

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

# **Metaanalýza efektu světelných geolokátorů na malé druhy ptáků**

Bakalářská práce

Vojtěch Brlík

Vedoucí práce: RNDr. Petr Procházka, Ph.D.

Konzultant: RNDr. Jaroslav Koleček, Ph.D.

Studijní obor: Biologie a ekologie

Olomouc 2017

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Petra Procházky a Jaroslava Kolečka a použil pouze pramenů uvedených v seznamu literatury a přílohách.

V Olomouci

.....

Vojtěch Brlík

## **Poděkování**

Především děkuji Petru Procházkovi za jeho podnětné připomínky, inspirativní nápady a hlavně čas, který mi věnoval. Jaroslavu Kolečkovi děkuji za kritické připomínky k práci, komentování bakalářské práce a především dlouhodobé vedení v ornitologii. Děkuji Steffenu Hahnovi (Swiss Ornithological Institute), Jamesi W. Foxovi (Migrate Technology) a zaměstnancům firmy Biotrack a Lotek za oslovení zákazníků s prosbou o zapojení se do naší studie. Rienu van Wijckovi děkuji za zveřejnění příspěvku s prosbou o zapojení se do studie na facebookové stránce a ve výroční zprávě Migrant Landbird Study Group. Kevinu Woodovi děkuji za zaslání R skriptu k výpočtu lineárních modelů se smíšenými efekty. Miloši Kristovi děkuji za zaslání nepublikovaných dat, rady a odpovědi na mé prvotní otázky týkající se metaanalytických metod. Za ochotné poskytnutí nepublikovaných dat, bez nichž by tato práce v jejím současném rozsahu nevznikla, děkuji následujícím lidem: Peter Adamík, Debora Arlt, Sanja Barišić, Detlef Becker, Eduardo J. Belda, Václav Beran, Susana P. Bravo, Mārtiņš Briedis, Malcolm Burgess, Bohumír Chutný, Davor Ćiković, Victor R. Cueto, Tamara Emmenegger, Kevin Fraser, Steffen Hahn, Chris Hewson, Diana Humple, Frédéric Jiguet, Jim Johnson, Tosha Kelly, Dmitry Kishkinev, Michel Léconte, Kent McFarland, Piotr Matyjasiak, Christoph Meier, Juan S. Monrós, Roland Neumann, Amy Newman, Ryan Norris, Tomas Pärt, Václav Pavel, Noah Perlut, Markus Piha, Milica Požgayová, Chris Rimmer, Amélie Roberto-Charron, Makiko Takenaka, Dirk Tolkmitt, Hermann van Oosten, Didier Vangeluwe, Arndt Wellbrock, Hazel Wheeler, Klaudia Witte a Brad Woodworth. Mnoha dalším autorům publikovaných studií děkuji za zaslání doplňujících informací. Adélce děkuji za vytrvalou podporu a zlepšování nálady v krizových obdobích tvorby práce. V neposlední řadě děkuji za veškerou pomoc své rodině – především za podporu mých počátečních zájmů o biologii.

## **Bibliografická identifikace**

Jméno a příjmení autora: Vojtěch Brlík

Název práce: Metaanalýza efektu světelných geolokátorů na malé druhy ptáků

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

Vedoucí práce: RNDr. Petr Procházka, Ph.D.

Konzultant: RNDr. Jaroslav Koleček, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2017

Počet stran: 49 (69 s přílohami)

Počet příloh: 8

Jazyk: český

## **Abstrakt**

Využití sledovacích zařízení je jedním z nejrychleji se vyvíjejících přístupů sledování ptačí migrace. Miniaturizace světelných geolokátorů vedla v posledním desetiletí k prudkému nárůstu počtu studií využívajících tato zařízení ke studiu migrační ekologie především malých druhů ptáků. Ačkoliv již druhově specifické i komparativní studie sledující dopad světelných geolokátorů na ptáky vznikly, jejich výsledky nejsou jednoznačné a počet studií s dosud nevyhodnoceným dopadem neustále roste. V této práci testuji efekt geolokátorů na malé druhy ptáků (do hmotnosti 100 g) srovnáním návratnosti, tělesné kondice, fenologie a hnízdních projevů více než 5 000 jedinců značených geolokátory a 13 000 kontrolních jedinců z 62 publikovaných a 43 nepublikovaných studií. Z výsledků plyne, že jedinci označení geolokátory měli nižší návratnost a horší tělesnou kondici, zatímco jejich fenologie ani hnízdní projevy ovlivněny nebyly. Relativní zatížení negativně ovlivňovalo návratnost samců, návratnost samic se naopak s rostoucím zatížením příliš neměnila. Nejnižší návratnost vykazovali vzdušní lovci, kteří byli navíc ovlivněni silněji délkou tyčinky geolokátoru než ostatní druhy. Velikost efektu geolokátoru byla rozdílná mezi pohlavími – samice vzdušných lovců byly ovlivněny silněji než samci, naopak tomu bylo u ostatních druhů. Na základě malých hodnot sumárních velikostí efektů geolokátorů usuzuji, že ačkoliv je efekt geolokátorů negativní, sledovaní ptáci nejsou významně ovlivněni a data získaná světelnými geolokátory jsou tedy zpravidla s velkou pravděpodobností důvěryhodná, nezatížená chybou způsobenou nesením geolokátoru.

**Klíčová slova:** efekt značení, fenologie, migrace, návratnost, přežívání, reprodukce, sledovací zařízení, tělesná kondice

## **Bibliographical identification**

Author's name: Vojtěch Brlík

Title: Effect of light-level geolocators on small bird species: a meta-analysis

Type of thesis: Bachelor

Department: Dept. of Zoology and Laboratory of Ornithology

Supervisor: RNDr. Petr Procházka, Ph.D.

Consultant: RNDr. Jaroslav Koleček, Ph.D.

Year of defense: 2017

Number of pages: 49 (69 including appendices)

Number of appendices: 8

Language: Czech

## **Abstract**

The use of tracking devices is currently one of the most rapidly developing approaches to study bird migration. The recent advent of miniature light-level geolocators has led to a massive increase in the number of studies employing these devices, especially in small species whose direct tracking was virtually impossible in the past. Although several meta-analytical and single-species primary studies have already examined the influence of geolocators on birds, their results are equivocal and there have been a growing number of studies which did not evaluate the impact of these devices on birds. Here, I test the effect of geolocators on small birds (body mass up to 100 g) by comparing return rates, body condition, phenology and breeding performance between around 5 000 geolocator-tagged and 13 000 control birds from 62 published and 43 unpublished studies. I found a small negative effect on return rates and body condition of tagged birds while phenology and breeding performance were not affected. Relative load of tagged birds negatively affected the return rates of males whereas the effect on females was negligible. The lowest return rates were in aerial species which were in addition negatively influenced by the geolocator stalk length. Return rates of tagged birds differed between sexes in relation to prevailing foraging strategy (aerial and non-aerial species). Females of aerial species had lower return rates than males, while the opposite situation was found in non-aerial species. The negative values of geolocator effect were usually very small. Therefore, I expect that the light-level data obtained by geolocators are unaffected by carrying the geolocator.

**Keywords:** body condition, effect of tags, migration, phenology, reproduction, return rate, survival, tracking devices

## OBSAH

<b>Úvod</b> .....	1
Metody studia migrační ekologie.....	3
Světelné geolokátory.....	6
Metaanalýza a publikační zkreslení .....	6
<b>Metodika</b> .....	8
Výběr prací a sběr nepublikovaných dat.....	8
Vysvětlované proměnné, definice experimentálních skupin.....	9
Výpočet dílčích velikostí efektu .....	11
Výpočet celkového efektu.....	12
Vysvětlující proměnné (moderátory) .....	13
Modelování závislosti efektu (metaregrese) .....	13
Kumulativní metaanalýza, heterogenita a publikační zkreslení.....	14
<b>Výsledky</b> .....	16
<b>Diskuze</b> .....	21
<b>Závěr</b> .....	28
<b>Literatura</b> .....	29
<b>Seznam obrázků</b> .....	41
<b>Seznam tabulek</b> .....	42
<b>Seznam příloh</b> .....	43

## Úvod

Migrační chování je popsáno u velkého množství živočišných druhů (Baker 1978), avšak nejnápadněji migrace probíhá u ptáků (Newton 2008, Hahn a kol. 2009). Obrovské množství ptáků každoročně překonává velké vzdálenosti při přeletech mezi hnízdišti a zimovišti (Hahn a kol. 2009, Conklin a kol. 2010, Egevang a kol. 2010). Většina tažných druhů ptáků pak tráví na zimovištích a při migraci velkou část ročního cyklu (Bairlein a kol. 2012, Åkesson a kol. 2016, Hedenström a kol. 2016), a proto je potřeba věnovat migrační ekologii ptáků nemalou pozornost.

Po přímém pozorování tahu je nejstarší metodou výzkumu migrace ptáků značení kovovými kroužky umožňující zpětně zaznamenaného značeného jedince identifikovat a zjistit základní informace o jeho přesunu. Individuální značení kovovými kroužky začalo na konci 19. století v Dánsku, v první polovině 20. století se pak rozšířilo do zbytku Evropy a do Severní Ameriky (Newton 2008). V současnosti patří mezi nejrychleji se vyvíjející technologie sledování migrace různé typy sledovacích zařízení, jako např. světelné geolokátory nebo GPS záznamníky, jejichž hmotnost se díky miniaturizaci v posledním desetiletí snížila pod jeden gram. Snížení hmotnosti těchto zařízení pak umožnilo jejich využití při studiu migrace velkého množství malých druhů ptáků (Stutchbury a kol. 2009, Contina a kol. 2013, López-López 2016; viz Metody studia migrační ekologie a Světelné geolokátory).

Individuální značení a upevňování sledovacích zařízení nám na jedné straně přináší unikátní poznatky o migrační ekologii ptáků, na druhou stranu však může mít na značené jedince negativní vliv (Barron a kol. 2010, Hill a Elphick 2011, Pennycuick a kol. 2012, Trefry a kol. 2012, Snijders a kol. 2017). Negativní efekty sledovacích zařízení a individuálních značek na ptáky je tudíž potřeba podrobně zkoumat, protože mohou ovlivnit důvěryhodnost či přesnost získávaných dat (Wilson a McMahon 2006, McMahon a kol. 2007, Jewell 2013). Ptáci nesoucí sledovací zařízení mohou mít totiž zhoršenou návratnost, tělesnou kondici ovlivňující načasování jednotlivých událostí ročního cyklu či nižší hnízdní úspěšnost (Barron a kol. 2010, Elliott a kol. 2012, Pennycuick a kol. 2012, Fairhurst a kol. 2015). Tyto negativní efekty se navíc mohou lišit mezi pohlavími, například kvůli rozdílné hmotnosti – u malých druhů ptáků jsou samice velmi často menší než samci – nebo rozdílné toleranci zátěže. Sledovací zařízení pak mohou například zvyšovat odpor vzduchu a tím zvyšovat energetickou nákladnost letu (Bowlin a kol. 2010). U ptáků aktivně lovících v letu (např. Apodidae, Hirundinidae) byl zjištěn větší efekt světelných geolokátorů (dále jen „geolokátorů“) než u ostatních skupin ptáků (Costantini a Møller 2013). Na základě doby strávené migrací a její energetické náročnosti je navíc možné předpokládat, že druhy táhnoucí na velké vzdálenosti budou ovlivněny geolokátorem více než druhy táhnoucí na

vzdálenosti menší (Costantini a Møller 2013). Podobně může efekt geolokátoru ovlivnit také elasticita upevňovacích popruhů či další technické parametry geolokátorů. Především malí ptáci vytvářejí před tahem značné tukové zásoby (King a Farner 1965), a elastické materiály upevňovacích popruhů proto mohou reagovat lépe na změny objemu těla v čase ve srovnání s neelastickými materiály, které mohou způsobovat např. pohybová omezení (Blackburn a kol. 2015). V neposlední řadě je také důležitá hmotnost sledovacího zařízení (resp. relativní zatížení sledovaného jedince dané poměrem jeho hmotnosti a hmotnosti zařízení), která může ovlivnit velikost efektu. Obecně uznávané a v literatuře hojně užívané je pravidlo 5 % (Caccamise a Hedin 1985), méně často 3 % (Phillips a kol. 2003) a u některých druhů bylo doporučeno relativní zatížení ještě menší (Rodríguez-Ruiz a kol. 2015). Tyto hraniční hodnoty ovšem nejsou ověřeny na větším množství druhů různých ekologických a fylogenetických skupin a jsou do jisté míry arbitrární. Efekt sledovacího zařízení se může projevit i přímo na migračním chování, a zatížit tak získané informace o migraci chybou (Wilson a McMahon 2006, McMahon a kol. 2007, Jewell 2013). Proto je potřeba efekt sledovacích zařízení bedlivě sledovat a správně vyhodnocovat. Při odhadování specifického efektu sledovacích zařízení na jednotlivých populacích či druzích se zpravidla provádí experimenty porovnávající experimentální ptáky s ptáky kontrolními. Ovšem pro získání komplexnější představy o působení těchto zařízení na ptáky je pak potřeba dílčí, specifické výsledky navzájem porovnat a sumarizovat ideálně v komparativní studii (metaanalýze; Koricheva a kol. 2013). Ačkoliv již komparativní studie zkoumající vliv světelných geolokátorů na ptáky vznikla (Costantini a Møller 2013), většina prací sledujících malé druhy ptáků byla publikována později, a autoři je tedy nemohli zahrnout do srovnání. Autoři práce se navíc nezabývali získáváním nepublikovaných výsledků, kde může být vliv světelných geolokátorů odlišný od vlivu v publikovaných studiích především vlivem upřednostňované publikace signifikantních výsledků nebo výsledků založených na velkém vzorku (Rothstein a kol. 2005; viz Metaanalýza a publikační zkreslení) a nezávislostí jednotlivých výsledků.

Na základě současných znalostí a očekávání formuluji tyto predikce možného vlivu světelných geolokátorů na malé druhy ptáky:

1. Světelné geolokátory budou negativně ovlivňovat návratnost, tělesnou kondici, fenologii a hnízdní projevy sledovaných jedinců.



2. Velikost efektu se bude lišit mezi pohlavími. Na samce bude mít geolokátor menší vliv než na samice v důsledku obecně nižší hmotnosti samic a tedy jejich většího zatížení geolokátorem.
3. Efekt geolokátoru se bude lišit mezi druhy aktivně lovcími potravu v letu a ostatními druhy. Druhy lovcí v aktivním letu budou světelnými geolokátory ovlivněny silněji (Costantini a Møller 2013).
4. Dálkoví migranti budou světelnými geolokátory ovlivněni více než druhy táhnoucí na malé vzdálenosti. S rostoucí vzdáleností mezi hnízdištěm a zimovištěm očekávám silnější negativní efekt světelných geolokátorů (Costantini a Møller 2013).
5. S rostoucím relativním zatížením ptáků světelným geolokátorem poroste i negativní efekt geolokátorů. Relativní zatížení nad 3% nebo 5% hranicí bude mít silně negativní efekt (Caccamise a Hedin 1985, Aldridge a Brigham 1988).
6. Délka světlovodných tyčinek nebo tyčinek nesoucích senzory nad vrstvou peří bude negativně ovlivňovat efekt světelných geolokátorů (Bowlin a kol. 2010).
7. Elastické materiály popruhů lépe reagují na změny objemu těla jedinců spojené s ukládáním zásob tuku před tahem, a ptáky tak budou ovlivňovat méně než neelastické popruhy (Blackburn a kol. 2015).
8. Negativní efekt světelných geolokátorů na ptáky bude vyšší v nepublikovaných výsledcích ve srovnání s výsledky publikovaných studií (Rothstein a kol. 2005).

Cílem mé bakalářské práce je metaanalytickými metodami kvantifikovat velikost efektu světelných geolokátorů na malé druhy ptáků a otestovat výše uvedené predikce. Vedle hledání vhodných publikovaných prací pro detailní komparativní analýzu se navíc zaměřuji také na sběr nepublikovaných výsledků ve snaze eliminovat vliv potenciálního publikačního zkreslení na výsledný efekt. Při analýzách navíc zohledňuji, ve srovnání s předchozí, podobnou studií (Costantini a Møller 2013), také hierarchickou strukturu dat pomocí modelů se smíšenými efekty a detailně se zabývám faktory ovlivňujícími velikost efektu, včetně parametrů geolokátorů a materiálu upevňovacích popruhů.

### **Metody studia migrační ekologie**

Počátky studia migrace ptáků sahají do 18. století k založení ornitologických stanic a později sítě pozorovatelů věnujících se zaznamenávání načasování přiletů tažných druhů ptáků (viz Kolářová a Adamík 2015). Individuální sledování migrace ptáků začalo až s výrobou kovových kroužků, které dnes patří k nejrozšířenějším a nejstarším metodám přímého sledování migrace.

Pravděpodobnost nezbytné zpětné identifikace kroužku ovšem klesá se zmenšující se velikostí značených ptáků a tedy i značek (Korner-Nievergelt a kol. 2010). V málo zalidněných a rozvojových oblastech je pak efektivita získávání informací o kroužkovaných ptácích téměř nulová (Fiedler a kol. 2004). V posledních desetiletích se k individuálnímu značení velkých ptáků (především vodních ptáků a dravců) začalo využívat i barevných značek (např. krční límce, nosní a křídelní značky) s alfanumerickými kódy, které jsou velké, dobře viditelné a jejichž čitelnost je tedy dobrá i na velké vzdálenosti (Marion a Shamis 1977). Malí ptáci jsou pak obdobně značeni individuálními barevnými kroužky ve specifických kombinacích, které umožňují identifikaci na větší vzdálenosti než značení pouze kovovými kroužky. Takto značeny bývají především intenzivně zkoumané populace (Wallace 1941, Bensch a Hasselquist 1991, Peterson a kol. 2015). Nevýhodou těchto metod je absence povinnosti shromažďovat použité kombinace a informace o značených druzích v centrální databázi a menší množství individuálních kombinací barev či znaků.

Méně častou metodou přímého pozorování tahu bez nutnosti ptáky značit je využití měsíčního kotouče pro sledování početnosti a směru tahu nočních migrantů (Liechti a kol. 1995, Zehindjiev a Liechti 2003), kteří mezi malými druhy tažných ptáků převažují (Adamík a kol. 2016). Extrapolací lze následně odhadnout celkový počet táhnoucích jedinců. Metodu přirozeně nelze použít za podmínek bez viditelného měsíce a jasné oblohy. Ptáky navíc nelze určovat do druhu, ale pouze do skupin na základě frekvence mávání křídlů (Bolshakov 1985). Výraznější pokrok v přímém pozorování tahu přišel s vytvořením pozemní sítě radarových stanic sloužících primárně v meteorologii. Radary umožňují zaznamenat i přesuny malých hejn, měřit rychlost letu a výšku protahujících ptáků a podobně jako u pozorování migrace ve svitu měsíce, lze z frekvence mávání křídel určit i o jakou skupinu druhů se jedná (kachny, bahňáci, pěvci apod.; Gauthreaux a Belser 2003). V současnosti probíhají snahy o vytvoření sítě radarů ENRAM (z angl. *European Network for the Radar Surveillance of Animal Movement*) pokrývající území Evropy, který má v budoucnu sloužit k sledování migrace ptáků a hmyzu (ENRAM 2017). V Severní Americe obdobná síť již funguje (Russell a Gauthreaux 1998, Chilson a kol. 2012, Laughlin a kol. 2013).

Významnou nepřímou metodou sledování migrační ekologie ptáků se v posledních desítkách let stala analýza stabilních izotopů (Hobson 1999, Hobson a Wassenaar 2008). K získání geografické informace se využívá poměru izotopů (nejčastěji  $^2\text{H}/^1\text{H}$ ;  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ;  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ;  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ;  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) v tkáních a tělních tekutinách (drápy, peří, krev apod.) vytvořených ve známém období a srovnaného se známými globálními gradienty poměrů izotopů (Procházka

2006, Hobson a Wassenaar 2008). Určení polohy touto metodou je ale většinou velmi nepřesné a vyžaduje splnění mnoha předpokladů: růst analyzovaných struktur ve známém období ročního cyklu, známé diskriminační faktory při zabudování poměrů izotopů z prostředí do tkání daného druhu (Hobson a kol. 2004), známá rychlost obměny analyzovaných vzorků (játra, krev, svalovina apod.; Trueman a kol. 2005, Chamberlain a kol. 2006) a v neposlední řadě také znalost prostorového gradientu poměrů izotopů v prostředí (Bowen a kol. 2005, Hobson a kol. 2012). Určení načasování tahu a detailní studium migračních tras pomocí analýzy stabilních izotopů je mnohdy nemožné, a proto bývá metoda často používána v kombinaci s jinými metodami (Procházka a kol. 2013, Hobson a Kardynal 2016, Maggini a kol. 2016). Řadu aspektů migrační ekologie lze studovat i experimentálně sledováním orientace v průběhu tahového neklidu (Helbig 1991, Kishkinev a kol. 2015), jakož i studiem biometricky, fenologie či genetické variability mezi jednotlivými populacemi (Bensch a kol. 2009, Delmore a kol. 2012, Maggini a kol. 2016, Nelson a kol. 2016). Tyto informace ovšem nepřinášejí zároveň detailní informace o pozici jedince, migračních trasách a načasování migračního cyklu.

Technologicky nejrychleji se vyvíjející sledovací zařízení umožňují zaznamenávat polohu ptáka v reálném čase. Nejstarší a nejmenší sledovací zařízení jsou radiotelemetrické vysílačky (Cochran 1967, Hagen a kol. 2011), které vysílají radiové vlny zachytávané pozemní anténou v rámci malého území. Na základě triangulace je poté možné určit polohu sledovaného jedince (Saltz 1994). Sledování přesunů na velké vzdálenosti a v průběhu celého roku s využitím těchto zařízení je možné pouze pomocí nákladného transportu detekčních antén letadly (Cochran 1967). Na podobném principu funguje i pozemní síť přijímačů Encounternet, které ovšem nejsou mobilní, a umožňují tak sledovat například hnízdní přesuny pomocí radiových vysílačů (Levin a kol. 2015). Nejpřesnějšími zařízeními určujícími polohu jsou GPS vysílače a satelitní sledovací zařízení lokalizující ptáky s přesností na několik desítek metrů (Weimerskirch a kol. 2002, Gill a kol. 2009, Kempenaers a Valcu 2017). Pomocí těchto zařízení je ovšem možné sledovat, kvůli jejich vyšší hmotnosti, pouze ptáky vážící nejméně několik desítek gramů (Hewson a kol. 2016). Za zmínku jistě stojí snahy o vypuštění družice ICARUS monitorující výhradně přesuny živočichů (Wikelski a kol. 2007). Tato družice by mohla snížit jinak velmi vysoké náklady na provoz těchto zařízení. Nespornou výhodou využití vysílačů je získání informace z každého značeného ptáka, protože tato zařízení vysílají pozici či signál k pozemním přijímačům a anténám či satelitům průběžně. Technická miniaturizace posledního desetiletí přinesla navíc světelné geolokátory (viz další kapitola) a GPS záznamníky ukládající přesnou polohu sledovaného jedince v řádech několika desítek pozic za rok. Tato zařízení umožňují detailně

zkoumat například velikost okrsků, teritorialitu či habitatové preference jedinců v průběhu ročního cyklu (Hallworth a Marra 2015, Fraser a kol. 2016).

### **Světelné geolokátory**

Světelné geolokátory v několikaminutových intervalech měří intenzitu světla a naměřené hodnoty ukládají do vnitřní paměti. Ze záznamu těchto hodnot světelné intenzity zpětně odchycených jedinců lze následně prahovou metodou nebo metodou podobnosti se vzorem odhadnout čas západu a východu slunce. Z těchto dvou událostí lze pak vypočíst délku dne určující zeměpisnou šířku a čas místního poledne či půlnoci určující zeměpisnou délku (Hill 1994). Přesnost určení zeměpisné délky je mnohonásobně vyšší (desítky kilometrů) než určení zeměpisné šířky (stovky kilometrů; Fudickar a kol. 2012). Přesnost určení zeměpisné šířky navíc klesá v období kolem jarní a podzimní rovnodennosti, kdy jsou rozdíly v délce dne v různých šířkách podobné. Obdobně klesá přesnost určení zeměpisné délky s rostoucí zeměpisnou šířkou, v polárních oblastech je pak určení polohy nemožné v létě a v zimě vlivem nepřetržitého dne či noci (Hill 1994). Na úrovni kontinentů je však přesnost určení polohy pomocí světelných geolokátorů dostatečná, a zařízení tudíž umožňují sledovat migraci i velmi malých druhů ptáků táhnoucích na velké vzdálenosti (Bairlein a kol. 2012, Peterson a kol. 2015). I proto se světelné geolokátory v posledních letech začaly velmi často využívat ke studiu migrační ekologie ptáků a přinesly velmi cenné poznatky o migraci různých populací, věkových kategorií a pohlaví či o migračním chování jedinců v delším časovém období (Gow a Wiebe 2014, McKinnon a kol. 2014, Finch a kol. 2015, Wellbrock a kol. 2017). V posledních letech je možné světelné geolokátory vybavit navíc také gyroskopy zaznamenávajícími aktivitu ptáků nebo čidly okolní teploty a atmosférického tlaku (Liechti a kol. 2013, Bäckman a kol. 2016).

Nejčastěji jsou světelné geolokátory upevňovány na malé druhy ptáků pomocí popruhů přes nohy nebo trup na hřbetní stranu těla (Rappole a Tipton 1991, Åkesson a kol. 2016), méně často se využívá u malých druhů ptáků připevnění světelného geolokátoru na kroužek na noze (Koike a kol. 2016). Pro co nejefektivnější zaznamenání světelné intenzity senzorem jsou často světelné geolokátory upevněné na hřbetu vybaveny tyčinkami nesoucími světelné senzory nebo světlovodnými tyčinkami vedoucími světlo k senzoru a čnicími tak nad vrstvu peří.

### **Metaanalýza a publikační zkreslení**

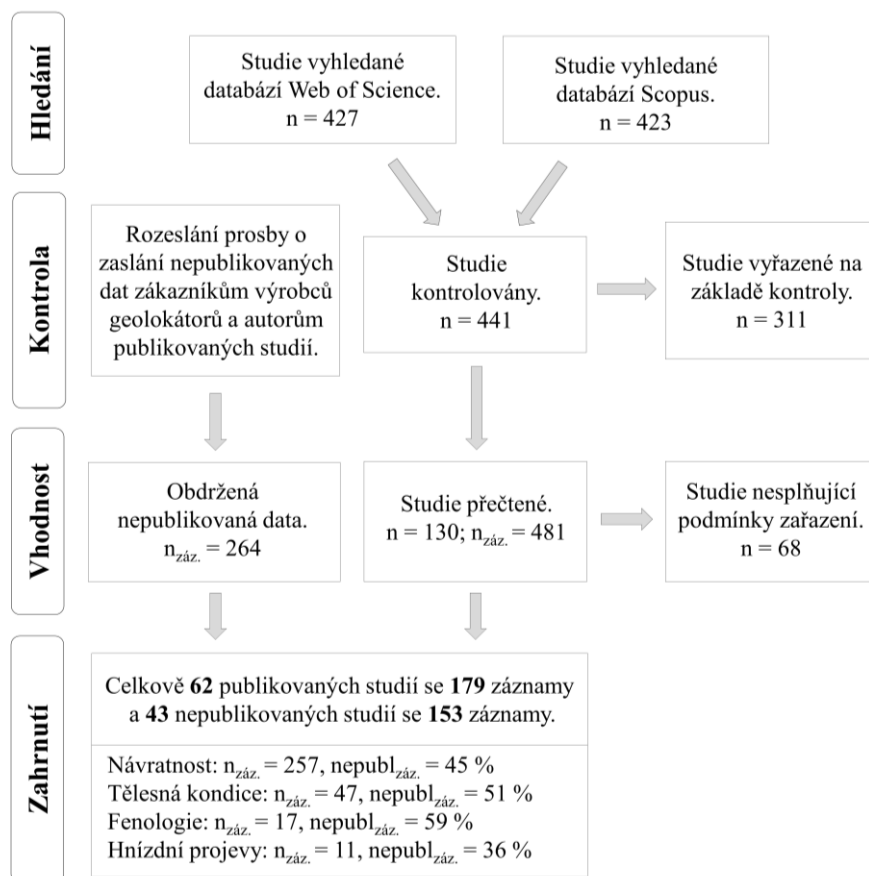
Komparativní studie – metaanalýza – sumarizuje a porovnává výsledky zjištěné v dílčích, primárních studiích (Borenstein a kol. 2009). V metaanalytickém srovnávání dílčích,

specifických výsledků nejsou jednotlivé studie rovnocenné, ale vážením bývá zohledněn i jejich rozsah, a tedy přesnost výsledku (Koricheva a kol. 2013). Zobecněný výsledek metaanalýzy umožňuje kritické zhodnocení vlivu na více populací a druhů, protože metaanalýzy pracují s mnohonásobně vyšším počtem jedinců a především druhů než studie dílčí. Výsledek porovnání je tedy robustnější a závěry takových prací jsou obecnější než u specifických studií. Výsledek metaanalýzy ale logicky závisí na výběru studií zahrnutých do srovnání. Soubor prací dostupných pro metaanalýzu může být ovlivněn publikačním zkreslením (z angl. *publication bias*), které vzniká nerovnoměrným zveřejňováním výsledků (Rothstein a kol. 2005). Nejčastější je publikační zkreslení způsobené přednostním zveřejňováním prací se signifikantním výsledkem či s velkým studijním vzorkem, a to buď samotnými autory (Dickersin 1997), nebo redakcemi časopisů (Jennions a Møller 2002). Publikační zkreslení tedy nejčastěji postihuje práce s malým vzorkem a nesignifikantními výsledky (Jennions a Møller 2002, Williamson a Gamble 2005, Ioannidis a Trikalinos 2007). V migrační ekologii by se tak mohlo jednat o nižší pravděpodobnost publikace prací s nulovou nebo velmi nízkou návratností ptáků, prací zkoumajících druh, jehož tahová cesta a zimoviště jsou již známy, nebo výsledky nepřinášející průlomový vhled do ekologie druhu. V metaanalýzách se může projevit také zkreslení jazykové, kdy jsou do srovnávací studie zahrnuty převážně práce publikované v jednom jazyku (nejčastěji angličtině) a na hledání studií v jiných jazycích již není kladen příliš velký důraz (Jüni a kol. 2002). Publikačnímu a jazykovému zkreslení je potřeba předcházet vyhledáváním nepublikovaných a cizojazyčných prací či alespoň přítomnost publikačního zkreslení testovat.

## Metodika

### Výběr prací a sběr nepublikovaných dat

Detailně jsem hledal práce využívající světelné geolokátory ke studiu ekologie malých druhů ptáků o průměrné hmotnosti těla do 100 g podle Bridge a kol. (2013). Do hledání jsem nezahrnul bahňáky (Charadrii), u kterých byl efekt geolokátorů podrobně i v nepublikovaných studiích zkoumán nedávno (Weiser a kol. 2016). Publikované práce jsem hledal v databázi Web of Science Core Collection (parametry hledání: TS=(geoloc\* AND (bird OR avian OR migra\*) OR geologg\*)) a databázi Scopus (parametry hledání: TITLE-ABS-KEY(geoloc\* AND (bird\* OR migra\*) OR geologg\*)) k 15. únoru 2017. Do analýzy jsem zahrnul také všechny práce citované v rešeršní studii Bridge a kol. (2013), jakož i práce odpovídající výše popsáním parametrům přijaté k publikaci a zveřejněné online na internetových stránkách ornitologických impaktovaných časopisů (Thomson Reuters 2017). Osobní korespondencí se všemi autory publikovaných prací odpovídajících parametrům výběru, jejichž text jsem přečetl (viz obr. 1),



Obr. 1: Vývojový PRISMA diagram (podle Mohera a kol. 2009) znázorňující průběh hledání, výběr a počet studií a záznamů následně zahrnutých do analýzy.

jsem zažádal o údaje, které v pracích chyběly a pro analýzu byly nezbytné (např. přítomnost kontrolní skupiny, návratnost, velikost skupin) nebo žádoucí (vysvětlující proměnné; viz příloha 1). Současně jsem se autorů dotázal také na přítomnost doplňujících nepublikovaných dat. Pro získání nepublikovaných výsledků jsem společně s Petrem Procházkou kontaktoval všechny výrobce geolokátorů (Biotrack, Cornell, Eli Bridge, Lotek, Migrate Technology a Swiss Ornithological Institute) s prosbou o oslovení jejich zákazníků, členy Migrant Landbird Study Group a zveřejnil výzvu k zapojení se do studie na diskuzním fóru Ornithology Exchange. Prosbě o oslovení zákazníků vyhověli všichni velcí výrobci geolokátorů: Biotrack, Lotek, Migrate Technology a Swiss Ornithological Institute. Pokud autoři zaslali nepublikované doplňující výsledky spadající do jiné kategorie vysvětlované proměnné efektu geolokátorů (viz níže), ale týkající se těchž jedinců z již publikované práce (často data o tělesné kondici), považoval jsem tyto výsledky za nepublikované se samostatnou identitou studie. Naopak doplňující data týkající se stejné kategorie efektu geolokátorů stejného výzkumného týmu ze stejné lokality, jehož práce využití geolokátorů již publikována byla, jsem považoval za publikované. U těchto výsledků není předpoklad přítomnosti publikačního zkreslení, protože tyto informace nejsou selektovány vlivem malého vzorku či velikosti efektu. Pokud práce studovala více než jeden druh ( $n = 4$ ), rozdělil jsem ji na části se samostatnou identitou studie týkající se pouze jednoho druhu. Rozdíl hmotností geolokátorem značených a kontrolních ptáků jsem hodnotil párovým t-testem pouze v pracích, které udávaly hodnoty pro obě skupiny.

### **Vysvětlované proměnné, definice experimentálních skupin**

Efekt geolokátorů jsem zjišťoval prostřednictvím proměnných, které jsem rozdělil do čtyř kategorií – návratnost, tělesná kondice, fenologie a hnízdní úspěšnost (příloha 2). Vysvětlované proměnné jsem do těchto kategorií rozdělil, protože předpokládám odlišný dopad geolokátorů na různé životní projevy sledovaných druhů (např. efekt geolokátoru může mít jiný vliv na fenologii než na návratnost sledovaných jedinců). Ve všech kategoriích jsem srovnával dvě skupiny jedinců – ptáky experimentální (nesoucí geolokátor) a ptáky kontrolní. Experimentálními jedinci byli ptáci označení geolokátorem vyjma ptáků geolokátorem označených opakovaně, u kterých lze očekávat např. multiplikativní účinek geolokátoru či přetrvání efektu z předchozích let (z angl. *carry-over effect*). Kontrolní skupinou ptáků byli jedinci stejného druhu, stáří, pohlaví a ze stejné studijní lokality jako ptáci značení geolokátorem. Pokud kontrolní skupina jedinců nebyla založena v daném roce, použil jsem průměrnou návratnost jedinců stejného pohlaví a stáří ze stejné lokality z předchozích let. Mezi kontrolní jedince jsem nezařadil ptáky nesoucí geolokátor

v předchozích letech z důvodu možného přetrvání efektu z předchozího roku či let. Při sledování efektu geolokátorů na změnu tělesné hmotnosti v období mezi nasazením a sejmutím geolokátoru jsem, na rozdíl od výše uvedených srovnání, použil pouze jedince označené geolokátorem a nesrovnával jejich hmotnost s kontrolní skupinou. Do analýzy jsem zahrnul všechny práce obsahující alespoň jednu z proměnných přílohy 2 pro obě skupiny ptáků (experimentální–kontrolní nebo experimentální–experimentální).

V kategorii návratnost jsem rozeznával dvě proměnné – podíl zpětně odchycených jedinců nebo jedinců zpětně zaznamenaných na studijní lokalitě se skupinou obdobně zaznamenaných kontrolních jedinců. Geolokátorem označení ptáci, kteří byli zpětně odchyceni bez geolokátoru, byli konzervativně odstraněni z celkového počtu geolokátorem označených ptáků, protože není možné určit, kdy pták geolokátor ztratil a jak dlouhou dobu jej tedy nesl. Do skupiny ptáků zpětně zaznamenaných patří zpětně odchycení nebo zpětně pozorování (identifikování podle unikátní kombinace barevných kroužků) ptáci označení geolokátorem. Podobně jsem do této skupiny a do celkového počtu geolokátorem označených ptáků nezahrnul jedince odchycené se spadlým geolokátorem a ptáky, u nichž si autoři byli zcela jisti, že pozorovali (či pořídili videozáznam) jedince bez geolokátoru. Ve všech ostatních případech (autoři nezmiňují pozorování ani odchyt ptáka se spadlým geolokátorem) jsem považoval všechny zbylé zpětně pozorované geolokátorem označené ptáky za navracené s geolokátorem.

Velikost efektu jsem vypočetl pro jednotlivé skupiny experimentálních ptáků a jim odpovídající kontrolní jedince. Takovýchto záznamů velikostí efektů mohlo být v jedné studii a kategorii efektu více (návratnost:  $\bar{x} = 3,1 \pm 3,2$  [sd]; rozpětí = 1–18; tělesná kondice:  $1,5 \pm 1,3$ ; 1–7; fenologie: =  $1,9 \pm 1,5$ ; 1–6; hnízdní projevy:  $1,2 \pm 0,4$ ; 1–2;). Tyto záznamy jako jednotky metaanalýzy jsem podle dostupných informací definoval jako nejmenší možné skupiny jedinců označených geolokátorem a jim odpovídající kontrolní skupiny (viz výše) v čase a prostoru, podle studovaného druhu a pohlaví, hmotnosti geolokátoru, délky tyčinky nesoucí senzor nebo vedoucí světlo k senzoru (dále jen „tyčinky“) a elasticity materiálu upevňující geolokátor k tělu. Každý takový záznam představoval řádek vstupující do analýz jako jeden datový bod. Všechny záznamy v jednotlivých kategoriích obsahovaly unikátní geolokátorem značené jedince. Pokud dvě studie využívaly stejnou skupinu jedinců v jedné kategorii, zařadil jsem informace ze studie, ve které bylo jedinců více či bylo možné získat více experimentálních skupin. Skupiny jsem definoval co nejpřesněji, abych předešel výpočtu efektu na souhrnném souboru dat, kde se může projevit tzv. Simpsonův paradox. Ten může nastat při výpočtu velikosti efektu ze sloučených skupin, kde výsledný efekt může být odlišný od sumarizovaného efektu dílčích skupin (O'Farrell



a Egger 2000, Borenstein a kol. 2009). Pouze v několika případech ( $n = 10$ ), kdy některá ze skupin zahrnovala údaje pouze o jednom jedinci, jsem takové skupiny sloučil s daty stejné studie v předchozím (případně následujícím) roce, protože varianci velikosti efektu (viz níže) v těchto případech nelze vypočítat.

Pokud studie obsahovala záznamy týkající se více než jedné vysvětlované proměnné v jedné z kategorií (vyjma návratnosti) získané ze stejné skupiny jedinců, pro které bylo možné vypočítat velikost efektu ( $n = 7$ ), vybral jsem pro analýzu náhodně jeden z nich pomocí funkce *runif*. Pokud byly v kategorii návratnosti k dispozici data pro obě závislé proměnné bez rozlišení pohlaví jedinců (podíl odchycených i zpětně zaznamenaných jedinců), použil jsem pro analýzu počty zpětně zaznamenaných jedinců obou skupin, protože počet opětovně odchycených jedinců může být více zatížený rozdílným terénním úsilím cílícím primárně na ptáky navrátnější se s geolokátory (především u studií využívajících individuálního barevného značení).

### **Výpočet dílčích velikostí efektu**

V případě binárních dat (u návratnosti a úspěšnosti hnízdění) jsem pro každý záznam z dostupných informací o proporci úspěchu (vrátili se vs. nevrátili se, úspěšně vs. neúspěšně vyhníždili) a velikosti vzorku experimentální a kontrolní skupiny vypočetl velikost efektu jako logaritmický poměr šancí a jeho varianci podle Borensteina a kol. (2009). Vzhledem k velkému počtu prací s velmi malou nebo nulovou návratností některé z obou skupin jedinců a časté nevyvážené struktury záznamů (rozdílné velikosti skupin) jsem logaritmické poměry šancí spočetl s TACC korekcí kontinuity podle Schwarzera a kol. (2014; z angl. *treatment arm continuity correction*; Sweeting a kol. 2004). Pro spojitá data jsem z průměrů, směrodatných odchylek a velikostí vzorků obou skupin vypočetl velikost efektu jako standardizovaný rozdíl průměrů (Cohenovo  $d$ ) a jeho varianci podle Borensteina a kol. (2009). Logaritmický poměr šancí, Cohenovo  $d$  a variance těchto odhadů jsem poté převedl na chybu nezatíženou standardizovanou Hedgesovo  $g$  a jeho varianci (Hedges 1981, 1982, Borenstein a kol. 2009). Pro výpočet variance velikosti efektu spojitých dat na meziročně měřených jedincích nesoucích geolokátory (párové testy závislých skupin) jsem využil vzorce Beckera (1988). Pokud jsem v primárních studiích nenašel výše uvedené údaje k výpočtu velikosti efektu, využil jsem publikovaných testových statistik  $F$ ,  $t$  nebo  $\chi^2$  a velikosti experimentální a kontrolní skupiny ptáků pro výpočet Hedgesova  $g$  a jeho variance pomocí funkcí *fes*, *tes* a *chies* knihovny *compute.es* (Del Re 2013). Rozdíly regresních koeficientů mezi experimentální a kontrolní skupinou a střední chyby těchto odhadů jsem převedl na velikosti efektů podle Lipseyho

a Wilsona (2001) na Hedgesovo  $g$  a jeho varianci. Velikosti efektů jednotlivých záznamů v kategoriích návratnost a kondice prezentuji lesním diagramem (z angl. *forest plot*) znázorňujícím velikost efektu a s ním spojenou střední chybu odhadu. Negativní hodnoty velikosti efektu (Hedgesova  $g$ ) implikují nižší návratnost, horší kondici a hnízdní úspěšnost nebo pozdější načasování ptáků značených geolokátory. Pokud 95% konfidenční interval velikosti efektu neobsahoval nulu, považoval jsem ho za statisticky významný ( $\alpha = 5\%$ ).

### **Výpočet celkového efektu**

Souhrnný efekt geolokátoru na malé druhy ptáků jsem odhadl souhrnně pro všechny dostupné záznamy a pro jednotlivé kategorie zvlášť nulovým modelem (bez vysvětlujících proměnných) s hierarchickým smíšeným efektem pomocí funkce *rma.mv* (optimalizér *optim*) knihovny *metafor* (Viechtbauer 2010). Mezizáznamovou variabilitu jsem odhadl metodou maximální věrohodnosti (ML, z angl. *maximum likelihood*; Borenstein a kol. 2009). Při sumarizaci efektu jsem variance odhadů velikosti efektů záznamů použil k jejich vážení. U modelu s pevnými efekty jsou dílčí velikosti efektů váženy pouze variabilitou vnitrozáznamovou. U modelu s náhodnými efekty je pak efekt každého záznamu vážen součtem vnitrozáznamové a mezizáznamové variance (Koricheva a kol. 2013). Protože vážení v modelu s náhodnými efekty zohledňuje i mezistudiijní varianci, jsou jednotlivé váhy ve srovnání s modelem s pevnými efekty vyrovnanější – tj. záznamy založené na malém počtu jedinců jsou srovnatelnější se záznamy založenými na velkých vzorcích. Modely s pevnými efekty se využívají za předpokladu, že veškerá vnitrozáznamová variabilita je způsobena chybou měření a ta jako jediný element způsobuje odchylku od velikosti efektu v základním souboru. Modely s náhodnými efekty předpokládají, že variabilita je navíc způsobena odlišností základních souborů, ze kterých jednotlivé skupiny s náhodným efektem pocházejí (Koricheva a kol. 2013). Hierarchického uspořádání náhodného efektu jsem použil, protože umožňuje lépe popsat závislost jednotlivých hierarchických úrovní v nasbíraných datech (Koricheva a kol. 2013). Veškeré modely prezentované v této práci jsem spočetl s náhodným efektem studijní lokality (zeměpisné délky a šířky) uhnížděné v identitě studie, následně uhnížděné v identitě druhu (nejvyšší hierarchický stupeň). Tímto hierarchickým členem jsem zohlednil závislost záznamů jedné studie provedené na více studijních lokalitách, to že na jednotlivých druzích mohlo probíhat více studií prováděných různými týmy s různým terénním úsilím a fakt, že se efekt geolokátorů může lišit mezi druhy. Pro porovnání velikostí celkových efektů v jednotlivých kategoriích mezi sebou jsem použil modelu s pevným efektem kategorie s výše uvedenými čtyřmi úrovněmi.

### **Vysvětlující proměnné (moderátory)**

Vysvětlující proměnné efektu geolokátorů (dále jen „moderátory“) společně s jednotkami a nabývanými hodnotami jsou uvedeny v příloze 1. Studované druhy jsem rozřadil do dvou ekologických skupin – vzdušní lovci a ostatní druhy – podle způsobu lovu potravy (podle del Hoyer a kol. 1997–2011). Jako vzdálenost hnízdiště a zimoviště jsem použil průměrnou hodnotu přímé ortodromické vzdálenosti mezi hnízdištěm a zimovištěm. Pokud ortodromická vzdálenost v práci uvedena nebyla, použil jsem publikovanou mapu se zaznamenanými pozicemi, převedl ji v programu QGIS (QGIS Development Team 2017) do rastrové podoby a vzdálenost hnízdiště a zimoviště vypočetl pomocí funkce *gdist* knihovny *Imap* (Wallace 2012). Relativní zatížení ptáků pro jednotlivé záznamy jsem vypočetl jako podíl průměrné hmotnosti geolokátoru s popruhy pro jednotlivé záznamy a průměrné hmotnosti geolokátorem označených ptáků daného záznamu. Pokud práce obsahovala informaci pouze o hmotnosti geolokátoru bez popruhů, přičítal jsem k této hmotnosti 0,1 g jako nejčastěji uváděnou hmotnost popruhů v ostatních studiích. Délku tyčinek geolokátoru jsem zaznamenával v mm, přičemž geolokátory bez tyčinek měly tuto hodnotu nulovou.

### **Modelování závislosti efektu (metaregrese)**

Variabilitu velikosti efektu jednotlivých záznamů jsem modeloval prostřednictvím moderátorů, které do modelu vstupovaly jako pevné efekty (příloha 1). Stejně jako pro výpočet celkového efektu geolokátorů v kategoriích a nulových modelech jsem použil metaregresní modely s hierarchickým smíšeným efektem a metodu ML pro určení míry mezizáznamové variability. Vzhledem k malému množství záznamů v kategorii fenologie a hnízdní úspěšnosti jsem u těchto dvou kategorií efektu metaregresi neprováděl. Stejně jako pro výpočet celkového efektu jsem pro výpočet metaregresních modelů použil funkci *rma.mv* knihovny *metafor* (Viechtbauer 2010). Volbu moderátorů jsem předem pečlivě zvážil a odvíjela se od dostupnosti relevantních údajů v primárních studiích a zejména jejich biologické smysluplnosti pro vysvětlení velikosti efektu geolokátorů na malé ptáky. Závislost velikosti efektu v kategorii návratnosti jsem modeloval pomocí délky tyčinky, ekologické skupiny, elasticity popruhů, pohlaví, publikovanosti výsledku, relativního zatížení a vzdálenosti zimoviště od hnízdiště. Vzhledem k malému množství dat ( $n = 47$ ) jsem velikost efektu v kategorii tělesné kondice vysvětloval pouze pomocí ekologické skupiny a publikovanosti výsledku. Interakce těchto moderátorů jsem vybíral obdobně, pokud měly statisticky nevýznamný vliv, pro jednoduchost a přehlednost je neuvádím ve výsledné tabulce modelu (jedná se o relativní zatížení  $\times$  délka tyčinky a relativní zatížení  $\times$  vzdálenost

zimoviště od hnízdiště). Ve výsledcích prezentuji plné modely. Koeficient determinace plných modelů jsem vypočetl jako poměr logaritmované věrohodnosti plného modelu a logaritmované věrohodnosti modelu bez moderátorů vypočtený na stejném datovém souboru (tzv. McFaddenovo  $R^2$ ). Počet odhadů dílčích velikostí efektů, které vstupovaly do plného modelu, je menší než v nulovém modelu použitém pro výpočet celkové velikosti efektu, protože jsem musel vyloučit odhady efektů, pro něž chyběly hodnoty moderátorů vstupujících do modelu. Všechny spojitě moderátory jsem před vstupem do modelů centroval a škáloval pomocí funkce *scale* pro snazší porovnání moderátorů, interpretaci a přehlednost výsledku modelu. Multikolinearitu moderátorů vstupujících do modelů jsem hodnotil na základě korelační matice vytvořené funkcí *rcorr* knihovny *Hmisc* (Harrell 2016). Silnou korelaci jsem zaznamenal pouze u ekologické skupiny a relativního zatížení (Pearsonovo  $\rho = -0,69$ ;  $P < 0,001$ ; všechny ostatní korelace:  $|\rho| \leq 0,41$ ), a proto jsem tyto dva moderátory nevyužíval v modelu společně, ale vypočetl dva nezávislé modely (model A – relativní zatížení a model B – ekologická skupina). Pro výpočet závislosti velikosti efektu na jednom moderátoru ve všech dostupných datech, kde je daný moderátor specifikován, jsem použil jednomoderátorový model se stejným smíšeným členem a metodou určení mezizáznamové variability, jak je specifikováno výše. Závislost velikosti efektu na kategorických proměnných prezentuji bodovým grafem, výsledné odhady efektů a jejich střední chyby jsou z plného modelu. Závislosti velikosti efektu na spojitých moderátorech jsem vizualizoval bublinovým grafem (z angl. *bubble plot*), který zobrazuje velikost efektu vůči hodnotám moderátoru, přičemž přesnost jednotlivých záznamů (1/variance odhadu velikosti efektu) jsem znázornil pomocí velikosti jednotlivých bodů v grafu. Regresní koeficienty a 95% konfidenční intervaly odhadů regresních přímek v grafu jsem vypočetl z modelu pouze s prezentovanými moderátory, na stejném datovém souboru a se stejným náhodným členem, jaký prezentuji v souhrnném výsledku modelu, protože funkce predikování hodnot pro multimoderátní modely (modely třídy *rma.mv*) se smíšenými efekty nebyla doposud do knihovny *metafor* implementována (Viechtbauer 2016).

### **Kumulativní metaanalýza, heterogenita a publikační zkreslení**

Časový trend ve velikosti efektu napříč kategoriemi jsem testoval znaménkovým testem rozdílů výsledných efektů jednotlivých kroků kumulativní metaanalýzy (funkce *cumul* z knihovny *metafor*) pro záznamy všech kategorií seřazené vzestupně podle roku začátku sběru dat (Koricheva a kol. 2013). Mezizáznamovou variabilitu (heterogenitu) jsem odhadl metodou ML samostatně pro každou kategorii. Heterogenitu jednotlivých kategorií efektu geolokátorů

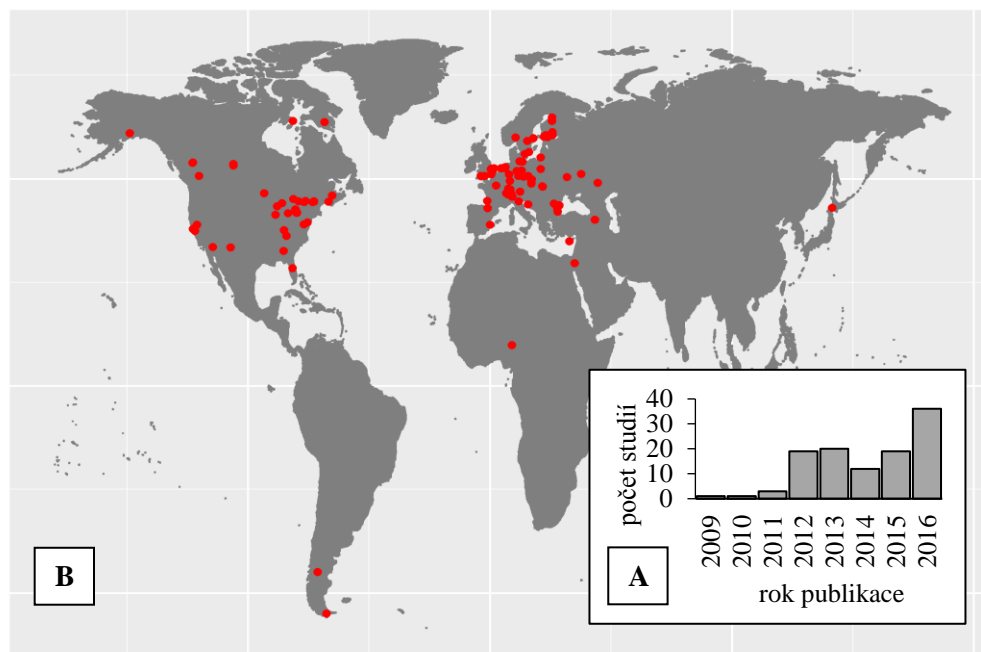
prezentují hodnotou  $I^2$  – mírou heterogenity (mezizáznamové variability) vůči celkové variabilitě (%) – a testovou statistikou  $Q$  – váženou sumou čtverců odchylek mezizáznamové variability od průměrné hodnoty, přičemž testuji odchylku míry heterogenity  $Q$  nulové heterogenity. Odhad  $I^2$  a test  $Q$  jsem vypočetl pomocí funkce *rma* (Viechtbauer 2010).

Přítomnost publikačního zkreslení a efektu malých studií, které vznikají zvýšenou pravděpodobností publikace prací s velkým studijním vzorkem nebo silně signifikantním výsledkem, jsem vizualizoval nálevkovým grafem (z angl. *funnel plot*; Lau a kol. 2006) porovnávajícím velikost efektu záznamu vůči jeho přesnosti (1/střední chyba odhadu velikosti efektu). Odchylku od symetrie nálevkového grafu, a tedy přítomnost publikačního zkreslení, jsem testoval Kendallovým pořadovým korelačním koeficientem mezi střední chybou odhadu efektu záznamů nebo počtem geolokátorem označených ptáků a velikostí efektu záznamů pro jednotlivé čtyři kategorie. Dále jsem metodou *trim and fill* odhadl počet studií chybějících k úplné symetrii na pravé straně nálevkového grafu u všech kategorií (Duval a Tweedie 2000). K výpočtu počtu studií chybějících k plné symetrii nálevkového diagramu jsem použil funkci *trimfill* knihovny *metafor* (Viechtbauer 2010). Jako poslední způsob ověření přítomnosti publikačního zkreslení pro každou kategorii jsem zvolil výpočet Rosenthalova zabezpečujícího čísla (z angl. *Rosenthal's fail-safe number*; Rosenthal 1979), které udává počet nezařazených studií potřebných k odchýlení výsledného celkového efektu na nulu. Pokud není uvedeno jinak, veškeré analýzy a statistické testy jsem provedl v programu R, verzi 3.3.1 (R Core Team 2016).

## Výsledky

Z celkového počtu 130 publikací (481 záznamů) vyhovujících parametrům hledání a 264 získaných nepublikovaných záznamů 49 studií jsem vypočetl velikost efektu a zařadil do analýzy 62 publikovaných studií (179 záznamů; 54 %; příloha 3) a 43 nepublikovaných studií (153 záznamů; 46 %; příloha 4; obr. 1). Práce zahrnuté do analýzy studovaly 5 318 geolokátorem značených a 13 108 kontrolních jedinců 57 druhů ptáků osmi řádů: Apodiformes, Caprimulgiformes, Cuculiformes, Columbiformes, Coraciiformes, Piciformes, Psittaciformes a Passeriformes (příloha 3 a 4). První studie byla publikována v roce 2009 (Stutchbury a kol.) a od té doby počet publikovaných prací téměř každoročně narůstá (obr. 2). Většina záznamů zařazených do analýzy využívajících geolokátory ke studiu malých druhů ptáků pochází z Evropy (69 %) a Severní Ameriky (29 %;  $n = 332$ ; obr. 2). Z celkového počtu 130 studií vyhovujících parametrům hledání bylo 98 % psáno anglicky. Experimentální skupina ptáků měla v průměru  $0,51 \pm 0,16$  g (SE) vyšší hmotnost než skupina kontrolní (párový t-test:  $t = 3,22$ ;  $df = 158$ ;  $P = 0,002$ ).

Sumární efekt geolokátorů dostupných záznamů všech kategorií byl slabě negativní ( $\bar{x} = -0,06$ ; SE = 0,01; 95% CI = [-0,09; -0,04];  $P < 0,001$ ). Mezi velikostmi efektů v jednotlivých



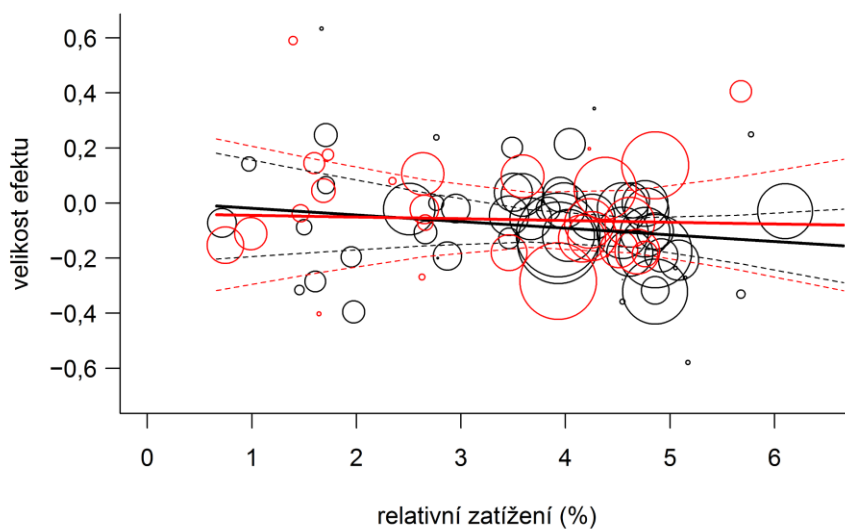
Obr. 2: Počet publikovaných prací zkoumajících ekologii malých druhů ptáků pomocí geolokátorů v jednotlivých letech (A;  $n = 62$ ; nekompletní rok 2017 zahrnut není) a geografická poloha všech studijních lokalit (body) zařazených do analýzy (B; cylindrická projekce).

kategoriích jsem nenalezl statisticky významný rozdíl ( $F = 1,63$ ;  $df_1 = 3$ ;  $df_2 = 328$ ;  $P = 0,182$ ). Geolokátory měly slabý negativní vliv na návratnost (lesní diagram v příloze 5) a tělesnou kondici (lesní diagram v příloze 6). Efekt geolokátorů na načasování událostí ročního cyklu byl slabě negativní, naopak na hnízdní projevy spíše pozitivní, ale v obou případech statisticky nevýznamný (tab. 1).

Vliv relativního zatížení na návratnost se lišil mezi pohlavími (model A, tab. 2), přičemž u samců negativní efekt rostl rychleji se zvětšujícím se relativním zatížením (obr. 3). Návratnost druhů lovicích aktivně v letu (model B, tab. 2) byla negativně ovlivněna délkou tyčinky geolokátorů na rozdíl od ostatních druhů, u nichž nebyl efekt délky tyčinky statisticky

Tab. 1: Odhad celkového efektu geolokátorů (Hedgesovo  $g$ ) na malé ptáky pro jednotlivé kategorie společně se střední chybou odhadu, 95% konfidenčním intervalem a  $P$ -hodnotu testu odchylky od nulového efektu, počtem záznamů v dané kategorii ( $n$ ), mírou heterogenity ( $I^2$ ; %), testovou statistikou  $Q$  a s ní spojenou  $P$ -hodnotou testu odchylky od nulové heterogenity.

kategorie	velikost efektu $\pm$ SE	95% CI	$P$	$n$	$I^2$	$Q$	$P$
návratnost	$-0,07 \pm 0,02$	$[-0,10; -0,04]$	$<0,001$	257	36,1	309,9	0,012
tělesná kondice	$-0,04 \pm 0,02$	$[-0,07; -0,01]$	0,016	47	0,1	67,1	0,023
fenologie	$-0,17 \pm 0,09$	$[-0,35; 0,02]$	0,078	17	19,1	19,1	0,266
hnízdění projevy	$0,07 \pm 0,11$	$[-0,18; 0,33]$	0,527	11	73,8	23,2	0,010



Obr. 3: Závislost velikosti efektu (Hedgesovo  $g$ ) relativního zatížení jedinců pro jednotlivá pohlaví (samice – červená, samci – černá). Relativní zatížení je dáno poměrem hmotnosti geolokátoru s popruhy a těla sledovaného jedince. Přerušované čáry znázorňují 95% konfidenční intervaly odhadů regresních přímek. Kruhy znázorňují datové body (samice – červená, samci – černá), přičemž jejich velikost odpovídá logaritmu přesnosti záznamů ( $1/\text{variance}$  odhadu efektu).

Tab. 2: Vliv délky tyčinky geolokátoru, elasticity materiálu popruhů, pohlaví, publikovanosti výsledků, relativního zatížení, vzdálenosti hnízdiště a zimoviště a ekologické skupiny na velikost efektu (Hedgesovo  $g$ ) geolokátorů v kategorii návratnost ( $n = 94$ ). Model A (bez ekologické skupiny) a model B (bez relativního zatížení) prezentují samostatně kvůli vzájemné kolinearitě těchto dvou moderátorů (viz Metodika).

### Model A

proměnná	odhad $\pm$ SE	df	$F$	$P$
intercept	-0,15 $\pm$ 0,07	86	-2,14	0,036
délka tyčinky	-0,02 $\pm$ 0,02	1	2,54	0,114
materiál popruhů – elastický	-0,15 $\pm$ 0,07	1	1,08	0,302
materiál popruhů – neelastický	-0,08 $\pm$ 0,06			
pohlaví – samci	-0,07 $\pm$ 0,07	1	5,62	0,020
pohlaví – samice	-0,15 $\pm$ 0,07			
publikovanost – publikovaný	-0,12 $\pm$ 0,04	1	0,22	0,614
publikovanost – nepublikovaný	-0,15 $\pm$ 0,07			
relativní zatížení	0,10 $\pm$ 0,05	1	5,13	0,026
vzdálenost	<0,01 $\pm$ 0,02	1	0,01	0,903
pohlaví $\times$ rel. zatížení – samci	-0,04 $\pm$ 0,03	1	13,78	<0,001
pohlaví $\times$ rel. zatížení – samice	0,06 $\pm$ 0,04			

Celkový test modelu A:  $F = 3,03$ ;  $df_1 = 7$ ;  $df_2 = 86$ ; McFaddenovo  $R^2 = 29,1\%$ ;  $P = 0,007$ .

### Model B

proměnná	odhad $\pm$ SE	df	$F$	$P$
intercept	0,02 $\pm$ 0,06	85	0,27	0,786
délka tyčinky	-0,03 $\pm$ 0,02	1	2,20	0,142
ekologická skupina – vzdušní letci	-0,03 $\pm$ 0,07	1	38,02	<0,001
ekologická skupina – ostatní druhy	0,02 $\pm$ 0,06			
materiál popruhů – elastický	0,02 $\pm$ 0,06	1	1,62	0,206
materiál popruhů – neelastický	0,09 $\pm$ 0,05			
pohlaví – samci	-0,14 $\pm$ 0,06	1	26,72	<0,001
pohlaví – samice	-0,26 $\pm$ 0,07			
publikovanost – publikovaný	-0,12 $\pm$ 0,02	1	0,05	0,824
publikovanost – nepublikovaný	-0,14 $\pm$ 0,06			
vzdálenost	<0,01 $\pm$ 0,02	1	<0,01	0,970
ekol. sk. $\times$ délka tyčinky – vzdušní lovci	-0,03 $\pm$ 0,02	1	4,03	0,048
ekol. sk. $\times$ délka tyčinky – ostatní druhy	0,02 $\pm$ 0,02			
ekol. sk. $\times$ pohlaví – vzdušní lovci + samci	-0,14 $\pm$ 0,03	1	36,28	<0,001
ekol. sk. $\times$ pohlaví – vzdušní lovci + samice	-0,26 $\pm$ 0,03			
ekol. sk. $\times$ pohlaví – ostatní druhy + samci	-0,15 $\pm$ 0,02			
ekol. sk. $\times$ pohlaví – ostatní druhy + samice	0,02 $\pm$ 0,03			

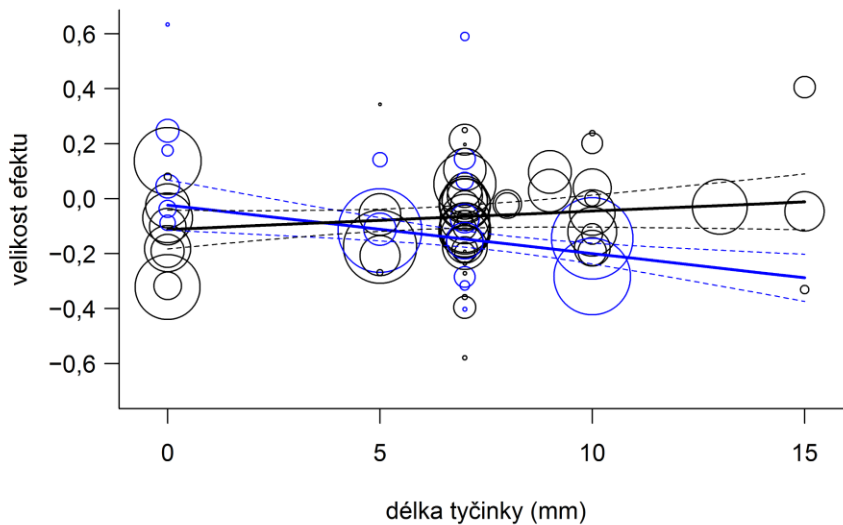
Celkový test modelu B:  $F = 8,47$ ;  $df_1 = 8$ ;  $df_2 = 85$ ; McFaddenovo  $R^2 = 79,6\%$ ;  $P < 0,001$ .



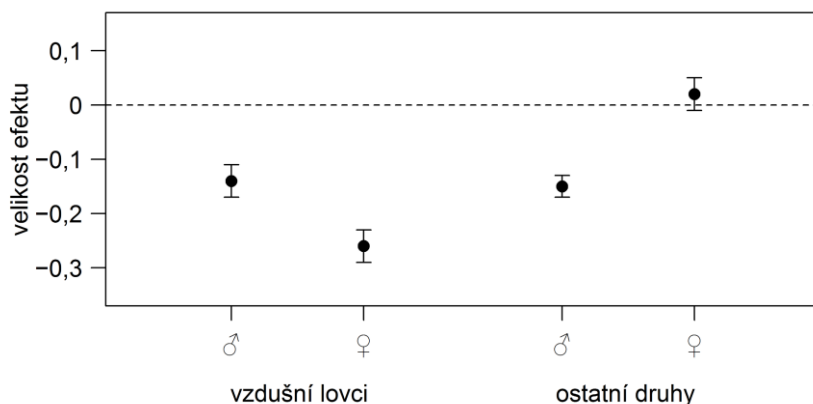
významný (obr. 4). Z jednomoderátorového modelu vyplývá, že relativní zatížení samostatně nemělo na velikost efektu vliv ( $\bar{x} = -0,03$ ; SE = 0,02; df = 241;  $t = -1,45$ ;  $P < 0,148$ ).

Velikost efektu geolokátorů se navíc lišila mezi pohlavími u obou ekologických skupin a mezi samicemi obou ekologických skupin, přičemž nejsilnější negativní efekt byl u samic druhů aktivně lovcích v letu a naopak nejslabší u samic ostatních druhů (tab. 2, obr. 5). Ekologická skupina měla, podle jednomoderátorového modelu, významný vliv na návratnost sledovaných jedinců ( $F = 4,79$ ;  $df_1 = 1$ ;  $df_2 = 255$ ;  $P = 0,030$ ). Vzdálenost zimoviště od hnízdiště, materiál popruhů geolokátorů a publikovanost výsledků neměla na návratnost geolokátorem značených jedinců vliv (tab. 2). Efekt geolokátorů v kategorii tělesné kondice v plném modelu nevysvětlil žádný z moderátorů ( $F = 1,31$ ;  $df_1 = 2$ ;  $df_2 = 44$ ;  $P = 0,281$ ).

Nenašel jsem žádný časový trend ve velikosti efektu v průběhu let (znaménkový test:  $P = 0,379$ ). Přítomnost publikačního zkreslení jsem neodhalil v žádné z kategorií efektu geolokátorů ani testováním asymetrie nálevkového grafu (příloha 7), korelačním testem mezi velikostí efektů záznamů a střední chybou odhadů efektu, ani korelačním testem mezi velikostí efektů záznamů a velikostí skupiny ptáků označených geolokátorem. Heterogenita efektů v kategoriích se pohybovala od 0,1 % (tělesná kondice) po 74 % (hnízdění projevy; tab. 1). V kategorii hnízdních projevů, návratnosti a tělesné kondice byla míra mezizáznamové



Obr. 4: Závislost velikosti efektu (Hedgesovo  $g$ ) na délce tyčinky geolokátoru nesoucí světelný senzor nebo k němu vedoucí světlo pro jednotlivé ekologické skupiny (vzdušní lovci – modrá, ostatní druhy – černá) a 95% konfidenční intervaly odhadu regresních přímek (přerušované čáry). Kruhy znázorňují datové body (vzdušní lovci – šedá, ostatní druhy – černá), přičemž jejich velikost odpovídá logaritmu přesnosti záznamů ( $1/\text{variance}$  odhadu efektu).



Obr. 5: Velikosti efektu (Hedgesovo  $g$ ) pro jednotlivá pohlaví vzdušných lovců a ostatních druhů (body) se střední chybou odhadu velikosti efektu (chybové úsečky). Přerušovaná čára značí nulový efekt.

variability statisticky významně odlišná od nuly. Pro záznamy v kategorii fenologie byla tato variabilita malá a statisticky nevýznamná (tab. 1). Počet prací potřebných k úplné symetrii (*trim and fill*) se pohyboval od 0 do 6 prací a Rosenthalovo zabezpečující číslo od 0 do 4 328 prací (tab. 3).

Tab. 3: Kendallové korelační koeficienty velikosti efektu (efekt) a střední chyby odhadu efektu záznamu ( $SE$ ) nebo počet geolokátorem značených jedinců v záznamu ( $N$ ) společně s  $P$ -hodnotou testu odchylky korelačního koeficientu od nuly. Počet studií potřebných k úplné symetrii nálevkového grafu metodou *trim and fill* (*trim fill*) a počet studií potřebných k vychýlení souhrnného efektu na nulu (Rosenthalovo číslo).

kategorie	efekt vs. $SE$		efekt vs. $N$		<i>trim fill</i>	Rosenthalovo číslo
	Kendallové $\tau$	$P$	Kendallové $\tau$	$P$		
návratnost	-0,03	0,517	-0,73	0,083	0	4328
tělesná kondice	-0,09	0,401	-0,12	0,277	0	0
fenologie	-0,03	0,903	-0,09	0,612	6	37
hnízdění projevy	0,45	0,060	-0,13	0,584	5	0

## Diskuze

Metaanalytickými metodami jsem z publikovaných a nepublikovaných výsledků studií využívajících světelných geolokátorů k výzkumu ekologie malých druhů ptáků zjistil, že tato sledovací zařízení velmi slabě negativně ovlivňují návratnost a tělesnou kondici značených ptáků. Naopak hnízdní projevy a fenologie událostí ročního cyklu nebyly podle dostupných dat statisticky významně ovlivněny. Velikost efektu ovlivňoval způsob lovu potravy – vzdušní lovci byli ovlivněni silněji než ostatní druhy – přičemž mezi pohlavími ekologických skupin byly rozdíly ve velikosti efektu geolokátoru. Na velikost efektu geolokátoru mělo silněji vliv relativní zatížení u samců než samic a u délky tyčinky geolokátoru byl efekt silnější u vzdušných lovců v porovnání s ostatními druhy. V analyzovaných datech jsem žádnou metodou neprokázal přítomnost publikačního zkreslení.

Tyto výsledky korespondují s předchozími studiemi, které prokázaly negativní efekt geolokátorů (Costantini a Møller 2013, Weiser a kol. 2016) a dalších sledovacích zařízení jako radiotelemetrických vysílačů (Barron a kol. 2010, Snijders a kol. 2017) či satelitních vysílačů (Meyers a kol. 1998, Phillips a kol. 2003). Velikost celkového efektu, kterou jsem zjistil, je nejspíše mírně podhodnocena, a to z několika důvodů. Možný nesystematický výběr jedinců kontrolní skupiny, do které byli autory studií zařazeni také nehnízdní ptáci či ptáci průtažní s minimální návratností, mohl v některých studiích způsobit nadhodnocení návratnosti experimentálních jedinců v porovnání se skupinou kontrolní. Obdobně by se mohl projevit také rozdíl hmotností experimentální a kontrolní skupiny ptáků. Lepší tělesná kondice těžších experimentálních ptáků v době nasazení geolokátoru tak teoreticky mohla způsobit vyšší návratnost než u ptáků kontrolních s nižší hmotností. Podhodnocení negativního efektu geolokátorů na ptáky mohlo vzniknout také sloučením záznamů, ve kterých ptáci nesli geolokátory i v nepříznivých podmínkách, což podle předchozích výsledků může být hnízdní období (Pietz a kol. 1993, Barron a kol. 2010), nedostatek potravy (Saraux a kol. 2011, Wilson a kol. 2015) či extrémní počasí (Snijders a kol. 2017). Sloučením výsledků z těchto ojedinělých let nebo období může dojít navíc k vychýlení celkového efektu studie vlivem Simpsonova paradoxu (O'Farrell a Egger 2000, Borenstein a kol. 2009). Konzervativní vyřazení všech ptáků navrácených se spadlým geolokátorem mohlo do jisté míry vést ke zmenšení experimentálních skupin, a tedy ke zmenšení váhy těchto záznamů i při výpočtu celkového efektu. Velikost efektu geolokátorů v kategorii fenologie, hnízdních projevů a tělesné kondice může být pak podhodnocena sledováním pouze navrátilivších se jedinců, u kterých lze předpokládat menší negativní vliv v těchto kategoriích než u jedinců, kteří se zpět nevrátili. Přestože jsem

v analýzách využil všechny dostupné záznamy, většina z nich se zabývala pouze dlouhodobým (přibližně po dobu jednoho roku) efektem geolokátorů na ptáky, avšak z logiky věci vyplývá, že i krátkodobý (v rámci období nasazování geolokátorů, kdy pták nemigruje) negativní efekt může být přítomný, čemuž nasvědčují i závěry některých studií (Iguar a kol. 2005, Rodríguez-Ruiz a kol. 2015, Snijders a kol. 2017). Existují však i práce, které nezaznamenaly žádný krátkodobý (Matyjasik a kol. 2016, Bell a kol. 2017), ba dokonce ani dlouhodobý efekt geolokátorů (např. van Wijk a kol. 2015, Bell a kol. 2017).

Podobně může být celkový vypočtený efekt ovlivněn také specifičností skupiny druhů zařazených do této komparativní analýzy. Ptáky s geolokátory je pro získání zaznamenaných dat nezbytné zpětně odchytil, a proto se přednostně značí dobře prozkoumané a dlouhodobě sledované populace druhů s vysokou návratností, věrností hnízdištím, především temperátním areálem výskytu (obr. 2) a druhy s pravidelnými migračními cykly, u kterých může být dopad geolokátorů jiný než u druhů s menší návratností a věrností hnízdišti, cirkumpolárním či (sub)tropickým areálem výskytu či s nepravidelnými migračními cykly.

Statisticky nevýznamný efekt geolokátorů na hnízdní projevy značených ptáků přisuzují především malému počtu analyzovaných záznamů a studií, protože výsledky předešlých komparativních studií efektu radiových vysílaček a křídelních značek potvrdily negativní efekt především na hnízdní aspekty značených ptáků (Barron a kol. 2010, Trefry a kol. 2012, Snijders a kol. 2017). Avšak ani některé druhově specifické studie vliv geolokátorů na hnízdní aspekty značených ptáků neodhalily (Peterson a kol. 2015, Bell a kol. 2017, Raybuck a kol. 2017). Podobně se domnívám, že malý počet záznamů způsobil i statisticky nevýznamný celkový efekt v kategorii fenologie. Výsledná negativní hodnota velikosti efektu na fenologii událostí ročního cyklu byla přitom více než dvakrát větší ve srovnání s efektem v kategorii návratnosti a tělesné kondice. Nevýznamné rozdíly mezi celkovými velikostmi efektů v jednotlivých kategoriích mohou být způsobené velkým množstvím údajů pouze v kategorii návratnosti a tělesné kondice, čemuž nasvědčuje i velmi malý rozdíl celkového sumárního výsledku efektu geolokátorů a celkového efektu v obou těchto kategoriích.

Významný, avšak mezi pohlavími rozdílný efekt geolokátorů mělo relativní zatížení. U samců byl s rostoucím relativním zatížením negativní efekt mnohem silnější než u samic. Domnívám se, že samice jsou větším výchylkám hmotnosti a relativnímu zatížení přizpůsobené lépe než samci, protože v době hnízdění pouze samice kladou vejce, která před snesením vytvářejí a přenášejí ve vejcovodech a u velkého množství druhů také z větší části staví hnízda, což je spojené s častým nošením stavebního materiálu. Naopak samci jsou u malých druhů ptáků

častěji těžší s větším křídelním zatížením a poměrem hmotnosti těla k délce křídla než samice (van Balen 1967, Blem 1975). Tato domněnka ovšem dosud nebyla testována. Pohlaví s větší mírou péče o potomstvo, což jsou u malých druhů převážně samice, je vystaveno menší míře oxidativního stresu díky vyšší hladině antioxidantů nebo nižší hladině oxidativních hormonů v krvi (Bókony a kol. 2009, Markó a kol. 2011). Toto zjištění nasvědčuje vyšší toleranci relativního zatížení samicemi než samci. Na druhou stranu samci častěji létají při obhajobě teritorií, mnohdy i při zpěvu či při hledání příležitostí pro mimopárovou paternitu a péči o více než jedno hnízdo. Avšak důsledky polygynie ani míry mimopárových kopulací na letovou aktivitu, stresovou odpověď či tělesnou kondici ptáků doposud nikdo nezkoumal.

Samotné relativní zatížení není významným moderátorem velikosti efektu geolokátorů, což odpovídá výsledkům předchozích studií. Ty ukázaly, že i velmi malé relativní zatížení (< 3 % hmotnosti sledovaného jedince) může zapříčinit negativní efekt sledovacích zařízení (Rodríguez a kol. 2009, van Wijk a kol. 2015, Bell a kol. 2017), zároveň však ani vysoké zatížení (5,9 %) ptáky negativně ovlivnit nemusí (Bairlein a kol. 2012). Podobně se ukázalo, že i stejné relativní zatížení může mít na ptáky různý vliv v průběhu let (Bro a kol. 1999, van Wijk a kol. 2015). Zanedbatelný vliv relativního zatížení na návratnost ptáků by mohl být způsoben také častým kolísáním tělesné hmotnosti ptáků. Denní změny hmotnosti malých ptáků se pohybují i za hranicí 5 % (van Balen 1967), a ptáci proto mohou být na změny v rozmezí 5 % dobře adaptováni. Naopak Weiser a kol. (2016) zjistili, že bahňáci zatížení geolokátorem a individuálními značkami v úhrnu přesahujícími 2,5 % hmotnosti těla sledovaného jedince jsou negativně ovlivněni ve srovnání s jedinci zatíženými do 2,3 %. O něco vyšší prahovou hodnotu zjistili u mandelíků hajních (*Coracias garrulus*) Rodríguez-Ruiz a kol. (2015). Podobné hodnoty zjistili také Phillips a kol. (2003), kteří zrevidovali efekt satelitních vysílačů na délku letů za potravou u trubkonosých (Procellariiformes) a zjistili, že zatížení nad 3 % hmotnosti těla tyto lety prodlužuje. Domestikovaní holubi skalní (*Columba livia*) vykazovali sníženou rychlost letu se zvyšujícím se zatížením způsobeným samotnými popruhy a popruhy se zátěží. Navíc se u takto zatížených jedinců zvýšila produkce CO<sub>2</sub> ve svalech (Gessaman a Nagy 1988). Nejlepší zhodnocení účinnosti 5% pravidla zatížení sledovaného jedince provedli Aldridge a Brigham (1988), kteří na netopýry zkoušeli připevnit závaží až do 33 % hmotnosti jejich těla. Zjistili, že při 5% zatížení se sníží schopnost manévrovat o 5 %, a je tak eticky akceptovatelné. Tyto výsledky by mohly být srovnatelné s ptáky, kteří také létají a manévrovatelnost letu je pro ně rovněž důležitá. Komparativní studie efektu radiotelemetrických vysílačů Barrona a kol. (2010) ukázala negativní vliv rostoucího zatížení na návratnost, hnízdní úspěšnost a datum snesení

prvního vejce. Zjištění různých prahových hodnot doporučených jako limitní hodnoty zátěže sledovaných ptáků odpovídá zjištění Caccamise a Hedina (1985). Ti zjistili, že limitní hodnoty se odvíjejí od velikosti sledovaných jedinců – ptáci větší by měli být zatěžováni proporcčně méně než ptáci malí.

U druhů lovicích aktivně v letu jsem zjistil silnější negativní efekt ve srovnání s ostatními druhy, což koresponduje se zjištěním předchozí metaanalýzy efektu světelných geolokátorů na ptáky (Costantini a Møller 2013). S největší pravděpodobností je rozdíl ve velikosti efektů způsobený dobou strávenou v letu, protože plocha geolokátoru vystupující nad povrch peří zvyšuje odpor vzduchu a tím také energetický výdej letu (Bowlin a kol. 2010, Pennycuick a kol. 2012). Velikost efektu geolokátoru navíc ovlivňovala délka tyčinky, přičemž u druhů aktivně lovicích v letu negativní efekt rostl s její délkou více než u ostatních druhů. Práce potvrzující zvýšený odpor vzduchu s rostoucí plochou geolokátorů nad povrchem peří pocházejí pouze z experimentů v aerodynamických tunelech (Bowlin a kol. 2010, Pennycuick a kol. 2012). Naopak terénní studie provedená na bramborníčcích hnědých (*Saxicola rubetra*) efekt délky tyčinky nezaznamenala (Blackburn a kol. 2015). Bramborníci ovšem nepatří mezi druhy lovicí aktivně v letu, a měli by tudíž být, podle zjištění této práce, délkou tyčinky ovlivnění mnohem méně. Podobně neodhalili vliv délky tyčinky na velikost efektu geolokátorů u lesňáčků zlatokřídlých (*Vermivora chrysoptera*) ani Peterson a kol. (2015), kde však výsledek přisuzují do jisté míry také malému studijnímu vzorku. Délka tyčinky na druhou stranu pozitivně ovlivňuje přesnost určení pozice, jakož i obývaný biotop či chování (Fudickar a kol. 2012), protože efektivně zabraňuje zastínění senzoru peřím, ať už jeho vynesemím nad vrstvu peří, či vedením světla světlovodnou tyčinkou skrz peří k senzoru, a zvyšuje tak kvalitu zaznamenaných dat.

Návratnost se významně lišila mezi pohlavími u druhů nelovicích v letu i u vzdušných lovců. Samci vzdušných lovců měli návratnost vyšší než samice, u ostatních druhů tomu bylo naopak. K podobným výsledkům došli pouze Scandola a kol. (2014) u vlaštovek obecných (*Hirundo rustica*) a na jedné studijní lokalitě také Gómez a kol. (2015) zkoumající vlaštovky stromové (*Tachycineta bicolor*), kteří zjistili nižší návratnost samic než samců u těchto dvou druhů vzdušných lovců. Van Wijk a kol. (2015) pak prokázali rozdílnou návratnost mezi pohlavími dudků chocholatých (*Upupa epops*) pouze v jednom ze šesti studovaných let. Celkově však pohlaví nemělo na návratnost dudků chocholatých vliv. Szép a kol. (2017) zaznamenali téměř dvojnásobně nižší avšak statisticky nevýznamnou návratnost samců břehulí říčních (*Riparia riparia*), což odpovídá spíše výsledkům návratnosti druhů nelovicích aktivně v letu. Naopak Fairhurst a kol. (2015) na velkém vzorku vlaštovek obecných a vlaštovek stromových

rozdíly mezi pohlavími neprokázali. K podobným výsledkům došla i Arlt a kol. (2013) studující bělořity šedé (*Oenanthe oenanthe*). Mezi velkým množstvím studií využívajících geolokátory ke studiu malých druhů nelovících aktivně v letu jsem však nenašel žádnou další práci zkoumající vliv pohlaví. Tento fakt si vysvětluji zejména jednodušším odchytem teritoriálních samců, jejich vyšší věrností hnízdištím a z toho plynoucí menší studijní vzorky samic znemožňující robustní testování efektu pohlaví. Rozdíly mezi pohlavími u druhů nelovících aktivně v letu mohou být způsobené jinou mírou tolerance sledovacích zařízení mimo období letu, kde se rozdíl projevuje silněji u samců – nepohybují se s materiálem na stavbu hnízda, vejci a potravou pro mláďata tak často jako samice, které mohou být vyššímu zatížení lépe přizpůsobené než samci. Naopak u aktivních lovců je čas strávený v letu velmi podobný pro obě pohlaví a je mnohem delší ve srovnání s ostatními druhy. Aktivní let je tedy s největší pravděpodobností hlavním moderátorem návratnosti, což nasvědčuje celkové menší návratnosti aktivních lovců. Zajímavé je, že Barron a kol. (2010) v obsáhlé komparativní studii vliv pohlaví na velikost efektu radiotelemetrických vysílačů nezjistili vůbec.

Oproti studii Blackburnové a kol. (2016) jsem neprokázal vliv typu materiálu upevnění geolokátoru k tělu sledovaného jedince na velikost efektu. V protikladu k predikcím jsem překvapivě zaznamenal silnější negativní, avšak statisticky nevýznamný, efekt u geolokátorů upevněných elastickými popruhy. V komparativní studii Costantini a Møller (2013) zjistili, že vzdálenost mezi hnízdištěm a zimovištěm má významný vliv na velikost efektu geolokátoru. Toto zjištění jsem ve své práci nepotvrdil podobně jako Weiser a kol. (2016). Ve srovnání s Costantinim a Møllerem (2013), kteří jako vzdálenost hnízdiště a zimoviště využili rozdíl jejich průměrných zeměpisných šířek, jsem použil mnohem přesnějších odhadů vzdáleností publikovaných či vypočtených přímo pro sledované populace. Tyto dva způsoby odhadu vzdálenosti mezi hnízdištěm a zimovištěm se mohou lišit v přepočtu i o několik set až tisíc kilometrů, především u druhů táhnoucích napříč zeměpisnými délkami (viz Lislevand a kol. 2015, Stach a kol. 2016), a tedy mnou získané rozdílné výsledky nejsou příliš překvapivé a navíc podpořené prací Weisera a kol. (2016).

Costantini a Møller (2013) v předchozí metaanalýze efektu geolokátorů na ptáky nezohlednili hierarchickou závislost záznamů pocházejících z téže studijní lokality, ze stejné studie nebo studie provedené na tomtéž druhu ani pro výpočet celkových efektů ani při modelování závislosti velikosti efektů záznamů. Díky využití množství studií s doposud nevyhodnoceným efektem geolokátorů na značené jedince ve své práci se domnívám, že mé výsledky mohou lépe vypovídat o skutečném stavu efektu geolokátorů na ptáky. Pro velmi

orientační srovnání výsledků jsem přepočtl celkový efekt ze své práce na standardizovaný korelační koeficient ( $Z_r$ ; podle Borensteina a kol. 2009), který byl ve srovnání s předchozí prací přibližně dvakrát menší (srovnání je pouze orientační), a to i přesto, že jsem sbíral i nepublikované výsledky, u nichž nabývaly velikosti efektů často negativnějších hodnot než velikosti efektů z výsledků publikovaných. Costantini a Møller (2013) velmi často při absenci procedurální kontrolní skupiny vyhledali v literatuře návratnosti stejného druhu z jiných let a především z jiných lokalit. Zjistili, že studie s takto získanými externími informacemi mají mnohem silnější negativní efekt než práce, ve kterých vypočetli velikost efektu z procedurálních kontrolních jedinců. Tento rozdíl byl nejspíše způsoben větším terénním úsilím vynaloženým na zpětný odchyt kontrolních jedinců na jiných lokalitách než bylo úsilí vynaložené na zjišťování návratnosti experimentální skupiny dané práce.

Díky intenzivnímu sběru dat a pochopitelně i díky pozdějšímu termínu začátku sběru dat jsem získal mnohem více údajů týkajících se více druhů a z více oblastí. Využití modelů s náhodnými efekty v této práci je podle mého názoru opodstatněné, mj. protože se jedná o biologická data, která jsou často velmi variabilní (Higgins a kol. 2003, Koricheva a kol. 2013), čemuž nasvědčují i míry mezizáznamové variability jednotlivých kategorií efektu. Pouze v případě záznamů v kategorii návratnosti byla mezizáznamová variabilita velmi nízká, což přisuzuji náhodě.

Výsledky kumulativní metaanalýzy vztahu roku sběru dat a velikostí efektu ukazují, že velikost efektu geolokátorů na ptáky není rozhodujícím faktorem publikace výsledků, jako je tomu například u medicínských studií zabývajících se například účinností léčiv (Koricheva a kol. 2013). Vliv publikačního zkreslení jsem v této práci minimalizoval sběrem velkého množství nepublikovaných údajů (46 %,  $n = 332$ ). Počet nepublikovaných údajů v této metaanalýze je v porovnání s jinými metaanalytickými pracemi vysoký (Gardner 2003, Koricheva a kol. 2013) a celkové výsledky tak s velkou pravděpodobností nejsou ovlivněny publikačním zkreslením, čemuž nasvědčují i testy korelačních koeficientů odchylky od asymetrie nálevkových grafů, *trim fill* a Rosenthalova zabezpečující čísla.

Na základě velikostí sumárních efektů geolokátorů v jednotlivých kategoriích podle Cohena (1988) usuzuji, že geolokátory mají na značené ptáky neznatelný vliv. Ačkoliv pro některé skupiny jsem zaznamenal negativní efekt geolokátorů větší – aktivní lovci a samci ostatních druhů – je pravděpodobné, že data získaná pomocí geolokátorů nebudou výrazně zkreslena vlivem efektu na značené ptáky. V dalších studiích doporučuji zaměřit se na efekt geolokátorů na fenologii událostí ročního cyklu sledovaných jedinců, jejichž dopad by například



na hnízdní úspěšnost a jiné aspekty hnízdění sledovaných jedinců mohl být relativně silnější. Pro práce využívající geolokátory doporučuji na základě prezentovaných výsledků minimalizovat zatížení samců a především druhů lovcích aktivně v letu, u nichž navíc doporučuji využívat beztyčinkové geolokátory. Pro budoucí analýzy efektu geolokátorů a jiných sledovacích zařízení doporučuji ve všech studiích zakládat také procedurální kontrolní skupiny jedinců, bez kterých není možné dopad sledovacích zařízení přesně kvantifikovat.

## **Závěr**

Systematickým sběrem publikovaných a nepublikovaných výsledků prací využívajících ke studiu ekologie malých druhů ptáků světelné geolokátory a jejich následným zpracováním metaanalytickými metodami jsem zjistil slabě negativní vliv geolokátorů na značené ptáky. Jedinci sledovaní geolokátory měli menší návratnost a horší tělesnou kondici než kontrolní jedinci. Fenologie ani hnízdní projevy sledovaných ptáků však geolokátory ovlivněny nebyly. Návratnost ptáků s geolokátorem se významně lišila mezi pohlavími, a to jak u druhů lovcích aktivně v letu, tak u ostatních druhů; vzdušní lovci byli navíc bez ohledu na pohlaví negativně ovlivněni mnohem silněji než druhy ostatní. Délka tyčinky geolokátorů negativně ovlivnila návratnost pouze vzdušných lovců, u ostatních druhů neměla délka tyčinky statisticky významný vliv. Podobně tomu bylo u relativního zatížení, které negativně ovlivňovalo převážně samce, kdežto u samic se s rostoucím relativním zatížením velikost efektu příliš neměnila. Na základě výsledků práce doporučuji minimalizovat relativní zatížení především samců a vzdušných lovců, u kterých navíc doporučuji využívat beztyčinkové geolokátory minimalizující odpor sledovacích zařízení v letu. Vzhledem k velmi malým hodnotám sumárních efektů geolokátorů především druhů nelovících aktivně v letu usuzuji, že sledování ptáci nejsou významně ovlivněni a data získaná světelnými geolokátory jsou tedy s velkou pravděpodobností důvěryhodná.

## Literatura

- Adamík, P., Emmenegger, T., Briedis, M., Gustafsson, L., Henshaw, I., Krist, M., Laaksonen, T., Liechti, F., Procházka, P., Salewski, V. & Hahn, S. 2016. Barrier crossing in small avian migrants: individual tracking reveals prolonged nocturnal flights into the day as a common migratory strategy. - Sci. Rep. 6: 21560.
- Åkesson, S., Bianco, G. & Hedenström, A. 2016. Negotiating an ecological barrier: crossing the Sahara in relation to winds by common swifts. Philos. Trans. R. Soc. London B Biol. Sci. 371: 20150393.
- Aldridge, H. D. J. N. & Brigham, R. M. 1988. Load carrying and maneuverability in an insectivorous bat: A test of the 5% “rule” of radio-telemetry. J. Mammal. 69: 379–382.
- Bäckman, J., Andersson, A., Alerstam, T., Pedersen, L., Sjöberg, S., Thorup, K. & Tøttrup, A. P. 2016. Activity and migratory flights of individual free-flying songbirds throughout the annual cycle: Method and first case study. J. Avian Biol. 48: 309–319.
- Bairlein, F., Norris, D. R., Nagel, R., Bulte, M., Voigt, C. C., Fox, J., Hussell, D. J. T. & Schmalljohann, H. 2012. Cross-hemisphere migration of a 25g songbird. Biol. Lett. 8: 505–507.
- Baker, R. 1978. Evolutionary ecology of animal migration. Holmes & Meier Publishers.
- Barron, D. G., Brawn, J. D. & Weatherhead, P. J. 2010. Meta-analysis of transmitter effects on avian behaviour and ecology. Methods Ecol. Evol. 1: 180–187.
- Becker, B. J. 1988. Synthesizing standardized mean change measures. Br. J. Math. Stat. Psychol. 41: 257–278.
- Bell, S. C., Harouchi, M. E. L., Hewson, C. M. & Burgess, M. D. 2017. No short- or long-term effects of geolocator attachment detected in Pied Flycatchers *Ficedula hypoleuca*. Ibis DOI: 10.1111/ibi.12493.
- Bensch, S., Grahn, M., Müller, N., Gay, L. & Åkesson, S. 2009. Genetic, morphological, and feather isotope variation of migratory willow warblers show gradual divergence in a ring. Mol. Ecol. 18: 3087–3096.

- Blackburn, E., Burgess, M., Freeman, B., Risely, A., Izang, A., Ivande, S., Hewson, C. & Cresswell, W. 2016. An experimental evaluation of the effects of geolocator design and attachment method on between-year survival on whinchats *Saxicola rubetra*. *J. Avian Biol.* 47: 530–539.
- Blem, C. R. 1975. Geographic variation in wing-loading of the house sparrow. *Wilson Bull.* 87: 543–549.
- Bókony, V., Lendvai, Á. Z., Liker, A., Angelier, F., Wingfield, J. C. & Chastel, O. 2009. Stress response and the value of reproduction: Are birds prudent parents? *Am. Nat.* 173: 589–598.
- Bolshakov, C. V. 1985. Moon-watch method for quantitative studying of nocturnal bird passage (collection, calculation and analysis of data). In: Dolnik, V. R. (ed) Spring nocturnal bird passage over arid and mountain areas of Middle Asia and Kazakhstan. Institute of the USSR Academy of Science.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T. & Rothstein, H. R. 2009. Introduction to meta-analysis. John Wiley & Sons.
- Bowen, G. J., Wassenaar, L. I. & Hobson, K. A. 2005. Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia* 143: 337–348.
- Bowlin, M. S., Henningson, P., Muijres, F. T., Vleugels, R. H. E., Liechti, F. & Hedenström, A. 2010. The effects of geolocator drag and weight on the flight ranges of small migrants. *Methods Ecol. Evol.* 1: 398–402.
- Bridge, E. S., Kelly, J. F., Contina, A., Gabrielson, R. M., MacCurdy, R. B. & Winkler, D. W. 2013. Advances in tracking small migratory birds: A technical review of light-level geolocation. *J. F. Ornithol.* 84: 121–137.
- Bro, E., Clobert, J. & Reitz, F. 1999. Effects of radiotransmitters on survival and reproductive success of gray partridge. *J. Wildl. Manage.* 63: 1044–1051.
- Caccamise, D. F. & Hedin, R. S. 1985. An aerodynamic basis for selecting transmitter loads in birds. *Wilson Bull.* 97: 306–318.
- Chamberlain, P. M., Bull, I. D., Black, H. I. J., Ineson, P. & Evershed, R. P. 2006. The effect of diet on isotopic turnover in Collembola examined using the stable carbon isotopic compositions of lipids. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1146–1157.

- Chilson, P. B., Bridge, E., Frick, W. F., Chapman, J. W. & Kelly, J. F. 2012. Radar aeroecology: exploring the movements of aerial fauna through radio-wave remote sensing. *Biol. Lett.* 8: 698–701.
- Cochran, W. W., Montgomery, G. G. & Graber, R. R. 1967. Migratory flights of *Hylocichla* thrushes in spring: a radiotelemetry study. *Living Bird* 6: 213–225.
- Cohen, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Conklin, J. R., Battley, P. F., Potter, M. & Fox, J. W. 2010. Breeding latitude drives individual schedules in a trans-hemispheric migrant bird. *Nat. Commun.* 1: 67.
- Contina, A., Bridge, E. S., Seavy, N. E., Duckles, J. M. & Kelly, J. F. 2013. Using geologgers to investigate bimodal isotope patterns in painted buntings (*Passerina ciris*). *Auk* 130: 265–272.
- Costantini, D. & Møller, A. P. 2013. A meta-analysis of the effects of geolocator application on birds. *Curr. Zool.* 59: 697–706.
- Del Re, A. C. 2013. compute.es: Compute effect sizes. R package version 0.2-2. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/compute.es/index.html>.
- Delmore, K. E., Fox, J. W. & Irwin, D. E. 2012. Dramatic intraspecific differences in migratory routes, stopover sites and wintering areas, revealed using light-level geolocators. – *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279: 4582–4589.
- Dickersin, K. 1997. How important is publication bias? A synthesis of available data. *AIDS Educ. Prev.* 9: 15–21.
- Duval, S. & Tweedie, R. 2000. Trim and fill: a simple funnel-plot-based method. *Biometrics* 56: 455–463.
- Egevang, C., Stenhouse, I. J., Phillips, R. A., Petersen, A., Fox, J. W. & Silk, J. R. D. 2010. Tracking of arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 107: 2078–2081.
- Elliott, K. H., McFarlane-Tranquilla, L., Burke, C. M., Hedd, A., Montevecchi, W. A. & Anderson, W. G. 2012. Year-long deployments of small geolocators increase corticosterone levels in murre. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 466: 1–7.

- ENRAM 2017. European Network for the Radar surveillance of Animal Movement. URL: <http://www.enram.eu/>.
- Fairhurst, G. D., Berzins, L. L., David, W., Laughlin, A. J., Romano, A., Romano, M., Scandola, C., Dawson, R. D., Dunn, P. O., Hobson, K. A., Liechti, F., Marchant, T. A., Norris, D. R., Rubolini, D., Saino, N., Taylor, C. M., Whittingham, L. A. & Clark, R. G. 2015. Assessing costs of carrying geolocators using feather corticosterone in two species of aerial insectivore. *R. Soc. Open Sci.* 2.5: 150004.
- Fiedler, W., Bairlein, F. & Köppen, U. 2004. Using large-scale data from ringed birds for the investigation of effects of climate change on migrating birds: Pitfalls and prospects. *Adv. Ecol. Res.* 35: 49–67.
- Finch, T., Saunders, P., Avilés, J. M., Bermejo, A., Catry, I., de la Puente, J., Emmenegger, T., Mardega, I., Mayet, P., Parejo, D., Račinskis, E., Rodríguez-Ruiz, J., Sackl, P., Schwartz, T., Tiefenbach, M., Valera, F., Hewson, C., Franco, A. & Butler, S. J. 2015. A pan-European, multipopulation assessment of migratory connectivity in a near-threatened migrant bird. *Divers. Distrib.* 21: 1051–1062.
- Fraser, K. C., Shave, A., Savage, A., Ritchie, A., Bell, K., Siegrist, J., Ray, J. D., Applegate, K. & Pearman, M. 2017. Determining fine-scale migratory connectivity and habitat selection for a migratory songbird by using new GPS technology. *J. Avian Biol.* 48: 339–345.
- Fudickar, A. M., Wikelski, M. & Partecke, J. 2012. Tracking migratory songbirds: Accuracy of light-level loggers (geolocators) in forest habitats. *Methods Ecol. Evol.* 3: 47–52.
- Gardner, T. A. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301: 958–960.
- Gauthreaux, S. A. & Belser, C. G. 2003. Radar ornithology and biological conservation. *Auk* 120: 266–277.
- Gessaman, J. A. & Nagy, K. A. 1988. Transmitter loads affect the flight speed and metabolism of homing pigeons. *Condor* 90: 662–668.
- Gill, R. E., Tibbitts, T. L., Douglas, D. C., Handel, C. M., Mulcahy, D. M., Gottschalck, J. C., Warnock, N., McCaffery, B. J., Battley, P. F. & Piersma, T. 2009. Extreme endurance flights

- by landbirds crossing the Pacific Ocean: ecological corridor rather than barrier? Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 276: 447–457.
- Gow, E. A. & Wiebe, K. L. 2014. Males migrate farther than females in a differential migrant: an examination of the fasting endurance hypothesis. R. Soc. Open Sci. 1: 140346.
- Hagen, M., Wikelski, M. & Kissling, W. D. 2011. Space use of bumblebees (*Bombus spp.*) revealed by radio-tracking. PLoS One 6: e19997.
- Hahn, S., Bauer, S. & Liechti, F. 2009. The natural link between Europe and Africa 2.1 billion birds on migration. Oikos 118: 624–626.
- Hallworth, M. T. & Marra, P. P. 2015. Miniaturized GPS tags identify non-breeding territories of a small breeding migratory songbird. Sci. Rep. 5: 11069.
- Harrell, F. E. & Dupont, C. 2016. Hmisc: R package version 4.0-0. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>.
- Hedenström, A., Norevik, G., Warfinge, K., Anderson, A., Baeckman, J. & Åkesson, S. 2016. Annual 10-month aerial life-phase in the common swift *Apus apus*. Curr. Biol. 26: 3066–3070.
- Hedges, L. V. 1981. Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. J. Educ. Stat. 6: 107–128.
- Hedges, L. V. 1982. Estimation of effect size from a series of independent experiments. Psychol. Bull. 92: 490–499.
- Helbig, A. J. 1991. Inheritance of migratory direction in a bird species: a cross-breeding experiment with SE- and SW-migrating blackcaps (*Sylvia atricapilla*). Behav. Ecol. Sociobiol. 28: 9–12.
- Hewson, C. M., Thorup, K., Pearce-Higgins, J. W. & Atkinson, P. W. 2016. Population decline is linked to migration route in the common cuckoo. Nat. Commun. 7: 12296.
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J. & Altman, D. G. 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. Brit. Med. J. 327: 557–560.

- Hill, R. D. 1994. Theory of geolocation by light levels. In: Le Boeuf, B. J., & Laws, R. M. (eds.) Elephant seals: population, ecology, behaviour and physiology. – University of California Press.
- Hill, J. M. & Elphick, C. S. 2011. Are grassland passerines especially susceptible to negative transmitter impacts? *Wildl. Soc. Bull.* 35: 362–367.
- Hobson, K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120: 314–326.
- Hobson, K. A. & Wassenaar, L. I. 2008. Tracking animal migration with stable isotopes. Academic Press.
- Hobson, K. A. & Kardynal, K. J. 2016. An isotope ( $\delta^{34}\text{S}$ ) filter and geolocator results constrain a dual feather isoscape ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) to identify the wintering grounds of North American barn swallows. *Auk* 133: 86–98.
- Hobson, K. A., Bowen, G. J., Wassenaar, L. I., Ferrand, Y. & Lormee, H. 2004. Using stable hydrogen and oxygen isotope measurements of feathers to infer geographical origins of migrating European birds. *Oecologia* 141: 477–488.
- Hobson, K. A., Van Wilgenburg, S. L., Wassenaar, L. I., Powell, R. L., Still, C. J. & Craine, J. M. 2012. A multi-isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) feather isoscape to assign Afrotropical migrant birds to origins. *Ecosphere* 3: art44.
- del Hoyo, J., Elliott, A. & Sagartal, J. 1997–2011. Handbook of the birds of the world. Lynx.
- Igual, J. M., Forero, M. G., Tavecchia, G., González-Solis, J., Martínez-Abraín, A., Hobson, K. A., Ruiz, X. & Oro, D. 2005. Short-term effects of data-loggers on Cory's shearwater (*Calonectris diomedea*). *Mar. Biol.* 146: 619–624.
- Ioannidis, J. P. A. & Trikalinos, T. A. 2007. The appropriateness of asymmetry tests for publication bias in meta-analyses: a large survey. – *Can. Med. Assoc. J.* 176: 1091–1096.
- Jennions, M. D. & Møller, A. P. 2002. Publication bias in ecology and evolution: an empirical assessment using the “trim and fill” method. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 77: 211–222.
- Jewell, Z. 2013. Effect of monitoring technique on quality of conservation science. *Conserv. Biol.* 27: 501–508.



- Jüni, P., Hohenstein, F., Sterne, J., Bartlett, C. & Egger, M. 2002. Direction and impact of language bias in meta-analyses of controlled trials: Empirical study. *Int. J. Epidemiol.* 31: 115–123.
- Kempenaers, B. & Valcu, M. 2017. Breeding site sampling across the Arctic by individual males of a polygynous shorebird. *Nature* 541: 528–531.
- Kenward, R. E. 2010. *A manual for wildlife radio tagging.* – Academic Press.
- King, J. R. & Farner, D. S. 1965. Studies of fat deposition in migratory birds. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 131: 422–440.
- Kishkinev, D., Chernetsov, N., Pakhomov, A., Heyers, D. & Mouritsen, H. 2015. Eurasian reed warblers compensate for virtual magnetic displacement. *Curr. Biol.* 25: R822–R824.
- Koike, S., Hijikata, N. & Higuchi, H. 2016. Migration and wintering of chestnut-cheeked starlings *Agropsar philippensis*. *Ornithol. Sci.* 15: 63–74.
- Kolářová, E. & Adamík, P. 2015. Bird arrival dates in Central Europe based on one of the earliest phenological networks. *Clim. Res.* 63: 91–98.
- Korner-Nievergelt, F., Sauter, A., Atkinson, P. W., Guélat, J., Kania, W., Kéry, M., Köppen, U., Robinson, R. A., Schaub, M., Thorup, K., van der Jeugd, H. and van Noordwijk, A. 2010. Improving the analysis of movement data from marked individuals through explicit estimation of observer heterogeneity. *J. Avian Biol.* 41: 8–17.
- Koricheva, J., Gurevitch, J. & Mengersen, K. 2013. *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution.* Princeton University Press.
- Lau, J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Schmid, C. H. & Olkin, I. 2006. The case of the misleading funnel plot. – *Brit. Med. J.* 333: 597–600.
- Laughlin, A. J., Taylor, C. M., Bradley, D. W., LeClair, D., Clark, R. G., Dawson, R. D., Dunn, P. O., Horn, A., Leonard, M., Sheldon, D. R., Shutler, D., Whittingham, L. A., Winkler, D. W. & Norris, D. R. 2013. Integrating information from geolocators, weather radar, and citizen science to uncover a key stopover area of an aerial insectivore. *Auk* 130: 230–239.
- Levin, I. I., Zonana, D. M., Burt, J. M. & Safran, R. J. 2015. Performance of encounter-net tags: Field tests of miniaturized proximity loggers for use on small birds. *PLoS ONE* 10: e0137242.

- Liechti, F., Bruderer, B. & Paproth, H. 1995. Quantification of nocturnal bird migration by moonwatching: Comparison with radar and infrared observations. *J. F. Ornithol.* 66: 457–468.
- Liechti, F., Witvliet, W., Weber, R. & Bächler, E. 2013. First evidence of a 200-day non-stop flight in a bird. *Nat. Commun.* 4: 2554.
- Lipsey, M. W. & Wilson, D. B. 2001. *Practical meta-analysis*. – SAGE Publications.
- Lislevand, T., Chutný, B., Byrkjedal, I., Pavel, V., Briedis, M., Adamík, P. & Hahn, S. 2015. Red-spotted bluethroats *Luscinia s. svecica* migrate along the Indo-European flyway: a geolocator study. *Bird Study* 62: 508–515.
- López-López, P. 2016. Individual-based tracking systems in ornithology: Welcome to the era of big data. *Ardeola* 63: 5–34.
- Maggini, I., Metzger, B., Voss, M., Voigt, C. C. & Bairlein, F. 2016. Morphometrics and stable isotopes differentiate wintering populations of a migratory bird. *Mov. Ecol.* 4: 20.
- Marion, W. R. & Shamis, J. D. 1977. An annotated bibliography of bird marking techniques. *Bird-Banding* 48: 42–61.
- Markó, G., Costantini, D. & Michl, G. 2011. Oxidative damage and plasma antioxidant capacity in relation to body size, age, male sexual traits and female reproductive performance in the collared flycatcher (*Ficedula albicollis*). *J. Comp. Physiol. B* 181: 73–81.
- Matyjasiak, P., Rubolini, D., Romano, M. & Saino, N. 2016. No short-term effects of geolocators on flight performance of an aerial insectivorous bird, the barn swallow (*Hirundo rustica*). *J. Ornithol.* 157: 653–661.
- McKinnon, E. A., Fraser, K. C., Stanley, C. Q. & Stutchbury, B. J. M. 2014. Tracking from the tropics reveals behaviour of juvenile songbirds on their first spring migration. *PLoS ONE* 9: e105605.
- McMahon, C. R., Bradshaw, C. J. A. & Hays, G. C. 2007. Applying the heat to research techniques for species conservation. *Conserv. Biol.* 21: 271–273.
- Meyers, P. M., Hatch, S. A. & Mulcahy, D. M. 1998. Effect of implanted satellite transmitters on the nesting behavior of murre. *Condor* 100: 172–174.

- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. & Group, P. 2009. Preferred reporting items for systematic reviews a meta-analysis: The PRISMA Statement. *PLoS Med.* 6: e1000097.
- Nelson, A. R., Cormier, R. L., Humple, D. L., Scullen, J. C., Sehgal, R. & Seavy, N. E. 2016. Migration patterns of San Francisco Bay Area hermit thrushes differ across a fine spatial scale. *Anim. Migr.* 3: 1–13.
- Newton, I. 2008. The migration ecology of birds. Academic Press.
- O'Farrell, N. & Egger, M. 2000. Circumcision in men and the prevention of HIV infection: a “meta-analysis” revisited. *Int. J. STD AIDS* 11: 137–142.
- Pennycuick, C. J., Fast, P. L. F., Ballerstädt, N. & Rattenborg, N. 2012. The effect of an external transmitter on the drag coefficient of a bird's body, and hence on migration range, and energy reserves after migration. *J. Ornithol.* 153: 633–644.
- Peterson, S. M., Streby, H. M., Kramer, G. R., Lehman, J. A., Buehler, D. & Andersen, D. E. 2015. Geolocators on golden-winged warblers do not affect migratory ecology. *Condor* 117: 256–261.
- Phillips, R. A., Xavier, J. C. & Croxall, J. P. 2003. Effects of satellite transmitters on albatrosses and petrels. *Auk* 120: 1082–1090.
- Pietz, P. J., Krapu, G. J., Greenwood, R. J. & Lokemoen, J. T. 1993. Effects of harness transmitters on behavior and reproduction of wild mallards. *J. Wildl. Manage.* 57: 696–703.
- Procházka, P. 2006. Analýza stabilních izotopů – alternativní metoda studia migrace ptáků. *Sylvia* 42: 3–21.
- Procházka, P., Van Wilgenburg, S. L., Neto, J. M., Yosef, R. & Hobson, K. A. 2013. Using stable hydrogen isotopes ( $\delta^2\text{H}$ ) and ring recoveries to trace natal origins in a Eurasian passerine with a migratory divide. *J. Avian Biol.* 44: 541–550.
- QGIS Development Team, 2009. QGIS Geographic information system. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team 2016. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

- Rappole, J. H. & Tipton, A. R. 1991. New harness design for attachment of radio transmitters to small passerines. *J. F. Ornithol.* 62: 335–337.
- Raybuck, D. W., Larkin, J. L., Stoleson, S. H. & Boves, T. J. 2017. Mixed effects of geolocators on reproduction and survival of cerulean warblers, a canopy-dwelling, long-distance migrant. *Condor* 119: 289–297.
- Rodríguez, A., Negro, J. J., Fox, J. W. & Afanasyev, V. 2009. Effects of geocator attachments on breeding parameters of lesser kestrels. *J. F. Ornithol.* 80: 399–407.
- Rodríguez-Ruiz, J., Parejo, D., de la Puente, J., Valera, F., Calero-Torralbo, M. A., Bermejo, A., Catry, I. & Avilés, J. M. 2015. Short- and long-term effects of tracking devices on the European roller *Coracias garrulus*. *Ibis* 158: 179–183.
- Rosenthal, R. 1979. The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychol. Bull.* 86: 638–641.
- Rothstein, H. R., Sutton, A. J. & Borenstein, M. 2005. *Publication bias in meta-analysis – prevention, assessment and adjustments.* John Wiley & Sons.
- Russell, K. R. & Gauthreaux, S. 1998. Use of weather radar to characterize movements of roosting purple martins. *Wildl. Soc. Bull.* 26: 5–16.
- Saltz, D. 1994. Reporting error measures in radio location by triangulation: a review. *J. Wildl. Manag.* 58: 181–184.
- Saraux, C., Le Bohec, C., Durant, J. M., Viblanc, V. A., Gauthier-Clerc, M., Beaune, D., Park, Y.-H., Yoccoz, N. G., Stenseth, N. C. & Le Maho, Y. 2011. Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature* 469: 203–206.
- Schwarzer, G., Carpenter, J. R. & Rücker, G. 2014. *Meta-analysis with R.* – Springer.
- Snijders, L., Nieuwe Weme, L. E., De Goede, P., Savage, J. L., Van Oers, K. & Naguib, M. 2017. Context-dependent effects of radio transmitter attachment on a small passerine. *J. Avian Biol.* 48: 650–659.
- Stach, R., Kullberg, C., Jakobsson, S., Ström, K. & Fransson, T. 2016. Migration routes and timing in a bird wintering in South Asia, the common rosefinch *Carpodacus erythrinus*. *J. Ornithol.* 157: 756–767.

- Stutchbury, B. J. M., Tarof, S. A., Done, T., Gow, E., Kramer, P. M., Tautin, J., Fox, J. W. & Afanasyev, V. 2009. Tracking long-distance songbird migration by using geolocators. *Science* 323: 896.
- Sweeting, M. J., Sutton, A. J. & Lambert, P. C. 2004. What to add to nothing? Use and avoidance of continuity corrections in meta-analysis of sparse data. *Stat. Med.* 23: 1351–1375.
- Szép, T., Liechti, F., Nagy, K., Nagy, Z. & Hahn, S. 2017: Discovering the migration and non-breeding areas of sand martins and house martins breeding in the Pannonian basin (central-eastern Europe). – *J. Avian Biol.* 48: 114–122.
- Thompson Reuters 2017. Journal citation index. URL: <https://jcr.incites.thomsonreuters.com/>.
- Trefry, S., Diamond, A. W. & Jesson, L. K. 2012. Wing marker woes: a case study and meta-analysis of the impacts of wing and patagial tags. *J. Ornithol.* 154: 1–11.
- Trueman, C. N., McGill, R. A. R. & Guyard, P. H. 2005. The effect of growth rate on tissue-diet isotopic spacing in rapidly growing animals. An experimental study with Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 19: 3239–3247.
- van Balen, J. H. 1967. The significance of variations in body weight and wing length in the great tit, *Parus major*. *Ardea* 55: 1–59.
- van Wijk, R. E., Souchay, G., Jenni-Eiermann, S., Bauer, S. & Schaub, M. 2015. No detectable effects of lightweight geolocators on a Palaearctic-African long-distance migrant. *J. Ornithol.* 157: 255–264.
- Viechtbauer, W. 2010. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *J. Stat. Softw.* 36: 1–48.
- Viechtbauer, W. 2016. The metafor package. Older package updates. URL: [http://www.metafor-project.org/doku.php/updates\\_old?s\[\]=rma&s\[\]=mv&s\[\]=predict](http://www.metafor-project.org/doku.php/updates_old?s[]=rma&s[]=mv&s[]=predict).
- Wallace, G. J. 1941. Winter studies of color-banded chickadees. *Bird-Banding* 12: 49–67.
- Wallace, J. R. 2012. Imap: Interactive mapping. R package version 1.32. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/Imap/index.html>.
- Weimerskirch, H., Bonadonna, F., Bailleul, F., Mabile, G., Omo, G. D. & Lipp, H.-P. 2002. GPS tracking of foraging albatrosses. *Science* 295: 1259.

- Weiser, E. L., Lanctot, R. B., Brown, S. C., Alves, J. A., Battley, P. F., Bentzen, R., Bêty, J., Bishop, M. A., Boldenow, M., Bollache, L., Casler, B., Christie, M., Coleman, J. T., Conklin, J. R., English, W. B., Gates, H. R., Gilg, O., Giroux, M.-A., Gosbell, K., Hassell, C., Helmericks, J., Johnson, A., Katrínardóttir, B., Koivula, K., Kwon, E., Lamarre, J.-F., Lang, J., Lank, D. B., Lecomte, N., Liebezeit, J., Loverti, V., McKinnon, L., Minton, C., Mizrahi, D., Nol, E., Pakanen, V.-M., Perz, J., Porter, R., Rausch, J., Reneerkens, J., Rönkä, N., Saalfeld, S., Senner, N., Sittler, B., Smith, P. A., Sowl, K., Taylor, A., Ward, D. H., Yezerinac, S. & Sandercock, B. K. 2016. Effects of geolocators on hatching success, return rates, breeding movements, and change in body mass in 16 species of Arctic-breeding shorebirds. *Mov. Ecol.* 4: 12.
- Wellbrock, A. H. J., Bauch, C., Rozman, J. & Witte, K. 2017. “Same procedure as last year?” – Repeatedly tracked swifts show individual consistency in migration pattern in successive years. *J. Avian Biol.* 48: 897–903.
- 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. *J. Exp. Biol.* 210: 181–186.
- Williamson, P. R. & Gamble, C. 2005. Identification and impact of outcome selection bias in meta-analysis. *Stat. Med.* 24: 1547–1561.
- Wilson, R. P. & McMahon, C. R. 2006. Measuring devices on wild animals: what constitutes acceptable practice? *Front. Ecol. Environ.* 4: 27–34.
- Wilson, R. P., Sala, J. E., Gómez-Laich, A., Ciancio, J. & Quintana, F. 2015. Pushed to the limit: Food abundance determines tag-induced harm in penguins. *Anim. Welf.* 24: 37–44.
- Zehtindjiev, P. & Liechti, F. 2003. A quantitative estimate of the spatial and temporal distribution of nocturnal bird migration in south-eastern Europe – a coordinated moon-watching study. *Avian Sci.* 3: 37–45.

## Seznam obrázků

- Obr. 1: Vývojový PRISMA diagram (podle Mohera a kol. 2009) znázorňující průběh hledání, výběr a počet studií a záznamů následně zahrnutých do analýzy. ....8
- Obr. 2: Počet publikovaných prací zkoumajících ekologii malých druhů ptáků pomocí geolokátorů v jednotlivých letech (A; n = 62; nekompletní rok 2017 zahrnut není) a geografická poloha všech studijních lokalit (body) zařazených do analýzy (B; cylindrická projekce). ....16
- Obr. 3: Závislost velikosti efektu (Hedgesovo g) relativního zatížení jedinců pro jednotlivá pohlaví (samice – červená, samci – černá). Relativní zatížení je dáno poměrem hmotnosti geolokátoru s popruhy a těla sledovaného jedince. Přerušované čáry znázorňují 95% konfidenční intervaly odhadů regresních přímek. Kruhy znázorňují datové body (samice – červená, samci – černá), přičemž jejich velikost odpovídá logaritmu přesnosti záznamů ( $1/\text{variance}$  odhadu efektu). ....17
- Obr. 4: Závislost velikosti efektu (Hedgesovo g) na délce tyčinky geolokátoru nesoucí světelný senzor nebo k němu vedoucí světlo pro jednotlivé ekologické skupiny (vzdušní lovcí – modrá, ostatní druhy – černá) a 95% konfidenční intervaly odhadu regresních přímek (přerušované čáry). Kruhy znázorňují datové body (vzdušní lovcí – šedá, ostatní druhy – černá), přičemž jejich velikost odpovídá logaritmu přesnosti záznamů ( $1/\text{variance}$  odhadu efektu). ....19
- Obr. 5: Velikosti efektu (Hedgesovo g) pro jednotlivá pohlaví vzdušných lovců a ostatních druhů (body) se střední chybou odhadu velikosti efektu (chybové úsečky). Přerušovaná čára značí nulový efekt. ....20

## Seznam tabulek

Tab. 1: Odhad celkového efektu (Hedgesovo  $g$ ) geolokátorů na malé ptáky pro jednotlivé kategorie společně se střední chybou odhadu, 95% konfidenčním intervalem a P-hodnotu testu odchylky od nulového efektu, počtem záznamů v dané kategorii ( $n$ ), mírou heterogenity ( $I^2$ ; %), testovou statistikou  $Q$  a s ní spojenou P-hodnotou testu odchylky od nulové heterogenity. ....17

Tab. 2: Vliv ekologické skupiny, vzdálenosti hnízdiště a zimoviště, relativního zatížení, délky tyčinky geolokátoru, elasticity materiálu popruhů a publikovanosti na velikost efektu (Hedgesovo  $g$ ) geolokátorů v kategorii návratnost ( $n = 94$ ). Model A (bez ekologické skupiny) a model B (bez relativního zatížení) prezentují samostatně kvůli vzájemné kolinearitě těchto dvou moderátorů (viz Metodika). .....18

Tab. 3: Kendallovy korelační koeficienty velikosti efektu (efekt) a střední chyby odhadu efektu záznamu (SE) nebo počet geolokátorem značených jedinců v záznamu ( $N$ ) společně s P-hodnotou testu odchylky korelačního koeficientu od nuly. Počet studií potřebných k úplné symetrii nálevkového grafu metodou (trim fill) a počet studií potřebných k vychýlení souhrnného efektu na nulu (Rosenthalovo číslo).....20



## Seznam příloh

Příloha 1: Počet studií v kategoriích efektu geolokátoru, počet studií získaných a zařazených do analýzy, počet záznamů získaných a zařazených do analýz záznamů s vysvětlovanými proměnnými efektu geolokátorů. ....	i
Příloha 2: Proměnné použité v náhodném hierarchickém členu a moderátory, nabývané hodnoty, počet záznamů s danou proměnnou/hodnotou zařazených do analýzy v kategorii návratnosti (kondice). ....	ii
Příloha 3: Přehled publikovaných prací zařazených do analýzy společně se studovaným druhem a ekologickou skupinou, do které druh patří. ....	iii
Příloha 4: Přehled nepublikovaných prací zařazených do analýzy společně se studovaným druhem a ekologickou skupinou, do které druh patří. ....	x
Příloha 5: Lesní diagram (z angl. „ <i>forest plot</i> “) velikosti efektů záznamů $\pm$ SE v kategorii návratnost. Červená přerušovaná čára značí nulový efekt. ....	xii
Příloha 6: Lesní diagram velikosti efektů záznamů $\pm$ SE v kategorii kondice společně se zkrácenou citací publikované práce nebo jménem autora nepublikované práce. Červená přerušovaná čára značí nulový efekt. ....	xiii
Příloha 7: Rozložení log střední chyby efektu a velikosti efektu (Hedgesovo $g$ ; $n = 332$ ) v publikovaných (plné body) a nepublikovaných záznamech (kroužky). Přerušovaná čára představuje nulový efekt. ....	xiv
Příloha 8: Zdrojový kód (skript) analýzy dat z programu R s komentáři. ....	xv

## Přílohy

*Příloha 1: Počet studií v kategoriích efektu geolokátoru, počet studií získaných a zařazených do analýzy, počet záznamů získaných a zařazených do analýz záznamů s vysvětlovanými proměnnými efektu geolokátorů.*

	počet studií		proměnná v primární studii	počet záznamů	
	celkem	analýza		celkem	analýza
návratnost	104	84	počet zpětně odchycených ptáků	317	189
			počet navrátilivších se ptáků	98	67
			meziroční přežívání	1	1
tělesná kondice	37	31	změna tělesné hmotnosti	43	34
			hladina kortikosteroidů v peří	12	11
			akcelerace letu	1	0
			bazální hladina kortikosteroidů v krvi	1	0
			čas strávený v labyrintu	1	0
			kondiční index (poměr hmotnosti těla k délce křídla)	1	1
			počet úderů křídly v labyrintu	1	0
			rychlost letu	1	1
			hormonální stresová odpověď	1	0
			fenologie	13	9
datum snesení prvního vejce	10	5			
meziroční změna data snesení prvního vejce	1	0			
velikost snůšky	7	3			
hnízdní projevy	12	9	počet vyvedených mlád'at	4	3
			úspěšnost vyvedení mlád'at	3	2
			hnízdní úspěšnost	2	1
			líhivost	2	0
			čas strávený v hnízdní budce	1	0
			frekvence krmení	1	0
			hmotnost vyvedených mlád'at	1	0
			meziroční věrnost hnízdišti	1	1
			nespecifikováno	1	1

*Příloha 2: Proměnné použité v náhodném hierarchickém členu a moderátory, nabývané hodnoty, počet záznamů s danou proměnnou/hodnotou zařazených do analýzy v kategorii návratnosti (kondice).*

proměnná	hodnota / jednotka	záznamů
studovaný druh	viz příloha 1 a 2	332 (celkem)
identita studie		
zeměpisná šířka a délka studijní lokality	stupně (°)	
kategorie efektu	návratnost	257
	tělesná kondice	47
	fenologie	17
	hnízdni projevy	11
ekologická skupina	vzdušný lovec	54 (30)
	ostatní druhy	203 (17)
pohlaví	samec	116
	samice	55
vzdálenost hnízdiště a zimoviště	km	175
hmotnost geolokátorem značených ptáků	g	246
hmotnost geolokátoru s popruhy	g	248
relativní zatížení ptáka geolokátorem	%	243
délka světlovodné tyčinky nebo tyčinky nesoucí		
světelný senzor	mm	223
elasticita popruhů	elastický	160
	neelastický	88
publikovaný výsledek	ano	142 (23)
	ne	115 (24)

*Příloha 3: Přehled publikovaných prací zařazených do analýzy společně se studovaným druhem a ekologickou skupinou, do které druh patří.*

id	citace studie	druh	ekol. skupina
1	Alonso D., Arizaga J., Meier C. M. & Liechti F. 2016: Light-level geolocators confirm resident status of a southern European Common Crossbill population. <i>Journal of Ornithology</i> 158: 75–81.	<i>Loxia curvirostra</i>	ostatní druhy
2	Arbeiter S., Schulze M., Todte I. & Hahn S. 2012: Das Zugverhalten und die Ausbreitung von in Sachsen-Anhalt brütenden Bienenfressern ( <i>Merops apiaster</i> ). <i>Berichte der Vogelwarte Hiddensee</i> 21: 33–40.	<i>Merops apiaster</i>	ostatní druhy
3	Arlt D., Low M. & Pärt T. 2013: Effect of geolocators on migration and subsequent breeding performance of a long-distance passerine migrant. <i>PLoS ONE</i> 8: e82316.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
4	Arlt D., Olsson P., Fox J. W., Low M. & Pärt T. 2015: Prolonged stopover duration characterises migration strategy and constraints of a long-distance migrant songbird. <i>Animal Migration</i> 2: 47–62.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
5	Bächler E., Hahn S., Schaub M., Arlettaz R., Jenni L., Fox J. W., Afanasyev V. & Liechti F. 2010: Year-round tracking of small trans-Saharan migrants using light-level geolocators. <i>PLoS ONE</i> 5: e9566.	<i>Upupa epops</i>	ostatní druhy
6	Bairlein F., Norris D. R., Nagel R., Bulte M., Voigt C. C., Fox J. W., Hussell D. J. T. & Schmaljohann H. 2012: Cross-hemisphere migration of a 25g songbird. <i>Biology Letters</i> 8: 505–507.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
7	Blackburn E., Burgess M., Freeman B., Risely A., Izang A., Ivand S., Hewson C. & Cresswell W. 2016: An experimental evaluation of the effects of geolocator design and attachment method on between-year survival on Whinchats <i>Saxicola rubetra</i> . <i>Journal of Avian Biology</i> 47: 530–539.	<i>Saxicola rubetra</i>	ostatní druhy
8	Bravo S. P., Cueto V. R. & Gorosito C. A. 2017: Migratory timing, rate, routes and wintering areas of White-crested Elaenia ( <i>Elaenia albiceps chilensis</i> ), a key seed disperser for Patagonian forest regeneration. <i>PLoS ONE</i> : e0170188.	<i>Elaenia albiceps chilensis</i>	ostatní druhy
9	Briedis M., Beran V., Hahn S. & Adamík P. 2016: Annual cycle and migration strategies of a habitat specialist, the Tawny Pipit <i>Anthus campestris</i> , revealed by geolocators. <i>Journal of Ornithology</i> 157: 619–626.	<i>Anthus campestris</i>	ostatní druhy
10	Briedis M., Hahn S., Gustafsson L., Henshaw I., Träff J., Král M. & Adamík P. 2016: Breeding latitude leads to different temporal but not spatial organization of the annual cycle in a long-distance migrant. <i>Journal of Avian Biology</i> 47: 743–748.	<i>Ficedula albicollis</i>	ostatní druhy

id	citace studie	druh	ekol. skupina
11	Briedis M., Träff J., Hahn S., Ilieva M., Král M., Peev S. & Adamík P. 2016: Year-round spatiotemporal distribution of the enigmatic Semi-collared Flycatcher <i>Ficedula semitorquata</i> . <i>Journal of Ornithology</i> 157: 895–900.	<i>Ficedula semitorquata</i>	ostatní druhy
12	Callo P. A., Morton E. S. & Stutchbury B. J. M. 2013: Prolonged spring migration in the Red-eyed Vireo ( <i>Vireo olivaceus</i> ). <i>The Auk</i> 130: 240–246.	<i>Vireo olivaceus</i>	ostatní druhy
13	Cooper N. W., Hallworth M. T. & Marra P. P. 2017: Light-level geolocation reveals wintering distribution, migration routes, and primary stopover locations of an endangered long-distance migratory songbird. <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 209–219.	<i>Setophaga kirtlandii</i>	ostatní druhy
14	Cormier R. L., Humple D. L., Gardali T. & Seavy N. E. 2013: Light-level geolocators reveal strong migratory connectivity and within-winter movements for a coastal California Swainson's thrush ( <i>Catharus ustulatus</i> ) population. <i>The Auk</i> 130: 283–290.	<i>Catharus ustulatus</i>	ostatní druhy
15	Cormier R. L., Humple D. L., Gardali T. & Seavy N. E. 2016: Migratory connectivity of Golden-crowned Sparrows from two wintering regions in California. <i>Animal Migration</i> 3: 48–56.	<i>Zonotrichia atricapilla</i>	ostatní druhy
16	Cresswell B. & Edwards D. 2012: Geolocators reveal wintering areas of European Nightjar ( <i>Caprimulgus europaeus</i> ). <i>Bird Study</i> 60: 77–86.	<i>Caprimulgus europaeus</i>	ostatní druhy
17	DeLuca W. V., Woodworth B. K., Rimmer C. C., Marra P. P., Taylor P. D., McFarland K. P., Mackenzie S. A. & Norris D. R. 2015: Transoceanic migration by a 12g songbird. <i>Biology Letters</i> 11: 20141045.	<i>Setophaga striata</i>	ostatní druhy
18	Evens R., Convey G. J., Henderson I. G., Creswell B., Jiguet F., Moussy C., Sénécal D. Witters N., Beenaets N. & Artois T. 2017: Migratory pathways, stopover zones and wintering destinations of Western European Nightjars <i>Caprimulgus europaeus</i> . <i>Ibis</i> 159: 680–688.	<i>Caprimulgus europaeus</i>	ostatní druhy
19	Fairhurst G. D., Berzins L. L., Bradley D. W., Laughlin A. J., Romano A., Romano M., Scandolaro C., Ambrosini R., Dawson R. D., Dunn P. O., Hobson K. A., Liechti F., Marchant T. A., Norris D. A., Rubolini D., Saino N., Taylor C. M., Whittingham L. A. & Clark R. G. 2015: Assessing costs of carrying geolocators using feather corticosterone in two species of aerial insectivore. <i>Royal Society Open Science</i> 2: 150004.	<i>Hirundo rustica</i>	vzdušní lovci

id	citace studie	druh	ekol. skupina
20	Fairhurst G. D., Berzins L. L., Bradley D. W., Laughlin A. J., Romano A., Romano M., Scandolaro C., Ambrosini R., Dawson R. D., Dunn P. O., Hobson K. A., Liechti F., Marchant T. A., Norris D. A., Rubolini D., Saino N., Taylor C. M., Whittingham L. A. & Clark R. G. 2015: Assessing costs of carrying geolocators using feather corticosterone in two species of aerial insectivore. <i>Royal Society Open Science</i> 2: 150004.	<i>Tachycineta bicolor</i>	vzdušní lovci
21	Fraser K. C., Stutchbury B. J. M., Silverio C., Kramer P. M., Barrow J., Newstead D., Mickle N., Cousens B. F., Charlen Lee J., Morrison D. M., Shaheen T., Mammenga P., Applegate K. & Tautin J. 2012: Continent-wide tracking to determine migratory connectivity and tropical habitat associations of a declining aerial insectivore. <i>Proceeding of the Royal Society B-Biological Sciences</i> 279: 4901–4906.	<i>Hylocichla mustelina</i>	ostatní druhy
22	Gersten A. & Steffen H. 2016: Timing of migration in Common Redstarts ( <i>Phoenicurus phoenicurus</i> ) in relation to the vegetation phenology at residence sites. <i>Journal of Ornithology</i> 157: 1029–1036.	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	ostatní druhy
23	Gómez J., Michelson C. I., Bradley D. W., Norris D. R., Berzins L. L., Dawson R. D. & Clark R. G. 2014: Effects of geolocators on reproductive performance and annual return rates of a migratory songbird. <i>Journal of Ornithology</i> 155: 37–44.	<i>Tachycineta bicolor</i>	vzdušní lovci
24	Heckscher C. M., Taylor S. M., Fox J. W. & Afanasyev V. 2011: Veery ( <i>Catharus fuscescens</i> ) wintering locations, migratory connectivity, and a revision of its winter range using geolocator technology. <i>The Auk</i> 128: 531–542.	<i>Catharus fuscescens</i>	ostatní druhy
25	Horns J. J., Buechley E., Chynoweth M., Aktay L., Çoban E., Kırpık M., Herman J., Şaşmaz Y. & Şekercioğlu Ç. H. 2016: Geolocator tracking of Great Reed Warbler ( <i>Acrocephalus arundinaceus</i> ) identifies key regions of importance to migratory wetland specialist throughout the Middle East and Sub-Saharan Africa. <i>The Condor</i> 118: 835–849.	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
26	Jiménez J. E., Jahn A. E., Rozzi R. & Seavy N. E. 2016: First documented migration of individual White-Crested Elaenias ( <i>Elaenia albiceps chilensis</i> ) in South America. <i>The Wilson Journal of Ornithology</i> 128: 419–425.	<i>Elaenia albiceps chilensis</i>	ostatní druhy
27	Johnson J. A., Matsuoka S. M., Tessler D. F., Greenberg R. & Fox J. W. 2012: Identifying migratory pathways used by Rusty Blackbirds breeding in southcentral Alaska. <i>The Wilson Journal of Ornithology</i> 124: 698–703.	<i>Euphagus carolinus</i>	ostatní druhy

id	citace studie	druh	ekol. skupina
28	Koleček J., Procházka P., El-Arabany N., Tarka M., Ilieva M., Hahn S., Honza M., de la Puente J., Bermejo A., Gürsoy A., Bensch S., Zehindjiev P., Hasselquist D. & Hansson B. 2016: Cross-continental migratory connectivity and spatiotemporal migratory patterns in the Great Reed Warbler. <i>Journal of Avian Biology</i> 47: 756–767.	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
29	Laughlin A. J., Taylor C. M., Bradley D. W., LeClaire D., Clark R. G., Dawson R. D., Dunn P. O., Horn A., Leonard M., Sheldon D. R., Shutler D., Whittingham L. A., Winkler D. W. & Norris D. R. 2013: Integrating information from geolocators, weather radar, and citizen science to uncover a key stopover area of an aerial insectivore. <i>The Auk</i> 130: 230–239.	<i>Tachycineta bicolor</i>	vzdušní lovci
30	Lemke H. W., Tarka M., Klaassen R. H. G., Åkesson M., Bensch S., Hasselquist D. & Hansson B. 2013: Annual cycle and migration strategies of a trans-saharan migratory songbird: a geocator study in the Great Reed Warbler. <i>PLoS ONE</i> 8: e79209.	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
31	Liechti F., Scandola C., Rubolini D., Ambrosini R., Korner-Nievergelt F., Hahn S., Lardelli R., Romano M., Caprioli M., Romano A., Sicurella B. & Saino N. 2015: Timing of migration and residence areas during the non-breeding period of Barn Swallows <i>Hirundo rustica</i> in relation to sex and population. <i>Journal of Avian Biology</i> 46: 254–265.	<i>Hirundo rustica</i>	vzdušní lovci
32	Liechti F., Witvliet W., Weber R. & Bächler E. 2013: First evidence of a 200-day non-stop flight in a bird. <i>Nature Communication</i> 4: 2554.	<i>Apus melba</i>	vzdušní lovci
33	Lislevand T., Chutný B., Byrkjedal I., Pavel V., Briedis M., Adamik P. & Hahn S. 2015: Red-spotted Bluethroats <i>Luscinia s. svecica</i> migrate along the Indo-European flyway: a geocator study. <i>Bird Study</i> : 508–515.	<i>Luscinia svecica</i>	ostatní druhy
34	Macdonald C. A., McKinnon E. A., Gilchrist H. G. & Love O. P. 2016: Cold tolerance, and not earlier arrival on breeding grounds, explains why males winter further north in an Arctic-breeding songbird. <i>Journal of Avian Biology</i> 47: 7–15.	<i>Plectrophenax nivalis</i>	ostatní druhy
35	Matyjasiak P., Rubolini D., Romani M. & Saino N. 2016: No short-term effects of geolocators on flight performance of an aerial insectivorous bird, the Barn Swallow ( <i>Hirundo rustica</i> ). <i>Journal of Ornithology</i> 157: 653–661.	<i>Hirundo rustica</i>	vzdušní lovci

id	citace studie	druh	ekol. skupina
36	McNeil S. E., Tracy D. & Capello C. D. 2015: Loop Migration by a Western Yellow-billed Cuckoo wintering in the Gran Chaco. <i>Western Birds</i> 46: 244–255.	<i>Coccyzus americanus</i>	ostatní druhy
37	Nelson A. R., Cormier R. L., Humple D. L., Scullen J. C., Sehgal R. & Seavy N. E. 2016: Migration patterns of San Francisco Bay Area Hermit Thrushes differ across a fine spatial scale. <i>Animal Migration</i> 3: 1–13.	<i>Catharus guttatus</i>	ostatní druhy
38	Norevik G., Åkesson S. & Hedenström A. 2016: Migration strategies and annual space-use in an Afro-Palaeartic aerial insectivore – the European Nightjar. <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 738–747.	<i>Caprimulgus europaeus</i>	ostatní druhy
39	Ouwehand J. & Both C. 2016: African departure rather than migration speed determines variation in spring arrival in Pied Flycatchers. <i>Journal of Animal Ecology</i> 86: 88–97.	<i>Ficedula hypoleuca</i>	ostatní druhy
40	Ouwehand J., Ahola M. P., Ausems A. N. M. A., Bridge E. S., Burgess M., Hahn S., Hewson C. M., Klaasen R. H. G., Laaksonen T., Lampe H. M., Velmala W. & Both C. 2015: Light-level geolocators reveal migratory connectivity in European populations of Pied Flycatchers <i>Ficedula hypoleuca</i> . <i>Journal of Avian Biology</i> 46: 69–83.	<i>Ficedula hypoleuca</i>	ostatní druhy
41	Peterson S. M., Streby H. M., Kramer G. R., Lehman J. A., Buehler D. A. & Andersen D. E. 2015: Geolocators on Golden-winged Warblers do not affect migratory ecology. <i>Condor</i> 117: 256–261.	<i>Vermivora chrysoptera</i>	ostatní druhy
42	Pillar A. G., Marra P. P., Flood N. J., Reudink M. W. 2015: Moulting migration in Bullock's Orioles ( <i>Icterus bullockii</i> ) confirmed by geolocators and stable isotope analysis. <i>Journal of Ornithology</i> 157: 265–275.	<i>Icterus bullockii</i>	ostatní druhy
43	Renfrew R. B., Kim D., Perlut N., Smith J., Fox J., Marra P. P. 2013: Phenological matching across hemispheres in a long-distance migratory bird. <i>Diversity and Distributions</i> 19: 1008–1019.	<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	ostatní druhy
44	Ross J. D., Bridge E. S., Rozmarynowicz M. J. & Bingman V. P. 2014: Individual variation in migratory path and behavior among Eastern Lark Sparrows. <i>Animal Migration</i> 2: 29–33.	<i>Chondestes grammacus</i>	ostatní druhy
45	Ryder T. B., Fox J. W. & Marra P. P. 2011: Estimating migratory connectivity of Gray Catbirds ( <i>Dumetella carolinensis</i> ) using geocator and mark—recapture data. <i>The Auk</i> 128: 448–453.	<i>Dumetella carolinensis</i>	ostatní druhy



id	citace studie	druh	ekol. skupina
46	Salewski V., Flade M., Poluda A., Kiljan G., Liechti F., Lisovski S. & Hahn S. 2013: An unknown migration route of the 'globally threatened' Aquatic Warbler revealed by geolocators. <i>Journal of Ornithology</i> 154: 549–552.	<i>Acrocephalus paludicola</i>	ostatní druhy
47	Scandolaro C., Rubolini D., Ambrosini R., Caprioli M., Hahn S., Liechti F., Romano A., Romano M., Sicurella B. & Saino N. 2014: Impact of miniaturized geolocators on Barn Swallow <i>Hirundo rustica</i> fitness traits. <i>Journal of Avian Biology</i> 45: 417–423.	<i>Hirundo rustica</i>	vzdušní lovci
48	Schmaljohann H., Buchmann M., Fox J. W. & Bairlein F. 2012: Tracking migration routes and the annual cycle of a trans-Sahara songbird migrant. <i>Behavioral Ecology and Sociobiology</i> 66: 915–922.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
49	Schmaljohann H., Meier C., Arlt D., Bairlein F., van Oosten H., Morbey Y. E., Åkesson S., Buchmann M., Chernetsov N., Desaeveer R., Elliott J., Hellström M., Liechti F., López A., Middleton J., Ottosson U., Pärt T., Spina F. & Eikenaar C. 2016: Proximate causes of avian protandry differ between subspecies with contrasting migration challenges. <i>Behavioral Ecology</i> 27: 321–331.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
50	Seavy N. E., Humple D. L., Cormier R. L. & Gardali T. 2012: Establishing the breeding provenance of a temperate-wintering North American passerine, the Golden-crowned Sparrow, using light-level geolocation. <i>PLoS ONE</i> 7: e34886.	<i>Zonotrichia atricapilla</i>	ostatní druhy
51	Sechrist J. D., Paxton E. H., Ahlers D. D., Doster R. H. & Ryan V. M. 2012: One year of migration data for a Western Yellow-Billed Cuckoo. <i>Western Birds</i> 43: 2–11.	<i>Coccyzus americanus</i>	ostatní druhy
52	Stutchbury B. J. M., Gow E. A., Done T., MacPherson M., Fox J. W. & Afanasyev V. 2011: Effects of post-breeding moult and energetic condition on timing of songbird migration into the tropics. <i>Proceeding of the Royal Society B-Biological Sciences</i> 278. DOI: 10.1098/rspb.2010.1220	<i>Hylocichla mustelina</i>	ostatní druhy
53	Stutchbury B. J. M., Tarof S. A., Done T., Gow E., Kramer P. M., Tautin J., Fox J. W. & Afanasyev V. 2009: Tracking long-distance songbird migration by using geolocators. <i>Science</i> 323: 896.	<i>Hylocichla mustelina</i>	ostatní druhy
54	Szép T., Liechti F., Nagy K., Nagy Z. & Hahn S. 2017: Discovering the migration and non-breeding areas of Sand Martins and House Martins breeding in the Pannonian basin (central-eastern Europe). <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 114–122.	<i>Delichon urbicum</i>	vzdušní lovci

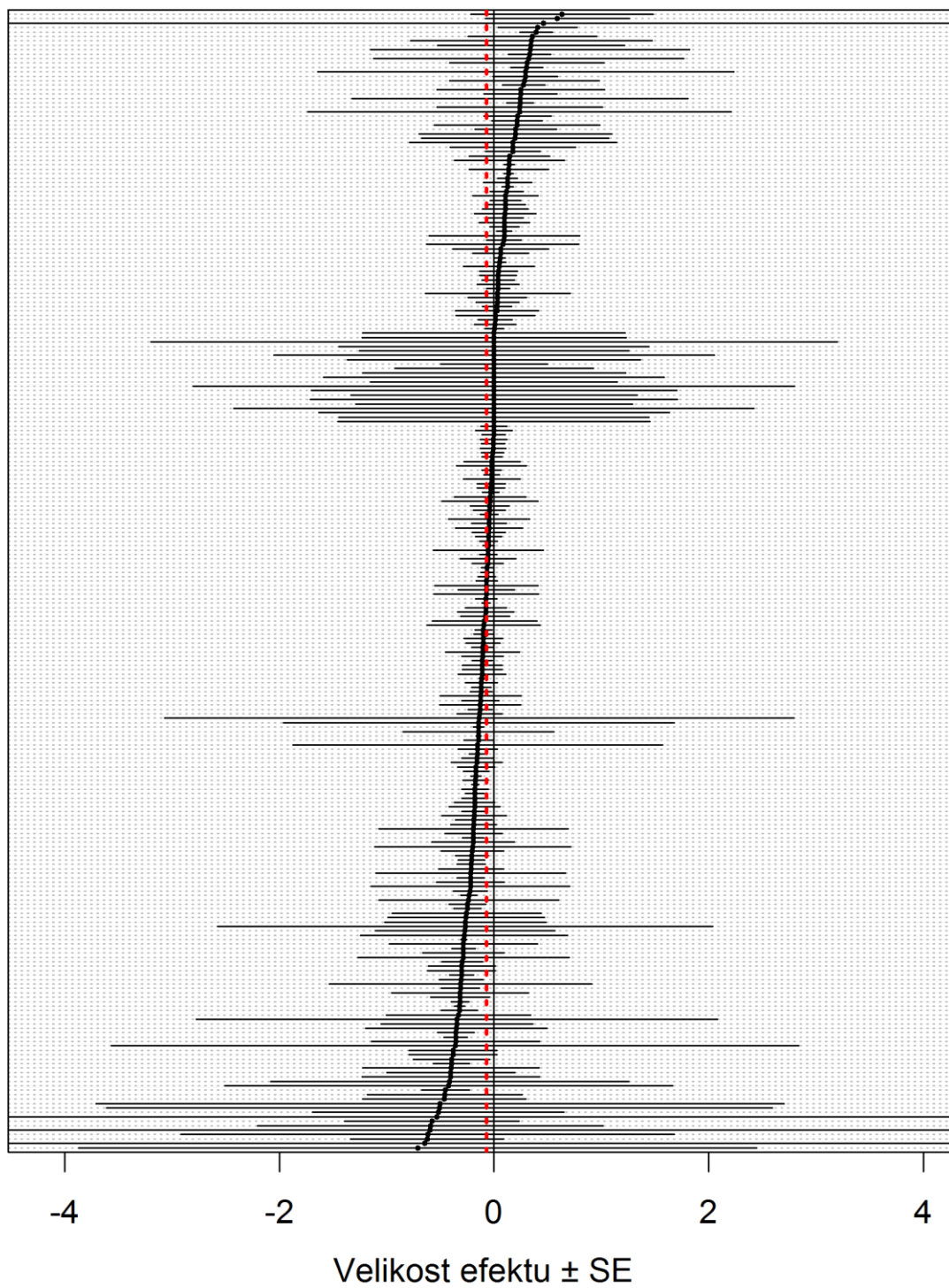
id	citace studie	druh	ekol. skupina
55	Szép T., Liechti F., Nagy K., Nagy Z. & Hahn S. 2017: Discovering the migration and non-breeding areas of Sand Martins and House Martins breeding in the Pannonian basin (central-eastern Europe). <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 114–122.	<i>Riparia riparia</i>	vzdušní lovcí
56	Tøttrup A. P., Klaassen R. H. G., Strandberg R., Thorup K., Kristensen M. W., Jørgensen P. S., Fox J. W., Afanasyev V., Rahbek C. & Alerstam T. 2012: The annual cycle of a trans-equatorial Eurasian–African passerine migrant: different spatio-temporal strategies for autumn and spring migration. <i>Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences</i> 279: 1008–1016.	<i>Lanius collurio</i>	ostatní druhy
57	van Oosten H. H., Versluijs R. & van Wijk R. 2014: Twee Nederlandse Tapuiten in de Sahel: trekroutes en winterlocaties ontrafeld. <i>Limosa</i> 87: 168–172.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
58	van Wijk R. E., Schaub M., Tolkmitt D., Becker D. & Hahn Steffen 2013: Short-distance migration of Wrynecks <i>Jynx torquilla</i> from Central European populations. <i>Ibis</i> 155: 886–890.	<i>Jynx torquilla</i>	ostatní druhy
59	van Wijk R. E., Souchay G., Jenni-Eiermann S., Bauer S. & Schaub M. 2016: No detectable effects of lightweight geolocators on a Palaearctic-African long-distance migrant. <i>Journal of Ornithology</i> 157: 255–264.	<i>Upupa epops</i>	ostatní druhy
60	Wellbrock A. H. J., Bauch C., Rozman J. & Witte K. 2017: “Same procedure as last year?” – Repeatedly tracked Swifts show individual consistency in migration pattern in successive years. <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 897–903.	<i>Apus apus</i>	vzdušní lovcí
61	Woodworth B. K., Newman A. E. M., Turbek S. P., Dossman B. C., Hobson K. A., Wassenaar L. I., Mitchell G. W., Wheelwright N. T. & Norris D. R. 2016: Differential migration and the link between winter latitude, timing of migration, and breeding in a songbird. <i>Oecologia</i> 181: 413–422.	<i>Passerculus sandwichensis</i>	ostatní druhy
62	Xenophontos M., Blackburn E. & Cresswell W. 2017: Cyprus Wheatears <i>Oenanthe cypriaca</i> likely reach sub-Saharan African wintering grounds in a single migratory flight. <i>Journal of Avian Biology</i> 48: 529–535.	<i>Oenanthe cypriaca</i>	ostatní druhy

Příloha 4: Přehled nepublikovaných prací zařazených do analýzy společně se studovaným druhem a ekologickou skupinou, do které druh patří.

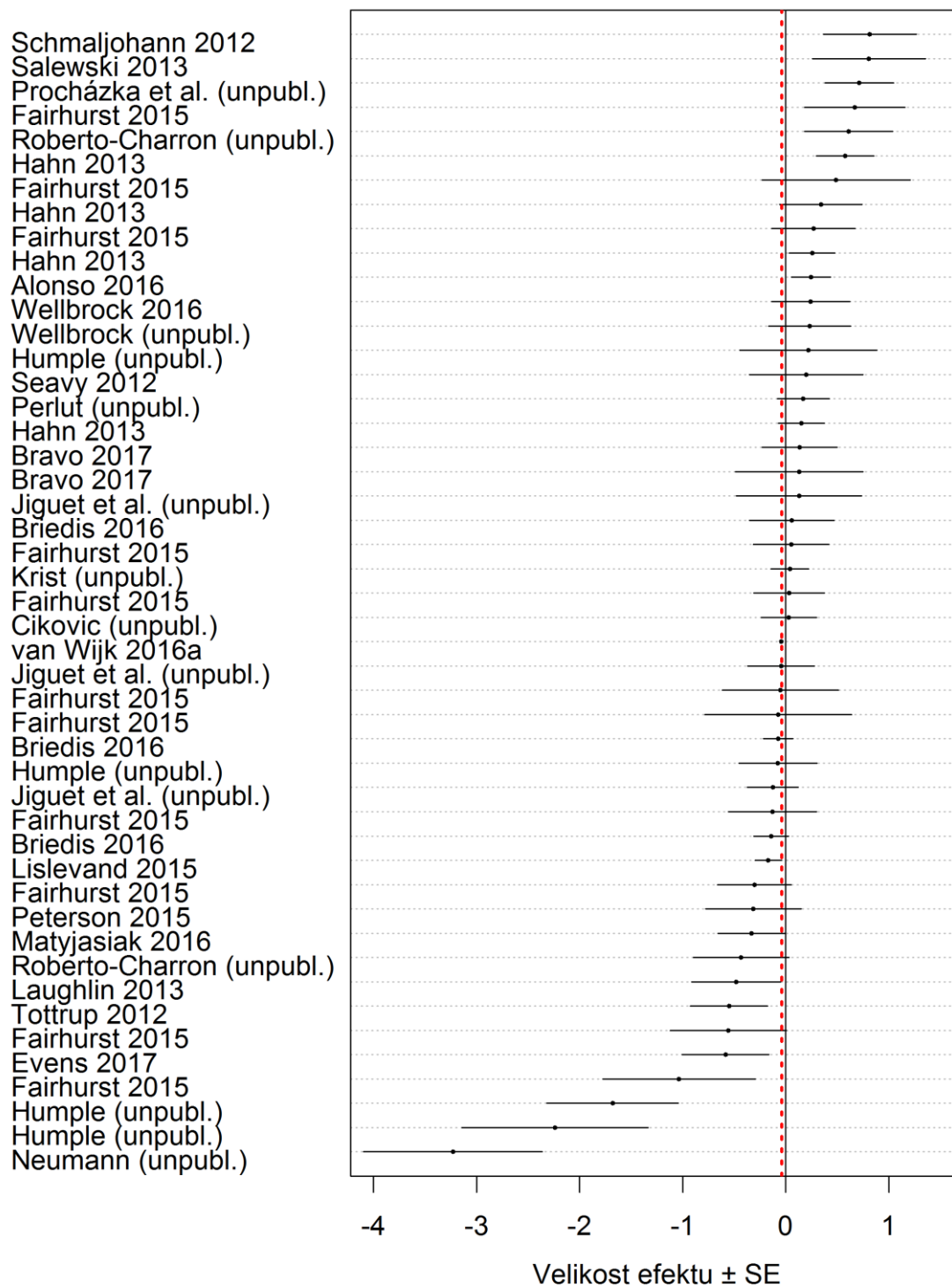
id	citace	druh	ekol. skupina
1	Belda E. J. & Monros J. S. <sup>1</sup>	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	ostatní druhy
2	Belda E. J. & Monros J. S. <sup>2</sup>	<i>Locustella luscinioides</i>	ostatní druhy
3	Beran V.	<i>Anthus campestris</i>	ostatní druhy
4	Bravo S. P., Cueto V. R. & Gorosito C. A.	<i>Elaenia albiceps chilensis</i>	ostatní druhy
5	Briedis M., Hahn S., Gustafsson L., Henshaw I., Träff J., Král M. & Adamík P.	<i>Ficedula albicollis</i>	ostatní druhy
6	Brlík V., Ilieva M., Voigt C. & Procházka P.	<i>Acrocephalus agricola</i>	ostatní druhy
7	Brown D.	<i>Turdus migratorius</i>	ostatní druhy
8	Burgess M.	<i>Ficedula hypoleuca</i>	ostatní druhy
9	Cikovic D.	<i>Emberiza melanocephala</i>	ostatní druhy
10	Emmenegger T. <sup>1</sup>	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
11	Emmenegger T. <sup>2</sup>	<i>Merops apiaster</i>	ostatní druhy
12	Hahn S. & Dimitrov D.	<i>Passer hispaniolensis</i>	ostatní druhy
13	Hahn S., Amrhein V., Zehtindjiev P. & Liechti F.	<i>Luscinia megarhynchos</i>	ostatní druhy
14	Hahn S., Emmenegger T. & Schulze M.	<i>Riparia riparia</i>	vzdušní lovci
15	Hewson C. <sup>1</sup>	<i>Apus apus</i>	vzdušní lovci
16	Hewson C. <sup>2</sup>	<i>Luscinia megarhynchos</i>	vzdušní lovci
17	Humple D.	<i>Passerella iliaca</i>	ostatní druhy
18	Humple D. & Cormier R. <sup>1</sup>	<i>Catharus ustulatus</i>	ostatní druhy
19	Humple D. & Cormier R. <sup>2</sup>	<i>Catharus ustulatus</i>	ostatní druhy
20	Humple D. & Nelson A.	<i>Catharus guttatus</i>	ostatní druhy
21	Jiguet F.	<i>Emberiza hortulana</i>	ostatní druhy
22	Jiguet F., Piha M. a kol.	<i>Emberiza hortulana</i>	ostatní druhy
23	Kelly T.	<i>Melospiza melodia</i>	ostatní druhy
24	Kishkinev D. <sup>1</sup>	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
25	Kishkinev D. <sup>2</sup>	<i>Luscinia svecica</i>	ostatní druhy
26	Krist M.	<i>Ficedula albicollis</i>	ostatní druhy
27	Léconte M.	<i>Luscinia svecica</i>	ostatní druhy
28	Lislevand T., Chutný B., Byrkjedal I., Pavel V., Briedis M., Adamik P. & Hahn S.	<i>Luscinia svecica</i>	ostatní druhy

id	citace	druh	ekol. skupina
29	Matyjasiak P., Rubolini D. & Saino N.	<i>Hirundo rustica</i>	vzdušní lovci
30	McFarland K.	<i>Catharus bicknelli</i>	ostatní druhy
31	Meier C.	<i>Apus melba</i>	vzdušní lovci
32	Neumann R.	<i>Carpodacus erythrinus</i>	ostatní druhy
33	Otter K.	<i>Zonotrichia albicollis</i>	ostatní druhy
34	Perlut N.	<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	ostatní druhy
35	Požgayová M., Koleček J., Honza M. & Procházka P.	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
36	Procházka P. a kol.	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	ostatní druhy
37	Procházka P., Požgayová M., Koleček J. et al.	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	ostatní druhy
38	Roberto-Charron A.	<i>Progne subis</i>	vzdušní lovci
39	Seavy N. E., Humple D. L., Cormier R. L. & Gardali T.	<i>Zonotrichia atricapilla</i>	ostatní druhy
40	Takenaka M.	<i>Agropsar philippensis</i>	ostatní druhy
41	van Oosten H.	<i>Oenanthe oenanthe</i>	ostatní druhy
42	Wellbrock A. H. J. & Witte K.	<i>Apus apus</i>	vzdušní lovci
43	Wheeler H.	<i>Lanius ludovicianus</i>	ostatní druhy

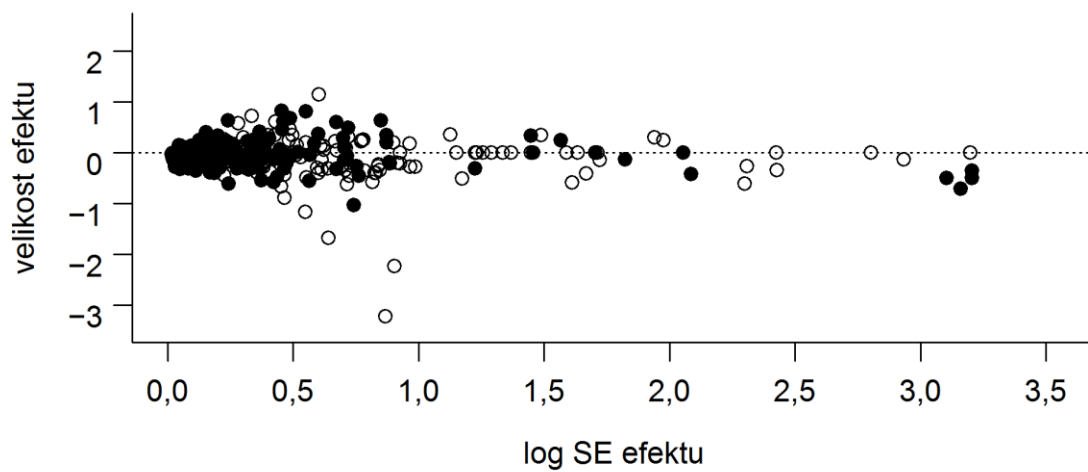
Příloha 5: Lesní diagram (z angl. „forest plot”) velikosti efektů záznamů  $\pm SE$  v kategorii návratnost. Červená přerušovaná čára značí nulový efekt.



*Příloha 6: Lesní diagram velikosti efektů záznamů  $\pm$  SE v kategorii kondice společně se zkrácenou citací publikované práce nebo jménem autora nepublikované práce. Červená přerušovaná čára značí nulový efekt.*



*Příloha 7: Rozložení log střední chyby efektu a velikosti efektu (Hedgesovo  $g$ ;  $n = 332$ ) v publikovaných (plné body) a nepublikovaných záznamech (kroužky). Přerušovaná čára představuje nulový efekt.*



*Příloha 8: Zdrojový kód (skript) analýzy dat z programu R s komentáři.*

```
#####  
# Effect of light-level geolocators on small birds: meta-analysis----  
#####  
setwd("")  
#load libraries  
library(metafor)  
library(multcomp)  
library(ggplot2)  
library(lattice)  
library(Hmisc)  
library(glmulti)  
#load dataset  
data<-  
read.csv("data_bc.csv",header=T,na="NA",sep="," ,dec=".",as.is=T,string  
sAsFactors=F)  
#subset rows with calculated effect size  
data<-subset(data,data$analysis=="1")  
#data preparation----  
data$group<-as.factor(as.character(data$group))  
data$aerial<-as.factor(as.character(data$aerial))  
data$elasticity<-as.factor(as.character(data$elasticity))  
data$publ1<-as.factor(as.character(data$publ1))  
#calculating the mean body mass of controls and in the logger birds  
#only for rows containing both values  
mass<-subset(data,data$mass.control!="NA")  
length(mass$mass.control)  
mass.paired<-  
data.frame(logger=mass$mass.logger,control=mass$mass.control)  
summary(mass.paired)  
length(mass.paired$logger)  
t.test(mass.paired$logger,mass.paired$control,paired=T  
mass.paired$diff<-mass.paired$logger-mass.paired$control  
mass.paired$diff  
mean(mass.paired$diff)  
sd(mass.paired$diff)  
#calculation of SE  
sd(mass.paired$diff)/sqrt(length(mass.paired$diff))  
mean(mass$mass.logger)  
mean(mass$mass.control)  
#help http://www.metafor-project.org/doku.php  
#####  
#heterogeneity, publication bias-----  
#####  
#calculation of overall estimate, heterogeneity, trimfill,  
correlation, fail-safe  
survival<-subset(data,data$category=="survival")  
condition<-subset(data,data$category=="condition")  
breed<-subset(data,data$category=="breedingperformance")  
pheno<-subset(data,data$category=="phenology")  
meta.survival<-rma(yi=smd.g,sei=se.smd.g,data=survival,method="ML")  
summary(meta.survival)  
trimfill(meta.survival)  
fsn(yi=smd.g,sei=se.smd.g,data=survival,type="Rosenthal",target=0)  
meta.condition<-rma(yi=smd.g,sei=se.smd.g,method="ML",data=condition)  
meta.condition  
trimfill(meta.condition)
```



```

fsn(yi=smd.g, sei=se.smd.g, data=condition, type="Rosenthal", target=0)
meta.pheno<-rma(yi=smd.g, sei=se.smd.g, method="ML", data=pheno)
summary(meta.pheno)
trimfill(meta.pheno)
fsn(yi=smd.g, sei=se.smd.g, data=pheno, type="Rosenthal", target=0)
meta.breed<-rma(yi=smd.g, sei=se.smd.g, method="ML", data=breed)
summary(meta.breed)
trimfill(meta.breed)
fsn(yi=smd.g, sei=se.smd.g, data=breed, type="Rosenthal", target=0)
#test for asymmetry between se.smd.g and smd.g
cor.test(pheno$smd.g, pheno$se.smd.g, method="kendall")
cor.test(breed$smd.g, breed$se.smd.g, method="kendall")
cor.test(survival$smd.g, survival$se.smd.g, method="kendall")
cor.test(condition$smd.g, condition$se.smd.g, method="kendall")
#test for assymetry between n (logger attached only) and the effect
size
cor.test(pheno$smd.g, pheno$n1.log, method="kendall")
cor.test(breed$smd.g, breed$n1.log, method="kendall")
cor.test(survival$smd.g, survival$n1.log, method="kendall")
cor.test(condition$smd.g, condition$n1.log, method="kendall")
#####
#cumulative meta-analysis----
#####
#CMA year initial
data$studlab<-paste(data$ref.short, data$load, sep="")
meta.data<-
rma(yi=smd.g, sei=se.smd.g, method="ML", data=data, slab=data$studlab)
meta.cumul.initial<-cumul(meta.data, order=order(data$year.initial))
forest(meta.cumul.initial)
meta.year.diff<-data.frame(estimate=meta.cumul.initial$estimate)
meta.year.diff
meta.year.diff$diff<-c(NA, meta.year.diff[2:nrow(meta.year.diff),1]-
meta.year.diff[1:(nrow(meta.year.diff)-1),1])
meta.year.diff
class(meta.year.diff)
head(meta.year.diff)
meta.year.diff<-meta.year.diff[-1,]
sum(meta.year.diff$diff>0)
length(meta.year.diff$estimate)
binom.test(157, 331)
#####
#multilevelmixedeffectmetafor----
#####
#full data model -----
model.data<-
rma.mv(yi=data$smd.g, V=(data$se.smd.g**2), random=list(~1|factor(specie
s)/factor(id.study)/factor(lat.lon)), data=data, method="ML", test="t", co
ntrol=list(optimizer="optim"))
model.data
#category model-----
model.category<-
rma.mv(yi=data$smd.g, V=(data$se.smd.g**2), random=list(~1|factor(specie
s)/factor(id.study)/factor(lat.lon)), mods=~factor(category), data=data,
method="ML", test="t", control=list(optimizer="optim"))
summary(model.category)
anova(model.category, btt=c(2, 3, 4))
model.category.minus1<-
rma.mv(yi=data$smd.g, V=(data$se.smd.g**2), random=list(~1|factor(specie

```

```

s)/factor(id.study)/factor(lat)), mods=~factor(category)-
1, data=data, method="ML", test="t", control=list(optimizer="optim"))
summary(model.category.minus1)
#####
#survival-----
#####
survival.full<-subset(data, data$category=="survival")
multi.survival.null<-
data.frame(id.study=survival.full$id.study, species=survival.full$speci
es.short, id.row=survival.full$id.row, yi=survival.full$smd.g, vi=survisa
l.full$se.smd.g**2, load=survival.full$load, distance=survival.full$dist
ance, published=survival.full$publ1, elasticity=survival.full$elasticity
, lat.lon=survival.full$lat.lon, stalk.length=survival.full$stalk.length
, aerial=survival.full$aerial, sex=survival.full$sex)
model.survival.null<-
rma.mv(yi, vi, random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(la
t.lon)), data=multi.survival.null, method="ML", test="t", control=list(opt
imizer="optim"))
model.survival.null
summary(model.survival.null)
#meta-regression with full dataset and aerial or published moderators
model.survival.null.aerial<-
rma.mv(yi, vi, random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(la
t.lon)), data=multi.survival.null, method="ML", mods=~factor(aerial), test
="t", control=list(optimizer="optim"))
model.survival.null.aerial
model.survival.null.load<-
rma.mv(yi, vi, random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(la
t.lon)), data=multi.survival.null, method="ML", mods=~scale(load), test="t
", control=list(optimizer="optim"))
model.survival.null.load
survival.filter<-survival.full
#filter all rows with missing value for all used moderators
survival.filter<-
survival.filter[complete.cases(survival.filter$elast),]
survival.filter<-
survival.filter[complete.cases(survival.filter$load),]
survival.filter<-
survival.filter[complete.cases(survival.filter$distance),]
survival.filter<-
survival.filter[complete.cases(survival.filter$stalk.length),]
survival.filter<-
rbind(subset(survival.filter, survival.filter$sex=="M"), subset(survival
.filter, survival.filter$sex=="F"))
survival.filter
summary(survival.filter)
length(survival.filter$stalk.length)
multi.survival<-
data.frame(id.study=survival.filter$id.study, species=survival.filter$s
pecies.short, id.row=survival.filter$id.row, yi=survival.filter$smd.g, vi
=survival.filter$se.smd.g**2, sei=survival.filter$se.smd.g, load=survisa
l.filter$load, distance=survival.filter$distance, published=survival.fil
ter$publ1, elasticity=survival.filter$elasticity, lat.lon=survival.filte
r$lat.lon, sex=survival.filter$sex, stalk.length=survival.filter$stalk.l
ength, aerial=survival.filter$aerial)
#####
#correlation of moderators-----
#####

```

```

moderator.survival<-
data.frame(yi=survival.filter$smd.g,vi=survival.filter$se.smd.g**2,load=
survival.filter$load,distance=survival.filter$distance,published=survival.filter$publ1,stalk.length=survival.filter$stalk.length,aerial=survival.filter$aerial,sex=survival.filter$sex,elasticity=survival.filter$elasticity)
mod1<-
subset(moderator.survival,moderator.survival$elasticity=="elastic")
mod1$elasticity1<-1
mod2<-
subset(moderator.survival,moderator.survival$elasticity=="nonelastic")
mod2$elasticity1<-0
moderator.survival<-rbind(mod1,mod2)
moderator.survival$elasticity<-NULL
#M=1,F=0
mod3<-subset(moderator.survival,moderator.survival$sex=="M")
mod3$sex1<-1
mod4<-subset(moderator.survival,moderator.survival$sex=="F")
mod4$sex1<-0
moderator.survival<-rbind(mod3,mod4)
moderator.survival$sex<-NULL
rcorr(as.matrix(moderator.survival),type="pearson")
rcorr(as.matrix(moderator.survival),type="spearman")
#high correlation (over 80%):load+aerial
#####
multi.survival
model.survival.filter.null<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(latitude.lon)),data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
summary(model.survival.filter.null)
#fullmodelLOAD-----
model.survival.full.load.main<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(latitude.lon)),mods=~scale(distance)+factor(elasticity)+factor(published)+factor(sex)*scale(load)+scale(stalk.length),data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
model.survival.full.load.main
multi.survival$sex1<-relevel(multi.survival$sex,ref="M")
model.survival.full.load.minus1<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(latitude.lon)),mods=~factor(sex)*scale(load)+factor(elasticity)+scale(distance)+factor(published)+scale(stalk.length)-1,data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
model.survival.full.load.minus1
#pseudo-R squared- McFaddens R
#https://stats.idre.ucla.edu/other/mult-pkg/faq/general/faq-what-are-pseudo-r-squareds/
summary(model.survival.filter.null)
m.intercept<--33.8745
summary(model.survival.full.load.main)
m.full<--24.0334
anova(model.survival.filter.null,model.survival.full.load.main)
#calculation
1-(m.full)/m.intercept
#full model AERIAL-----

```

```

model.survival.full.aerial.main<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(lat.lon)),mods=~scale(distance)+factor(aerial)*factor(sex)+factor(aerial)*scale(stalk.length)+factor(elasticity)+factor(published),data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
model.survival.full.aerial.main
multi.survival$sex1<-relevel(multi.survival$sex,ref="M")
multi.survival$aerial1<-relevel(multi.survival$aerial,ref="1")
#table(multi.survival$aerial,multi.survival$sex)
table(multi.survival$sex,multi.survival$aerial)
model.survival.full.aerial.minus1<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(lat.lon)),mods=~factor(aerial)/factor(sex)+factor(aerial)*scale(stalk.length)+scale(distance)+factor(elasticity)+factor(published)-1,data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
model.survival.full.aerial.minus1
anova(model.survival.full.aerial.main,model.survival.filter.null)
#pairwise comparison of interactions
model.survival.full.aerial.minus1.pairwise<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(lat.lon)),mods=~factor(sex):factor(aerial)-1,data=multi.survival,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
model.survival.full.aerial.minus1.pairwise
summary(glht(model.survival.full.aerial.minus1.pairwise,linfct=contrast(c("M:0"=1,"M:1"=1,"F:0"=1,"F:1"=1),type="Tukey")),test=adjusted("none"))
#pseudo-R squared - McFaddens
summary(model.survival.filter.null)
m.intercept<--33.8745
summary(model.survival.full.aerial.main)
m.full<--6.8955
1-(m.full)/m.intercept
#####
#condition-----
#####
condition.full<-subset(data,data$category=="condition")
multi.condition<-
data.frame(id.study=condition.full$id.study,species=condition.full$species.short,id.row=condition.full$id.row,yi=condition.full$smd.g,vi=condition.full$se.smd.g**2,sei=condition.full$se.smd.g,published=condition.full$pub1,aerial=condition.full$aerial,lat.lon=condition.full$lat.lon,se.smd.g=condition.full$se.smd.g)
multi.condition
#nullmodel
model.condition.null<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(lat.lon)),data=multi.condition,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
summary(model.condition.null)
#fullmodel
model.condition.full<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(lat.lon)),mods=~factor(aerial)+factor(published),data=multi.condition,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
summary(model.condition.full)
#####

```

```

#pheno-----
#####
pheno.full<-subset(data,data$category=="phenology")
pheno.full
multi.pheno<-
data.frame(id.study=pheno.full$id.study,species=pheno.full$species.sho
rt,id.row=pheno.full$id.row,yi=pheno.full$smd.g,vi=pheno.full$se.smd.g
**2,sei=pheno.full$se.smd.g,lat.lon=pheno.full$lat.lon,se.smd.g=pheno.
full$se.smd.g)
#nullmodel
model.pheno.null<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|factor(species)/factor(id.study)/factor(la
t.lon)),data=multi.pheno,method="ML",test="t",control=list(optimizer="
optim"))
summary(model.pheno.null)
#####
#breed-----
#####
breed.full<-subset(data,data$category=="breedingperformance")
breed.full
multi.breed<-
data.frame(id.study=breed.full$id.study,species=breed.full$species.sho
rt,id.row=breed.full$id.row,yi=breed.full$smd.g,vi=breed.full$se.smd.g
**2,sei=breed.full$se.smd.g)
#nullmodel
model.breed.null<-
rma.mv(yi,vi,random=list(~1|species/factor(id.study)/factor(lat.lon)),
data=multi.breed,method="ML",test="t",control=list(optimizer="optim"))
summary(model.breed.null)

```