

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta



Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

Jiří Korabečný

Využití telemetrických metod u hmyzu

Bakalářská práce

V oboru biologie a ekologie

Vedoucí práce: RNDr. Milan Veselý, Ph.D.

Olomouc 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Milana Veselého, Ph.D. a že veškeré citované zdroje uvádím v seznamu literatury.

V Olomouci 22. dubna 2016

podpis:.....

Poděkování

V první řadě děkuji RNDr. Milanu Veselému, Ph.D. za příležitost podílet se na výzkumu, který byl inspirací pro volbu tématu mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Janě Růžičkové za nevídanou trpělivost se všemi mými zbytečnými dotazy a za cenné rady.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Jiří Korabečný

Název práce: Využití telemetrických metod u hmyzu

Typ práce: bakalářská práce

Pracoviště: Katedra zoologie

Vedoucí práce: RNDr. Milan Veselý, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2016

Abstrakt: Tato práce je literární rešerší zabývající se využitím telemetrických metod při studiu bezobratlých živočichů. Telemetrie je progresivní metoda, která se stále více uplatňuje při studiu bezobratlých. Má veliký potenciál při řešení otázek jako jsou pohyb v prostoru, migrace, využití prostředí, chování a evoluce.

V první části této práce se věnuju charakteristice různých druhů telemetrie, které jsou doposud používané při studiích pohybu živočichů, s ohledem na jejich uplatnění při výzkumech na hmyzu. Těmito metodami jsou harmonický radar, radiofrekvenční systém identifikace, radiotelemetrie, GPS, ARGOS, biotelemetrie a neurální telemetrie. V druhé části práce se zaměřuju na praktické využitím radiotelemetrie a uvádím příklady reálných výzkumů, které s touto metodou pracovaly.

Klíčová slova: telemetrie, transmitters, metody výzkumu, bezobratlí, hmyz

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Jiří Korabečný

Title: Using of telemetry in Insects

Type of thesis: bachelor thesis

Department: Katedra zoologie

Supervisor: RNDr. Milan Veselý, Ph.D.

The year of presentation: 2016

Abstract: This thesis is a review of scientific articles, dealing with telemetry methods in studying invertebrates. Telemetry is a progressive method, which is recently applied in studies of invertebrates. It has a big potencial to answer the questions of movement, migration, habitat use, behavior and evolution.

In the first part of thesis different types of telemetry used in insect studies are to be described together with evaluation of their advantages and disadvantages.. The following methods are regarded: harmonic radar, radio-frequency system of identification, radio-telemetry, GPS, ARGOS, biotelemetry and neural telemetry. In the second part of e thesis I give a review of studies using such methods.

Key words: telemetry, transmitters, research methods, invertebrates, insect

Obsah	
Úvod	8
Charakteristika telemetrie	8
Uplatnění telemetrie.....	8
Cíle práce	9
Druhy telemetrie	10
Harmonický radar	10
Radiofrekvenční systém identifikace	11
Radiotelemetrie s aktivním vysílačem	12
GPS telemetrie	13
Argos.....	14
Biotelemetrie.....	14
Neurální telemetrie	15
Alternativy telemetrie	17
Vizuální metody.....	17
Zařízení pro noční vidění	17
Video-grafické techniky	17
Infračervené termální zobrazení	18
Pasti.....	18
Optické senzory	18
Opto-elektronická zařízení.....	19
Využití telemetrie u bezobratlých	20
Historie.....	20
Hmotnostní kompromis	20
Kvantitativní testy	22
Energetické nároky.....	23
Pohyb v prostoru	23
Migrace	25

Využití prostředí	26
Chování	28
Evoluce	29
Budoucnost telemetrie	30
Terénní pozorování	30
Laboratorní experimenty.....	30
Systém automatického sledování.....	31
Sledování z vesmíru.....	31
Závěr.....	33
Literatura	34

Úvod

Charakteristika telemetrie

Telemetrie je moderní metoda sledování pohybu organismů v jejich přirozeném prostředí. Sestává ze tří základních komponentů: vysílače, připevněného ke zvířeti, antény a přijímače (Kissling *et al.* 2014). Vysílač může být ke zvířeti připevněn různými způsoby. Při připevnění z vnějšku se používá permanentní lepidlo, pryskyřice nebo i popruhy. Také jej lze umístit dovnitř živočicha a to například operativně nebo požitím. Vysílač (většinou s vlastním zdrojem energie) skrze anténu vysílá rádiový signál, který je zachycován na přijímači. Ten může, ale nemusí být vybaven datalogerem. Přijatý signál se projevuje jako hluk, jehož intenzitu dokáže přijímač změřit a tím určit, odkud přichází (Cochran & Lord 1963). Vzdálenost, na kterou je možno signál vyslat se odvíjí především od síly baterie (se kterou ovšem roste i hmotnost a velikost vysílače, což je hlavní omezující faktor při použití telemetrie na drobných živočiších, jako jsou bezobratlí). Dosah vysílačů se tak může s ohledem na rušivý terén, velikost baterie a antény pohybovat od několika metrů až po stovky kilometrů u transmiterů s GPS, které, vysílající svůj signál k družicím na oběžné dráze Země (Kissling *et al.* 2014).

Uplatnění telemetrie

Telemetrie má široké uplatnění při výzkumu migrace, evoluce, využití prostředí, chování a pohybu v prostoru. Modernější typy mohou být použity i při biochemických a fyziologických experimentech, jelikož jsou schopny podávat informace ne jen o poloze, ale například i o teplotě nebo fyzické aktivitě živočicha (Mitchell *et al.* 2002).

První výzkumy, při kterých byla telemetrie použita, proběhly již v roce 1964 (Mackay 1964). V tomto případě šlo o použití rádiové telemetrie na galapázkých želvách sloních (*Geochelone nigra*) vážících mezi 65-170kg. S postupným vývojem technologie bylo však možné vysílače natolik zmenšit a odlehčit, že lze tuto metodu uplatnit i při studiu bezobratlých. Prvním takovýmto výzkumem bylo měření pohybu vodních larev střechatek druhu *Protohermes grandis* (Thunberg, 1781), o 25 let později (Hayashi & Nakane 1989). S postupným vývojem technologie již dnes existuje více telemetrických metod, které lze uplatnit na bezobratlých. Stejně tak existuje i několik alternativních metod, jak bezobratlé v terénu sledovat.

Cíle práce

Cílem této práce je vytvoření literární rešerše o využití telemetrických metod u bezobratlých se zaměřením na radiotelemetrii s aktivními transmittery. V první části práce jsou popsány jednotlivé metody telemetrie, jejich výhody i nevýhody, příklady jejich použití při studiu bezobratlých. Zmíněny jsou i některé alternativní metody. Druhá část práce se zabývá praktickým využitím radio telemetrie při studii bezobratlých živočichů.

Druhy telemetrie

Harmonický radar

Tento druh telemetrie se v entomologii používá již více než 40 let. Využívá odrazu vysílaného signálu. Ten se od tagu, umístěného na sledovaném zvířeti, odráží v přesných vlnových délkách. Díky tomu je možné přesně detekovat ne jen směr, odkud signál přichází, ale i jeho vzdálenost. Existují dva hlavní typy harmonického radaru (Chapman *et al.* 2011).

První typ zahrnuje velkou a finančně nákladnou stanici, ve které je pohyb sledovaného hmyzu zaznamenáván na kruhovém displeji radaru. Za ideálních podmínek je tato metoda schopna detekovat cíl až na vzdálenost 1 km. Na rozdíl od stanice, nejsou tagy tak nákladné, což umožňuje sledování většího počtu jedinců (Riley & Smith 2002).

Druhým, ekonomicky přístupnějším, typem je příruční přijímač. Oproti stanici se jeho dosah pohybuje pouze mezi 30 až 60 m (v závislosti na terénu i méně). Také dokáže měřit pouze směr, nikoli vzdálenost. Zároveň však operuje s vyššími frekvencemi (5,9-6 GHz), což umožňuje použití menších tagů (Psychoudakis *et al.* 2008).

Mezi hlavní výhody harmonického radaru patří hmotnost tagů, která se může pohybovat mezi 1 až 12 mg, jelikož obsahují pouze diodu a drát (anténu). Další výhodou je dosah, který umožňuje sledovat i pohyb hmyzu (respektive živočichů) letících vysoko nad povrchem. Poslední významnou vlastností je schopnost lepších harmonických radarů určit jak směr, tak vzdálenost sledovaného jedince (Chapman *et al.* 2011).

Mezi nevýhody patří například fakt, že data mohou být zkreslena jinými předměty, které odrážejí signál o stejné vlnové délce. Stejně tak mohou vegetace nebo nerovnosti terénu snadno zastínit vysílaný signál a tím vznikají místa, ve kterých sledovaný objekt nelze detekovat. Proto se tato metoda doporučuje pouze v plochých oblastech s minimálním porostem. Poslední nevýhodou je nemožnost odlišit sledované jedince od sebe, jelikož všichni odrážejí signál o takové vlnové délce, na jakou je nastaven přijímač (Chapman *et al.* 2011).

Tato metoda byla použita v mnoha studiích za posledních 40 let. Na hnědáskovi kostkovaném (*Melitaea cinxia* Linnaeus, 1758) bylo zaznamenáváno letové chování a měřeny schopnosti rozptylu. Výzkum ukázal, že u samic tohoto druhu závisí velikost

rozptylu na historii populace. Samice z populace mladší než 1 rok, vykazovaly prokazatelně vyšší míru rozptylu, než samice ze starších (více než 5 let) izolovaných populací (Chapman *et al.* 2011). Dále se harmonický radar uplatnil například při studiu metapopulační dynamiky střevlíka zlatého *Carabus auratus* Linnaeus, 1761 (Niehues *et al.* 1996), noční aktivity střevlíka hajního *Carabus nemoralis* Müller, 1764 (Szyszko *et al.* 2005) nebo pohyblivosti dalších střevlíkovitých brouků (Wallin & Ekblom 1988)

Radiofrekvenční systém identifikace

RFID je bezdrátová monitorovací technologie založená na detekci elektromagnetického signálu. Obvykle sestává ze tří komponentů a to antény (nebo cívky), vysílače s dekodérem a transpondéru (tagu, umístěnému na zvířeti), který byl předem nastaven tak, aby obsahoval konkrétní kód. Při spojení vysílače s dekodérem a antény vznikne „reader“, který vytváří elektromagnetické pole. Pokud transpondér zachytí signál tohoto pole, vyšle kódovanou informaci, kterou „reader“ přeloží a určí tak polohu transpondéru. Velikost tohoto pole může být i více než 30 m, ale většinou bývá mnohem menší (záleží na síle baterie a antény). „Reader“ může být buďto přenosný, nebo statický. Tagy mohou být jak pasivní, tak aktivní (Domdouzis *et al.* 2007).

Pasivní tagy mají tu výhodu, že mohou být velice malé (11 mm na délku) a lehké (0,06 g), což umožňuje jejich využití i na velmi drobných bezobratlých, jako jsou třeba mravenci (Robinson *et al.* 2009). V takovém případě se ovšem vzdálenost, na kterou lze tag detekovat pohybuje mezi 7 a 15 cm. Proto se vysílač umísťuje například ke vchodu do mraveniště a měří se celková aktivita velkého množství jedinců (Reynolds & Riley 2002).

Oproti tomu aktivní tagy obsahují vlastní baterii, která jim umožňuje vysílat vlastní kódovaný signál a to až na vzdálenost 1-2 km, pokud je stanice na zemi a 12-15 km pokud je ve vzduchu. To obnáší základní kompromis mezi dosahem, životností a hmotností tagu. Nejmenší aktivní tagy mohou vážit mezi 0,47 a 0,52 g a být velké 12 x 5 x 2,5 mm, proto se používají spíše při sledování malých netopýrů a ptáků (Reynolds & Riley 2002), nebo u velkých larev vodního hmyzu, kdy je stanice umístěna nad vodní hladinou (Hayashi & Nakane 1989).

Výhodou této metody je tedy, podobně jako u harmonického radaru, malá hmotnost a velikost pasivních tagů. Dále pak možnost sledovat velké množství jedinců v reálném

čase a velký dosah aktivních tagů. Díky specifickým kódům lze rozlišit jednotlivce od sebe (Reynolds & Riley 2002).

Mezi nevýhody pak patří velká hmotnost aktivních tagů a velice omezený dosah tagů pasivních. U aktivních štítků, které jsou velikostně použitelné pro studia na hmyzu, bývá dosah a životnost baterie značně omezena (Hedin & Ranius 2002).

Radiofrekvenční systém identifikace byl použit při studii na včele medonosné (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) zaměřené na vliv běžných pesticidů na délku života a schopnost dělnic vrátit se zpět do hnízda. Tento výzkum prokázal, že 10,2-31,6 % jedinců, kteří se krmili na rostlinách ošetřených pesticidy, nebylo schopno nalézt cestu zpět do hnízda, což mělo za následek smrt (Henry *et al.* 2012).

Radiotelemetrie s aktivním vysílačem

Tento typ sledování živočichů využívá zásadně aktivní vysílače s vlastním zdrojem energie, který se umísťuje na sledovaného jedince. Transmitter bývá často zalit do ochranné vrstvy z plastu, která jej chrání před nepříznivými vlivy prostředí. Další důležitou součástí je přijímač signálu s anténou, který může být stabilní nebo přenosný. Vysílače vysílají s určitou frekvencí pulzy, které zachycuje přijímač a díky tomu je schopen určit směr hledaného objektu (Hedin & Ranius 2002).

U těchto vysílačů je kladen důraz na omezení hmotnosti a velikosti, což vede ke snížené životnosti (7-21 dní) a dosahu, který se pohybuje v rozpětí 100 až 500 m, i méně, v závislosti na vegetaci a terénu. Omezení dosahu způsobené těmito faktory lze kompenzovat sledováním objektů ze vzduchu, za použití vrtulníků nebo letounů vybavených speciální anténou (Kissling *et al.* 2014).

Výhodou je nižší pořizovací cena, než u předešlých metod, kdy bylo často nutné vlastnit finančně nákladnou stanicí. Dále pak dosah, který je výrazně vyšší, než u jakýchkoli pasivních tagů (Psychoudakis *et al.* 2008).

Mezi nevýhody patří omezený dosah a životnost malých transmitterů s lehkou a slabou baterií. Životnost baterie může být zvýšena prodloužením frekvence, mezi jednotlivými pulzy. Pokud by však byla frekvence příliš nízká, mohlo by být obtížné vysílače dohledat (Kissling *et al.* 2014). Dalším problémem je, že jsou rádiové vlny rychle oslabeny ve slané vodě, proto se při sledování mořských živočichů přistupuje k ultrazvukové telemetrii (viz kap. Alternativy telemetrie) (Lucas *et al.* 1993). Příklady

využití radiové telemetrie s aktivním vysílačem budou více rozvedeny později (viz kap. Využití telemetrie u bezobratlých).

GPS telemetrie

GPS neboli „Global position system“ je sledovací metoda, která využívá signál ze satelitů na oběžné dráze Země. Ten je vysílán do přenosných přijímačů a pomocí času a přesného rozmístění satelitů je určena poloha. Přesnost určení polohy se pohybuje v rozmezí pěti metrů (Hulbert & French 2001) a lze ji zvýšit použitím co nejvyššího počtu satelitů, nebo následným zpracováním dat pomocí diferenční nebo relativní GPS (Reynolds & Riley 2002).

Diferenční GPS je jeden ze způsobů, jak zvýšit přesnost sledování v místech, kde GPS vykazuje velké chyby a její přesnost se pohybuje i mezi 20 až 80 m. Touto metodou lze přesnost navýšit na 4 až 8 m (Hulbert & French 2001). Základním principem je, že se v terénu určí pevný bod (neboli referenční stanice) jehož souřadnice jsou známy. Systém tak může přesně změřit chybu a tu následně odečíst od ostatních přijímačů vyskytujících se v blízkosti této referenční stanice. Takto upravená data se označují jako „korekce“. Uživatelé jsou pak dodány například prostřednictvím internetu, skrze mobilní síť, nebo bluetooth (Čábelka 2008).

Relativní měření, stejně jako diferenční, využívá referenční stanice. Výpočet korekce se mění podle vzdálenosti od nejbližší stanice. Ideální využití této metody je pro nepohyblivé se předměty (statické), kdy lze dosáhnout přesnosti i v řádu centimetrů. Při sledování pohyblivého cíle, na němž je umístěn mobilní přijímač, je nutné dbát na správnou volbu referenční stanice. Po celou dobu se pro korekci bude využívat stejná a proto mezi přijímačem a stanicí nesmějí být žádné překážky, které by způsobily rušení (Čábelka 2008). Touto metodou tedy lze minimalizovat chyby zařízení, sítě i chyby vzniklé při přenosu signálu (Hulbert & French 2001).

Velkou výhodou GPS je velice přesné určení polohy v reálném čase, ke kterému nepotřebujeme nákladné pozemní stanice (jako tomu bylo u harmonického radaru). Signál je vysílán pomocí družic a informace o poloze zvířete tak můžeme obdržet rovnou do počítače, což řeší problém s dosahem tagů, se kterým se potýkaly ostatní doposud zmiňované metody (Čábelka 2008).

Nevýhoda spočívá ve velikosti přijímačů, které je třeba umístit na sledované zvíře. Nejmenší dostupný přijímač byl použit při výzkumu migrační trasy holubů a vážil 33g i

s postrojem (Reynolds & Riley 2002). To tuto metodu činní nepoužitelnou pro studium bezobratlých (Kissling *et al.* 2014).

Argos

Argos je v současnosti jediný program, který může konkurovat GPS. Má vlastní satelity a namísto klasických přijímačů používá PTT, neboli „Platform Terminal Transmitter“. Argos ovšem používá pouze několik satelitů obíhajících kolem pólu, což způsobuje podstatně nižší přesnost zaměření (150-1000m). Mezi jeho nevýhody, podobně jako u GPS, patří hmotnost PTT, kdy nejlehčí dostupný váží 15g. To tedy znamená, že ani tato metoda není pro studium bezobratlých použitelná (Reynolds & Riley 2002).

Biotelemetrie

Tato metoda dokáže podat mnohem komplexnější informace o živočichovi, který je sledován. Mimo polohy tak lze získat informace o jeho fyziologických pochodech, jako je tělesná teplota či srdeční tep. Dále je možné zaznamenávat zvuky (pomocí audio rekordéru) a tak například zjistit, kdy jedinec žvýká (Cooke 2004).

Výhodou tedy je, že tato metoda poskytne velké množství informací a proto nachází široké uplatnění ve studiu chování a fyziologie. Některé biotelemetrické techniky dokáží odhalit energetické nároky různého chování. Dále je možné měřit variaci mezi jednotlivci a rozdíly v jejich reakcích na podněty. Nejprínosnější schopností této metody je možnost zjistit, jaký vliv mají na zvíře podmínky, které nelze napodobit v laboratoři, jako predace, heterogenita prostředí nebo počasí. Monitorování jedince v jeho přirozeném prostředí vylučuje mnoho skrytých proměnných, které by v laboratorních podmínkách mohly zkreslovat výsledky (Cooke 2004).

Nevýhodu může představovat finanční stránka. Vysoká cena měřících zařízení často vede ke zmenšování velikosti vzorků (Cooke 2004). Dalším problémem je nedostačující přesnost, kdy lze například monitorováním srdečního tepu zjistit míru aerobního energetického metabolismu avšak anaerobní metabolismus (který může mít významný vliv) nebude do výsledků zahrnut (Hinch & Rand 1998). Aplikace některých senzorů obnáší chirurgický zákrok, který vyžaduje speciální dovednosti a u vyšších obratlovců asistenci veterináře a speciální povolení (Cooke 2004). Vysoká hmotnost jednotlivých senzorů a baterie může zapříčinit, že některé biotelemetrické metody nebudou aplikovatelné na bezobratlé (Cooke 2004, Kissling *et al.* 2014).

Nicméně i přes vyšší hmotnost byla biotelemetrie použita u některých větších druhích bezobratlých, jako je například saranče pustinná *Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775). V této studii zjišťovali vliv teguly (malého skleritu umístěného na bázi křídla) na rychlost letu a frekvenci mávání křídly, kdy byli porovnáváni běžní jedinci s těmi, kterým byla odstraněna tegula. Zatímco na rychlost letu nemělo odstranění teguly vliv, frekvence mávání křídel po jejím odstranění prokazatelně poklesla z 25 Hz na 23 Hz (Fischer & Ebert 1999).

Neurální telemetrie

V letech 2010 a 2011 byly vynalezeny dva systémy, které jsou schopny zaznamenávat extracelulární elektrickou aktivitu neuronů a svalů. Zařízení obsahuje čip schopný digitalizovat získaná data odeslat je telemetricky na speciální přijímač. Jeden ze systémů je navíc opatřen čipem umožňujícím zaznamenat akceleraci. U tohoto zařízení došlo k výrazné redukci velikosti a hmotnosti, což umožňuje užití na drobným druhích živočichů, jako je hmyz. Existují dva základní typy tohoto zařízení, z nichž každý se projevuje jinými vlastnostmi (Harrison *et al.* 2011).

Typ jedna obsahuje dvě baterie, anténu, krystal, akcelerometr a čip. Jeho hmotnost je 0,79 g a životnost baterie dosahuje maximálně dvou hodin. Je vybaven čtyřmi kanály (2 neuronové a 2 svalové), které se připojují k elektrodám. Díky akcelerometru je tato verze schopna rozpoznat tři různé akcelerační signály. Využití nalezne spíše v laboratoři a to na větších druhích bezobratlých, jako jsou například kobylinky nebo vážky (Harrison *et al.* 2011).

Typ dva byl oproti prvnímu redukován za účelem maximálního snížení hmotnosti. Sestává pouze z jedné baterie, antény, krystalu, PCB (destička s obvody) a čipu. Jeho hmotnost je 0,28 g a životnost činí až 5 hodin. To vše při zachování stejného dosahu signálu, jako typ jedna. Pro vytvoření ještě lehčí modifikace typu dva byla vynalezena nová PCB, jejíž hmotnost se podařilo snížit z původních 70 mg na 3 mg. Dále byl použit lehčí krystal, takže výsledná hmotnost činí 0,17 g. Tato technologie byla doposud testována na menších druhích vážek (Harrison *et al.* 2011).

Výhodou je možnost měřit a zaznamenávat aktivitu konkrétních svalů a nervů za běžných podmínek, ve volné přírodě. To umožní lepší pochopení chování živočichů. Na rozdíl od klasické telemetrie tedy dokáže tato metoda poskytnout více užitečných dat a lze ji tedy považovat za první krok k biotelemetrii bezobratlých (Harrison *et al.* 2011).

Zásadní nevýhodou oproti běžným telemetrickým metodám je životnost baterie. Zatímco u telemetrických aktivních vysílačů o srovnatelné hmotnosti se životnost může pohybovat mezi 9-22 dny (Kissling *et al.* 2014), životnost tohoto systému se měří v hodinách (Harrison *et al.* 2011).

Tyto metody byly použity například při studiích na kobylce druhu *Schistocerca americana* (Drury, 1773), kdy bylo pomocí neurální telemetrie typu 1 měřeno, které nervy se podílejí na aktivaci skákacích svalů při útěkovém chování. Elektrody monitorující elektrické signály ve svalech byly umístěny na flexorech a extensorech zadní nohy, další potom do okolí neuronů DCMD. Tyto neurony se s nejvyšší pravděpodobností podílejí právě na spouštění útěkových reakcí, ale jejich funkce až doposud nikdy nebyla testována u volně se pohybujících živočichů. V rámci téhož výzkumu byl na menší vážce druhu *Libellula lydia* (Drury, 1773) použit typ 2, který byl v tomto případě vhodnější vzhledem k jeho nižší hmotnosti. Pomocí malé wolframové elektrody byla naměřena vysoká elektrická aktivita v oblasti TSDN nervů (Harrison *et al.* 2011). Jedná se o 16 nervů (8 párů), které mají na starosti zaměření cíle během letu za letu. Úspěšnost lovu u letících vážek se díky těmto nervům pohybuje kolem 95% a neurální telemetrie dokáže identifikovat, který z nich se aktivuje při konkrétním chování (Gonzalez-Bellido *et al.* 2012).

Alternativy telemetrie

Vizuální metody

Jedná se v podstatě o pozorování živočichů v přírodě pouhým okem, dalekohledem, nebo s využitím kamery. V některých výzkumech byl pro určení polohy v prostoru použit tedolit. Jedná se o zařízení používané v zeměměřictví. S jeho pomocí jsme schopni určit prostorové souřadnice námi zvoleného bodu (Reynolds & Riley 2002).

Zařízení pro noční vidění

Tato zařízení mohou být binokulární nebo v podobě teleskopu. Dokáží soustředit dostupné světlo do fotokatody, to následně emituje elektrony, které jsou použity k vytvoření obrazu. Existuje více typů zařízení pro noční vidění. Ty se mezi sebou liší citlivostí a výdrží baterie (životností). Oba tyto faktory jsou kompenzovány cenou, která se pohybuje od 500 do 2 000 liber (Reynolds & Riley 2002).

Video-grafické techniky

Metoda video-grafických technik je založena na rekonstrukci pohybu živočicha v prostoru s použitím videozáznamu. Je nezbytné umístit kameru na správné místo tak, aby bylo možné zvíře rozlišit na co největší vzdálenost. Pro zvýšení této vzdálenosti se používá kontrast sledovaného zvířete s pozadím, například s noční oblohou. Pro tyto studie se využívá umělého osvětlení živočicha (pomocí luminiscenčně aktivních chemikálií) a kamer s technologií pro noční vidění. Při studiích prováděných na hmyzu je nejvhodnější světlo blížící se infračervenému spektru (vlnová délka 750-900nm), jelikož neovlivňuje chování jedinců (Reynolds & Riley 2002). Podobným způsobem probíhá pozorování i u denního hmyzu. V tomto případě lze použít umělý, nereflexivní povrch (látku) jako pozadí (Hardie & Powell 2002).

Kamera se většinou umísťuje tak, aby snímala oblast svrchu. Tím vznikne dvojrozměrné vyobrazení pohybu jedince, či skupiny jedinců (Reynolds & Riley 2002). Pro vytvoření trojrozměrného obrazu je zapotřebí nejméně dvou kamer. Ty musejí být vzájemně k sobě ve správné poloze, nebo je třeba vytyčit referenční body (Riley *et al.* 1990). Další možností je použití zrcadel. U této metody je však problém zachytit větší oblast, proto se uplatňuje častěji v laboratoři, než v terénu (Reynolds & Riley 2002).

Alternativním způsobem je vypočítat výšku, v jaké se létající hmyz (či jiný objekt zájmu) vyskytuje, pomocí stínu (Zeil 1993).

Infračervené termální zobrazení

Tato metoda se uplatňuje především za špatných podmínek pro klasické pozorování (mlha, tma, kouř). Namísto světla, které objekty běžně odrážejí, totiž využívá infračervené spektrum (tedy teplo) vyzařované objekty. Výhodou je, že tato zařízení (speciální kamery) dokáží zaznamenat objekt i za naprosté tmy. Nevýhodou je jejich finanční nákladnost (až 9 000 liber). V dnešní době se běžně používají pro detekci termitů v budovách (Reynolds & Riley 2002).

Pasti

Nejrůznější druhy pastí jsou nejběžnější a nejpoužívanější metodou monitorování výskytu a pohybu bezobratlých. Existuje mnoho druhů a modifikací, což umožňuje zacílit na druh nebo skupinu druhů, která je objektem zájmu. Pastí lze dělit podle mnoha kritérií, z nichž nejpodstatnějším je, na jaké druhy hmyzu jsou nejvhodnější. Pro sběr druhů žijících pod zemí jsou nejpoužívanější subterální, neboli hlubinné pastí. Jedná se v podstatě o rouru s otvory a zářezy, která je zahrabána v zemi. Uvnitř jsou sběrací nádoby s fixáží. Ty jsou umístěny ve známé výšce, proto lze určit, v jaké hloubce se chycený živočich pohyboval. Pro druhy žijící na povrchu je nejznámějším typem pastí tzv. padací past (pitfall trap). Jedná se o nádobu zahrabanou pod zem, jejíž hrdlo je zarovnané s povrchem tak, aby do ní živočich pohybuující se po zemi spadl. Lze ji obohatit návnadou či fixáží. Existuje mnoho modifikací této metody, jako stříška proti dešti, oddělení pastí deskami, což umožní určit, z jakého směru živočich přišel a mnoho dalších (Hůrka 1996). Pro studium pohybové aktivity či habitatových preferencí epigeických živočichů je nejprůmyslnější použití velkého množství živolovných pastí umístěných v síťovém rozložení, které slouží k odchycení či znovu-odchycení sledovaných jedinců (Kawaga & Maeto 2009). Důležité je jedince nějakým způsobem označit (například barvou či zářezem na krovkách). To umožní vypátrat míru pohybu, preference ohledně prostředí, nebo směr jejich migrace (Lys & Nentwig 1991, Kawaga & Maeto 2009).

Optické senzory

Optické senzory umožňují zjistit efektivitu pastí, kdy např. přerušením infračerveného paprsku lze zaznamenat, kdy přesně živočich do pasti vstoupil (Waddington *et al.* 1996). Tato data lze shromažďovat na místě, nebo přes internet nahrát

do počítače. Některé technologie dokonce umožňují změřit velikost hmyzu vcházejícího do pasti. Digitální kamery umístěné například u padacích pastí dokáží nasnímat živočicha a fotky poslat do počítače, kde jsou automaticky zpracovány programem, který živočicha určí a vědci předá již kompletní informaci o tom, který druh a kdy do pasti vstoupil (Hobbs & Hodges 1993).

Opto-elektronická zařízení

Existují dva druhy těchto zařízení a to Farmeryho a Schaefer a Bentovo. Farmeryho systém pracuje s překříženými senzory pro infračervené záření. Ty se umístí do určité výšky nad povrchem a zaznamenávají frekvenci mávání křídel prolétajícího hmyzu. Toto zařízení je však neefektivní během dne, kdy intenzivní světlo snižuje citlivost senzorů. Proto vznikl druhý typ, tedy Schaefer a Bentovo zařízení. To pracuje s xenonovou lampou a speciální video kamerou, která dokáže vytvořit silný kontrast, mezi sledovaným živočichem a oblohou. To se uplatní především při pozorování drobného létajícího hmyzu. Obě tato zařízení byla použita pouze v šesti studiích, které byly uskutečněny v letech 1982 až 1985 (Reynolds & Riley 2002). Většina z těchto studií se zabývala letovým chováním různých druhů nočních motýlů druhu *Spodoptera exempta* (Walker, 1857) a *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808). Byly měřeny trajektorie letů a frekvence mávání křídel s ohledem na to, jaký vliv má na tento typ chování teplota nebo síla větru (Farmery 1982; Riley *et al.* 1983; Riley *et al.* 1992; Rose *et al.* 1985; Schaefer & Bent 1984). poslední studie využila opto-elektronická zařízení ke změření efektivity sacích pastí (Schaefer *et al.* 1985).

Využití radio telemetrie u bezobratlých

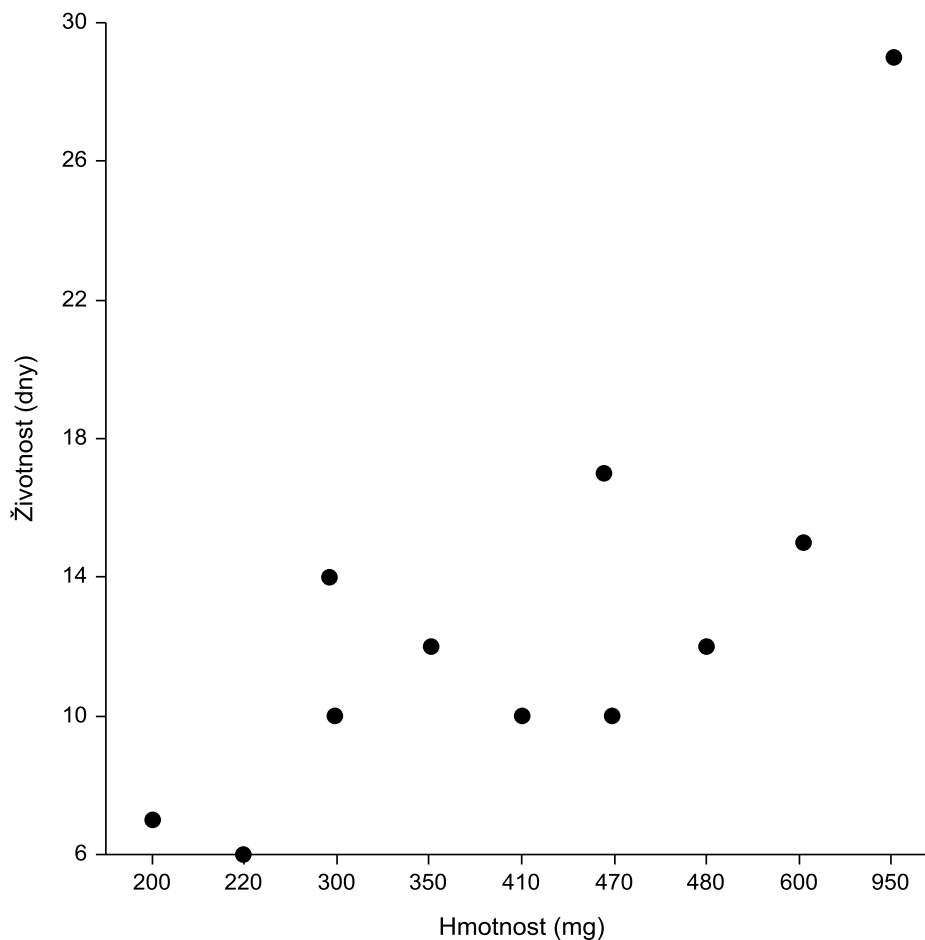
Historie

První použití radiotelemetrie s aktivními transmittery při výzkumu bezobratlých se uskutečnilo v Japonsku na larvách střechatek *Protohermes grandis* (Hayashi & Nakane 1989). Ve stejné době (1989) vznikla jiná studie na nelétajících bezobratlých, konkrétně na sladkovodních krabech. První využití telemetrie na suchozemských bezobratlých se uskutečnilo roku 1992 a to na 3-4 cm velkém, nelétavém střevlíkovi kožitém (*Carabus coriaceus* Linnaeus, 1758) (Riecken & Ries 1992). O pět let později byla telemetrie použita na Novozélandské kobylce weta (*Deinacrida heteracantha* White, A., 1842), kdy však malý vzorek poskytl jen velmi omezené informace o jejich výskytu a využití habitatu (Gibbs & McIntyre 1997). První studie na létajících bezobratlých se uskutečnily po roce 2000 a soustředily se na velké brouky druhu *Osmoderma eremita* (Scopoli, 1763), neboli páchník (Hedin & Ranius 2002).

Hmotnostní kompromis

Při studiu bezobratlých, především hmyzu, je největším limitujícím faktorem použitelnosti radiotelemetrie velikost a váha transmitterů. To je důvod, proč se při sledování drobných bezobratlých neuplatní biotelemetrie, GPS ani jiné metody využívající sledování satelity. Obecně platí, že zmenšení baterie vede ke sníženému dosahu vysílače a k výraznému omezení životnosti (viz graf 1). Obvyklá vzdálenost, ze které lze bezobratlé při pozemním sledování dohledat se pohybuje mezi 100 až 400 metry (Kissling *et al.* 2014), s maximem 500 m (Levett & Walls 2011). I tak může dojít k situaci, kdy bude vysílač natolik těžký nebo nepraktický pro pohyb v terénu, že bude výrazně ovlivňovat chování daného živočicha (Kissling *et al.* 2014).

U suchozemských obratlovců platí smluvené pravidlo, že by hmotnost vysílače neměla přesahovat 5% tělesné hmotnosti živočicha. U bezobratlých podobné pravidlo



Graf 1: Vztah mezi hmotnostmi a životností transmitteru. Čím vyšší je hmotnost baterie, tím vyšší je i životnost. Použitá data byla uvedena v originálních studiích (Riecken & Raths 1996; Beaudoin-Ollivier *et al.* 2003; Hedin & Ranius 2002; Svensson *et al.* 2011; Hagen *et al.* 2011; Rink & Sinsch 2007; Negro *et al.* 2008; Wikelski *et al.* 2006; Kissling *et al.* 2014).

neexistuje a používané vysílače se tak pohybují v rozsahu 2-100 % tělesné váhy (viz tabulka 1). To může mít vliv nejen na pohyb jedince, ale i na celkový výdej energie a metabolismus. Ve většině experimentů nepřekračuje váha vysílače jednu třetinu až polovinu váhy těla (Kissling *et al.* 2014). V některých případech však může dosáhnout 100%. Tak tomu bylo například u čmeláků, kteří jsou sice schopni unést stejné množství

nektaru, jako kolik sami váží, ale další zátěž (v podobě vysílače) výrazně zvyšuje energetické nároky na pohyb (Hagen *et al.* 2011).

Tomuto jevu se dá předejít laboratorním pozorováním, kdy byla například měřena rychlost zahrabávání střevlíků *Carabus coriaceus* s vysílačem a bez něj (Riecken & Ries 1992). Při výzkumu pohybu v prostoru u páchníka hnědého (*Osmoderma eremita*) bylo pro vyloučení vlivu vysílačů použito srovnání výsledků s výzkumem, který stejný aspekt chování tohoto druhu zjišťoval za použití alternativních metod, kdy jedinci nebyli nijak zatíženi (Hedin & Ranius 2002).

Druh živočicha	Hmotnost transmitteru (mg)	Poměr hmotnosti k tělu
<i>Carabus coriaceus</i>	600	40%
<i>Carabus ullrichii</i>	280	20-30%
<i>Lucanus cervus</i>	350	12%
<i>Osmoderma eremita</i>	480	40%
<i>Scapanus australis</i>	470	6%
<i>Anabrus simplex</i>	850	30-40%
<i>Deinacrina rugosa</i>	1 080	5-8%
<i>Bombus terrestris</i>	200	60-100%
<i>Exaerete frontalis</i>	300	50%
<i>Anax junius</i>	300	25%

Tabulka 1: Poměr hmotnosti transmitteru k tělesné hmotnosti u zkoumaných živočichů. Data pocházejí z originálních studií (Beaudoin-Ollivier *et al.* 2003; Hedin & Ranius 2002; Hagen *et al.* 2011; Rink & Sinsch 2007; Wikelski *et al.* 2006; Lorch & Gwynne 2000; Watts *et al.* 2012; Wikelski *et al.* 2010; Růžičková & Veselý 2016; Negro *et al.* 2008).

Kvantitativní testy

Kvantitativní testy zjišťující míru vlivu vysílačů byly provedeny jen v několika případech. Jedním z těchto případů byl výzkum pohybu larev *Protohermes grandis*, kdy bylo prokázáno, že jedinci s vysílačem a bez něj nejeví rozdíly ve velikosti kořisti a zacházení s ní. V tomto případě měly použité vysílače rozměry 7 x 17 x 2 mm a ve vodě vážily pouhých 185 mg, to činí 10-40 % hmotnosti těla larev. Zároveň neměly anténu,

což jejich dosah omezovalo na asi 1 m. K určení pozice larvy v toku byla použita 22 cm dlouhá anténa, umístěná na konci 3 m dlouhé tyče (Hayashi & Nakane 1989).

Další takový výzkum se uskutečnil na cvrčcích (*Anabrus simplex* Haldeman, 1852). V tomto případě v laboratoři testovali šest různých druhů chování při pohybu (frekvence otáčení, úhel otáčení, změna směru v závislosti na vzdálenosti, rychlost, doba pohybu a překonaná vzdálenost) na jedincích s vysílačem a bez ní. Ani v tomto případě nebyly prokázány žádné rozdíly. Jimi použité vysílače vážily 0,85 g, což je 30-40 % jejich tělesné hmotnosti (Lorch & Gwynne 2000).

Oproti tomu při pozorování čmeláka druhu *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758) byl vliv vysílačů prokázán. Jedinci, kteří na sobě měli vysílač, strávili prokazatelně více času opylováním jednotlivých květů a zároveň jich opylovali méně, než jedinci bez vysílačů. Použité vysílače vážily 200 mg, tedy 60 % hmotnosti těla, a jejich anténa měřila 3 cm (Hagen *et al.* 2011).

Energetické nároky

Toto téma doposud nebylo blíže prozkoumáno, avšak v některých studiích (citace) se objevují údaje, které by mohly pomoci otázku osvětlit. Vzhledem k tomu, že kvůli hmotnosti nelze použít většinu biotelemetrických metod, bylo potřeba vymyslet alternativní přístup k problému. Měření hmotnosti jedinců na začátku a na konci sledování neukázalo v případě kobylek weta nárůst váhy, což naznačuje, že je vysílače výrazně neomezovaly při příjmu potravy. Na druhou stranu v případě páchníka hnědého byl naměřen 13 % úbytek na váze, což mohlo být způsobeno vyššími energetickými nároky pro pohyb, způsobenými hmotností transmitteru (Dubois & Vignon 2008).

Pohyb v prostoru

Za hlavní cíle, kterými se telemetrie v dnešní době zabývá, by se dala označit pohyb v prostoru, využití prostředí, migrace, chování a evoluce. Nejběžnějším cílem většiny studií je kvantitativní měření průměrné a maximální vzdálenosti, kterou sledovaný druh urazí v přirozeném prostředí za určitý časový interval. Zde se mezi sebou výrazně liší létající a nelétaví jedinci. Zatímco nelétavé druhy urazí za den v řádu desítek až stovek metrů, u létajících druhů se tento údaj může pohybovat v řádu kilometrů (Kissling *et al.* 2014). Podle toho je třeba zvolit správnou sledovací metodu. Jejich výhody a nevýhody byly popsány výše (viz kap. Druhy telemetrie) (Reynolds & Riley 2002).

Létající hmyz

Většina studií orientovaná na létající druhy se uskutečnila na vážkách (Wikelski *et al.* 2006), které jsou dost velké na to, aby unesly vysílače a na včelách (Pasquet *et al.* 2008). Ty jsou hospodářsky významné, proto si informace o jejich pohybu najdou uplatnění. Dále také existují studie na létajících druzích brouků (Rink & Sinsch 2007).

Ve studii zaměřené na dělnice tří druhů čmeláků a sice, *Bombus terrestris*, *Bombus ruderatus* (Fabricius, 1775) a *Bombus hortorum* (Linnaeus, 1761), měřili vzdálenost jejich letu a velikost teritoria. Od každého druhu bylo sledováno 5-6 jedinců, což umožnilo použití rádiové telemetrie. V případě, že se jedinci dostali mimo dosah přenosných přijímačů, bylo k jejich dohledání použito letadlo vybavené speciální anténou. Nejvyšší vzdálenost letu, kterou u těchto druhů zaznamenali, činila 2535 m (Hagen *et al.* 2011).

Studie na létajících broucích byla uskutečněna na roháci obecném, neboli *Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758). I v tomto případě velikost vzorku (56 jedinců) umožnila použití rádiové telemetrie s aktivním vysílačem. V tomto výzkumu byl zjištěn významný rozdíl v pohybovém chování mezi samci a samicemi. Zatímco samci se pohybovali do míst, kde se vyskytují samice a délka jejich letu činila až 2065 m, samice létaly po krátkých úsecích (762 m) a poté následovalo páření, nebo pohyb po zemi (Rink & Sinsch 2007).

Nelétavý hmyz

Studie orientované na nelétavý hmyz se mohou zabývat jak horizontálním, tak i vertikálním rozšířením. Většina z nich byla prováděna na velkých druzích, které jsou schopny unést vysílač. Pro zkoumání drobnějších druhů se používají různé alternativy.

Jednou z často zkoumaných skupin jsou střevlíci. V tomto případě byl monitorován pohyb velkého střevlíka druhu *Carabus olympiae* Sella, 1855. Celkem 21 jedinců, kteří byli chyceni do padacích pastí, bylo vybaveno aktivními vysílači pro radiovou telemetrii a jejich poloha byla zaznamenávána dvakrát denně. Vzdálenost jejich pohybu se během dvanáctihodinového intervalu pohybovala kolem 6 m, s maximální zdolanou vzdáleností 77 m (Negro *et al.* 2008). Podobná studie byla provedena i na střevlíku kožitém (*Carabus coriaceus*). V tomto případě se průměrná zdolaná vzdálenost za dvanáct hodin lišila podle toho, jakém terénu se jedinci vyskytovali. Na břehu řeky a na louce se pohybovala kolem

4,5 m, zatímco v lese dosahovala až 11,7 m, s maximální zdolanou vzdáleností 51,25 m (Riecken & Raths 1996).

Na Univerzitě Palackého v Olomouci je v současné době prováděn výzkum na střevlíkovi Ullrichově (*Carabus ullrichii* Germar, 1824), který se zaměřuje na jeho pohybovou aktivitu v průběhu dne. Výsledky pilotní studie ukázaly, že tento druh velkého střevlíka se pohybuje v rozsahu 1,7 - 13,4 m za den v lučním prostředí, v závislosti na teplotě, která je pravděpodobně hlavním faktorem ovlivňujícím pohybové chování střevlíka *Carabus ullrichii*. Nejvyšší pohybová aktivita byla naměřena při teplotách 15-17,4 °C (Růžičková & Veselý 2016).

Na Novém Zélandu, kde je ohrožená kobylička weta (*Deinacrida rugosa* Buller, 1871), bylo několik jedinců vysazeno na ostrov, kde se nevyskytují savci. V tomto výzkumu se soustředili nejen na horizontální, ale i na vertikální pohyb v prostoru. Pro zjištění polohy daného jedince (celkem 20) byla použita radiová telemetrie. Bylo zjištěno, že se většina jedinců pohybuje převážně v noci, zatímco přes den se schovávají na zemi. Jen v několika zaznamenaných případech se jedinec vyskytoval mimo úkryt ve dne. Vždy se jednalo o samice, které se vyskytovaly 45-255 cm nad zemí (Watts *et al.* 2012).

Migrace

Další důležitou otázkou, kterou by telemetrie mohla pomoci objasnit je migrace. Mnoho druhů hmyzu migruje jak v rámci jednoho kontinentu, tak mezikontinentálně. Dodnes se mnoho neví o přesných trasách těchto migrací a o důvodech, které k nim vedou (Kissling *et al.* 2014).

Létající hmyz

Pochopení strategie, kterou jednotlivci uplatňují při migraci je prvním krokem k odvození obecných pravidel souvisejících s tímto fenoménem. V USA proběhl výzkum na vážkách druhu *Anax junius* (Drury, 1770), jehož cílem bylo zmapovat migrační trasy čtrnácti (7 samců a 7 samic) jedinců vybavených aktivními vysílači pro radiovou telemetrii. Sledování probíhalo s pomocí ručních mobilních přijímačů, vozidel a letadel vybavených anténami. Bylo zjištěno, že bez ohledu na pohlaví jedinci vykazují tři druhy chování. Všichni se pohybovali náhodně v okruhu 4 km, nebo se cíleně přesunuli do vzdálenosti 8-12 km. Každý třetí den došlo k cílené migraci, jejíž vzdálenost dosahovala 25-150 km. Zároveň bylo zjištěno, že směr jejich migrace je do jisté míry ovlivněn směrem větru (Wikelski *et al.* 2006).

Nelétavý hmyz

Příkladem výzkumu na nelétavých druzích hmyzu je sledování masové migrace cvrčka *Anabrus simplex*. Jedinci tohoto druhu mohou žít jak v hejnu, tak samotářsky. V rámci tohoto výzkumu byly pomocí radiové telemetrie sledovány 4 samice, z nichž dvě žily samotářsky a dvě byly součástí hejna. Cílem bylo zjistit směr a míru migrace. Výzkum prokázal, že jedinci žijící v hejnech mají tendenci migrovat všichni stejným směrem a na mnohem větší vzdálenosti, než jedinci ze samotářských populací. Masová migrace je nejspíš způsobená omezenými potravními zdroji a může snižovat míru predace (Lorch & Gwynne 2000, Lorch *et al.* 2005).

Využití prostředí

Využití prostředí je dalším ekologickým faktorem, k jehož zkoumání lze v dnešní době využít telemetrické metody. Sledováním určitého druhu lze zjistit, jaký typ prostředí preferuje, jak využívá jeho zdroje a jak velké je jeho teritorium. V neposlední řadě lze zjistit individuální nároky či preference konkrétního jedince (Kissling *et al.* 2014).

Létající hmyz

Součástí výzkumu na třech druzích čmeláků (viz kap. Pohyb v prostoru) bylo i měření velikosti home range, tedy oblasti, kterou dělnice využívaly ke shánění pylu. Ta se pohybovala v rozsahu 0,24–43,53 ha, což ukazuje, že jedinci těchto druhů jsou schopni využívat velkou plochu v krátkém časovém intervalu (několik dní). Na jednom jedinci druhu *Bombus hortorum* rovněž měřili individuální využívání habitatu. To se prokazatelně lišilo od náhodného modelu, se kterým pohyb jedince srovnávali, a to ve prospěch vesnic oproti zemědělským plochám. Tento jedinec strávil za hranicemi města polovinu veškerého času, a to buď krmením nebo odpočíváním (Hagen *et al.* 2011).

Další podobný výzkum se uskutečnil na tropické včele druhu *Exaerete frontalis* (Guérin-Méneville, 1845). Dvanáct jedinců bylo vybaveno radiotelemetrickými vysílači a vypuštěno do přírody. Byl zaznamenáván směr, vzdálenost letu, místa zastavení a velikost home range. Ta se pohybovala v rozsahu 4–700 ha, v závislosti na množství lokalit, na které se jedinci létali nakrmit. Potvrdila se tak teorie, že velikost home range roste s přibývajícimi lokalitami. Posledním měřeným parametrem byla průměrná rychlost letu. Ta se pohybovala okolo 9 m/min. Tento údaj zahrnuje i přestávky pro odpočinek (Wikelsi *et al.* 2010).

U létavého brouka druhu *Scapanes australis* (Boisduval, 1832), vyskytujícího se na plantážích, kde se pěstují kokosové ořechy (Papua Nová Guinea) se zjišťovalo, na kterých místech dochází ke krmení, páření a odpočívání. I v tomto případě byla použita radiová telemetrie s aktivním vysílačem, kterým bylo vybaveno 12 jedinců. Díky tomu dokázali určit konkrétní druhy rostlin, na kterých jedinci odpočívali a krmili se. Bohužel se nepodařilo určit konkrétní místa páření, protože se většina samic dostala mimo dosah přijímačů (viz kap. Chování). Oblast, ve které bylo prováděno měření, měla rozsah 12 ha a žádný ze samců ji po tu dobu neopustil (Beaudoin-Ollivier *et al.* 2003).

Nelétavý hmyz

Příkladem výzkumu na nelétavém hmyzu je již výše zmiňovaná studie na střevlíkovi druhu *Carabus olympiae*. Naprostá většina jedinců v tomto výzkumu byla chycena v lese. To naznačovalo, že se jedná o prostředí, které je tímto druhem preferováno. Tato teorie se potvrdila s využitím telemetrických metod, které ukázaly, že se každý sledovaný jedinec i nadále vyskytoval pouze v lese a v případě, že se dostal k jeho okraji, změnil směr (Negro *et al.* 2008).

Ve Francii byla provedena studie, při níž telemetrické metody umožnily objasnit nároky na prostředí ohroženého druhu páchníka *Osmoderma eremita*. Bylo například zjištěno, že je schopen urazit vzdálenost až 700 m za den, což je mnohem více, než se původně myslelo. Až po tomto výzkumu byla objasněna důležitost zachování kaštanových sadů a negativní vliv mlází u zařezávaných stromů. Tyto poznatky by mohly vést ke zlepšení ochrany tohoto vzácného brouka (Dubois & Vignon 2008). U téhož brouka byly o tři roky později měřeny pohybové vlastnosti a jeho schopnost šířit se v prostoru. V tomto výzkumu byly použity jak pasti, tak radiotelemetrie (pouze na samicích). Po porovnání výsledků všech použitých metod z experimentu vyplynulo, že bez ohledu na pohlaví se tito brouci pohybují na vzdálenosti o rozsahu 1082 m +/-85 m, přičemž 1 % z nich se pohybovalo na vzdálenosti vyšší než 16 km (Svensson *et al.* 2011). Podobný výzkum se uskutečnil i v Itálii v roce 2013, kdy nejvyšší naměřená vzdálenost byla 1504 m (Chiari *et al.* 2013).

Chování

Telemetrie může odhalit zákonitosti chování živočichů, o jejichž životních strategiích bylo doposud zjištěno jen málo, nebo nic. Tyto poznatky mohou být použity například ke zlepšení ochrany ohrožených druhů, jako tomu bylo v případě páchníka *Osmoderma eremita* (Dubois & Vignon 2008).

Létající hmyz

Výzkum zaměřený na pohyb v prostoru u roháče obecného (*Lucanus cervus*) mimo jiné odhalil, že samci na rozdíl od samic před vzletnutím šplhají na vyvýšená místa. Také byl zaznamenán významný rozdíl v délkách jejich letů (viz kap. Pohyb v prostoru) (Rink & Sinsch 2007). Při výzkumu využití prostředí u brouka *Scapanus australis* bylo odhaleno, že zatímco samci létají ve výšce kolem 5 m nad povrchem, samice létají ve výškách 20 m a více, což znemožnilo jejich účinné monitorování (Beaudoin-Ollivier *et al.* 2003). Výzkum na vážkách druhu *Anax junius* odhalil periodicitu v jejich chování, jež se projevila pravidelnými migracemi za potravou (Wikelski *et al.* 2006).

Nelétavý hmyz

Prvním příkladem výzkumu na nelétavém hmyzu je studie na tropickém cvrčkovi *Philophyllia ingens* Hebard, 1933. Deset jedinců bylo vybaveno aktivními radiotelemetrickými vysílači a monitorováno po dobu 3 dní. Původním předpokladem bylo, že se jedná o nočního živočicha a toto chybné tvrzení se podařilo pomocí telemetrie vyvrátit. Bylo zjištěno, že vrchol aktivity těchto zvířat je během dne, kdy se věnují krmení nebo stridulaci. Oproti tomu pohyb na delší vzdálenosti (více než 100 m) byl zaznamenán pouze v noci (Fornoff *et al.* 2012).

Ve výzkumu na kobyilkách weta (*Deinacrida rugosa*) na Novém Zélandu nebylo předmětem pozorování pouze využití prostředí, ale i chování těchto zvířat. Cílem bylo zjistit, jak reagují na změnu prostředí. Zaznamenávaly byly tři aktivity: krmení, pohyb a odpočívání. Výzkum odhalil, že v novém prostředí se samice po většinu času krmily, zatímco samci strávili nejdelší část noci pohybem. Doba odpočinku byla pro obě pohlaví totožná (Watts *et al.* 2012). Stejně faktory chování byly měřeny i u čmeláků, kde se však prokázal vliv vysílačů (Hagen *et al.* 2011).

Dalším příkladem je již zmiňovaný výzkum na vodních larvách střechatek druhu *Protohermes grandis*. V tomto případě byl pro pozorování použit radiofrekvenční způsob

identifikace (RFID) s pasivním tagem. V rámci výzkumu bylo odhaleno, že larvy mají ve zvyku na svou kořist útočit ze zálohy, ne po ní aktivně pátrat (Hayashi & Nakane 1989).

Evoluce

Poslední otázkou, k jejímuž objasnění může telemetrie přispět je evoluce. Za tímto účelem jsou telemetrické metody používány až v posledních letech. Znalost pohybových schopností jednotlivých druhů bezobratlých, velikost jejich home range, rozdíly v chování mezi samci a samicemi a jejich preferencí ohledně prostředí může pomoci objasnit zákonitosti, které ovlivňují přirozený výběr (Kissling *et al.* 2014).

Létající hmyz

Studie pohybových schopností u roháčů druhu *Lucanus cervus* odhalila, že 1% samců je schopno udržovat genetický tok mezi hnízdními oblastmi v rozsahu do 3 km, zatímco kolonizace nových hnízdních stanovišť je závislá na pohybu samic, jejichž rozsah je menší než 1 km. Tento rozdíl je způsoben rozdílnými pohybovými schopnostmi obou pohlaví, kdy samice se pohybují převážně po zemi (naměřené vzdálenosti pohybu byly v rozmezí 0-762 m) a samci, kteří častěji létají (ve vzdálenostech mezi 0-2065 m). To vede k hrozbě vyhynutí izolovaných populací, tedy těch, které jsou od sebe vzdálené více než 3 km (Rink & Sinsch 2007).

Nelétavý hmyz

U Novozélandské kobylky weta (*Deinacrida rugosa*) byl mimo jiné zjišťován důvod k rozdílné velikosti mezi pohlavími. Pozorování potvrdilo, že samci s delšími nohami a menším tělem se pohybují na větší vzdálenosti, než mohutnější samice. V této populaci se tedy nejspíš projevuje selekční tlak na menší a pohyblivější samce, kteří díky těmto vlastnostem mají vyšší úspěch při páření, a na mohutnější samice, které jsou díky své velikosti plodnější (Watts *et al.* 2012).

Budoucnost telemetrie

Telemetrie je relativně mladá metoda, která má však velký potenciál do budoucnosti. Doposud existuje pouze velice omezené množství studií na bezobratlých patřících do řádů brouci (*Coleoptera*), střechatky (*Megaloptera*), rovnokřídli (*Orthoptera*), blanokřídli (*Hymenoptera*) a vážky (*Odonata*). V budoucnu by se telemetrie měla primárně zaměřit na rozvoj terénních pozorování i laboratorních experimentů, systém automatického sledování a na možnost sledování hmyzu z vesmíru.

Terénní pozorování

Malé množství studií, které byly doposud publikovány, zahrnuje pouze nepatrnou část z rozsáhlé škály druhů hmyzu, typů prostředí a funkčních skupin bezobratlých. Je potřeba většího množství studií, aby bylo možno na jejich základě zjištěné zákonitosti generalizovat pro rozsáhlejší skupiny živočichů. Tyto znalosti lze uplatnit při zachovávání ohrožených druhů, kontrole rozšíření škůdců a při zlepšení ekologického managementu kulturní krajiny. Dále je potřeba více studií u migrujících druhů hmyzu, pro pochopení tohoto jevu jak v lokálním, tak i v globálním, mezikontinentálním měřítku (Kissling *et al.* 2014).

Také je zapotřebí více studií na tropickém hmyzu, kde panuje vyšší variabilita druhů. To umožní získat lepší poznatky o rozdílném chování mezi pohlavími, kastami, jedinci rozdílného věku, nebo i jedinci jako takovými. Bylo například provedeno několik studií na dělnicích různých druhů včel (Goulson & Stout 2001; Hagen *et al.* 2011; Greenleaf *et al.* 2011), ale je jen velice málo známo o využití prostoru u královen, samců a samotářských včel. Do budoucna je rovněž doporučováno, aby každá studie automaticky zahrnovala kvantitativní měření vlivu telemetrického zařízení na chování pozorovaných zvířat a to před i po experimentu (Kissling *et al.* 2014).

Laboratorní experimenty

Otázkou na jejíž zodpovězení by se měly laboratorní studie soustředit je, jakým způsobem ovlivňují telemetrické vysílače a štítky hospodaření s energií a chování studovaného hmyzu. Prvním krokem k tomu je porozumět a změřit energetické nároky na nesení zátěže navíc. Ty se liší v závislosti na velikosti hmyzu a na taxonomické skupině (Chown & Gaston 2010). Pro létající druhy jsou dalším důležitým faktorem

aerodynamické vlastnosti telemetrického vysílače, které výrazně ovlivňují jeho rychlost, délku letu a schopnost manévrovat (Caccamise & Hedin 1985).

Při zkoumání pohybu u třech druhů čmeláků byl prokázán vliv hmotnosti vysílačů na dobu, kterou jedinci trávili opylováním (Hagen *et al.* 2011). Průkaznější by však byly laboratorní pozorování ve větrném tunelu, kde by v kontrolovaném prostředí bylo možné odhalit působení zátěže za různých situací. Například by bylo možno zjistit, jestli vyšší zátěž zvyšuje i spotřebu nektaru u jedinců, nebo jestli ovlivňuje jejich chování a vede k tomu, že jedinec přenáší menší množství nektaru (Pflumm 1977).

Alternativním přístupem k tomuto problému je použití zátěže namísto vysílačů. Tímto způsobem lze změřit její vliv na chování, a z dlouhodobého hlediska, i délku života jedince. Telemetrické metody lze také kombinovat s jinými laboratorními metodami, jako jsou video-grafické metody, nebo například infračervená zobrazení (viz kap. Alternativy telemetrie). Již v dřívější době byly použity teoretické modely, které měly pomoci předpovědět ekonomické nároky na vzdálenost letu a krmení (Cresswell *et al.* 2000). Ty je nyní díky telemetrickým metodám možné přesně ověřit u skutečných populací a popřípadě upravit tak, aby odpovídaly realitě. S jejich pomocí by pak bylo možné předvídat energetické nároky spojené s nesením vysílačů pro jednotlivce i pro celá hmyzí společenstva (Kissling *et al.* 2014).

Systém automatického sledování

Všechny telemetrické metody, které byly doposud diskutovány, zahrnovaly dohledávání živočichů pomocí příručních přístrojů závislých na člověku. Automatické sledování umožní snížit počet pulzů transmitterů na minimum, čímž se výrazně prodlouží jejich životnost. Existují dva způsoby, kterými lze automatické sledování uskutečnit. Jsou to ukládání dat a automatické sledování samo o sobě. První způsob je používán již od roku 1965 (Cochran *et al.* 1965) a při studiích na hmyzu se uplatnil při sledování vážek (Levett & Walls 2011) a cvrčků (Fornoff *et al.* 2012). Oproti tomu druhý způsob byl kvůli své náročnosti a hmotnosti použit pouze při výzkumech na obratlovcích (Kissling *et al.* 2014; Kays *et al.* 2011).

Sledování z vesmíru

Vynalezení satelitního sledovacího systému, jako je ARGOS, znamenalo po roce 1980 průlom v monitorování velkých savců. Pro menší živočichy byly tagy příliš těžké, takže bylo možno sledovat pouze živočichy o minimální hmotnosti 300 g (Wikelski *et al.*

2007). V současné době se intenzivně pracuje na projektu IKARUS (International Cooperation of Animal Research Using Space), který by měl být spuštěn na jaře 2017. IKARUS umožní pozorování i drobných živočichů, jako je právě hmyz. Jedná se o anténu umístěnou na nízkém orbitu, takže bude schopna detekovat i menší a méně výkonné transmittery. V porovnání se satelity využívanými ARGOSem, jsou vzdáleny 850 km od povrchu země, je mezinárodní vesmírná stanice (ISS), na které budou antény umístěny, vzdálena pouze 320 km (Pennisi 2011). Pro systém IKARUS již byly vynalezeny transmittery o hmotnosti nižší, než 5 g, ale stále dost výkonné na to, aby je bylo možno detekovat z vesmíru. U transmitterů, které budou dost malé na to, aby je mohl nést hmyz, bude nejspíš možno sledovat pouze druhy, žijící na otevřených prostranstvích (jako jsou pouště), kde nebude signál ničím rušen či oslabován (Wikelski *et al.* 2007).

Závěr

Tato práce se zabývala sledováním bezobratlých živočichů za použití telemetrických metod, se zaměřením na radiovou telemetrii s aktivním transmitterem. Cílem bylo poskytnout přehled o používaných metodách a okrajově i jejich alternativách. Dále také poukázat na základní úskalí telemetrie, jako je hmotnostní kompromis a ovlivnění chování sledovaných živočichů, způsobené nadbytečnou vahou transmitteru. V poslední řadě pak poskytnout příklady konkrétních výzkumů zabývajících se některou z pěti otázek, k jejichž zodpovězení se v dnešní době telemetrie používá a sice: pohyb v prostoru, migrace, využití prostředí, chování a evoluce.

V první části práce byly diskutovány jednotlivé metody, jejich typy a základní výhody i nevýhody. U každé byl uveden alespoň jeden příklad jejího využití v konkrétní studii. V druhé části práce byly rozvedeny problémy, které s sebou přináší snaha o snížení hmotnosti a velikosti transmitterů a také bylo poukázáno na nebezpečí skryté proměnné v podobě zatížení živočicha transmitterem. V poslední části této práce byly poskytnuty příklady studií zabývajících se jednou z pěti základních otázek telemetrie. Pro názornou demonstraci toho, co lze telemetrií reálně změřit byly ke každé studii uvedeny konkrétními výsledky, ke kterým daná studie dospěla.

Radiotelemetrie má obrovský potenciál do budoucna a může pomoci objasnit mnohé fenomény živočišné říše. Doposud bylo telemetrickými metodami pozorován jen nepatrný počet druhů bezobratlých, avšak neustálý technologický pokrok v této oblasti jistě brzy umožní sledovat i menší druhy hmyzu, než doposud. Což je důvod, proč bych se chtěl radiotelemetrií zabývat i nadále, ideálně v rámci mé diplomové práce.

Literatura

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

Caccamise D.F. & Hedin R.S. (1985): An aerodynamic basis for selecting transmitter loads in birds. Wilson Bulletin 97: 306–318.

Cochran W., Warner D., Tester J. & Kuechle, V. (1965): Automatic radiotracking system for monitoring animal movements. Bioscience 15: 98–100.

Cochran W.W. & Lord R.D.Jr. (1963): A radio-tracking system for wild animals. The Journal of Wildlife Management 27: 9-24.

Cooke S.J., Hinch S.G., Wikelski M., Andrews R.D., Kuchel L.J., Wolcott T.G. & Butler P.J. (2004): Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. TRENDS in Ecology and Evolution 19: 334-343.

Cresswell J.E., Osborne J.L. & Goulson D. (2000): An economic model of the limits to foraging range in central place foragers with numerical solutions for bumblebees. Ecological Entomology 25: 249–255.

Čábelka (2008): Úvod do GPS. CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES pp. 44.

Domdouzis K., Kumar B. & Anumba C. (2007): Radio-frequency identification (RFID) applications: A brief introduction. Advanced engineering informatics 21: 350-355.

Dubois G. & Vignon V. (2008): First results of radio-tracking of *Osmoderma eremita* (Coleoptera: Cetoniidae) in French chestnut orchards. Revue D Ecologie-La Terre Et La Vie 63: 131–138.

- Farmery M.J., (1982):** The effect of air temperature on wingbeat frequency of naturally flying armyworm (*Spodoptera exempta*). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 32: 193–194.
- Fischer H. & Ebert E. (1999):** Tegula function during free locust flight in relation to motor pattern, flight speed and aerodynamic output. *Journal of Experimental Biology* 202: 711–721.
- Fornoff F., Dechmann D.K.N. & Wikelski M. (2012):** Observation of movement and activity via radio-telemetry reveals diurnal behaviour of the neotropical katydid *Philophyllia ingens* (Orthoptera: Tettigoniidae). *Ecotropica* 18: 27–34.
- Gibbs G. W. & McIntyre M. E. (1997):** Abundance and Future Options for Wetapunga on Little Barrier Island. Department of Conservation, Wellington.
- Gonzalez-Bellido P.T., Peng H., Yang J., Georgopoulos A.P. & Olberg R.M. (2012):** Eight pairs of descending visual neurons in the dragonfly give wing motor centers accurate population vector of prey direction. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A* 110: 696–701.
- Goulson D. & Stout J. C. (2001):** Homing ability of the bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* 32: 105–111.
- Greenleaf S. S., Williams N. M., Winfree R. & Kremen, C. (2007):** Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153: 589–596.
- Hagen M., Wikelski M. & Kissling W. D. (2011):** Space use of bumblebees (*Bombus* spp.) revealed by radio-tracking. *PLoS One* 6: e19997.
- Hardie J. & Powell G. (2002):** Video analysis of aphid flight behaviour. *Computers and Electronics in Agriculture* 35: 229-242.
- Harrison R.R., Fotowat H., Chan R., Kier R.J., Olberg R., Leonardo A. & Gabbiani F. (2011):** Wireless Neural/EMG Telemetry Systems for Small Freely Moving Animals. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems* 5: 103-111.
- Hayashi F. & Nakane M. (1989):** Radio tracking and activity monitoring of the obsonfly laarva, *protohermes-grandis* (megalopectera, corydalidae). *Oecologia* 78: 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.
- Henry M., B'eguín M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S. & Decourtye A. (2012):** A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336: 348–350.
- Hinch S.G. & Rand P.S. (1998):** Swim speeds and energy use of upriver-migrating sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): role of local environment and fish characteristics. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 55: 1821-1831.
- Hobbs S.E. & Hodges G. (1993):** An optical method for automatic classification and recording of a suction trap catch. *Bulletin of entomological research* 83: 47-52.
- Hulbert I.A.R. & French J. (2001):** The accuracy of GPS for wildlife telemetry and habitat mapping. *Journal of Applied Ecology* 38: 869–878.
- Hůrka K. (1996):** Carabidae of the Czech and Slovak Republics. Kabourek, Zlín, 566 pp.
- Chapman J.W., Drake V.A. & Reynolds D.R. (2011):** Recent Insights from Radar Studies of Insect Flight. *Annual Review of Entomology* 56: 337-356.
- 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: 309–318.
- Chown S.L. & Gaston K.J. (2010):** Body size variation in insects: a macroecological perspective. *Biological Reviews* 85: 139–169.
- Kays R., Tilak S., Crofoot M., Fountain T., Obando D., Ortega A., Kuemmeth F., Mandel J., Swenson G., Lambert T., Hirsch B. & Wikelski M. (2011):** Tracking animal location and activity with an automated radio telemetry system in a tropical rainforest. *The Computer Journal* 54: 1931–1948.
- Kawaga Y. & Maeto K. (2009).** Spatial population structure of the predatory ground beetle *Carabus yaconinus* (Coleoptera: Carabidae) in the mixed farmland-woodland satoyama landscape of Japan. *European Journal of Entomology* 106: 385–391.

- Kissling D.W., Pattemore D.E., & Hagen M. (2013):** Challenges and prospects in the telemetry of insects. *Biological reviews* 89: 511-530.
- Levett S. & Walls S. (2011):** Tracking the elusive life of the emperor dragonfly *Anax imperator* Leach. *Journal of the British Dragonfly Society* 27: 59-68.
- Lorch P. D. & Gwynne D. T. (2000):** Radio-telemetric evidence of migration in the gregarious but not the solitary morph of the Mormon cricket (*Anabrus simplex*: Orthoptera: Tettigoniidae). *Naturwissenschaften* 87: 370–372.
- Lorch P.D., Sword G.A., Gwynne D.T. & Anderson G.L. (2005):** Radiotelemetry reveals differences in individual movement patterns between outbreak and non-outbreak Mormon cricket populations. *Ecological Entomology* 30: 548–555.
- Lys J.A. & Nentwig W. (1991):** Surface activity of carabid beetles inhabiting cereal fields. Seasonal phenology and the influence of farming operations on five abundant species. *Pedobiologia* 35: 129-138.
- Mackay R.S. (1964):** Galapagos Tortoise and Marine Iguana Deep Body Temperatures Measured by Radio Telemetry. *Nature* 204: 355-358.
- Mitchell D., Maloney SK., Jessen C., Laburn HP., Kamerman PR., Mitchell G. & Fuller A. (2002):** Adaptive heterothermy and selective brain cooling in arid-zone mammals. *Comparative biochemistry and physiology b-biochemistry and molecular biology* 131: 571-585.
- Negro M., Casale A., Migliore L., Palestini C. & Rolando A. (2008):** Habitat use and movement patterns in the endangered ground beetle species, *Carabus olympiae* (Coleoptera: Carabidae). *European Journal of Entomology* 105: 105–112.
- Niehues F.J., Hockmann P. & Weber F. (1996):** Genetics and dynamics of a *Carabus auronitens* metapopulation in the Westphalian lowlands (Coleoptera, Carabidae). *Annales Zoologici Fennici* 33: 85–96.
- Pasquet R.M.S., Peltier A., Hufford M. B., Oudin E., Saulnier J., Paul L., Knudsen J. T., Herren H.R. & Gepts P. (2008):** Long-distance pollen flow assessment through evaluation of pollinator foraging range suggests transgene escape distances. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 13456–13461.

- Pflumm W. (1977):** Factors determining volume of sugar solution bees and wasps collect per trip at food source. *Apidologie* 8: 401–411.
- Pennisi E. (2011):** Global tracking of small animals gains momentum. *Science* 334: 1042.
- Psychoudakis D., Moulder W., Chen C.C., Zhu HP & Volakis J.L. (2008):** A Portable Low-Power Harmonic Radar System and Conformal Tag for Insect Tracking. *IEEE antennas and wireless propagation letters* 7: 444-447.
- Ramos V.M., Forti L.C., Andrade A.P.P. & Noronha N.C. (2008):** Density and spatial distribution of *Atta sexdens rubropilosa* and *Atta laevigata* colonies (Hym., Formicidae) in Eucalyptus spp. Forests. *Sociobiology* 51: 775-781.
- Reynolds D.R. & Riley J.R. (2002):** Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. *Computers and electronics in agriculture* 35: 271-307.
- 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.
- Riecken U. & Raths U. (1996):** Use of radio telemetry for studying dispersal and habitat use of *Carabus coriaceus* L. *Annales Botanici Fennici* 33: 109–116.
- Riley J.R., Armes N.J., Reynolds D.R. & Smith A.D. (1992):** Nocturnal observations on the emergence and flight behaviour of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in the post-rainy season in central India. *Bulletin of Entomological Research* 82: 243–256.
- Riley J.R., Reynolds D.R. & Farmery M.J. (1983):** Observations of the flight behaviour of the armyworm moth, *Spodoptera exempta*, at an emergence site using radar and infra-red optical techniques. *Ecological Entomology* 8: 395–418.
- 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. Bettany B.W. (1990):** The use of video equipment to record in three dimensions the flight trajectories of *Heliothis armigera* and other moths at night. *Physiological entomology* 15: 73-80.
- Rink M. & Sinsch U. (2007):** Radio-telemetric monitoring of dispersing stag beetles: implications for conservation. *Journal of Zoology* 272: 235–243.
- Robinson E.J.H., Richardson T.O., Sendova-Franks A.B., Feinerman O. & Franks N.R. (2009):** Radio tagging reveals the roles of corpulence, experience and social information in ant decision making. *Behavioral ecology and sociobiology* 63: 627-636.
- Rose D.J.W., Page W.W., Dewhurst C.F., Riley J.R., Reynolds D.R., Pedgley D.E. & Tucker M.R. (1985):** Downwind migration of the African armyworm moth, *Spodoptera exempta*, studied by mark-and-capture and by radar. *Ecological Entomology* 10: 299–313.
- Růžičková J. & Veselý M. (2016):** Střevlíci a radiotelemetrie: pohybová aktivita *Carabus ullrichii*. In: Bryja J., Sedláček F. & Fuchs R. (Eds.). *Zoologické dny České Budějovice 2016. Sborník abstraktů z konference 11.-12. února 2016*: 188.
- Svensson G.P., Sahlin U., Brage B. & Larsson M.C. (2011):** Should I stay or should I go? Modelling dispersal strategies in saproxylic insects based on pheromone capture and radio telemetry: a case study on the threatened hermit beetle *Osmoderma eremita*. *Biodiversity and Conservation* 20: 2883-2902.
- Schaefer G.W. & Bent G.A. (1984):** An infra-red remote sensing system for the active detection and automatic determination of insect flight trajectories (IRADIT). *Bulletin of Entomological Research* 74: 261–278.
- Schaefer G.W., Bent G.A. & Allsopp K. (1985):** Radar and opto-electronic measurements of the effectiveness of Rothamsted Insect Survey suction traps. *Bulletin of Entomological Research* 75: 701–705.
- Szyszko J., Gryuntal S. & Schwerk A. (2005):** Nocturnal activity of *Carabus hortensis* L. (Coleoptera, Carabidae) in two forest sites studied with harmonic radar method. *Polish Journal of Ecology* 53: 117-222.

- Waddington K.D., Esch H. & Burns J.E. (1996):** The effects of season, pretraining, and scent on the efficiency of traps for capturing recruited honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of insect behavior* 9: 451-459.
- Wallin H. & Ekbom B.S. (1988):** Movements of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) inhabiting cereal fields – a field tracking study. *Oecologia* 77: 39-43.
- Watts C., Empson R., Thornburrow D. & Rohan M. (2012):** Movements, behaviour and survival of adult Cook Strait giant weta (*Deinacrida rugosa*; Anostostomatidae: Orthoptera) immediately after translocation as revealed by radiotracking. *Journal of Insect Conservation* 16: 763-776.
- Wikelski M., Kays R.W., Kasdin N.J., Thorup K., Smith J.A. & Swenson G. W. (2007):** Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists. *Journal of Experimental Biology* 210: 181-186.
- Wikelski M., Moskowitz D., Adelman J.S., Cochran, J. Wilcove D. S. & May M. L. (2006):** Simple rules guide dragonfly migration. *Biology Letters* 2: 325-329.
- 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: e10738.
- Zeil J. (1993):** Orientation flights of solitary wasps (*Cercis*; Sphecidae; Hymenoptera). I. Description of flight. *Journal of comparative physiology a-sensory neural and behavioral physiology*