tesaříka alpského (*Rosalia alpina*; Drag et al., 2011) byl jedinec schopen překonat vzdálenost až 1600 m (11 dní), u nosorožíka *Scapanes australis* byla

pozorována vzdálenost minimálně 1000 m (10 dní; Beaudoin-Ollivier et al., 2003). Později u dalšího příbuzného druhu nosorožíka japonského (*Trypoxylus dichotomus*) bylo pozorováno, že jedinci obou pohlaví byli schopni překonat hranici až 800 m (10 dní; McCullough, 2013). U roháče obecného byla zaznamenána vzdálenost až 2000 m (10 dní; Rink & Sinsch, 2007). Další studie zkoumala schopnost pohybu invazního saproxylického tesaříka *Anoplophora glabripennis*, která zaznamenala vzdálenost přes 1400 m (přibližně 100 dní; Smith et al., 2001). Z těchto hodnot je patrné, že disperzní schopnosti výše studovaných saproxylických brouků jsou srovnatelné s výsledky získanými u tesaříka obrovského.

Požadavky jedinců tesaříka obrovského se pravděpodobně mohou na různých typech stanovišť zásadně lišit. Ve své práci jsem předpokládal, že se pohybová aktivita u jedinců tesaříka obrovského na obou lokalitách bude lišit. Domníval jsem se, že lokalita CHA Gavurky představovala pro našeho studovaného brouka stabilní prostředí, protože jedinci studovaného druhu mají zde pravděpodobně dostatek potřebných zdrojů na jednom místě. Například potravy je zde velké množství na každém mohutném soliterním stromě, na kterém se dále nachází dutinové štěrbiny, kde se může brouk ukrýt před predátorem. V této lokalitě se brouk může potkat s velkým počtem jedinců stejného druhu a má větší šanci se spářit s opačným pohlavím. Samice tesaříka obrovského mají zde mnoho možných míst, kde mohou klást vajíček. Takže celkově jedinci tesaříka obrovského se nemusí pravděpodobně pohybovat tak často a na velké vzdálenosti jako v lokalitě EVL Brezovská stráň. Na základě našich dat nám nevyšly signifikantní rozdíly mezi těmito studovanými lokalitami, ale když porovnám data, tak je patrné, že jedinci v EVL Brezovská stráň se pohybovali na větší vzdálenosti než jedinci v CHA Gavurky. Ačkoli výsledky nevyšly průkazně, je možné že při započtení dalších jedinců z nových lokalit se rozdíly prohloubí.

5 Závěr

V úvodní části jsem představil disperzi pohybu jedinců a telemetrické metody, které byly použity pro pozorování hmyzu ve volné přírodě. Z použitých literárních zdrojů vyplynulo, že aktivní telemetrie představuje vhodnější metodu pro pozorování více aktivního hmyzu ve volné přírodě, než pasivní telemetrie. Dále, pomocí metody aktivní telemetrie (radio-tracking) jsem získal informace o pohybech dospělců tesaříka obrovského (*Cerambyx cerdo*).

Na základě výsledků vlastní práce a již publikovaných informací je zřejmé, že jedinci obou pohlaví se na studovaných lokalitách pohybují aktivně. Předpokládáme, že pohyb tesaříků nebyl vysílačem zásadně omezen a jedinec s ním bez potíží překonal během 11 dní i vzdálenost jednoho kilometru. Pravděpodobnost přesunu jedince z jednoho místa na jiné byla 54%. Nebyl prokázán vliv pohlaví ani vliv prostředí na celkové vzdálenosti nebo frekvence pohybů jedinců, avšak domnívám se, že různé typy prostředí mohou ovlivnit schopnost pohybu jedinců.

Pro detailnější studii je potřeba více dat zahrnující větší množství pozorovaných dospělců. V plánu jsou další práce s použitím stejné metody na nových lokalitách. Tyto nové údaje by nám mohly posloužit pro zpřesnění výsledků pohybu tohoto druhu a umožnit nové analýzy zkoumající například vliv prostředí na jejich pohyb. Dále by mohla být použita i metoda letových mlýnků, kde bychom mohli pozorovat pohyb jedinců s vysílači a bez vysílačů, abychom zhodnotili vliv váhy vysílače na pohyb jedince. Touto metodou bychom mohli dále určit, s jakou frekvencí anebo rychlostí se brouk pohybuje.

6 Použitá literatura

Albert, J., Platek, M. & Cizek, L. (2012). Vertical stratification and microhabitat selection by the Great Capricorn Beetle (*Cerambyx cerdo*) (Coleoptera: Cerambycidae) in open-grown, veteran oaks. *European Journal of Entomology*, 109(4), 553-559.

Beaudoin-Ollivier, L., Bonaccorso, F., Aloysius, M. & Kasiki, M. (2003). Flight movement of *Scapanes australis australis* (Boisduval) (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) in Papua New Guinea: a radio telemetry study. *Australian Journal of Entomology*, 42(4), 367-372.

Bedford, G.O. (1975). Immigration of *Oryctes rhinoceros* (L.) and *Scapanes australis grossepunctatus* Sternb. (Coleoptera, Scarabaeidae, Dynastinae) into plantings of young coconut palms in New Britain. *Bulletin of Entomological Research* 65, 109-116.

Boiteau, G. & Colpitts, B. (2001). Electronic tags for the tracking of insects in flight: effect of weight on flight performance of adult Colorado potato beetles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100, 187-193.

Boshoff, A.F., Robertson, A.S. & Norton, P.M. (1984). A radio-tracking study of an adult Cape griffon vulture *Gyps coprotheres* in the south-western Cape Province. *South African Journal of Wildlife Research*, 14, 73-78.

Bowler, D.E. & Benton, T.G. (2005). Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behavioral to spatial dynamics. *Biological Reviews*, 80(2), 205-225.

Buse, J., Schröder, T. & Assmann, B. (2007). Modelling habitat and spatial distribution of an endangered longhorn beetle - A case study for saproxylic insect conservation. *Biological Conservation*, 137, 372-381.

Clark, P.E., Johnson, D.E., Kniep, M.A., Jermann, P., Huttosh, B., Wood, A., Johnson, M., McGillivan, C. & Titus, K. (2006). An advanced, low cost, GPS based, animal tracking system. *Rangeland Ecology & Management*, 59(3), 334-340.

Council of the European Communities (1992). *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.* Official Journal, L 206, 22. 7. 1992, 7 pp.

Csabai, Z., Boda, P., Bernáth, B., Kriska, G. & Horváth, G. (2006). A "polarisation sun - dial" dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology*, 51(7), 1341-1350.

Cresswell, B. (2016). Practical radio-tracking [cit. 6. 4. 2018]. Dostupné z: http://www.biotrack.co.uk/pdf/How-to-radio-track-2016.pdf

Čížek, L., Drag, L., Hauck, D., Foltan, P. & Okrouhlík, J. (2015) Management populací evropsky významných druhů hmyzu v České republice: Tesařík obrovský (*Cerambyx cerdo*) [cit. 6. 3. 2018]. Dostupné z: http://baloun.entu.cas.cz/~cizek/BrouciNatura2000ManagementPopulaci/TesarikObrovskyMetodikaPece.pdf

De Zan, L.R., Bardiani, M., Antonini, G., Campanaro, A., Chiari, S., Mancini, E., Maura, M., Sabatelli, S., Solano, E., Zauli, A., Sabbatini Peverieri, G. & Roversi, P.F. (2017). Guidelines for the monitoring of *Cerambyx cerdo*. *Nature Conservation*, 20, 129-164.

Dingle H. & Drake V.A. (2007). What is migration? *Bioscience*, 57, 113-121.

Doerr, E.D. & Doerr, V.A.J. (2005). Dispersal range analysis: quantifying individual variation in dispersal behaviour. *Oecologia*, 142, 1-10.

Domdouzis, K., Kumar, B. & Anumba, C. (2007). Radio-Frequency Identification (RFID) applications a brief introduction. *Advanced Engineering Informatics*, 21(4), 350-355.

Drag, L. & Cizek, L. (2015). Successful reintroduction of an endangered veteran tree specialist: Conservation and genetics of the Great Capricorn beetle (*Cerambyx cerdo*). *Conservation Genetics*, 16, 267-276.

Drag, L. & Cizek, L. (2018). Radio-tracking suggests high dispersal ability of the Great Capricorn beetle (*Cerambyx cerdo*). *Journal of Insect Behaviour*, in press.

Drag, L., Hauck, D., Pokluda, P., Zimmermann, K. & Cizek, L. (2011). Demography and dispersal ability of a threatened saproxylic beetle: a mark-recapture study of the Rosalia Longicorn (*Rosalia alpina*). *PLoS One* 6(6), e21345.

Drake, V.A. & Reynolds, D.R. (2012). Radar Entomology: Observing insect flight and migration. Wallingford, UK: CABI, 489 pp.

Dubois, G.F., Le Gouar P.J., Delettre, Y.R., Brustel, H. & Vernon, P. (2010). Sex-biased and body condition dependent dispersal capacity in the endangered saproxylic beetle *Osmoderma eremita* (Coleoptera: Cetoniidae). *Journal of Insect Conservation*, 14, 679-687.

Dubois, G.F. & Vignon, V. (2008). First results of radio-tracking of *Osmoderma eremita* (Coleoptera: Cetoniidae) in French chestnut orchards. *Revue d'Écologie*. 63, 123-130.

Ersts, P.J. (2011). Geographic Distance Matrix Generator (version 1.2.3). American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation [cit. 15. 3. 2018]. Dostupné z: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/gdmg

Hayashi, F. & Nakane, M. (1989). Radio tracking and activity monitoring of the dobsonfly larva, *Protohermes grandis* (Megaloptera: Corydalidae). *Oecologia*, 78(4), 468-472.

Hedin, J. & Ranius, T. (2002). Using radio telemetry to study dispersal of the beetle *Osmoderma eremita*, an inhabitant of tree hollows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35, 171-180.

Hedin, J., Ranius, T., Nilsson, S.G. & Smith, H.G. (2008). Restricted dispersal in a flying beetle assessed by telemetry. *Biodiversity and Conservation*. 17(3), 675-684.

Hejda, R., Farkač, J. & Chobot, K. (2017). Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí (Red List of threatened species of the Czech Republic. Invertebrates). Praha, 611 pp.

Chiari, S., Carpaneto, G.M., Zauli, A., Zirpoli, G.M., Audisio, P. & Ranius, T. (2013). Dispersal patterns of a saproxylic beetle, *Osmoderma eremita*, in Mediterranean woodlands. *Insect Conservation and Diversity*, 6(3), 309-318.

Jonsson, M. (2003). Colonisation ability of the threatened tenebrionid beetle *Oplocephala haemorrhoidalis* and its common relative *Bolitophagus reticulatus*. Ecological Entomology, 28, 159-167.

Kissling, W.D., Pattemore, D.E. & Hagen, M. (2014). Challenges and prospects in the telemetry of insects. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 89, 511-530.

Koštál, J. (2016). Príroda a chránené územia [cit. 15. 3. 2018]. Dostupné z: http://www.plastovce.sk/pr-roda-a-chr-nen-zemia.html

Le Gouar, P.J., Dubois, G.F., Vignon, V., Brustel, H. & Vernon P. (2015). Demographic parameters of sexes in an elusive insect:implications for monitoring methods. *Population Ecology*, 57(1) 227-236.

LeMunyan, C.D., White, W., Nyberg, E. & Christian, J.J. (1959). Design of a miniature radio transmitter for use in animal studies. *The Journal of Wildlife Management*, 23(1), 107-110.

Lindhe A., Jeppsson, T. & Ehnström, B. (2010). Longhorn beetles in Sweden – changes in distribution and abundance over the last two hundred years. *Entomologisk Tidskrift*, 131(4), 241-508.

Lövei, G.L., Stringer, I.A.N., Devine, C.D. & Cartellieri, M. (1997). Harmonic radar–a method using inexpensive tags to study invertebrate movement on land. *New Zealand Journal of Ecology*, 21(2), 187-193.

Martí-Campoy, A., Ávalos, J.A., Soto, A., Rodríguez-Ballester, F., Martínez-Blay, V. & Malumbres, M.P (2016). Design of a computerised flight mill device to measure the flight potential of different insects. *Sensors*, 16(4), 485.

McCullough, E.L. (2013). Using radio telemetry to assess movement patterns in a giant rhinoceros beetle: are there differences among majors, minors, and females? *Journal of Insect Behaviour*, 26(1), 51-56.

Milanesio, D., Saccani, M., Maggiora, R., Laurino, D. & Porporato, M. (2016). Design of an harmonic radar for the tracking of the Asian yellow-legged hornet. *Ecology and Evolution*, 6(7), 2170-2178.

Nathan, R., Perry, G., Cronin, J.T., Strand, A.E. & Cain, M.L. (2003) Methods for estimating long-distance dispersal. *Oikos*, 103, 261-273.

Nieto, A. & Alexander, K.N.A. (2010). European red list of saproxylic beetles. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 45 pp.

O'Neal, M.E., Landis, D.A., Rothwell, E., Kempel, L. & Reinhard, D. (2004). Tracking insects with harmonic radar a case study. *American Entomologist*, 50, 212-218.

Ovaskainen, O., Smith, A.D., Osborne, J.L., Reynolds, D.R., Carreck, N.L., Martin, A.P., Niitepõld, K. & Hanski, I. (2008). Tracking butterfly movements with harmonic radar reveals an effect of population age on movement distance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(49), 19090-19095.

Pahl, M., Zhu, H., Tautz, J. a Zhang, S. (2011). Large scale homing in honeybees. *PLoS One*, 6(5), e19669.

Ranius, T. (2006). Measuring the dispersal of saproxylic insects: a key characteristic for their conservation. *Population Ecology*, 48(3), 177-188.

Ray, G.C., Mitchell, E.D., Wartzok, D., Kozicki, V.M. & Maiefski, R. (1978). Radio tracking of a fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Science*, 202, 521-524.

Reynolds, D.R. & Riley, J.R. (2002). Remote-sensing, telemetric and computerbased technologies for investigating insect movement a survey of existing and potential techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35, 271-307.

Riecken, U. & Raths, U. (1996). Use of radio telemetry for studying dispersal and habitat use of *Carabus coriaceus* L. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 109-116.

Riecken, U. & Ries, U. (1992). Untersuchung zur raumnutzung von laufkäfern (Col.: Carabidae) mittels radio-telemetrie. Methodenentwicklung und erste freilandversuche. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz*, 1, 147-149.

Riley, J.R. & Smith, A.D. (2002). Design considerations for an harmonic radar to investigate the flight of insects at low altitude. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35, 151-169.

Riley, J.R., Smith, A.D., Reynolds, D.R., Edwards, A.S., Osborne, J.L., Williams, I.H., Carreck, N.L. & Poppy, G.M. (1996). Tracking bees with harmonic radar. *Nature*, 379, 29-30.

Rink, M. & Sinsch, U. (2007). Radio-telemetric monitoring of dispersing stag beetles: implications for conservation. *Journal of Zoology*, 272(3), 235-243.

Robinson, E.J.H., Smith, F.D., Sullivan, K.M.E. & Franks, N.R. (2009). Do ants make direct comparisons? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1667), 2635-2641.

Russell, A.L., Morrison, S.J., Moschonas, E.H. & Papaj, D.R. (2017). Patterns of pollen and nectar foraging specilization by bumblebees over multiple timescales using RFID. *Scientic Reports*. 7, 42448.

Schneider, C.W., Tautz, J., Grünewald, B. & Fuchs, S. (2012). RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. *PLoS One*, 7(1), e30023.

Sláma, M.E.F. (1998). Tesaříkovití – Cerambycidae České Republiky a Slovenské Republiky. Praha. 383 pp.

Smith, M.T., Bancroft, J., Guohong, L., Ruitong, G. & Teale, S. (2001). Dispersal of *Anoplophora Glabripennis* (Cerambycidae). *Environmental Entomology*, 30, 1036-1040.

Streit, S., Bock, F., Pirk, C.W.W. & Tautz, J. (2003). Automatic life-long monitoring of individual insect behaviour now possible. *Zoology*, 106, 169-171.

Tester, J.R., Warner, D. W. & Cochran, W.W. (1964). A Radio-Tracking System for Studying Movements of Deer. *The Journal of Wildlife Management*, 31(1), 124-141.

Teyssèdre, A. (1986). Radio-tracking of pigeons previously exposed to random oscillating magnetic fields. *Behaviour*, 96, 265-276.

Tini, M., Bardiani, M., Campanaro, A., Chiari, S., Mason, F., Maurizi, E., Toni, I., Audisio, P. & Carpaneto, G.M. (2017). A stag beetle's life: sex-related differences in daily activity and behaviour of *Lucanus cervus* (Coleoptera: Lucanidae). *Journal of Insect Conservation*, 21, 897-906.

Torres-Vila, L.M., Sánchez-Gonzáles, A., Merino-Martinéz, J., Ponce-Escudero, F., Conejo-Rodríguez, J., Martín-Vertedor, D. & Ferrero-García, J.J. (2013). Mark–recapture of *Cerambyx welensii* in dehesa woodlands: dispersal behaviour, population density, and mass trapping efficiency with low trap densities. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 149, 273-281.

Torres-Vila, L.M., Mendiola-Diaz, F.J. & Sánchez-Gonzáles, A. (2017). Dispersal differences of a pest and a protected *Cerambyx* species (Coleoptera: Cerambycidae) in oak open woodlands: a mark-recapture comparative study. *Entomological Ecology*, 42(1), 18-32.

Valach, I. (2010). CHA Gavúrky [cit. 15. 3. 2018]. Dostupné z: http://www.obecdobraniva.sk/obec-23/chranene-uzemia/cha-gavurky

Wikelski, M., Moxley, J., Eaton-Mordas, A., Lopez-Uribe, M.M., Holland, R., Moskowitz, D., Roubik, D.W. & Kays, R. (2010). Large-range movements of neotropical orchid bees observed via radio telemetry. *PLoS One*, 5(5), e10738.